

令和3年度 課題解決型ローカル5G 等の実現に向けた開発実証

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

成果報告書

令和4年3月25日

住友商事株式会社

# 目次

|   |            |
|---|------------|
| <b>1. 実証概要</b> .....                            | <b>1</b>   |
| 1.1 背景・目的 .....                                 | 1          |
| 1.2 実証の概要 .....                                 | 3          |
| <b>2. 実証環境の構築</b> .....                         | <b>5</b>   |
| 2.1 実施環境 .....                                  | 6          |
| 2.2 ネットワーク・システム構成 .....                         | 7          |
| 2.2.1 ローカル5Gのネットワーク構成 .....                     | 7          |
| 2.2.2 基地局等の無線機器の調達先等 .....                      | 7          |
| 2.2.3 ローカル5Gの無線機器 .....                         | 8          |
| 2.2.4 基地局エリアカバレッジ .....                         | 13         |
| 2.2.5 課題実証の使用機器 .....                           | 14         |
| 2.3 システム機能・性能・要件 .....                          | 20         |
| 2.3.1 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 .....       | 20         |
| 2.3.2 高精細カメラとAIを活用した車両ドア閉扉判断の高度化 .....          | 21         |
| 2.3.3 ローカル5Gシステムの性能 .....                       | 22         |
| 2.4 免許及び各種許認可 .....                             | 23         |
| 2.5 その他要件 .....                                 | 24         |
| 2.6 実証環境の運用 .....                               | 27         |
| <b>3. 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）</b> .....   | <b>28</b>  |
| 3.1 実証概要 .....                                  | 28         |
| 3.2 実証環境 .....                                  | 29         |
| 3.3 実証内容 .....                                  | 34         |
| 3.3.1 ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定 .....                   | 34         |
| 3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化 .....                         | 66         |
| 3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟性 .....                   | 128        |
| 3.3.4 準同期TDDの追加パターンの開発 .....                    | 128        |
| 3.3.5 その他のテーマ .....                             | 128        |
| 3.3.6 技術実証における追加検証 .....                        | 128        |
| <b>4. ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）</b> ..... | <b>129</b> |
| 4.1 実証概要 .....                                  | 129        |
| 4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標 .....               | 131        |
| 4.2.1 各実証ソリューションにおける課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標 .....    | 131        |
| 4.2.2 課題と解決策の関係性：イシューツリーをもとにした整理 .....          | 136        |
| 4.2.3 ソリューションにおけるローカル5Gの必要性 .....               | 141        |
| 4.3 実証環境 .....                                  | 144        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.4 実証内容.....                            | 146        |
| 4.4.1 ローカル5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証..... | 150        |
| 4.4.2 ローカル5G を用いたソリューションの実装性に関する検証.....  | 245        |
| 4.4.3 ローカル5G の実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討.....   | 254        |
| 4.4.4 継続利用の見通し・実装計画.....                 | 259        |
| <b>5. 普及啓発活動の実施.....</b>                 | <b>262</b> |
| 5.1 映像制作への協力.....                        | 262        |
| 5.2 実証視察会の実施.....                        | 262        |
| 5.3 その他普及啓発活動.....                       | 262        |
| <b>6. 実施体制.....</b>                      | <b>263</b> |
| 6.1 体制及び役割.....                          | 263        |
| <b>7. スケジュール.....</b>                    | <b>264</b> |

# 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)

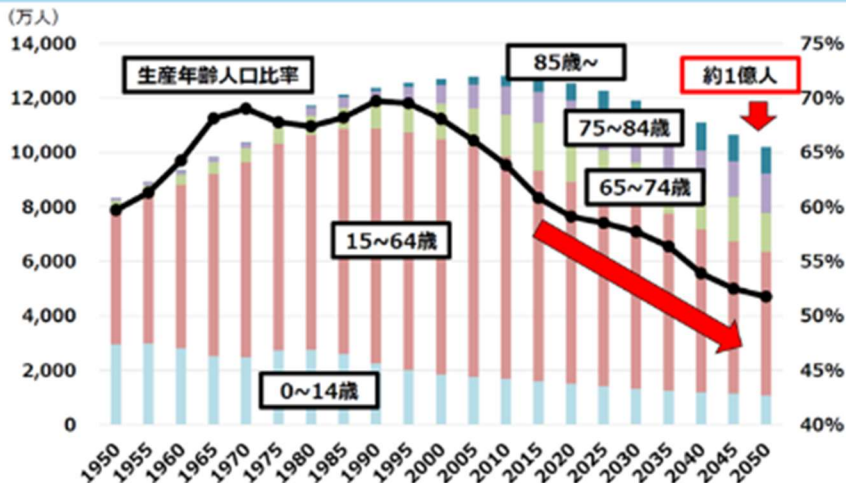
本取組みのユーザ企業である東急電鉄株式会社はこれら変化の渦中にあり、事業構造変革の必要性を強く認識する企業の一社である。同社の渡邊代表取締役社長は社員向けに「コロナ禍の厳しい状況下において鉄道事業は事業構造変革を実行すべきであり、デジタル技術を取り込み、駅務・保守業務を見直し、ワンマン化の拡大検討など着実な変革を成し遂げる」とメッセージを発信しており、本取組みはその大方針の元構想されたものとなる。

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を掛け合わせた、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。

図 1.1-1) 今後の生産年齢人口

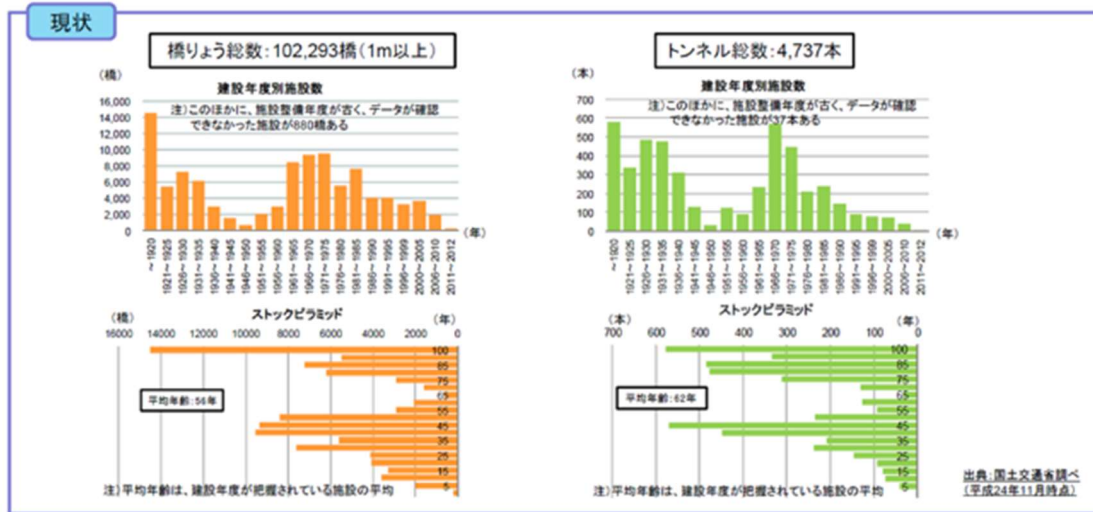
### 将来人口の予測

- 2050年に日本の人口は約1億人まで減少する見込み。
- 今後、生産年齢人口比率の減少が加速。



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」

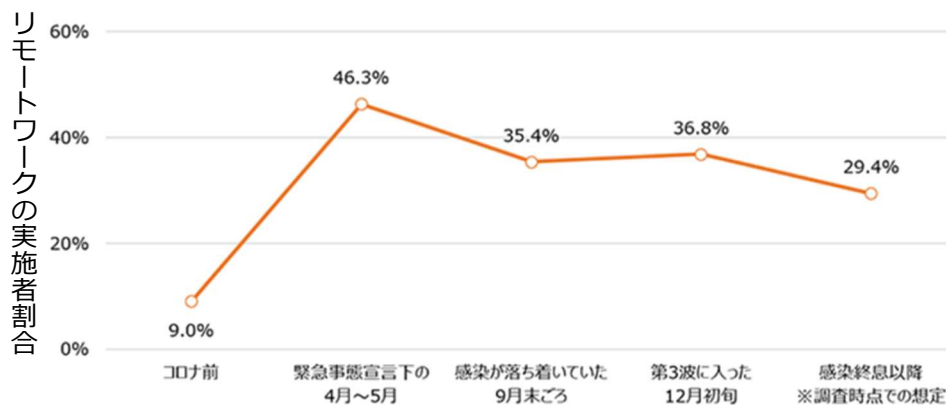
図 1.1-2) 鉄道橋りょう、トンネル建設経過年数



引用：国土交通省 鉄道行政の現状と課題について

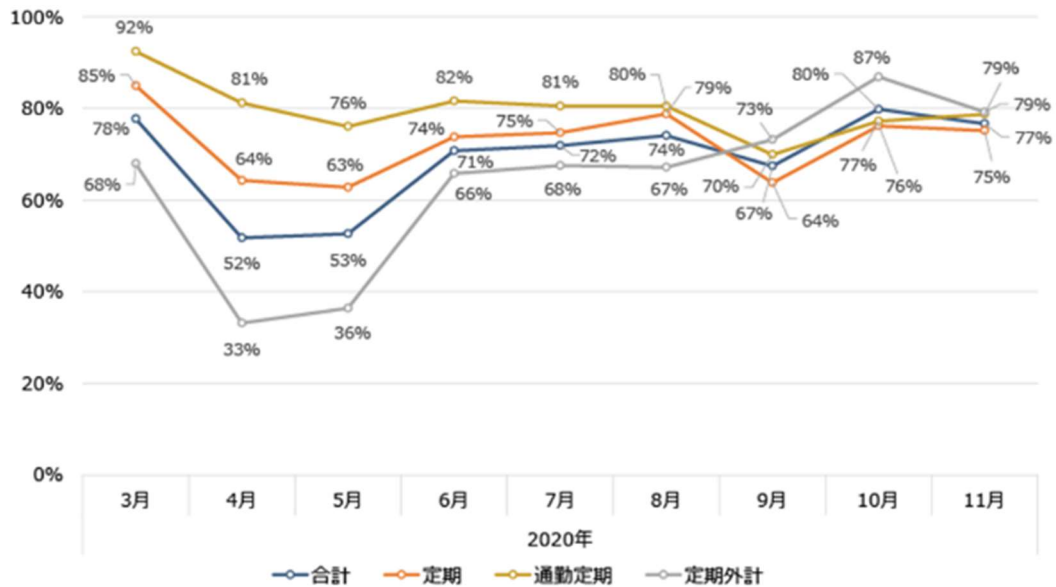
更に新型コロナウイルス感染症の感染拡大により、リモートワーク（図 1-3）や新しい生活様式が普及し、輸送人員や運賃収入の急激な減少（図 1-4）という、事業環境の大きな転換点に差し掛かっている。このような事業環境の変化を受け、コロナ禍以前の輸送需要への回復が見込まれない中で、安全で安心な鉄道事業を継続するとともに、アフターコロナに即した社会的価値を持続的に提供し、都市を支えるインフラ企業としての社会的責任を果たさなければならない。本実証では、ローカル5G を無線インフラとして活用した各種スマート化ソリューション導入により、安全性を追求し、テクノロジーと人の力を掛け合わせた、より高度な運行の実現を目指し、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、鉄道事業基盤の強靱化に繋がる課題解決モデルの開発を目指した。

図 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：三菱総研様 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 1-4) 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）



引用：三菱総研様 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

## 1.2 実証の概要

件名：

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

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自由が丘駅大井町線及び東横線ホームを実証環境に調査検討を実施した。

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（高精細カメラと AI を活用した車両ドア閉扉判断の高度化、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）を実証し、その有効性を検証するとともに、半屋外環境且つ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ともに、当該実証モデルの東急電鉄における実装およびほか鉄道事業者への普及展開に向けた検討を実施した。

上記の調査検討のために以下の通り、技術実証、課題実証を実施した。

(カッコ内は本報告書内該当章番号)

■技術実証：ローカル5G のエリア設計精度向上に向けた電波伝搬特性評価実証 (第3章)

①電波伝搬特性等の測定：エリア算出法の閾値検証及び、ユースケースにおけるローカル5G の性能評価

- ・カバーエリア内（自己土地内）について、柱や設備位置、遮蔽物有無に考慮し、約 59 地点にて測定を実施した（1 秒間隔/100 サンプル）
- ・カバーエリア端、調整対象区端の実測情報と机上計算の差分要因を考察した

②テーマ別実証) I.電波伝搬モデルの精緻化：現行のエリア算出法におけるエリアカバレッジや調整対象区域の実測との評価

- ・半屋外且つ横長・狭小エリア環境の電波伝搬の精緻化  
電波伝搬損の計算式上の S（市街地、郊外地、および開放地に対して考慮する補正值）及び R（基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損）を精緻化の対象とした
- ・運用を見据えた列車運行時の電波伝搬  
鉄道運行時における、列車による反射で他者土地に与える影響評価を検証した。それぞれ反射を受けると想定する測定地点にて、測定を実施した

■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
- ②高精細カメラと AI を活用した車両ドア閉扉判断の高度化

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との差分を検証し、効果・機能・運用においてそれぞれの評価を行うとともに、同ユースケースを想定したローカル 5 G 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ともに、実証期間中に実装シナリオの随時見直しを実施した。

## 2. 実証環境の構築

本実証では、1階部分の大井町線にて課題実証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、2階部分の東横線にて課題実証②高精細カメラとAIを活用した車両ドア開閉判断の高度化の実証の実証を実施した。技術実証観点では、1階部分の大井町線では無指向性の屋内RUを使用し、2階部分の東横線では指向性のある屋外RUを使用する。それぞれの電波輻射特性において狭小エリアにおけるローカル5G運用設計において評価を実施した。物理構成は下図2-1に示す通り。課題実証構成については4章にて詳細を記載した。

今回の課題実証を満たすべく、鉄道運用において持続可能な普及構成で駅ホーム構内及び線路内のローカル5Gエリア化をし、他者土地に影響を与えない環境を構築した。

各屋外RU、屋内RUの設置イメージを下図(図2-2)に示す。

図2-1) ローカル5G 物理構成図

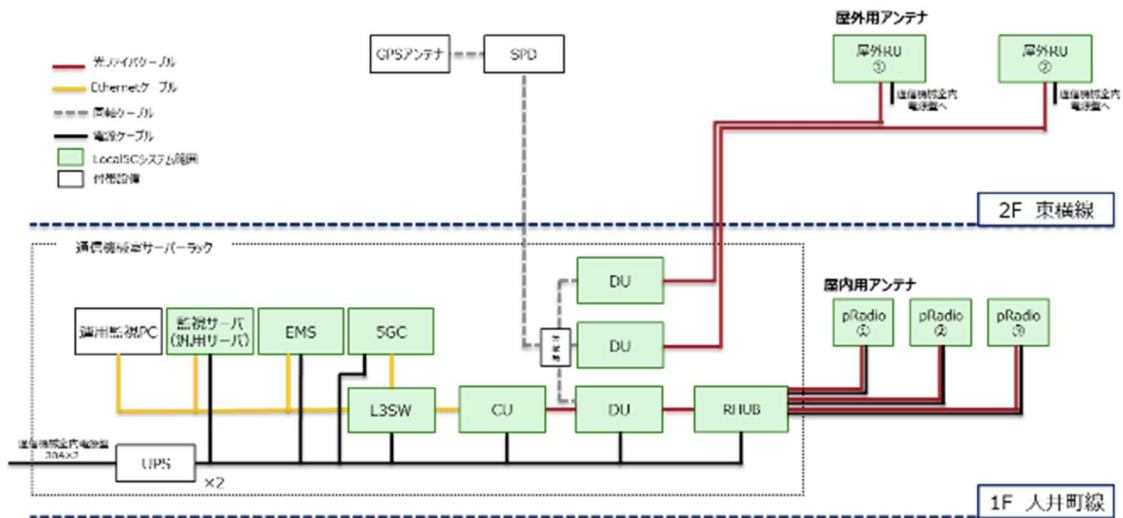
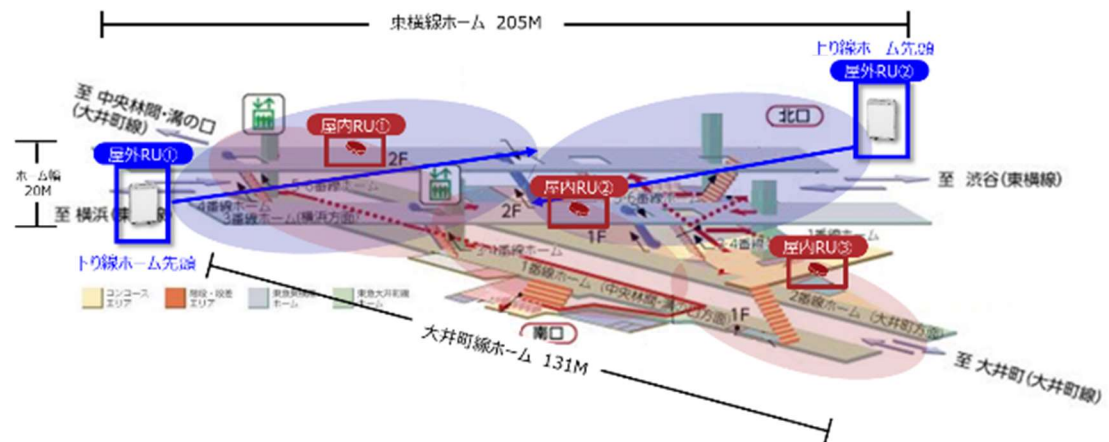


図2-2) ローカル5G 基地局設置イメージ



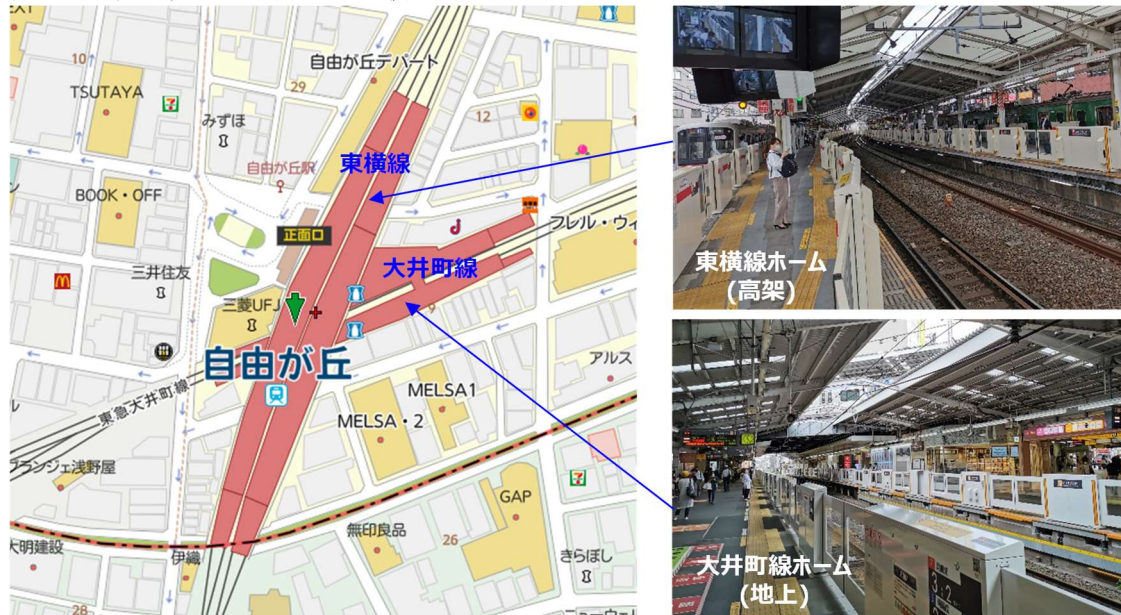


## 2.1 実施環境

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。下記図 2.1-1 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し、電波伝搬モデルの精緻化の観点で検証意義のある無線環境である為、実証環境に選定した。

- ・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

図 2.1-1) 東急電鉄自由が丘駅

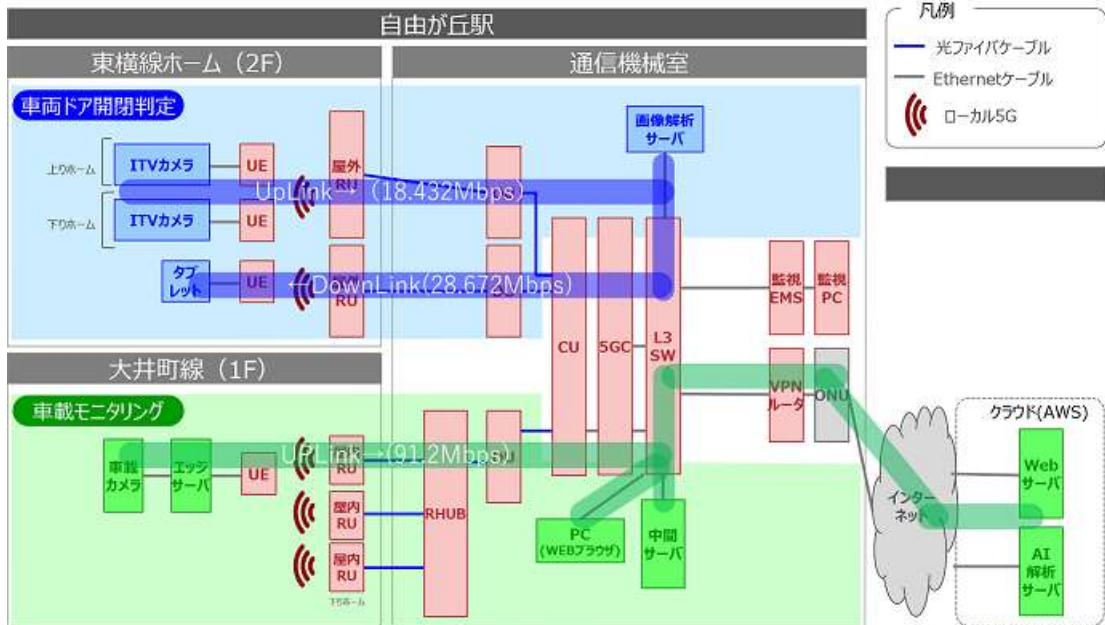


## 2.2 ネットワーク・システム構成

### 2.2.1 ローカル5Gのネットワーク構成

本実証で使用するローカル5Gのネットワーク構成を図2.2.1-1に示す。

図2.2.1-1) ローカル5Gのネットワーク構成



### 2.2.2 基地局等の無線機器の調達先等

本実証で使用する基地局等の無線機器の一覧を表2.2.2-1に示す。

表2.2.2-1) ローカル5G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  | 通信機械室              | EMS      | 富士通 | 1  | 固定   |    |
| 2  |                    | 5GC      | 富士通 | 1  | 固定   |    |
| 3  |                    | CU       | 富士通 | 1  | 固定   |    |
| 4  |                    | DU       | 富士通 | 3  | 固定   |    |
| 5  |                    | RHUB     | 富士通 | 1  | 固定   |    |
| 6  |                    | UPS      | 富士通 | 2  | 固定   |    |
| 7  | 東横線ホーム             | 屋外 RU    | 富士通 | 2  | 固定   |    |
| 8  | 大井町線ホーム            | 屋内 RU    | 富士通 | 3  | 固定   |    |
| 9  | 駅員室屋上              | GPS アンテナ | 富士通 | 1  | 固定   |    |
| 10 | 実証内容に応じて駅構内及び周辺で使用 | UE       | 富士通 | 6  | 可搬   |    |

今回設置する基地局の概要を表2.2.2-2に示す。

表 2.2.2-1 ローカル 5 G システム (基地局) の概要

|                 | 屋外型基地局(東横線ホームに設置)<br>PW-320-DU PW331-48L4A-SRU | 屋内型基地局(大井町線ホームに設置)<br>PW-320-DU PW332-pRadio |
|-----------------|--|--|
| 製造ベンダ           | 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          | 同期   | 同期   |
| UL : DL 比率      | 1:4  | 1:4  |
| 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/256QAM                        | QPSK/16QAM/64QAM/256QAM                      |
| DL 変調方式         |  |  |
| MIMO            | DL 4Layer<br>UL 2Layer                         | DL 4Layer<br>UL 2Layer                       |

### 2.2.3 ローカル 5 G の無線機器

本実証におけるローカル 5 G 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 3GPP Release15 に準拠する。以下、ローカル 5 G 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 は汎用サーバ上でソフトウェアにより実現される。5GC の主な諸元値を表 2.2.3-1 に示す。

表 2.2.3-1) 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 CU 数      | 5                                  |

## (2) CU

無線リソース制御を担う。

本実証で使用する CU は汎用サーバ上でソフトウェアにより実現される。

CU の主な諸元値を表 2.2.3-2 に示す。

表 2.2.3-2) 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 2.2.3-1 に示す。

主な諸元値を表 2.2.3-3 に示す。

図 2.2.3-1) DU のハードウェア外観



表 2.2.3-3) DU の主な諸元

| 項目          | 諸元値  |
|-------------|--|
| ユーザ数        | 64   |
| 最大スループット理論値 | DL:1.7Gbps、UL:0.2Gbps (スロット数比率 DL:UL:S=7:2:1)※ |
| 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      | 6  |
| 接続 RU 数     | 1  |

※無線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 2.3.3 章に記載する。

#### (4) 屋外 RU

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 2.2.3-2 に示す。  
 主な諸元値を表 2.2.3-4 に示す。

図 2.2.3-2) 屋外 RU のハードウェア外観

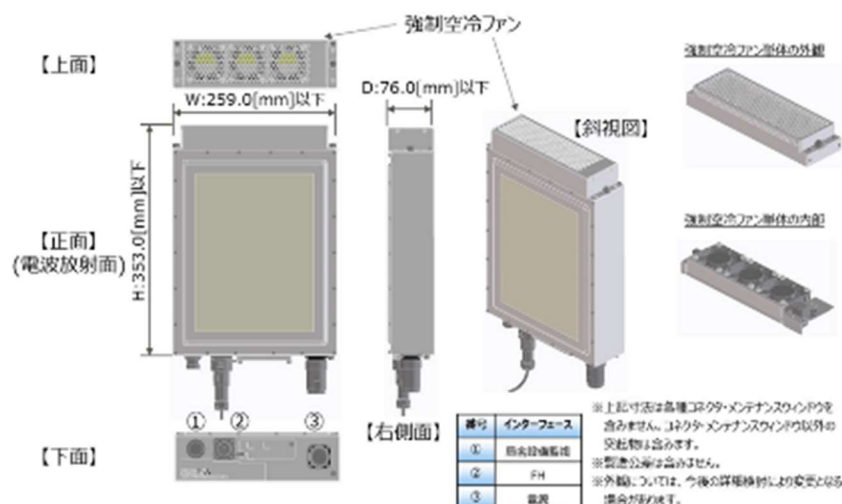


表 2.2.3-4) 屋外 RU の主な諸元値

| 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                    |
| トータル EIRP | +39.2dBm             |
| 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      | 150W typ             |
| 重さ        | <6.9kg (6kg typ)     |
| 大きさ       | 259 x 353 x 76 mm    |
| 冷却        | 強制空冷                 |
| 温度        | -10°C to +50°C       |

(5) RHUB

屋内 RU を最大 8 台収容するアンテナ集約装置である。  
ハードウェア外観を図 2.2.3-3 に示す。  
主な諸元値を表 2.2.3-5) に示す。

図 2.2.3-3) RHUB のハードウェア外観



表 2.2.3-5) 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 接続インタフェース   | eCPRI<br>SFP+/10G-LR |
| 給電             | AC100V               |
| 消費電力           | 750W                 |
| 重さ             | 6kg                  |
| 大きさ            | 440 x 300 x 44 mm    |
| 冷却             | 空冷                   |
| 温度             | -5°C to + 55°C       |
| 湿度             | 5-95%                |

(6) 屋内 RU

屋内用アンテナである。  
ハードウェア外観を図 2.2.3-4 に示す。  
主な諸元値を表 2.2.3-6 に示す。  
図 2.2.3-4) 屋内 RU のハードウェア外観



表 2.2.3-6) 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     | 4TRX               |
| EIRP      | 12.5dBm~32.5dBm    |
| 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°C to + 45°C     |
| 湿度        | 5-95% <sub>s</sub> |

(7) EMS

ローカル 5G 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。  
汎用サーバ上のソフトウェアにより実現される。  
主な諸元値を表 2.2.3-7 に示す。

表 2.2.3-7) 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 のモバイルルーター型端末である。  
ハードウェア外観を図 2.2.3-5 に示す。  
主な諸元値を表 2.2.3-8 に示す。  
図 2.2.3-5) UE のハードウェア外観



表 2.2.3-8) 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.)                      |

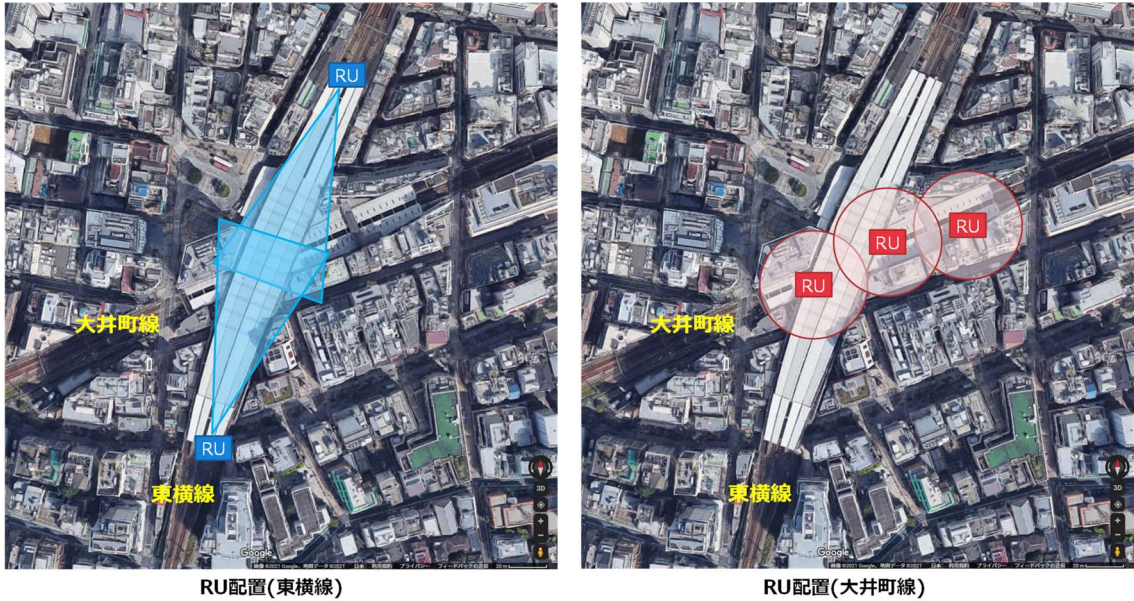
## 2.2.4 基地局エリアカバレッジ

3.2 章で後述するように、自由が丘駅は東横線と大井町線で駅ホームの水平方向の開放度が異なる。更に、横長で狭小な鉄道駅特有の自己土地形状を考慮して、東横線と大井町線は異なる指向性パターンを持つ RU(基地局アンテナ)を設置した。具体的には、線路と平行な方向を長手方向、線路と垂直な方向を短手方向と定義すると、ホーム短手方向の他者土地への干渉が懸念される東横線では、指向性を持ったビームパターンを有する屋外 RU を使用し、ホーム長手方向に横長な駅ホーム形状を踏まえてホーム両端に 1 台ずつ対向して配置した。RU のチルト角の深さやビームスイープの方向（例えばホームの長手方向にスイープするように RU を設置すると短手方向の放射を少なく抑えることができる）・スイープ範囲設定を変えてエリアシミュレーションを実施した。これにより周辺他者土地への電波の放射状況や自己土地内のエリアカバレッジを確認し、必要なエリアカバレッジを確保しつつ周辺他者土地への干渉が小さくなるようにエリア設計を実施した。一方、短手方向の他者土地への干渉が少ない見込みの大井町線は水平方向の伝搬の制約が少なく比較的自由にエリア設計することが可能なので、無指向ビームパターンを有する屋内用 RU をホーム全域に等間隔に 3 台設置した。図 2.2.4-1 に東横線と大井町線における RU 設置場所および想定ビームパターンを示す。

図 2.2.4-1) 自由が丘駅ホームのエリアカバレッジ



- RU 屋外RU(指向性ビームフォーミングアンテナ)
- RU 屋内RU(無指向性アンテナ)



## 2.2.5 課題実証の使用機器

### ◇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

#### (1) カメラ

エッジサーバに接続し、総合検測車からの走行中画像を撮影する。

表 2.2.5-1) カメラの主な諸元値

| 項目    | 諸元値  |
|-------|--|
| 端末数   | 2 台  |
| 機種    | DFK38UX253   |
| 製造ベンダ | The Imaging Source   |
| その他仕様 | 1230 万画素 / 1.1” Sony CMOS Pregius 搭載<br>4096x3000@30 フレーム/秒 / カラー<br>グローバルシャッター / C マウント<br>サイズ : 29mm x 44mm x 60mm |

#### (2) エッジサーバ

車載カメラを制御し、撮影した映像を中間サーバにアップロードする。

表 2.2.5-2) エッジサーバの主な諸元値

| 項目    | 諸元値  |
|-------|--|
| 端末数   | 2 台  |
| 機種    | Jetson AGX Xavier 開発者キット   |
| 製造ベンダ | NVIDIA   |
| その他仕様 | GPU 64 コア / CPU 8 コア / 32GB メモリ / 32GB eMMC<br>RJ45 / HDMI 2.0 タイプ A /USB Type-C x2, Type-A x1<br>サイズ 105mm x 105mm x 65mm |

### (3) 中間サーバ

エッジサーバからアップロードされた動画から静止画を切り出しクラウドへ転送する。

表 2.2.5-3) 中間サーバの主な諸元値

| 項目    | 諸元値   |
|-------|---|
| 端末数   | 1 台   |
| 機種    | ProLiant DL160 Gen10 Server                                 |
| 製造ベンダ | Hewlett Packard Enterprise                                  |
| その他仕様 | CPU 8 コア / 32GB メモリ / 960GB SSD<br>サイズ：44mm x 435mm x 615mm |

### (4) VPN ルータ

自由が丘駅機械室のサーバからインターネット経由でクラウドとセキュア通信を行う。

表 2.2.5-4) VPN ルータの主な諸元値

| 項目    | 諸元値   |
|-------|---|
| 端末数   | 1 台   |
| 機種    | RTX830  |
| 製造ベンダ | YAMAHA  |
| その他仕様 | LAN ポート x4 / WAN ポート x1<br>サイズ：220mm x 43.5mm x 160mm |

◇高精細カメラと AI を活用した車両ドア閉扉判断の高度化

(5) カメラ

東横線ホームに設置し列車乗降状況を撮影する。

図 2.2.5-1) ハードウェア外観



表 2.2.5-5) カメラの主な諸元値

| 項目                  | 諸元値  |
|---------------------|--|
| 型番                  | WV-S1572LNJ  |
| メーカー                | パナソニック株式会社   |
| 電源                  | DC12V, PoE (IEEE802.3af 準拠)  |
| 消費電力                | DC12 V : 830 mA / 約 10.0 W PoE<br>DC 48 V : 220 mA / 約 10.6 W (クラス 0 機器)                 |
| 使用環境                | 使用温度範囲 : -40 °C ~ +60 °C<br>(電源投入時 : -30 °C ~ +60 °C)<br>使用湿度範囲 : 10 % ~ 100 % (結露しないこと) |
| 寸法(W×H×D)           | 130 mm × 130 mm × 337 mm   |
| 質量                  | 約 1.7 kg   |
| ネットワーク              | 10BASE-T / 100BASE-TX, RJ45 コネクター  |
| 対応 OS               | Microsoft Windows 10/8.1 (日本語版)  |
| 画像解像度               | [16:9 モード*] ※ 4:3 モード非対応   |
| H. 265              | 3840×2160、2560×1440、1920×1080  |
| H. 264/JPEG (MJPEG) | 1280×720、640×360、320×180   |

(6) タブレット

各カメラ映像およびAI 画像解析による閉扉可否判断結果を表示する。

図 2.2.5-2) ハードウェア外観



表 2.2.5-6) タブレットの主な諸元値

| 項目        | 諸元値  |
|-----------|--|
| 型番        | CF-XZ6                                       |
| メーカー      | パナソニック株式会社                                   |
| 電源        | AC100V~240V (ACアダプタ)                         |
| バッテリー駆動時間 | 本体：約 18 時間<br>タブレット部：約 9 時間                  |
| 消費電力      | 最大時：約 45W                                    |
| 使用環境      | 温度：5~35℃<br>湿度 30~80%RH (動作時)<br>ただし、結露しないこと |
| 寸法(W×H×D) | 288.5×22.0×223.7mm (突起部含まず)                  |
| 質量        | 約 1.214kg                                    |
| ネットワーク    | 1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T               |
| OS        | Microsoft Windows 10 pro (64bit)             |
| CPU       | インテル® Core™ i7-7600U プロセッサ                   |
| メモリ       | 16GB   |
| ストレージ     | SSD 512GB                                    |
| ディスプレイ    | 12.0 型 (3:2) QHD TFT カラー液晶 (2160×1440dot)    |

(7) 画像解析装置

各カメラで取得した映像を画像解析し、状態を検知する。

図 2.2.5-3) ハードウェア外観



表 2.2.5-7) 画像解析装置の主な諸元値

| 項目        | 諸元値  |
|-----------|--|
| 型番        | HPE ProLiant DL380 Gen10 G5222                                 |
| メーカー      | 日本ヒューレット・パッカード   |
| 電源        | AC100V~120V/200~240V (50/60Hz), リダンダント構成対応                     |
| 消費電力      | 393W   |
| 使用環境      | 温度 : 10~35°C<br>湿度 8~90%, ただし、結露しないこと                          |
| 寸法(W×H×D) | 446×88×680mm (突起部含まず)  |
| 質量        | 約 19.5kg (最大)  |
| ネットワーク    | HPE Ethernet 10Gb 2-port<br>FLR-SFP+ X710-DA2 Adapter (SFP+×2) |
| OS        | Linux Ubuntu Ver.20.04 or 18.04                                |
| CPU       | インテル Xeon Gold 5222 プロセッサ 3.8 GHz                              |
| GPU       | HPE NVIDIA QUADRO RTX6000 GPU                                  |
| メモリ       | 32 GB (32GB 2Rx4 PC4-2933 RDIMM×1)                             |
| ストレージ     | 480GB MU SC 2.5"6G SATA DS SSD                                 |

(8) 録画装置

各カメラの映像データを保存する。

図 2.2.5-4) ハードウェア外観



表 2.2.5-8) 録画装置の主な諸元値

| 項目 | 諸元値          |
|----|--------------|
| 型番 | WV-NX100/1TB |

|           |   |
|-----------|---|
| メーカー      | パナソニック株式会社  |
| 電源        | DC48V/1.7 A, AC100V(ACアダプタ)   |
| 消費電力      | 付属の AC アダプター使用時 約 81.6 W<br>(DC48 V 1.7 A)  |
| 使用温度      | [本体] +5 °C ~ +45 °C<br>[マウス (付属品)] +5 °C ~ +40 °C   |
| 使用湿度      | 5 % ~ 90 %以下 (結露しないこと)  |
| 寸法(W×H×D) | 本体 : 280 mm × 44 mm × 212 mm<br>(ラックマウント金具から 203 mm) (ゴム足、突起部含まず)<br>AC アダプタ : 58 mm × 31 mm × 140 mm<br>(電源コード、DC ケーブルを除く) |
| 質量        | 本体 : 約 1.9 kg<br>AC アダプタ : 約 300g   |
| ネットワーク    | 10BASE-T / 100BASE-TX / 1000BASE-T (RJ45)   |
| HDD       | 1TB×1   |
| 最大接続数     | 4 台 (増設不可)  |

#### (9) POE インジェクタ

各カメラと UE の中間に設置され、通信を中継し電源の提供を行う。

図 2.2.5-5) ハードウェア外観



表 2.2.5-9) POE インジェクタの主な諸元値

| 項目 | 諸元値      |
|----|----------|
| 型番 | HPI-XG30 |

|           |   |
|-----------|---|
| メーカー      | ハイテクインター株式会社  |
| 電源        | AC90V～264V  |
| 消費電力      | 最大 31.92W   |
| 使用温度      | -20℃～+50℃   |
| 使用湿度      | 5 % ～ 90 %以下（結露しないこと）   |
| 寸法(W×H×D) | 2.5 mm ×35.3 mm ×137.5 mm<br>(突起部含まず)   |
| 質量        | 300g  |
| ネットワーク    | IN : RJ-45 (10/100/1000/2.5G/5G/10G BASE-T) x1 ポート<br>OUT : RJ-45 (10/100/1000/2.5G/5G/10G BASE-T) x1 ポート |
| POE 給電方式  | A方式 (IEEE802.3af/at 準拠)   |

## 2.3 システム機能・性能・要件

本実証における各課題解決システムで必要とされる要件は下記の通りである。

### 2.3.1 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

#### 2.3.1.1 スループット要件

車両に搭載した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 2 分 5 秒 データ容量 0.4GB 駅での停車時間は、35 秒以上より、アップリンクのスループットとして 91.4Mbps が必要となる。

#### 2.3.1.2 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 2.3.1.2-1 および表 2.3.1.2-1 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

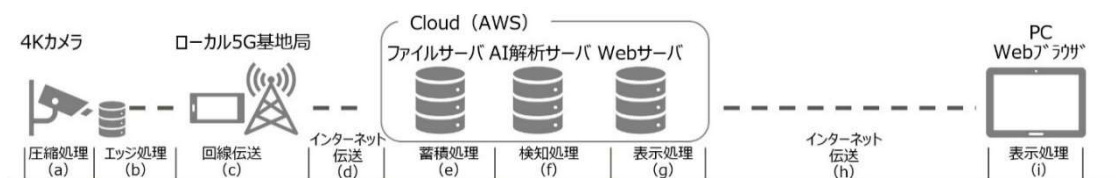


表 2.3.1.2-1) 各処理区間の遅延目標内訳

※全体の処理に要する目標時間は 4.4 章に記載する。

|     | 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           | <ul style="list-style-type: none"> <li>映像圧縮方式の最適化</li> <li>高性能カメラの導入</li> </ul> |         |
| (b) | エッジ処理     | 画像圧縮処理時間                   |   |         |
| (c) | 回線伝送      | ローカル 5 G を含む NW 伝送 (有線を含む) | <ul style="list-style-type: none"> <li>ローカル 5 G による転送時間削減</li> </ul>            | 100msec |
| (d) | インターネット伝送 | エッジ処理されたデータの伝送             |   |         |
| (e) | 蓄積処理      | 画像取込、蓄積処理、変換処理             | <ul style="list-style-type: none"> <li>高性能サーバの導入</li> </ul>                     |         |
| (f) | 検知処理      | AI 処理、処理結果送信               | <ul style="list-style-type: none"> <li>高性能サーバの導入</li> </ul>                     |         |
| (g) | 表示処理      | 表示 UI 処理処理時間               | <ul style="list-style-type: none"> <li>映像圧縮方式の最適化</li> <li>高性能端末の導入</li> </ul>  | 100msec |
| (h) | インターネット伝送 | エッジ処理されたデータの伝送             |   |         |
| (i) | 表示処理      | 圧縮方式によるデコード処理時間            | <ul style="list-style-type: none"> <li>映像圧縮方式の最適化</li> <li>高性能端末の導入</li> </ul>  |         |

## 2.3.2 高精細カメラと AI を活用した車両ドア閉扉判断の高度化

### 2.3.2.1 スループット要件

列車発車時にホームドアの閉扉を判断するためのカメラ映像をアップロードする。カメラ映像は H.265 方式で圧縮されたデータで、カメラ 1 台あたり 9.216Mbps の伝送帯域が必要であり、カメラ 2 台で合計 18.432Mbps の伝送帯域が必要となる。また、遅延時間についてはカメラ処理～結果表示処理までの全体で 900msec 以内であることが必要である。そのうち、カメラの映像圧縮処理に 100msec、映像に対するホームドア閉扉判定の AI 処理に 500msec、映像データの展開表示処理に 100msec が必要なため、ローカル 5 G システムの伝送時間は 100ms 以内とする必要がある。

### 2.3.2.2 遅延時間要件

4 Kカメラでの映像データ圧縮処理から車両ドア閉扉判断結果をタブレット端末に表示



するまでの全体の処理に要する遅延時間として 900ms 以内を目標値とする。ただし、既成カメラ内部処理で実測できないため 200msec と想定する。

全体に含まれる処理の内訳について図 2.3.2.2-1 および表 2.3.2.2-1 に示す。

図 2.3.2.2-1) 本課題実証ユースケースにおける各処理の時間区間

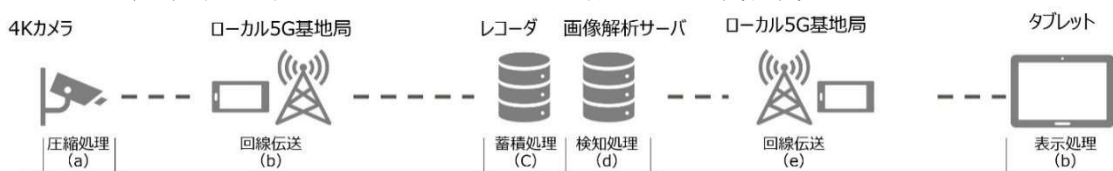


表 2.3.2.2-1) 各処理区間の遅延目標内訳

|     | 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<br>(4K/10fps) | <ul style="list-style-type: none"> <li>映像圧縮方式の最適化</li> <li>高性能カメラの導入</li> </ul> | 200msec |
| (b) | 回線伝送 | ローカル 5 G を含む NW 伝送<br>(有線を含む)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>ローカル 5 G による転送時間削減</li> </ul>            | 50msec  |
| (c) | 蓄積処理 | 画像取込、蓄積処理、変換処理                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>高性能サーバの導入</li> </ul>                     | 300msec |
| (d) | 検知処理 | AI 処理、処理結果送信                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>高性能サーバの導入</li> </ul>                     | 200msec |
| (e) | 回線伝送 | ローカル 5 G を含む NW 伝送<br>(有線を含む)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>ローカル 5 G による転送時間削減</li> </ul>            | 50msec  |
| (f) | 表示処理 | 圧縮方式によるデコード処理時間                | <ul style="list-style-type: none"> <li>映像圧縮方式の最適化</li> <li>高性能端末の導入</li> </ul>  | 100msec |

### 2.3.3 ローカル 5 G システムの性能

本実証で使用するローカル 5 G システムにおけるスループット理論値を表 2.3.3-1) に示す。

実運用における良好な無線環境での実質的なスループットとしては理論値の 50%である 100Mbps 程度が実効スループットと考えられる。2.3.1 章および 2.3.2 章に記載の各課題実証の要求スループットについては、それぞれ異なるセルでの運用であり、実効スループットにて実現可能である。なお、本実効スループットについてはこれを上限とするものではなく、実フィールド環境でのローカル 5 G システムの各種パラメータのチューニングを実施した。

表 2.3.3-1) ローカル 5 G システムのスループット理論値

| DL スループット | UL スループット | 条件 |
|-----------|-----------|----|
|-----------|-----------|----|

|          |          |  |
|----------|----------|--|
| 1. 7Gbps | 0. 2Gbps | <ul style="list-style-type: none"> <li>・帯域幅 100MHz</li> <li>・TDD スロット比率 D:U:S=7:2:1</li> <li>・MIMO レイヤ数 DL:4、UL:2</li> <li>・256QAM (DL/UL とも)</li> </ul> |
|----------|----------|--|

## 2.4 免許及び各種許認可

本実証においては住友商事を免許人として、4.7GHz 帯システム(4.8～4.9GHz 帯)の実験局免許を取得した。

実験局免許取得スケジュール(実績)を下表(図 2.4-1)に示す。

無線局免許の取得にあたっては、無線局の設置予定の場所周辺の携帯電話事業者が開局している、又は開局予定のキャリア 5G 及びローカル 5G 等の無線局との共用調整の上、携帯電話事業者及びローカル 5G の免許人等の合意を得た上で実施した。

上記合意取得後、総務省関東総合通信局に無線局免許申請を行い、実証試験開始までに無線局免許を取得した。無線局免許番号は表 2.4-2) 無線局名及び免許番号 に示す。

表 2.4-1) 実験局免許スケジュール(実績)

| 項目        | 実績        |
|-----------|-----------|
| 実験試験局免許申請 | 2021/10/4 |
| 実験試験局免許取得 | 2021/11/8 |
| 免許期限      | 2022/9/30 |

表 2.4-2) 無線局名及び免許番号

| 無線局名                              | 免許番号        |
|-----------------------------------|-------------|
| すみしょうじゅうがおかL 5G じっしょうじ っけんおくがい 1  | 関実第 47782 号 |
| すみしょうじゅうがおかL 5G じっしょうじ っけんおくがい 2  | 関実第 47783 号 |
| すみしょうじゅうがおかL 5G じっしょうじ っけんおくない 1  | 関実第 47784 号 |
| すみしょうじゅうがおかL 5G じっしょうじ っけんおくない 2  | 関実第 47785 号 |
| すみしょうじゅうがおかL 5G じっしょうじ っけんおくない 3  | 関実第 47786 号 |
| すみしょうじゅうがおかL 5G じっしょうじ っけんいどう 1～6 | ABUO03586   |

## 2.5 その他要件

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3年3月15日

### 2. 開発供給計画認定番号

2021 開1 総経第 0002 号-1

### 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した。

### 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

| 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-0 | ・ 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>・ アンテナ一体型<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                          |

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又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、取得するデータや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。

実証に用いる機材の事前品質担保のため、現地での実証に先立って1週間程度の日程を設け、下表に示す内容の事前品質確認を実施した。

|   | 分類         | 機材           | 品質確認方法  | 備考 |
|---|------------|--------------|---|----|
| 1 | ローカル5G通信   | UE           | 既設のローカル5Gシステムにおいてスループットを測定  |    |
| 2 | 測定器        | エリアテスタ       | 校正されていることを確認。<br>既設のローカル5GシステムにおいてSS-RSRPの測定データが所定の周期で所定のサンプル数として取得できることを確認 |    |
| 3 |            | Nemo Outdoor | 既設のローカル5Gシステムにおいてスループット測定ができることを確認  |    |
| 4 | 車載モニタリング   | 車載カメラ        | 想定する画角での映像が撮影できることを確認   |    |
| 5 |            | エッジサーバ       | カメラを制御し映像を撮影し、正しくエンコーディングの上、転送できることを確認                                      |    |
| 6 |            | 中間サーバ        | 受信した動画から所定の頻度で静止画を切り出せることを確認  |    |
| 7 | 車両ドア閉扉判定支援 | ITVカメラ       | ITVカメラとPoEインジェクタと評価用パソコンを接続し、カメラからの映像出力を評価用パソコンで確認                          |    |
| 8 |            | PoEインジェクタ    | ITVカメラとPoEインジェクタと評価用パソコンを接続し、カメラからの映像出力を評価用パソコンで確認                          |    |
| 9 |            | タブレット端末      | OSが正常に起動し、操作できることを確認  |    |

上記機材の品質確認の後、現地での実証に先立って、ラボ環境(シールドルーム等)にローカル5Gシステムの系を構築し、下表に示す項目について機能動作確認及び性能確認を実施した。

| 項番 | 分類         | 確認項目                | 確認内容  | 備考                             |
|----|------------|---------------------|---|--------------------------------|
| 1  | ローカル5G通信   | スループット性能            | UEに接続したPCとN6インタフェースに接続したPCとの間のデータ通信において正常なスループット値が得られることを確認 | 課題実証システムへの提供性能の観点からiPerfツールで測定 |
| 2  |            | 遅延性能                | UEに接続したPCとN6インタフェースに接続したPCとの間のデータ通信において正常な遅延時間値が得られることを確認   | 課題実証システムへの提供性能の観点から、pingツールで測定 |
| 3  | 車載モニタリング   | 通信トリガー転送時間          | エッジサーバがローカル5G通信を検知して、撮影映像を中間サーバに送信できることを確認し、スループットを測定       |                                |
| 4  | 車両ドア閉扉判定支援 | カメラ映像の画像解析サーバでの確認   | カメラ映像がローカル5Gを通じて検証用パソコンで表示できることを確認                          |                                |
| 5  |            | カメラ映像のタブレット端末での表示確認 | カメラ映像がローカル5Gを通じてタブレット端末で表示できることを確認                          |                                |

## 2.6 実証環境の運用

実証開始前には、実証参加者に対するシステム利用に関する研修を実施する等、適切な方法により、実証目的及び実証内容等の説明を実施した。実証期間中、ヘルプデスクを設置する等、実証参加者等からの問合せ等に対応するとともに、不具合が発生した場合に備え、迅速な対応体制を整備し、原因を特定し対処する。実証期間中の実証環境に係る不具合や問合せ等は記録することとし、実証成果の取りまとめを実施した。

### 【運用・保守管理作業一覧】

- ・電波送信
- ・電波停止
- ・保守交換

### 【運用・保守管理体制】



### 3. 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

2章で構築したローカル5Gの実証環境において、4.7GHz帯における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。都市部の鉄道駅である自由が丘駅は、半屋外の横長・狭小な2路線（東横線・大井町線）のホームが立体交差し、他者土地の建物が近接して存在する環境で、半屋外環境での電波伝搬を調査・検証した。

本技術実証では、まず3.3.1章において自由が丘駅での電波伝搬測定を行い、現行のエリア算出法で規定するエリアカバレッジや調整対象区域が半屋外環境でどの程度実測と乖離しているかを確認すると共に、4章の課題実証で要求される無線性能がエリアカバレッジ内で実現できているかを確認した。更に、3.3.2章において、現行のエリア算出法で規定されているパラメータのうち、周辺環境の影響として100m以上の地点で適用されるSと、現行では屋内に基地局を設置する場合に使用が限定されているRを対象として、半屋外環境に適したSやRの値の導出を狙った電波伝搬モデルの精緻化を実施した。（表3.1-1）

表 3.1-1 技術実証の概要

| 項目            |                             |                   | 該当（○、×） |
|---------------|-----------------------------|-------------------|---------|
| 技術実証の<br>実施環境 | 周波数帯                        | 4.7GHz 帯          | ○       |
|               |                             | 28GHz 帯           | ×       |
|               |                             | キャリア5Gの周波数帯       | ×       |
|               | 屋内外                         | 屋内                | ×       |
|               |                             | 屋外                | ×       |
|               |                             | 半屋内               | ○       |
|               | 周辺環境                        | 都市部               | ○       |
|               |                             | 郊外                | ×       |
|               |                             | 開放地               | ×       |
|               |                             | その他               | ×       |
| テーマ別<br>実証    | I. 電波伝搬モデルの<br>精緻化          | Kの精緻化             | ×       |
|               |                             | Sの精緻化             | ○       |
|               |                             | Rの精緻化             | ○       |
|               |                             | その他の精緻化           | ×       |
|               | II. 電波反射板による<br>エリア構築の柔軟化   | 実施の有無             | ×       |
|               | III. 準同期 TDD の追<br>加パターンの開発 | TDD2 の検討          | ×       |
|               |                             | TDD3 の検討          | ×       |
|               |                             | TDD2、3 以外のパターンの検討 | ×       |
|               |                             | 追加パターンを具備した実機での検証 | ×       |
|               | IV. その他のテーマ                 | 実施の有無             | ×       |

### 3.2 実証環境

第 2.2 章に示すように、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、図 3.2-1 のように高架を走る東横線と地上を走る大井町線が立体交差する東京南部の主要な鉄道駅で、東横線と大井町線で駅ホームの空間開放度が異なる半屋外環境(屋根は存在するが、壁で密閉されてはいない空間)である。自由が丘駅は一般的な都市部の駅で見られる構造的特徴を多数有し、電波伝搬モデルの精緻化の観点で検証意義のある無線環境である為、本実証の実証環境として選定した。その判断のポイントを表 3.2-1 に示す。免許申請時にカバーエリアおよび調整対象区域の算出に使用される現行の電波伝搬モデルは、屋外または屋内に基地局を設置するケースを前提に、ローカル 5 G の導入環境を市街地/郊外地/開放地のような大まかな分類で扱っており、自由が丘駅のような都市部の横長・狭小の半屋外環境には十分対応できておらず、当該環境でのローカル 5 G の利活用に向けて電波伝搬モデルの精緻化が必要と考える。

図 3.2-1) 東急電鉄自由が丘駅

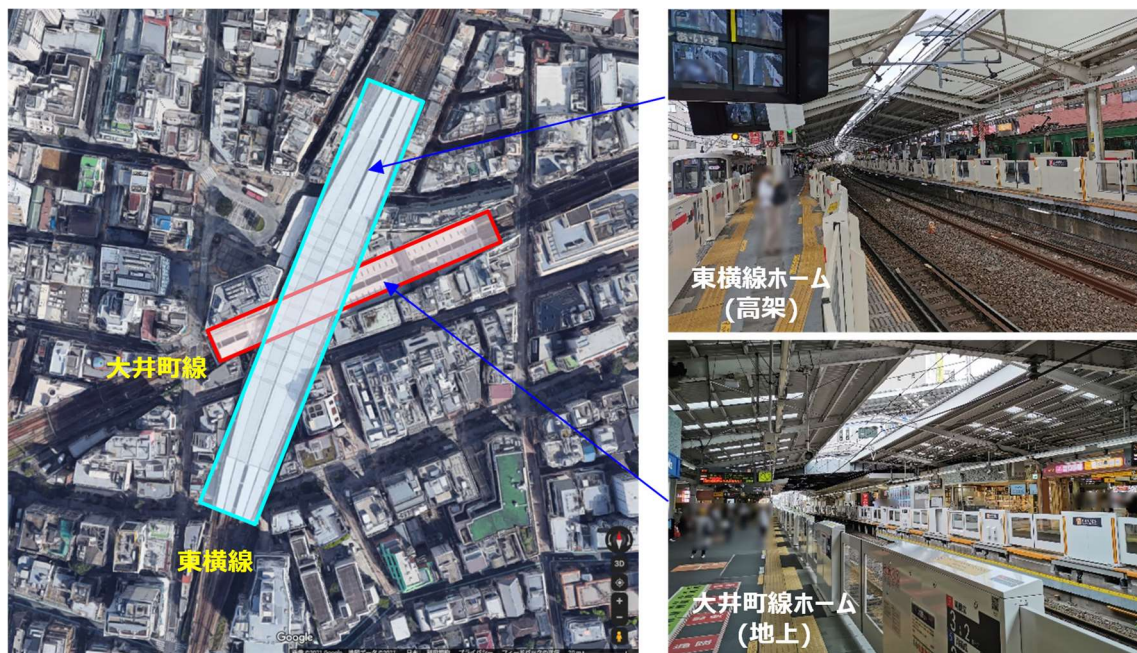


表 3.2-1) 自由が丘駅の構造的特徴と無線伝搬との関連

| 構造的特徴        | 無線伝搬との関連                 |
|--------------|--------------------------|
| 半屋外環境        | 壁の形状・有無によって異なる多様な伝搬環境    |
| 横長・狭小な形状     | ホーム長手方向と短手方向で異なる伝搬環境     |
| 地上線と高架線の立体交差 | 垂直方向の伝搬により、自己土地内で干渉の可能性  |
| 他者土地の建物が近接   | エリアの染み出し、当該建物による自己土地への反射 |

以下に、自由が丘駅の構造的特徴を踏まえた、無線環境について説明する。



### (1) 駅ホームの水平方向の電波伝搬について

ホーム長手方向は東横線と大井町線でほぼ共通した特徴を持ち、行先案内板やモニタ等の業務用設備、エレベータボックスなどの障害物がホーム上に存在し(図 3.2-2 参照)、基地局アンテナの設置位置によっては電波伝搬に影響を及ぼす可能性がある。また、ホーム両端は線路に沿って大きく開けているため、線路脇の他者土地への干渉漏洩が懸念される。一方、駅ホームの短手方向では、東横線と大井町線で他者土地に対するホーム上部の開放度が異なる。図 3.2-3 に示すように、東横線はオープン(壁なし or 線路から高さ 0.5m 程度の壁)、腰高壁(線路から高さ 1.5m 程度の壁)、目隠しフェンス(線路から高さ 2.5m 程度)等の高さや材質が異なる障害物が存在し、当該障害物の上部から他者土地に漏洩する電波干渉レベルが場所によって異なることが予想される。一方、大井町線は図 3.2-4 に示すように、ホーム両端や連絡通路を除いて屋根まで繋がった開放部分のない壁が用いられており、自己土地から他者土地への水平方向の電波漏洩は東横線よりも小さいことが見込まれる。

図 3.2-2) ホーム上の障害物の例

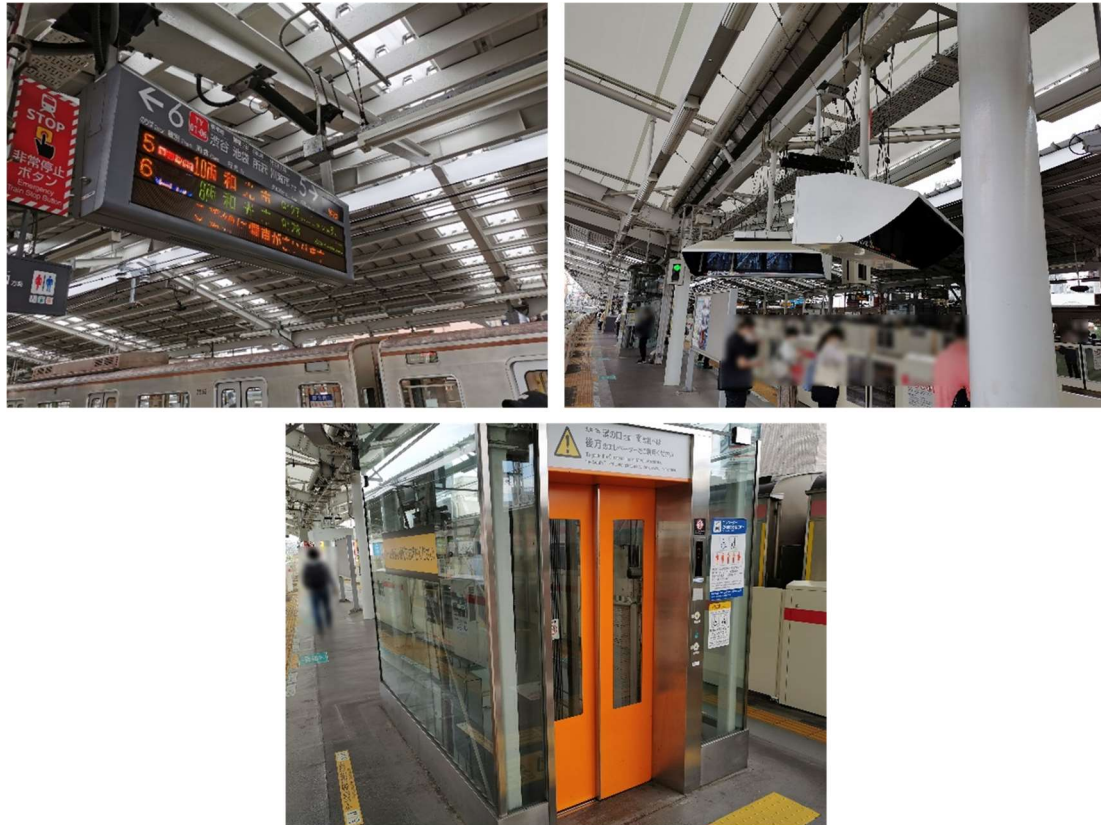


図 3.2-3) 東横線ホーム



図 3.2-4) 大井町線ホーム



## (2) 駅ホームの垂直方向の電波伝搬について

自由が丘駅は東横線と大井町線が立体交差する構造のため、各線のホームに個別にローカル5Gのセルを構築する場合、ホーム間での電波干渉が予想される。東横線、大井町線ともに天井の大部分は金属性の屋根が使用されているが、採光用のプラスチック素材が部分的に用いられていることに加えて、上り線と下り線の境界部分は隙間が空いており、特に大井町線は境界部分の隙間が大きい。図3.2-5に示すように、東横線ホームの大井町線との立体交差部分は壁がなくオープンなため、東横線で放射された電波が大井町線のホームや連絡通路(陸橋)に干渉を及ぼす可能性が高い。

図3.2-5) 東横線と大井町線の立体交差部分



## (3) 近接する他者土地の建物による影響

自由が丘駅は駅を中心に商業地が広がる都市部の駅であり、図3.2-6に示すように、商業店舗や雑居ビル等の他者土地の建物が駅の敷地境界から最短1m程度の距離に存在する。特に東横線では壁や目隠しフェンスがないオープンな場所もあり、水平方向の開放性が高いため、横長で狭小な自己土地(駅ホーム)を単純にエリア化すると、隣接する他者土地への与干渉が課題となる。一方で、他者土地内に設置された乗客向けの広告看板(金属製)や透過率の低い建物による反射によって、自己土地内のカバレッジが充実化する効果も予想される。従って、自由が丘駅のような他者土地の建物が近接する半屋外環境では、自己土地内のカバレッジだけでなく、他者土地への与干渉も考慮したエリア構築が必要となる。

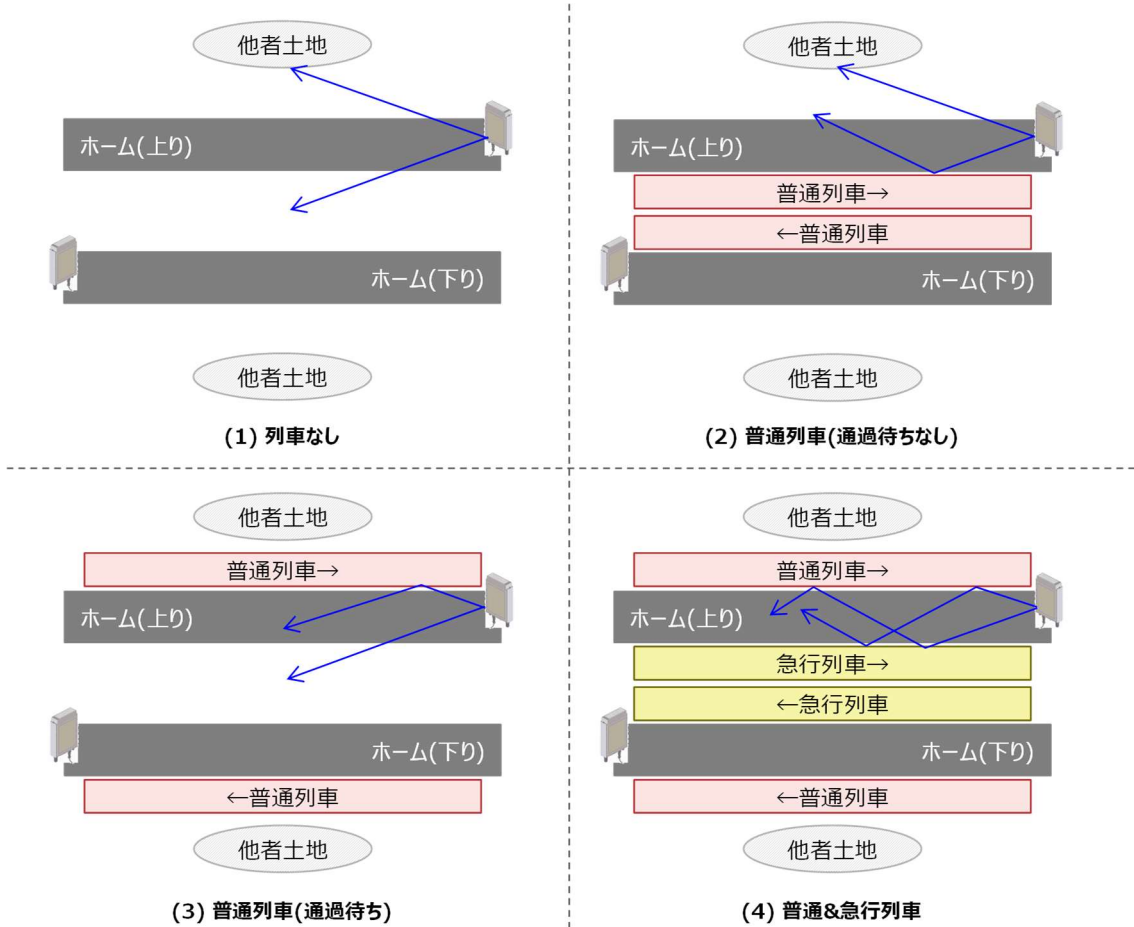
図 3.2-6) 近接する他者土地の建物の例



#### (4) 列車の有無による電波伝搬への影響

自己土地内での電波伝搬および他者土地への電波漏洩はいずれも、駅ホームに停車中の電車が存在するかどうかで左右される。東横線を例に列車の有無による伝搬の違いを考えると、図 3.2-7 に示すように、普通列車の通過待ち有無や急行列車の停車も含めて 4 つのパターンが存在する。説明簡易化のため、図中では屋根と車両上部の空間から抜ける電波は無視し、ホーム長手方向に基地局アンテナの送信面を向けた場合を想定しているが、停車する線路の違いによって自己土地内および他者土地への電波伝搬が異なる。例えば、普通列車が通過待ちのために停車する(3)(4)のケースでは、他者土地方向の電波は普通列車で反射されて自己土地内の方向に伝搬するが、普通列車が通過待ちをしない(2)のケースでは、車両に反射されて他者土地方向に伝搬することが予想される。従って、駅ホームにローカル 5 G のセルを構築する際は、列車の有無による電波伝搬の差異を把握した上で、他者土地への電波漏洩を考慮したエリア設計が必要である。

図 3.2-7) 東横線における列車有無による伝搬の違い



### 3.3 実証内容

#### 3.3.1 ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

- ・ 本実証では2.3章で示したように、東横線のホームに屋外RUを2台、大井町線のホームに屋内RUを3台設置することで駅構内をカバーするようにエリアを構成する
- ・ 電波法関係審査基準（平成13年度総務省訓令第67号）が規定するエリア算法（以下、エリア算法と記載）に基づき、各RUによるカバーエリアおよび調整対象区域を表す図面を作成する

この図面に示されるエリアに関して、本章では以下の検証を実施した。

##### (1) エリア算法の閾値の検証

エリア算法によるカバーエリア端および調整対象区域端における実際の受信電力を測定し、エリア算法における閾値との比較および閾値が実測される位置を確認することにより、エリア算法における閾値の検証を実施した。

## (2) カバーエリア内のローカル5Gの性能評価

カバーエリア内の20以上の測定点において、受信電力および伝送性能（アップリンク（以下、UL）/ダウンリンク（以下、DL）別の伝送スループット、伝送遅延）を測定し、課題実証システムで要求される性能を実現できるかどうかを検証した。また、要求性能を実現できない場合は実測データに基づき必要なローカル5Gを構築する方策を導出した。

### 3.3.1.1 実証目標

本実証においては、各課題実証システムで求められるローカル5Gの性能として、表3.3.1.1-1に示す性能を満たすことを目標とする。

表 3.3.1.1-1) ローカル5Gの所要性能

|                     | 車載モニタリング | ホームドア閉扉支援         | 総合性能要件            |
|---------------------|----------|-------------------|-------------------|
| 上りスループット            | 91.4Mbps | 18.432Mbps        | 91.4Mbps          |
| 端末-コアネットワーク間の伝送遅延時間 | -        | 100ms<br>(上り下り往復) | 100ms<br>(上り下り往復) |

上りスループットに関する所要性能の根拠については、車載モニタリングに関しては2.3.1.1章を、ホームドア閉扉支援については2.3.2.1章をそれぞれ参照のこと。

遅延時間に関する所要性能の根拠については、2.2.1.2章及び2.3.2.2章をそれぞれ参照のこと。

### 3.3.1.2 評価・検証項目

本章の実証を通じて評価・検証する項目を以下に示す。

#### (1) エリア算出法の閾値の検証

本検証では受信電力として表3.3.1.2-1に示す項目を評価・検証した。

表 3.3.1.2-1) エリア算出法の閾値の検証における評価・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) カバーエリア内のローカル5G の性能評価

本検証では(1)で示した受信電力のほか、表 3.3.1.2-2 に示す項目を評価・検証した。

表 3.3.1.2-2) カバーエリア内のローカル5G の性能評価における評価・検証項目

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

### 3.3.1.3 評価・検証方法

本章における検証項目の評価・検証方法を以下に説明する。

3.3.2 章以降の実証に向けた基礎データ取得の観点から、停車車両や通過列車のない時間帯での測定をした。

## (1) エリア算出法の閾値の検証

以下の各ステップを実施することにより検証した。

本検証においては、測定に際しては対象となる1つのRUのみ電波を発射している状態とし、他のRUについては停波しておくものとする。

### 1) カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端位置の図示

屋外RUを設置する東横線ホームおよび屋内RUを設置する大井町線ホームにおいて、それぞれのRUからの距離に応じた電界強度をエリア算出法の計算式から机上計算で算出し、カバーエリアおよび調整対象区域となる閾値相当の位置を各ホームの平面図上にプロットする。カバーエリア、調整対象区域の各閾値を表 3.3.1.3-1 に示す。

表 3.3.1.3-1) エリア端の閾値

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

## 2) 各エリア端位置での電界強度の実測

各 RU について、エリア端位置に相当する 5 地点以上の地点を選択し、選択した地点において、表 3.3.1.2-1 に記載の測定項目を測定した。測定には電界強度測定器（アンリツ社製のエリアテスタ(ML8780A)）を使用した。測定は 0.04 秒間隔で 1 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、 $\sigma$ 、上位 10%値、下位 10%値を求めた。定在波の影響を避けるため、一つの測定点において、測定時間中は測定器のアンテナを水平面で半径 30cm の円周上を 15 秒ごとに 90° ずつ回転させることにより、 $10\lambda$  ( $\lambda$  は波長、 $10\lambda =$  約 60cm) の範囲で測定位置を動かしながら測定した。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した。

## 3) 実測値とエリア算出式における閾値との比較

測定した実測値とエリア算出式における各エリア端に相当する閾値（表 3.3.1.3-1）とを比較した。

## 4) 閾値が得られる実測地点の確認

3) の結果、実測値と閾値が 3dB 以上異なる場合は、RU と実測値が得られた地点の周辺を移動し、閾値が得られる地点の位置を確認した。

## 5) 実測と閾値の得られる地点の平面図上へのプロット

エリア算出式で閾値となる地点と、実測にて閾値が得られる地点について、平面図上にプロットした。

## (2) カバーエリア内のローカル 5 G の性能評価

カバーエリアに相当するエリアについて、主にカバーエリアとなる東横線および大井町線ホームおよび線路上のそれぞれについて測定地点を設け、各測定地点での受信電力およびスループット、遅延時間を測定した。線路上での測定や旅客の影響などを考慮し、測定作業は主に夜間を実施する。本評価ではエリアのカバレッジを確認する観点から、すべての RU の電波を送信状態として実施した。

東横線および大井町線における測定地点をそれぞれ図 3.3.1.3-1 および図 3.3.1.3-2 に示す。



図 3.3.1.3-1) 東横線における測定地点

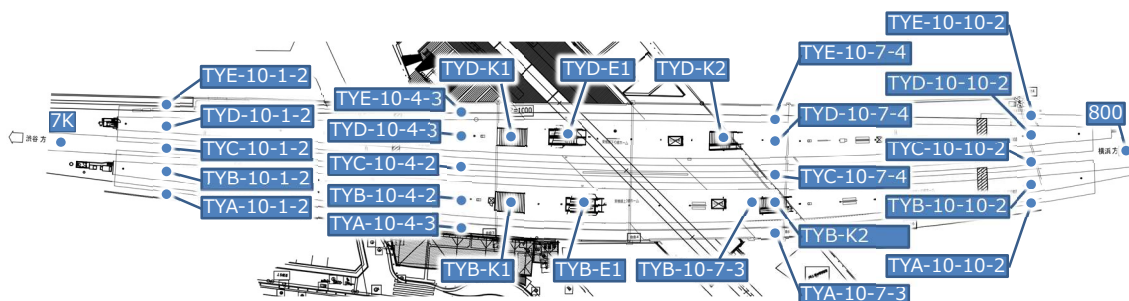
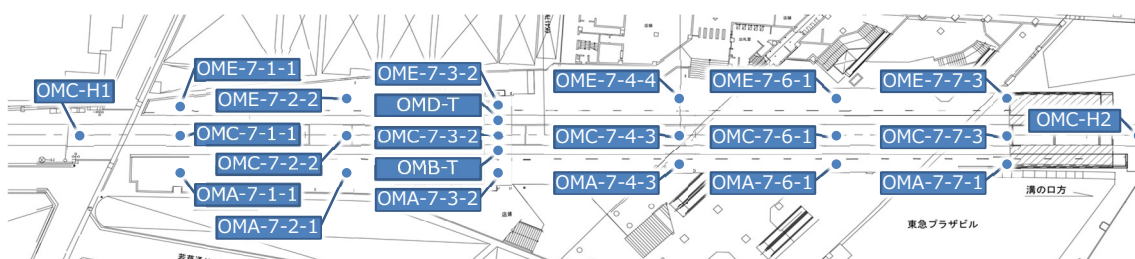


図 3.3.1.3-2) 大井町線における測定地点



### 1) 受信電力の測定

表 3.3.1.2-1 の測定項目を電界強度測定器（アンリツ社製のエリアテスタ (ML8780A)）により測定した。測定は 0.04 秒間隔で 1 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、 $\sigma$ 、上位 10%値、下位 10%値を求めた。定在波の影響を避けるため、一つの測定点において、測定時間中は測定器のアンテナを水平面で半径 30cm の円周上を 15 秒ごとに  $90^\circ$  ずつ回転させることにより、 $10\lambda$  ( $\lambda$  は波長、 $10\lambda = \text{約 } 60\text{cm}$ ) の範囲で測定位置を動かしながら測定した。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した。

### 2) スループットの測定

表 3.3.1.2-2 の No. 1 および No. 2 の項目を 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）により測定した。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した。測定時間は 1 測定地点あたり 上り/下り各 1 分間とし、平均値を求めた。

### 3) 遅延時間の測定

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した。取得したログから HARQ の再送遅延時間の平均値を取得した。平均値を取得する測定時間は 1 測定地点あたり 1 分間とした。

大井町線における測定地点を図 3.3.1.3-3 に示す。各測定地点における受信電力およびスループット、遅延時間の測定は上記東横線と同様の方法で実施した。

### 3.3.1.4 実証結果及び考察

#### (1) エリア算出法の閾値の検証

3.3.1.3(1) 5) に記載したように各 RU について、エリア算出法でカバーエリアおよび調整対象区域の閾値となる地点と実測でカバーエリア、調整対象区域の閾値となる地点とを平面図上にプロットした図面を以下に示す。

また、基地局のホーム長手方向からの角度に対するカバーエリアと調整対象区域のエリア端までの距離について、エリア算出式と実測での値をプロットした図面を以下に示す。

ここでは、各地点を以下の表記で示している。

カバーエリア算出地点：[C + 数字]

カバーエリア実測地点：[C' + 数字]

調整対象区域算出地点：[A + 数字]

調整対象区域実測地点：[A' + 数字]

受信電力値のカバーエリア、調整対象区域の閾値については表 3.3.1.3-1) に記載のエリア端の閾値から SS-RSRP 測定値に換算した値(表 3.3.1.4-(1)-1)を用いて実施した。

表 3.3.1.4-(1)-1) 受信電力の閾値の SS-RSRP 換算値

|        | 算出法によって定められている受信電力の閾値 | SS-RSRP に換算した値 |
|--------|-----------------------|----------------|
| カバーエリア | -84.6 dBm             | -119.8 dBm     |
| 調整対象区域 | -91 dBm               | -126.2 dBm     |

図 3.3.1.4-(1)1) -1 エリア算出法の閾値の実測地点 (RU1)

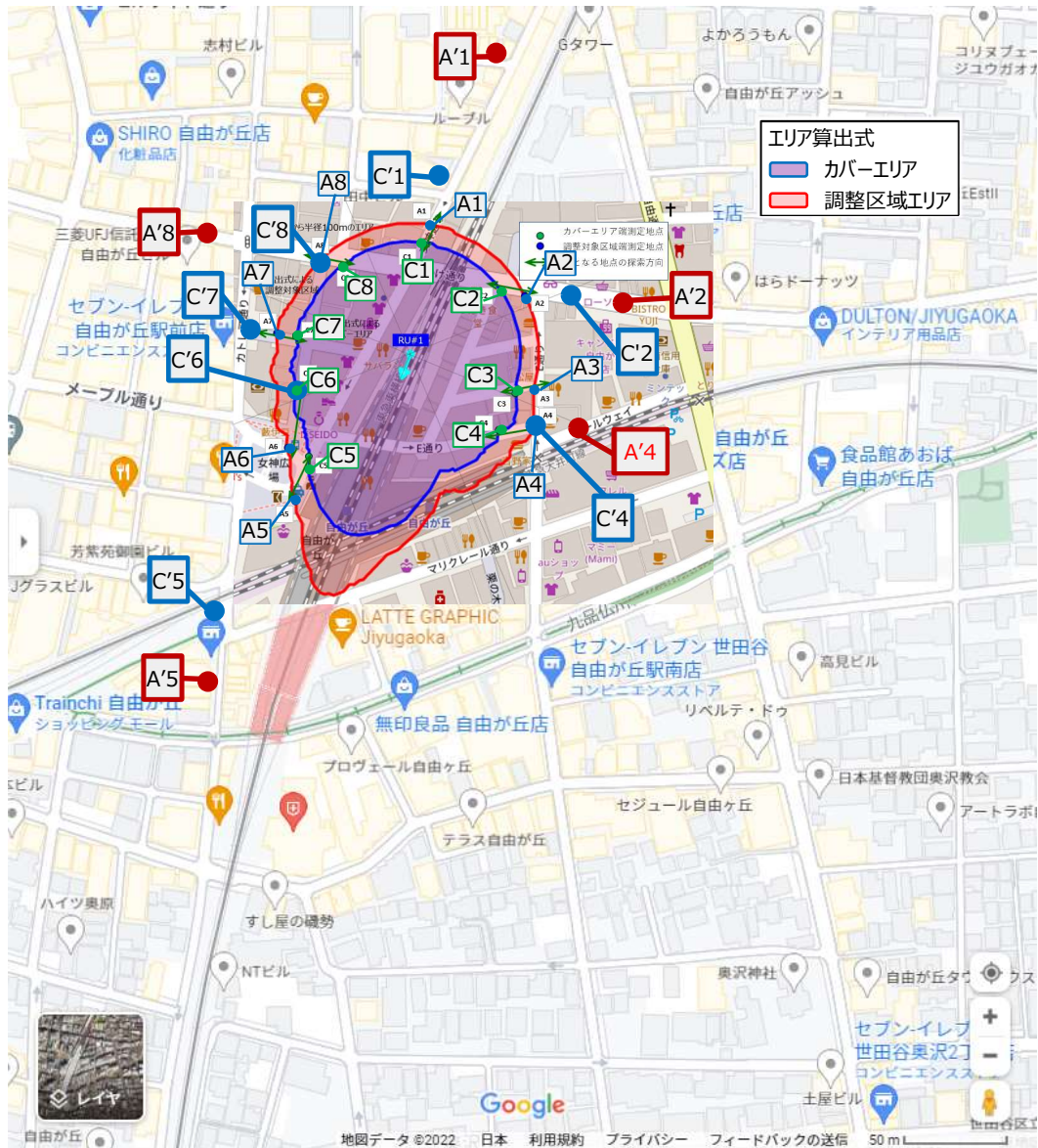


図 3.3.1.4-(1)1) -2 ホーム長手方向と基地局からの距離[カバーエリア] (RU1)

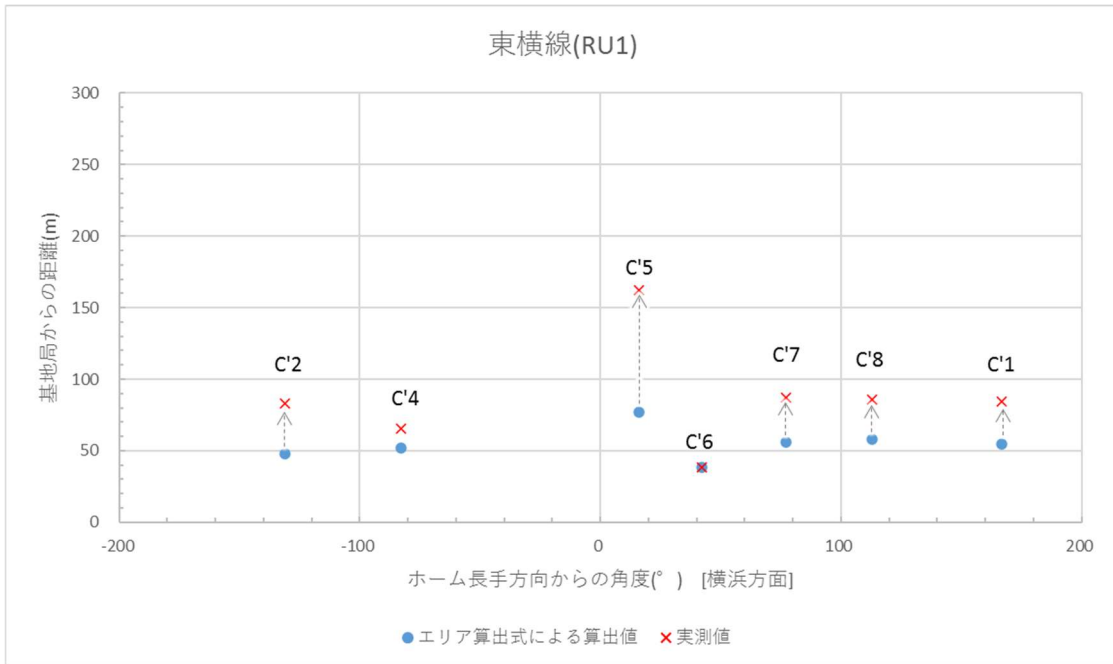


図 3.3.1.4-(1)1) -3 ホーム長手方向と基地局からの距離[調整対象区域] (RU1)

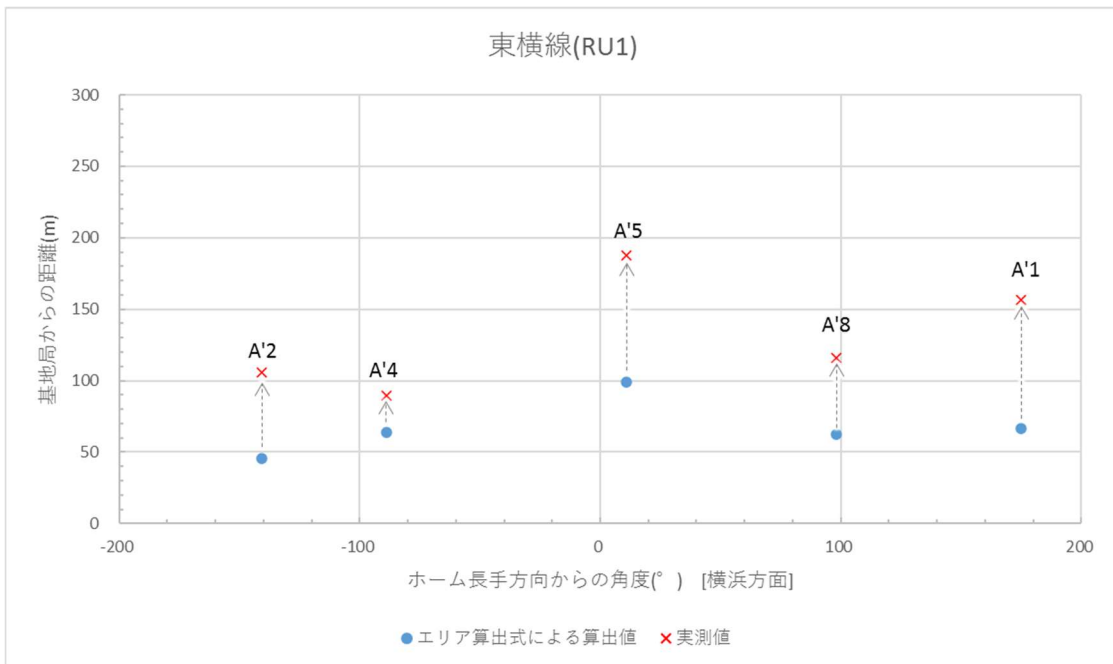


表 3.3.1.4-(1)2) エリア算出法の閾値[測定値] (RU1)

| RU1 | カバーエリア算出地点<br>[C]<br>SS-RSRP[dBm] | カバーエリア実測地点<br>[C']<br>SS-RSRP[dBm] | 調整対象区域算出地点<br>[A]<br>SS-RSRP[dBm] | 調整対象区域実測地点<br>[A']<br>SS-RSRP[dBm] |
|-----|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1   | -109.6415                         | -119.7821                          | -118.2683                         | -127.1358                          |
| 2   | -114.4548                         | -117.879                           | -117.463                          | -123.3071                          |
| 3   | -125.2396                         | -                                  | -126.8295                         | -                                  |
| 4   | -113.0713                         | -117.8057                          | -117.8057                         | -128.0767                          |
| 5   | -101.3701                         | -118.693                           | -103.4951                         | -124.3132                          |
| 6   | -118.6485                         | -118.6485                          | -106.7005                         | -                                  |
| 7   | -123.9451                         | -122.7012                          | -130.4658                         | -                                  |
| 8   | -116.4002                         | -118.7188                          | -118.7188                         | -127.5429                          |

地図上のプロット位置の状況から、全体的に算出式結果よりも遠くまで電波が伝搬していることがわかる。測定可能ポイントが基地局からみて比較的開けた放射線上に近い道路・線路沿いであったため、市街地算出式の結果よりも郊外地、開放地の条件に近いものとなり、遠くまで電波が伝搬したと考えられる。

A5、A6 に特にその傾向がみられ、

A5 地点では+16.3dB

A6 地点では+13.1dB となった（調整対象区域の閾値である-126.2 dBm 比）。

A5、A6 方向は線路の敷設されているラインに近く、建物による遮蔽影響が少なかったためと考えられる。

ただし算出式でのカバーエリア端 C3, C7, 調整対象区域算出地点 A3, A7 での測定結果は C'3, C'7, A'3 の測定点よりも RU1 に近い側にあるにも関わらず、それぞれの閾値（カバーエリア-119.8 dBm、調整対象区域-126.2 dBm）を下回る結果であった。

C3(-125.2dbm) [カバーエリア比：-5.4dB],

C7(-123.9dbm) [カバーエリア比：-4.1dB]

A3(-126.8dbm) [調整対象区域比：-7.0dB],

A7(-130.5dbm) [調整対象区域比：-10.6dB]

これは市街地の建物による反射等により局地的に電波が減衰したためであると考えられる。

C'3、A'3、A'7 については測定値が取得できていない。それぞれの地点の測定ラインの延長線上に建物が存在しており、建物を隔てた先には電波が届いておらず、検出できなかったためである（A'6 は A'5 方向に統合）。

また、RU1 についてホーム長手方向からの角度によってカバーエリア算出式との差分をグラフで確認した。(×点は基地局 (RU) からの距離を示す。青点は基地局 (RU) から×点と同じ方向 (角度が×点と同一) で算出式にて閾値が得られる距離を示している。) 全体的に算出式結果よりも遠くまで電波が伝搬しており、特に長手方向(0 度近く)への影響が大きいことが確認できた。RU1 は正面方向に指向性をもっていることから、このような結果となったと考えられる。

図 3.3.1.4-(1)2) -1 エリア算出法の閾値の実測地点(RU2)

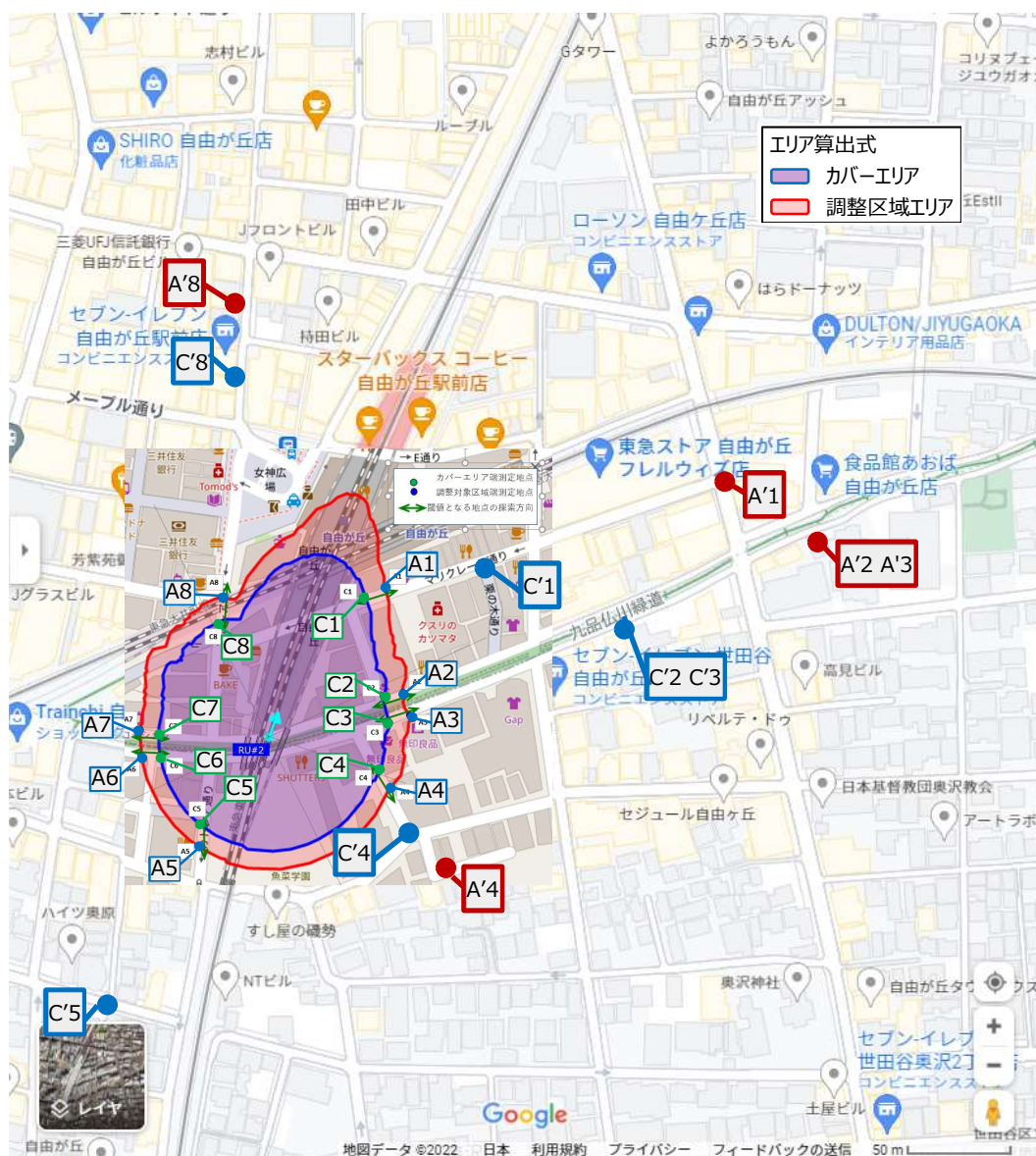


図 3.3.1.4-(1)2) -2 ホーム長手方向角度と基地局からの距離[カバーエリア] (RU2)

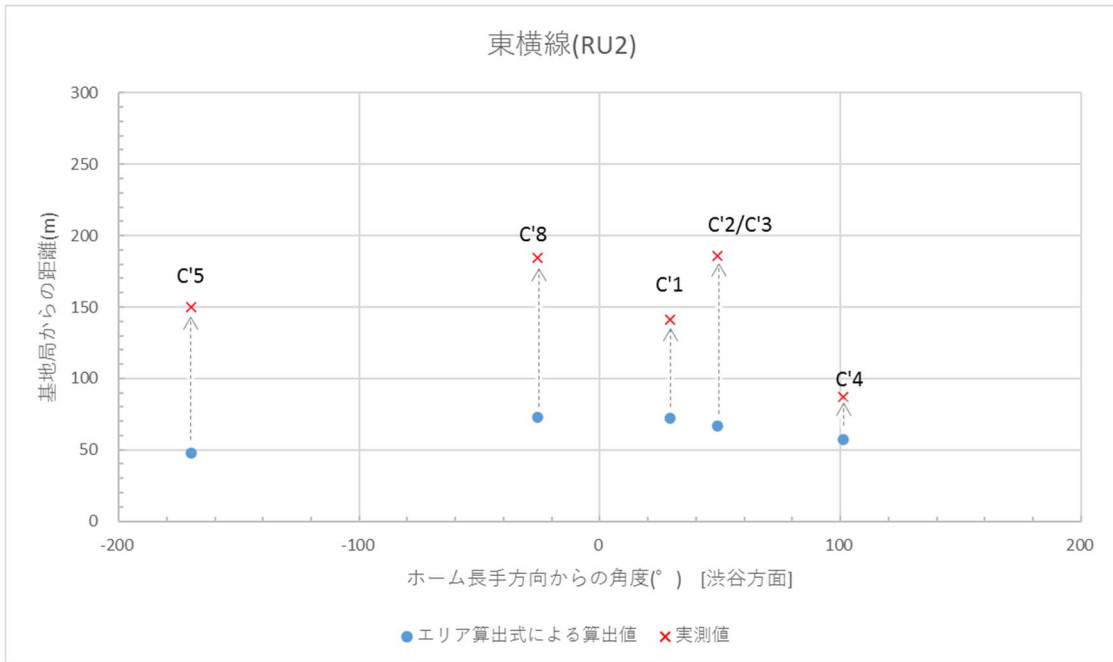


図 3.3.1.4-(1)2) -3 ホーム長手方向角度と基地局からの距離[調整対象区域] (RU2)

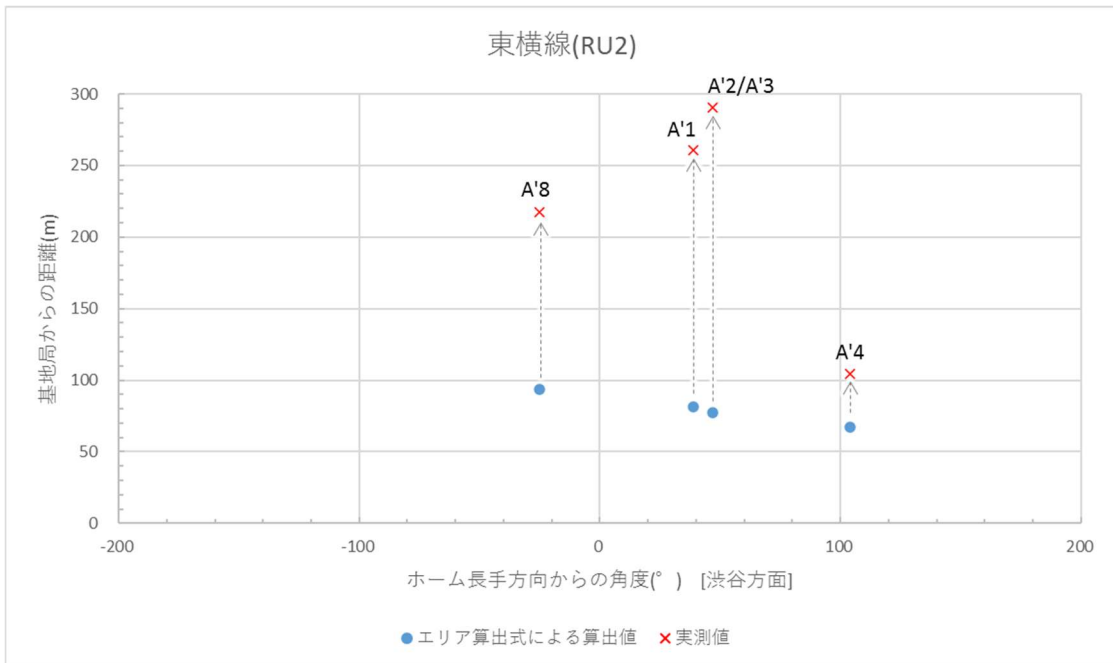




表 3.3.1.4-(1)2) エリア算出法の閾値[測定値] (RU2)

| RU2 | カバーエリア算出地点<br>[C]<br>SS-RSRP[dBm] | カバーエリア実測地<br>点[C']<br>SS-RSRP[dBm] | 調整対象区域算出地点[A]<br>SS-RSRP[dBm] | 調整対象区域実測地点<br>[A']<br>SS-RSRP[dBm] |
|-----|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1   | -118.1304                         | -118.8569                          | -115.9475                     | -126.6534                          |
| 2   | -95.4729                          | -118.5024                          | -98.0941                      | -127.7848                          |
| 3   | -100.6887                         | -118.5024                          | -100.2604                     | -127.7848                          |
| 4   | -110.3404                         | -120.0394                          | -115.7557                     | -126.5096                          |
| 5   | -110.4223                         | -118.6717                          | -107.1162                     | -                                  |
| 6   | -106.018                          | -                                  | -104.0323                     | -                                  |
| 7   | -101.2749                         | -                                  | -98.289                       | -                                  |
| 8   | -112.9516                         | -121.4949                          | -110.7906                     | -125.9368                          |

地図上のプロット位置の状況から、全体的に算出式結果よりも遠くまで電波が伝搬していることがわかる。測定可能ポイントが基地局からみて比較的開けた放射線上に近い道路・線路沿いであったため、市街地算出式の結果よりも郊外地、開放地の条件に近いものとなり、遠くまで電波が伝搬したと考えられる。

A1～A3、A5～A7 に特にその傾向がみられ、

A1 地点では+10.3dB、

A2 地点では+21.7dB、

A3 地点では+19.5dB、

A5 地点では+12.7dB、

A6 地点では+15.8dB、

A7 地点では+21.5dB、となった。(調整対象区域の閾値-126.2 dBm 比)

A2,A3,A6,A7 の測定点は九品仏川緑道沿いに設けた測定地点である。この緑道は RU2 の真下を通り両端に建物が存在する道幅 10m 以上の広い道であること、また、RU2 が下方 30 度のチルトをかけていることから高架上の東横線ホーム上方に設置したアンテナから緑道方向に吹き降ろす方向となることで、電波が伝搬しやすく、短手方向でも比較的遠くまで電波が伝搬したものと考えられる。

C'6、C'7、A'5、A'6、A'7 については測定値を検出できていない。これは、それぞれの地点の測定ラインの延長線上に建物が存在しており、建物を隔てた先には電波が届いておらず、検出できなかったためである。

また RU2 についてホーム長手方向からの角度によってカバーエリア算出式、調整対象区域算出式との差分をグラフで確認した。(×点は基地局 (RU) からの距離を示す。青点は基地局 (RU) から×点と同じ方向 (角度が×点と同一) で算出式にて閾値が得られる距離を示している。) 全体的に算出式結果よりも遠くまで電波が伝搬しており、傾向としては長手方

向だけでなく、比較的短手方向についても大きな差分がみられた。これは上記の通り、RU2から正面方向の指向性電波も九品仏川緑道など放射線上に近い道路・線路沿いに反射して入りやすい環境となったためと考えられる。

図 3.3.1.4-(1)3) -1 エリア算出法の閾値の実測地点(pRadio1)



図 3. 3. 1. 4-(1)3) -2 ホーム長手方向と基地局からの距離[カバーエリア] (pRadio1)

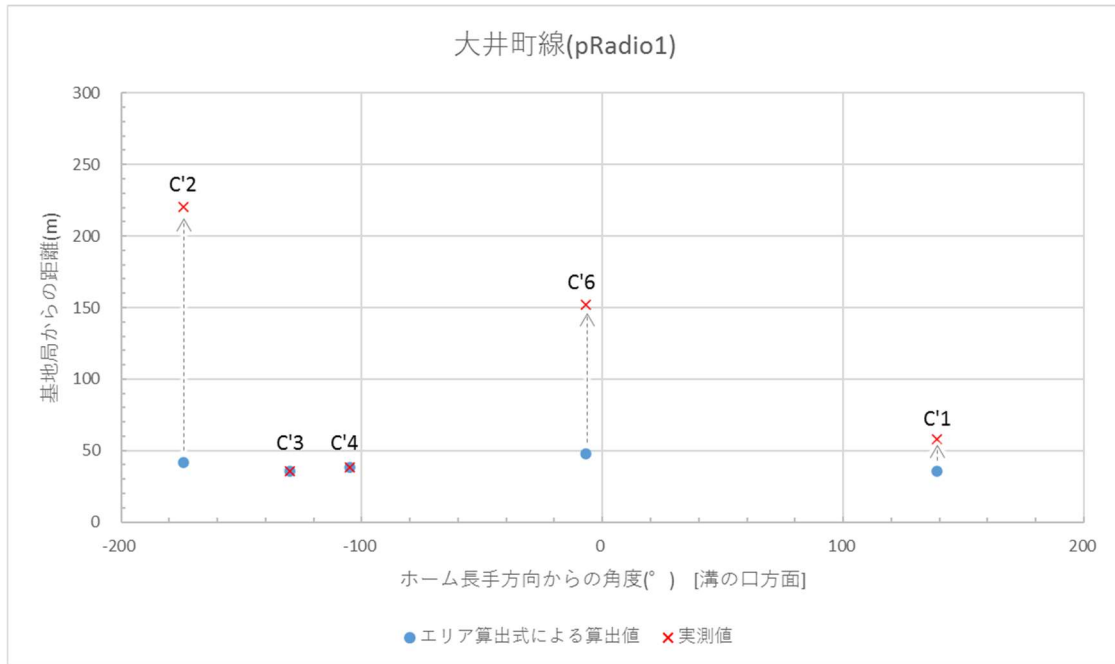


図 3. 3. 1. 4-(1)3) -3 ホーム長手方向角度と基地局からの距離[調整対象区域] (pRadio1)

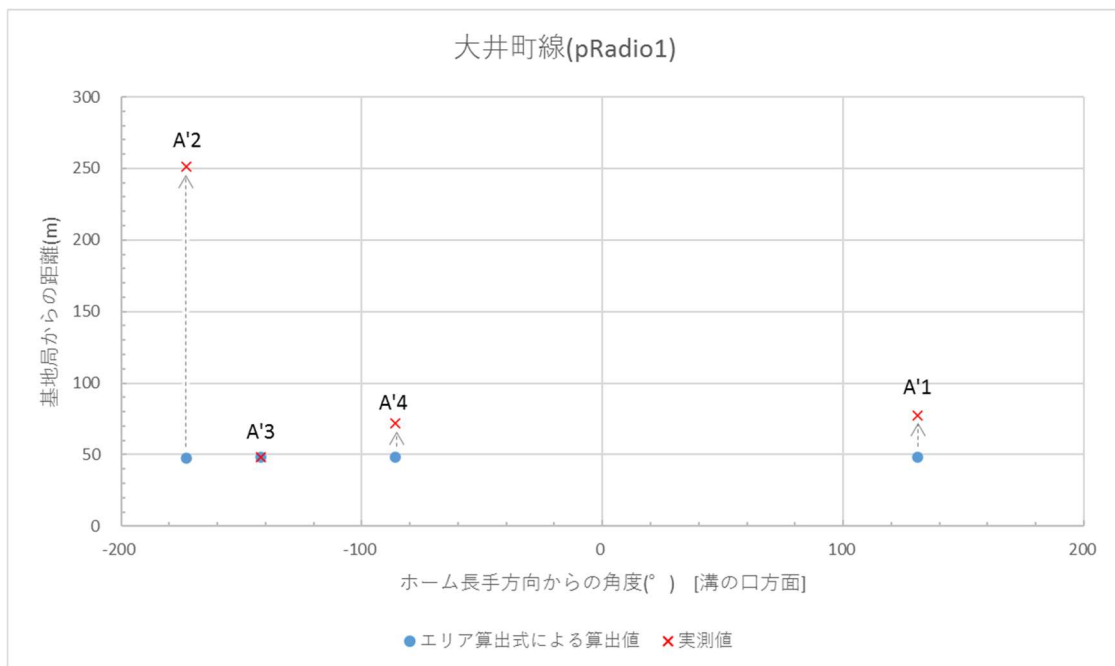


表 3.3.1.4-(1)3 エリア算出法の閾値[測定値](pRadio1)

| pRadio1 | カバーエリア算出地点<br>[C]<br>SS-RSRP[dBm] | カバーエリア実測地<br>点[C']<br>SS-RSRP[dBm] | 調整対象区域算出地点[A]<br>SS-RSRP[dBm] | 調整対象区域実測地点<br>[A']<br>SS-RSRP[dBm] |
|---------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1       | -116.345                          | -121.2807                          | -118.8496                     | -125.1867                          |
| 2       | -105.5795                         | -122.9807                          | -102.6683                     | -127.2599                          |
| 3       | -119.9248                         | -119.9248                          | -125.5765                     | -125.5765                          |
| 4       | -120.8369                         | -120.8369                          | -121.7314                     | -126.5934                          |
| 5       | -                                 | -                                  | -                             | -                                  |
| 6       | -                                 | -120.2138                          | -                             | -                                  |
| 7       | -                                 | -                                  | -                             | -                                  |
| 8       | -                                 | -                                  | -                             | -                                  |

地図上のプロット位置の状況から、A1,A2,C4 方向の pRadio1 に近い開けた道路側（+線路沿いの C'6）については算出式結果よりも比較的遠くまで電波が伝搬していることがわかる。測定可能ポイントが基地局からみて比較的開けた放射線上に近い道路・線路沿いであったため、市街地算出式の結果よりも郊外地、開放地の条件に近いものとなり、遠くまで電波が伝搬したと考えられる。

A2 に特にその傾向がみられ、

A2 地点では調整対象区域の閾値-126.2 dBm に対して+17.1dB となった。

一方 C5~C8,A5~A8 方向については算出式結果の地点では測定値が得られなかった。大井町線が屋根・壁にて覆われていること、加えて商店などの隣接建物が間に存在しているため、ここで電波が減衰したためと考えられる。

C'6、の先の調整対象区域 A'7 については測定値が検出できていない。測定ラインの延長線上に建物が存在しており、建物を隔てた先には電波が届いておらず、検出できなかったためである。

また pRadio1 についてホーム長手方向からの角度によってカバーエリア算出式、調整対象区域算出式との差分をグラフで確認した。（×点は基地局（pRadio）からの距離を示す。青点は基地局（pRadio）から×点と同じ方向（角度が×点と同一）で算出式にて閾値が得られる距離を示している。）pRadioは無指向性であるため、固有の指向性は見られないが上記傾向の通り、基地局からみて比較的開けた放射線上に近い道路・線路沿いにより電波が伝搬されていることが確認できた。

図 3.3.1.4-(1)4) -1 エリア算出法の閾値の実測地点(pRadio2)



図 3.3.1.4-(1)4) -2 ホーム長手方向角度と基地局からの距離[カバーエリア] (pRadio2)

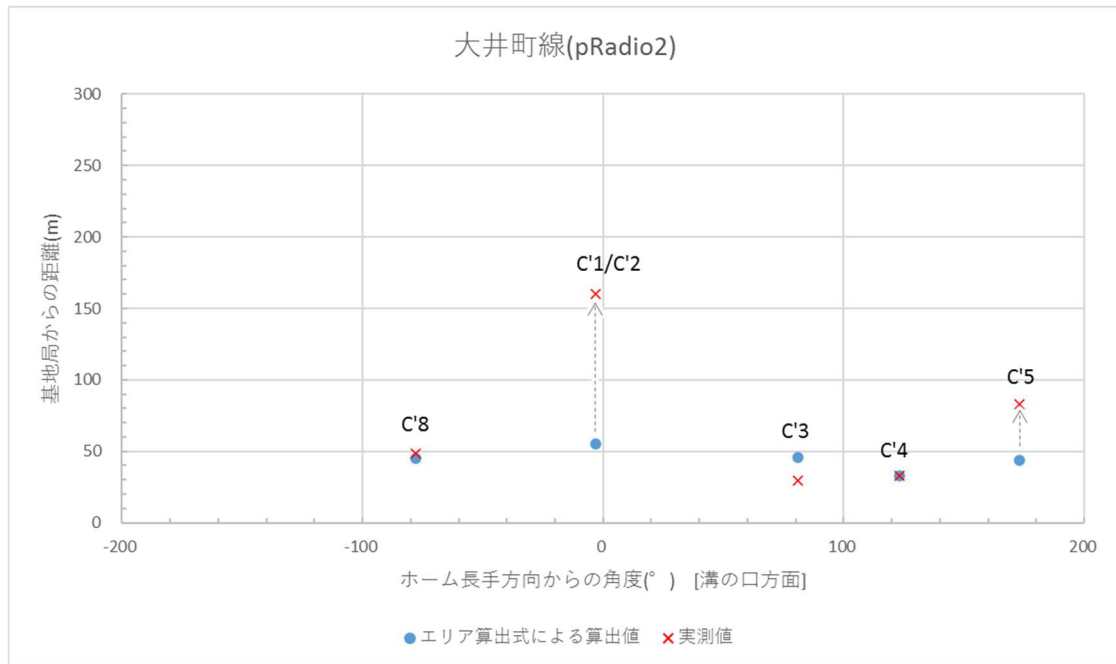


図 3.3.1.4-(1)4) -3 ホーム長手方向角度と基地局からの距離[調整対象区域] (pRadio2)

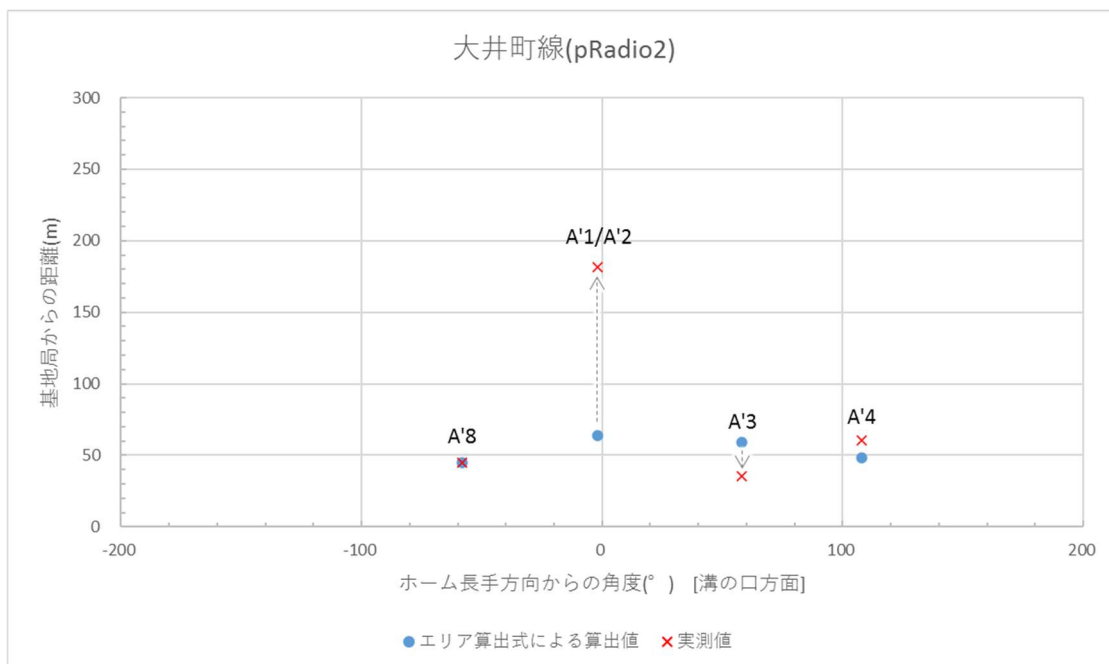


表 3.3.1.4-(1)4) エリア算出法の閾値[測定値] (pRadio2)

| pRadio2 | カバーエリア算出地点<br>[C]<br>SS-RSRP[dBm] | カバーエリア実測地<br>点[C']<br>SS-RSRP[dBm] | 調整対象区域算出地点[A]<br>SS-RSRP[dBm] | 調整対象区域実測地点<br>[A']<br>SS-RSRP[dBm] |
|---------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1       | -                                 | -120.9135                          | -                             | -125.1734                          |
| 2       | -95.149                           | -120.9135                          | -96.9234                      | -125.1734                          |
| 3       | -127.2092                         | -122.0511                          | -                             | -124.3143                          |
| 4       | -118.191                          | -120.8276                          | -118.328                      | -125.6418                          |
| 5       | -126.4978                         | -120.4529                          | -129.2373                     | -                                  |
| 6       | -                                 | -                                  | -                             | -                                  |
| 7       | -                                 | -                                  | -                             | -                                  |
| 8       | -123.3157                         | -121.1835                          | -                             | -123.3157                          |

A2 方向の開けた道路側（線路沿い+C'5）については算出式結果よりも遠くまで電波が伝搬している。測定可能ポイントが基地局からみて比較的開けた放射線上に近い道路・線路沿いであったため、市街地算出式の結果よりも郊外地、開放地の条件に近いものとなり、遠くまで電波が伝搬したためと考えられる。

A2 地点では調整対象区域の閾値-126.2 dBm に対して+22.9dB であった。

一方 C1,C6,C7,A1,A3,A6,A7,A8 地点については算出式結果の地点では測定値が得られな

かった。大井町線が屋根・壁にて覆われていること、加えて商店などの隣接建物が間に存在しているため、ここで電波が減衰したためと考えられる。

C2,C3,C4,C5,C8,A4,A5 方向については電波が測定できている、これは近くに自由が丘駅の改札があり、改札の開口部から電波が漏れ出てきているためであるとする。

そのため、C3, C5, A5 地点について電波は検出できたが、値は算出式よりも低い。

C3(-127.2dbm)[カバーエリア比：-7.4dB],

C5(-126.5dbm)[カバーエリア比：-6.7dB],

A5(-129.2dbm)[調整対象区域比：-9.4dB]

C'5、の先の調整対象区域 A'5 については測定値を検出できていない。測定ラインの延長線上に建物が存在しており、建物を隔てた先には電波が届いておらず、検出できなかったためである。

また pRadio2 についてホーム長手方向からの角度によってカバーエリア算出式、調整対象区域算出式との差分をグラフで確認した。(×点は基地局 (pRadio) からの距離を示す。青点は基地局 (pRadio) から×点と同じ方向 (角度が×点と同一) で算出式にて閾値が得られる距離を示している。) pRadioは無指向性であるため、固有の指向性は見られないが上記傾向の通り、基地局からみて比較的開けた放射線上に近い線路沿いにより電波が伝搬されていることが確認できた。

図 3.3.1.4-(1)5) -1 エリア算出法の閾値の実測地点(pRadio3)

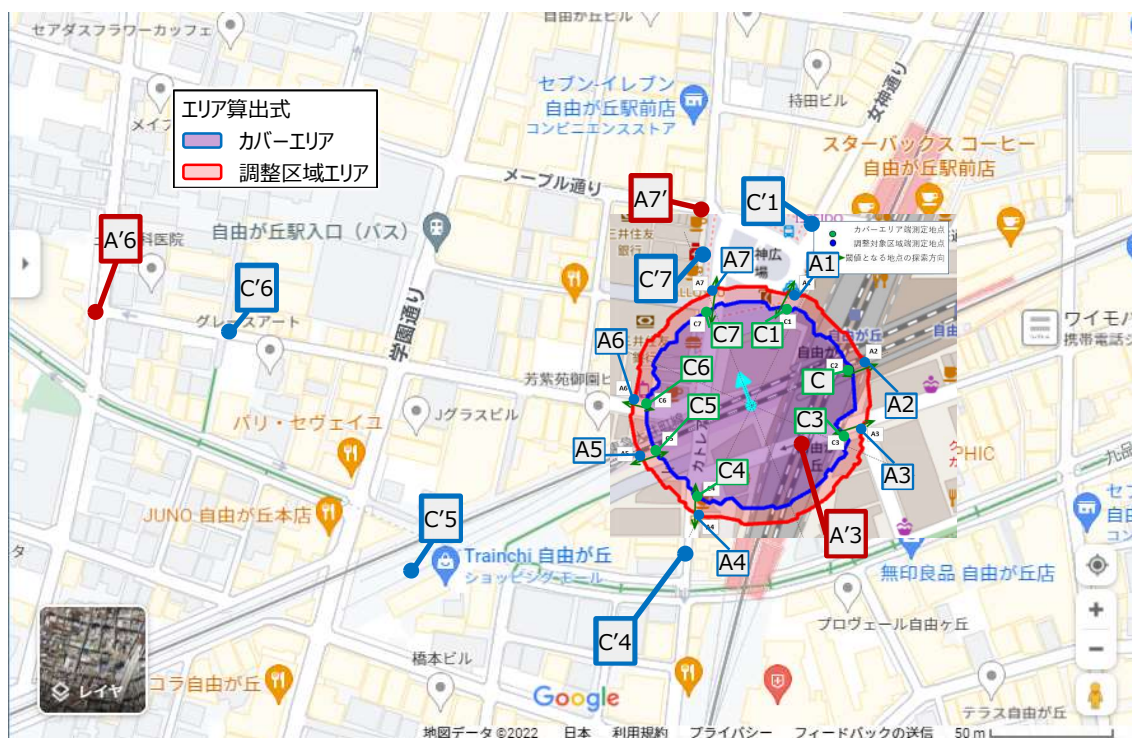


図 3. 3. 1. 4-(1)5) -2 ホーム長手方向角度と基地局からの距離[カバーエリア] (pRadio3)

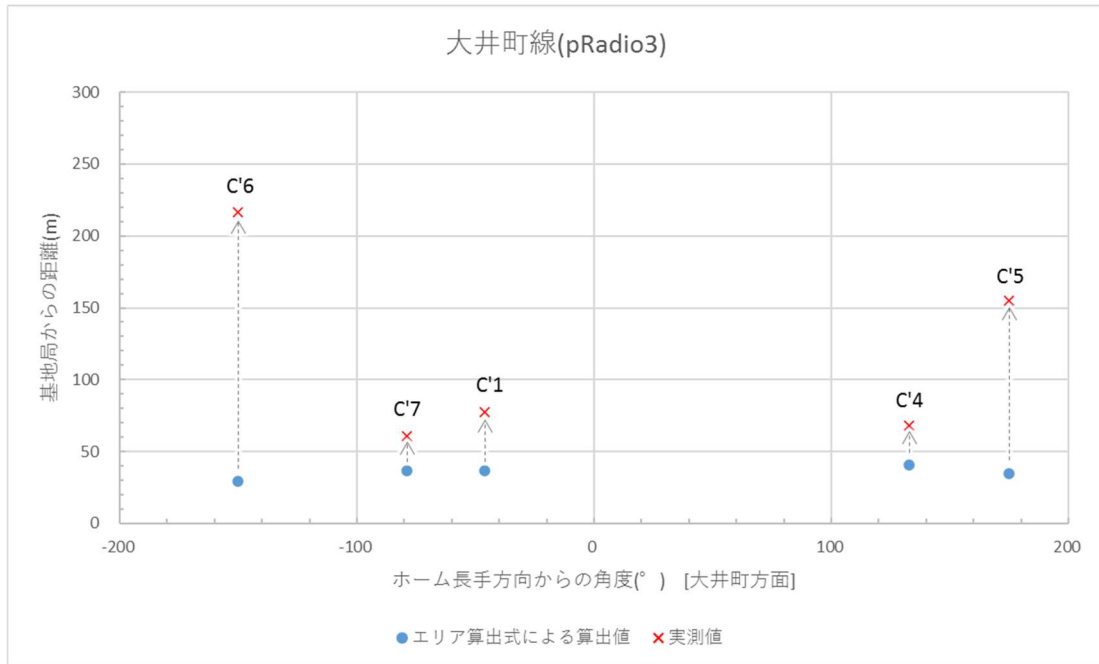


図 3. 3. 1. 4-(1)5) -3 ホーム長手方向角度と基地局からの距離[調整対象区域] (pRadio3)

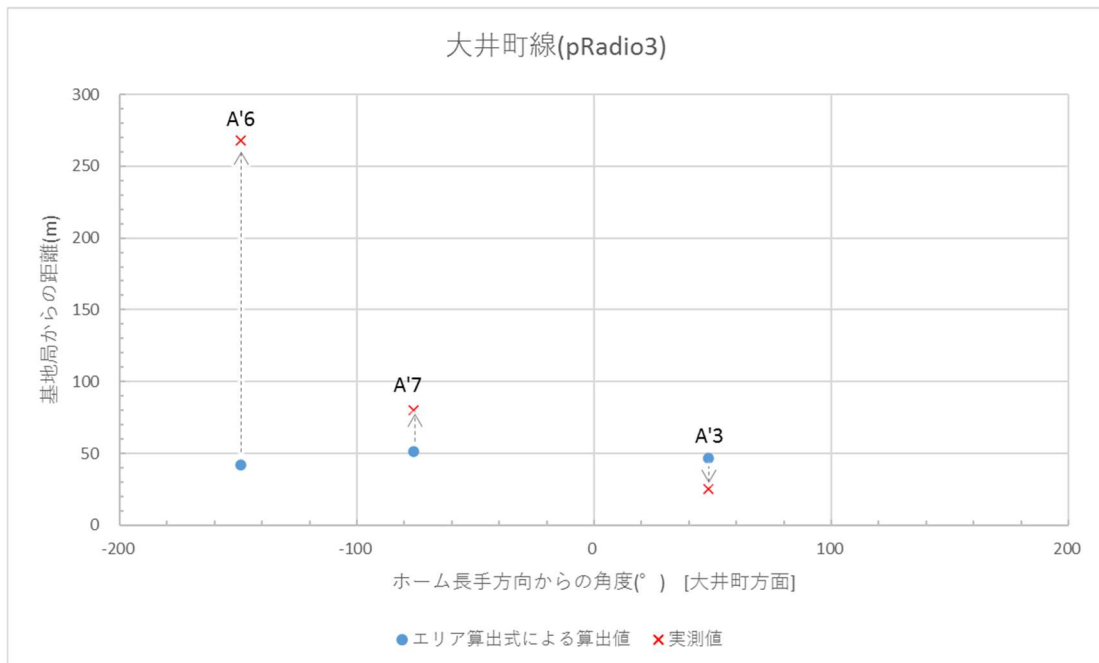




表 3.3.1.4-(1)5 エリア算出法の閾値[測定値] (pRadio3)

| pRadio3 | カバーエリア算出地点<br>[C]<br>SS-RSRP[dBm] | カバーエリア実測地<br>点[C']<br>SS-RSRP[dBm] | 調整対象区域算出地点[A]<br>SS-RSRP[dBm] | 調整対象区域実測地点<br>[A']<br>SS-RSRP[dBm] |
|---------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1       | -116.6156                         | -119.4115                          | -119.6074                     | -                                  |
| 2       | -                                 | -                                  | -                             | -                                  |
| 3       | -                                 | -                                  | -                             | -123.743                           |
| 4       | -109.2613                         | -116.9251                          | -111.5789                     | -                                  |
| 5       | -113.6628                         | -118.9875                          | -111.3425                     | -                                  |
| 6       | -88.4877                          | -119.1141                          | -96.0123                      | -124.8292                          |
| 7       | -108.6607                         | -117.309                           | -115.2183                     | -123.25                            |
| 8       | -                                 | -                                  | -                             | -                                  |

C5, A6 方向については算出式結果よりも遠くまで電波が伝搬している。測定可能ポイントが基地局からみて比較的開けた放射線上に近い道路・線路沿いであったため、市街地算出式の結果よりも郊外地、開放地の条件に近いものとなり、遠くまで電波が伝搬したと考えられる。

A6 に特にその傾向がみられ、A6 地点では調整対象区域の閾値-126.2 dBm に対して +23.8dB、となった。

一方 C2, C3, C8, A2, A3, A8 については算出式結果の地点では測定値が得られなかった。大井町線が屋根・壁にて覆われているため、ここで電波が減衰したためと考えられる。

A'3 地点はカバーエリアよりも近いポイントにて調整対象区域の測定値が得られている。本来であれば大井町線が屋根・壁にて覆われていること、加えて商店などの隣接建物が間に存在しているため、ここで電波が減衰し測定値が得られないはずであるが、この地点の近くに自由が丘駅の南口改札があり、その開口部から電波が漏れ出てき電波を検出できたためと考える。

C'5、の先の調整対象区域 A'5 については測定値を検出できていない。測定ラインの延長線上に建物が存在しており、建物を隔てた先には電波が届いておらず、検出できなかったためである。

また pRadio3 についてホーム長手方向からの角度によってカバーエリア算出式、調整対象区域算出式との差分をグラフで確認した。(×点は基地局 (pRadio) からの距離を示す。青点は基地局 (pRadio) から×点と同じ方向 (角度が×点と同一) で算出式にて閾値が得られる距離を示している。) pRadio は無指向性であるため、固有の指向性は見られないが上記傾向の通り、基地局からみて比較的開けた放射線上に近い道路・線路沿いにより電波が伝搬されていることが確認できた。

## (2) カバーエリア内のローカル5Gの性能評価

3.3.1.3 (2)に記載したように、東横線および大井町線のカバーエリア内の各測定地点でのスループット、遅延時間の測定値を以下に示す。

図 3.3.1.4-(2)1 測定地点（東横線）

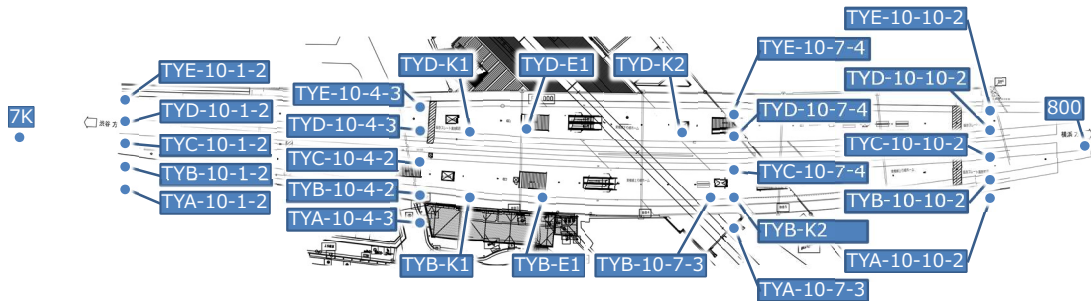
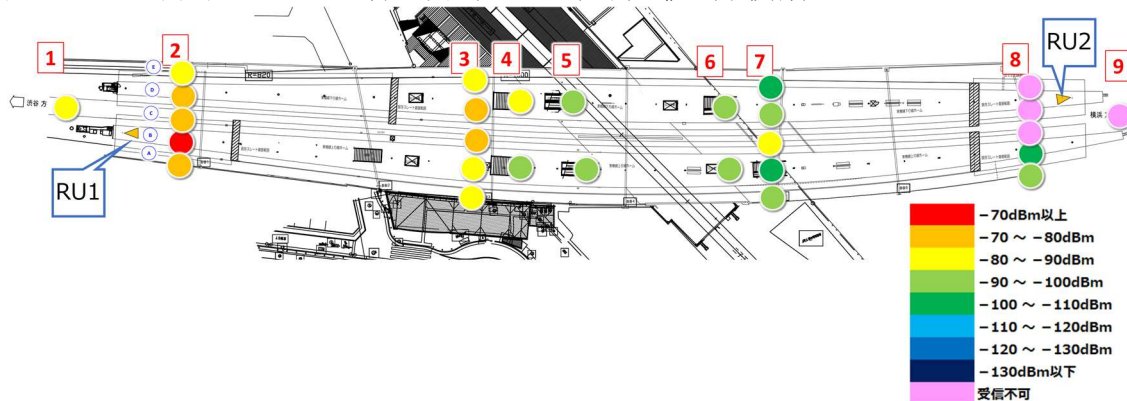


表 3.3.1.4-(2)1-1 RUI 電界強度 (SS-RSRP) 測定値 (東横線)

| 測定点 ID      | 実測値 [dBm/30kHz] |        |         |          |         |
|-------------|-----------------|--------|---------|----------|---------|
|             | 中央値             | 平均値    | 標準偏差    | 上位 10%値  | 下位 10%値 |
| TYE-10-1-2  | -83.40          | -84.70 | 4.49040 | -77.7000 | -88.80  |
| TYE-10-4-3  | -87.34          | -87.90 | 4.16880 | -81.5000 | -92.30  |
| TYE-10-7-4  | -100.24         | -99.55 | 4.30480 | -95.2000 | -107.20 |
| TYE-10-10-2 | -               | -      | -       | -        | -       |
| TYD-10-1-2  | -77.24          | -76.90 | 2.15130 | -74.7000 | -80.30  |
| TYD-10-4-3  | -79.29          | -78.90 | 3.24030 | -76.1000 | -83.40  |
| TYD-K1      | -88.14          | -87.90 | 1.75330 | -86.2000 | -90.20  |
| TYD-E1      | -91.30          | -93.30 | 6.16870 | -82.8000 | -98.50  |
| TYD-K2      | -96.69          | -96.00 | 3.12780 | -93.7000 | -101.50 |
| TYD-10-7-4  | -96.1471        | -95.4  | 3.36860 | -92.7    | -101.2  |
| TYD-10-10-2 | -               | -      | -       | -        | -       |
| 7K          | -81.3987        | -81.7  | 2.0278  | -78.4    | -83.7   |
| TYC-10-1-2  | -70.9381        | -70.6  | 1.7592  | -69.2    | -72.9   |
| TYC-10-4-2  | -75.933         | -73.8  | 4.5332  | -71.2    | -83.1   |
| TYC-10-7-4  | -86.4782        | -85.8  | 5.638   | -80.3    | -94.8   |
| TYC-10-10-2 | -               | -      | -       | -        | -       |
| 800         | -               | -      | -       | -        | -       |
| TYB-10-1-2  | -64.2882        | -64.7  | 1.7739  | -61.4    | -65.8   |
| TYB-10-4-2  | -86.8114        | -86.9  | 1.9718  | -84.1    | -89.3   |
| TYB-K1      | -92.5798        | -92.4  | 2.6411  | -89.4    | -96     |
| TYB-E1      | -96.0348        | -96.4  | 3.2914  | -91      | -99.8   |
| TYB-10-7-3  | -100.5448       | -97.95 | 6.2296  | -93.6    | -108.3  |
| TYB-K2      | -99.3515        | -99.2  | 2.8737  | -95.8    | -103.3  |
| TYB-10-10-2 | -90.1686        | -89.7  | 2.6956  | -88.3    | -91.5   |
| TYA-10-1-2  | -72.7358        | -72.8  | 2.6533  | -69.3    | -76.2   |
| TYA-10-4-2  | -85.6033        | -85.5  | 2.8912  | -82      | -89.4   |
| TYA-10-7-3  | -92.0719        | -90.6  | 4.1928  | -88.8    | -98.5   |
| TYA-10-10-2 | -95.1663        | -94.3  | 4.0333  | -90.7    | -100.9  |

図 3.3.1.4-(2)1)-1 RU1 電界強度 (SS-RSRP) 測定値 (東横線)



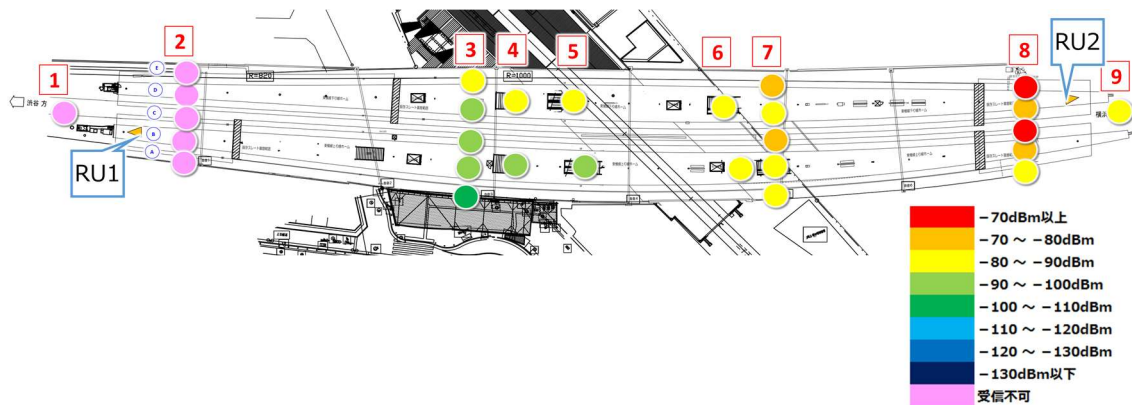
RU1 からの電界強度は値が取得できたすべての地点においてカバーエリア閾値-119.8 dBm より高い結果となっている。カバーエリア算出式上ではホーム中央あたりでカバーエリア閾値を下回る想定であったが、ホーム上に電波を妨害するものが少なかったため、市街地算出式の結果よりも郊外地、開放地の条件に近いものとなり、遠くまで電波が伝搬したと考えられる。

また、RU2 に近い地点においては RU2 からの電波が強い干渉となり、RU1 の電波を検出できなかったと考えられる。

表 3.3.1.4-(2)1)-2 RU2 電界強度 (SS-RSRP) 測定値 (東横線)

| 測定点 ID      | 実測値 [dBm/30kHz] |        |         |          |         |
|-------------|-----------------|--------|---------|----------|---------|
|             | 中央値             | 平均値    | 標準偏差    | 上位 10%値  | 下位 10%値 |
| TYE-10-1-2  | -               | -      | -       | -        | -       |
| TYE-10-4-3  | -86.78          | -86.00 | 3.45370 | -83.0000 | -91.60  |
| TYE-10-7-4  | -77.95          | -77.10 | 4.18570 | -72.9000 | -84.30  |
| TYE-10-10-2 | -67.70          | -67.30 | 2.01010 | -65.5000 | -70.30  |
| TYD-10-1-2  | -               | -      | -       | -        | -       |
| TYD-10-4-3  | -95.17          | -93.90 | 4.89970 | -90.0000 | -102.50 |
| TYD-K1      | -87.79          | -88.00 | 3.45930 | -84.0000 | -91.70  |
| TYD-E1      | -88.41          | -88.10 | 2.06080 | -86.5000 | -91.20  |
| TYD-K2      | -88.70          | -88.90 | 2.32520 | -86.1000 | -91.30  |
| TYD-10-7-4  | -83.1915        | -82.6  | 2.56010 | -80.5    | -86.6   |
| TYD-10-10-2 | -70.1133        | -71.8  | 5.9365  | -59.5    | -76     |
| 7K          | -               | -      | -       | -        | -       |
| TYC-10-1-2  | -               | -      | -       | -        | -       |
| TYC-10-4-2  | -94.3563        | -95.9  | 6.026   | -84.8    | -101.1  |
| TYC-10-7-4  | -72.0709        | -72.2  | 3.403   | -68.1    | -76.7   |
| TYC-10-10-2 | -66.7334        | -67.1  | 1.9016  | -64.2    | -68.9   |
| 800         | -81.5078        | -81.5  | 1.6222  | -79.4    | -83.6   |
| TYB-10-1-2  | -               | -      | -       | -        | -       |
| TYB-10-4-2  | -91.3331        | -90.5  | 3.3655  | -88.5    | -96.1   |
| TYB-K1      | -93.3456        | -93.7  | 3.048   | -89.3    | -97.2   |
| TYB-E1      | -94.1829        | -94.1  | 2.3768  | -91.1    | -97.7   |
| TYB-10-7-3  | -82.5196        | -78.6  | 6.3102  | -76.5    | -91.3   |
| TYB-K2      | -81.5369        | -81.3  | 1.96    | -79.5    | -83.7   |
| TYB-10-10-2 | -78.6523        | -77.8  | 3.6738  | -74.6    | -84.1   |
| TYA-10-1-2  | -               | -      | -       | -        | -       |
| TYA-10-4-2  | -100.6549       | -100.2 | 2.8469  | -97.5    | -104.7  |
| TYA-10-7-3  | -82.0049        | -82    | 3.4227  | -77.2    | -86.5   |
| TYA-10-10-2 | -81.1973        | -81.7  | 2.6986  | -77.5    | -84.6   |

図 3.3.1.4-(2)1)-2 RU2 電界強度 (SS-RSRP) 測定値 (東横線)



RU2 からの電界強度は値が取得できたすべての地点においてカバーエリア閾値-119.8 dBm より高い結果となっている。カバーエリア算出式上ではホーム中央あたりでカバーエリア閾値を下回る想定であるが、そうになってはいない。ホーム上に電波を妨害するものが少なかったため、市街地算出式の結果よりも郊外地、開放地の条件に近いものとなり、遠くまで電波が伝搬したと考えられる。

また、RU1 に近い地点においては RU1 からの電波が強い干渉となり、RU2 の電波を検出できなかったと考えられる。

表 3.3.1. 4-(2)1)-3 UL/DL スループット・遅延時間 測定値 (東横線)

| 測定点 ID      | UL スループット<br>[Mbps] | UL スループットを 2 倍に<br>換算した場合[Mbps] | DL スループット<br>[Mbps] | HARQ の遅延時間<br>[msec] |
|-------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|----------------------|
| TYE-10-1-2  | 27.7                | 55.4                            | 396.3               | 0.609                |
| TYE-10-4-3  | 6.6                 | 13.2                            | 162.5               | 0.831                |
| TYE-10-7-4  | 14.3                | 28.6                            | 373.9               | 1.227                |
| TYE-10-10-2 | 53.3                | 106.6                           | 658.6               | 0.894                |
| TYD-10-1-2  | 16.5                | 33                              | 558.6               | 0.744                |
| TYD-10-4-3  | 13.2                | 26.4                            | 362.6               | 0.656                |
| TYD-K1      | 5.9                 | 11.8                            | 201.5               | 0.928                |
| TYD-E1      | 9.9                 | 19.8                            | 251.4               | 0.747                |
| TYD-K2      | 7.5                 | 15                              | 255.0               | 0.577                |
| TYD-10-7-4  | 15.1                | 30.2                            | 396.4               | 0.741                |
| TYD-10-10-2 | 46.0                | 92                              | 624.3               | 0.882                |
| TYC-7K      | 21.5                | 43                              | 370.7               | 0.804                |
| TYC-10-1-2  | 47.5                | 95                              | 373.9               | 0.879                |
| TYC-10-4-2  | 24.1                | 48.2                            | 212.2               | 0.780                |
| TYC-10-7-4  | 17.0                | 34                              | 200.9               | 0.735                |
| TYC-10-10-2 | 35.6                | 71.2                            | 595.9               | 0.843                |
| TYC-800     | 5.4                 | 10.8                            | 235.3               | 1.210                |
| TYB-10-1-2  | 34.6                | 69.2                            | 637.2               | 0.794                |
| TYB-10-4-2  | 13.6                | 27.2                            | 209.3               | 0.814                |
| TYB-K1      | 9.7                 | 19.4                            | 202.5               | 0.819                |
| TYB-E1      | 4.5                 | 9                               | 192.6               | 1.006                |
| TYB-10-7-3  | 22.9                | 45.8                            | 346.8               | 0.759                |
| TYB-K2      | 14.8                | 29.6                            | 236.6               | 0.766                |
| TYB-10-10-2 | 12.7                | 25.4                            | 260.1               | 0.827                |
| TYA-10-1-2  | 25.9                | 51.8                            | 480.7               | 1.082                |
| TYA-10-4-2  | 13.5                | 27                              | 201.9               | 0.784                |
| TYA-10-7-3  | 18.1                | 36.2                            | 299.8               | 0.587                |
| TYA-10-10-2 | 39.0                | 78                              | 256.5               | 0.794                |

図 3.3.1.4-(2)1)-3 UL スループット (東横線)

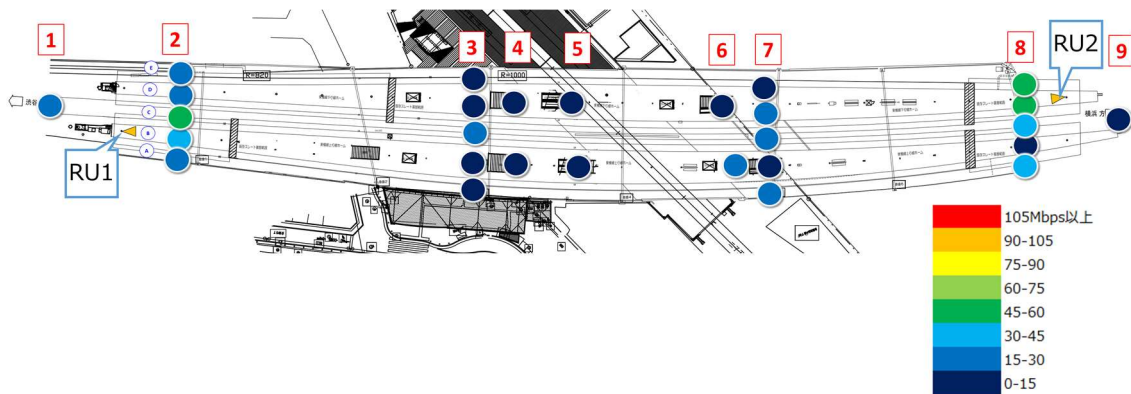


図 3.3.1.4-(2)1)-4 UL スループットを2倍に換算した場合 (東横線)

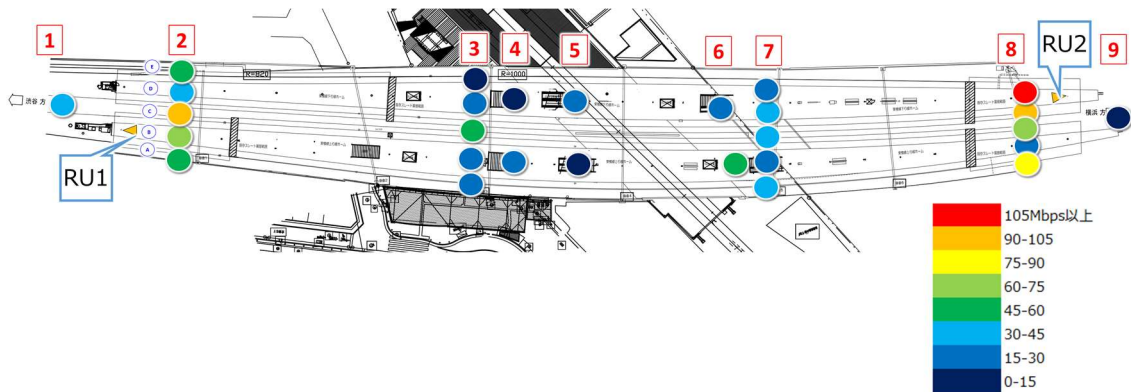
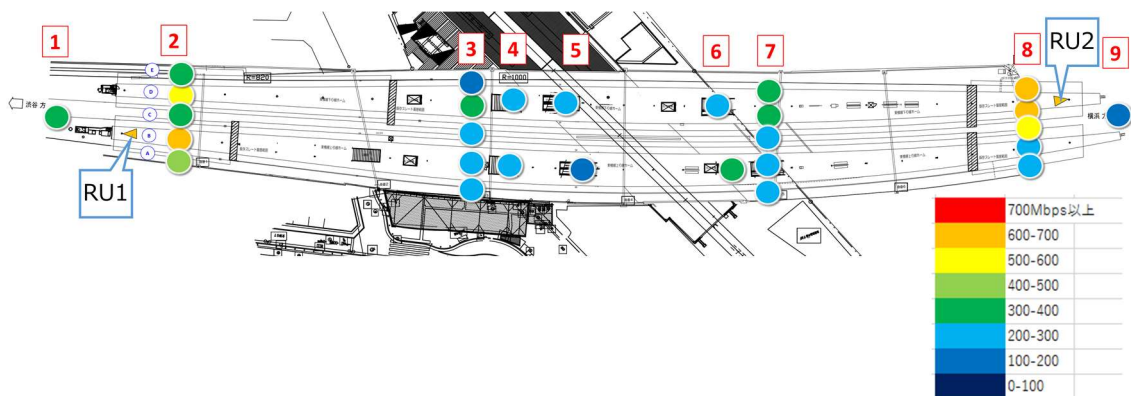


図 3.3.1.4-(2)1)-5 DL スループット (東横線)



UL について課題実証のホームドア閉扉支援の所要性能カメラ 1 台あたり 9.216Mbps を下回る地点が一部見られた。

本測定時に課題実証のために設置済みのホームドア閉扉支援のカメラ映像データが UL 送信されていたことにより、本測定と UL 帯域を分け合う結果となっているためと考えられる。(課題実証のカメラは RU1, RU2 それぞれに 1 台ずつ接続している状態)

PUSCH に使用される PRB (Physical Resource Block) について確認したところ、100MHz 帯で最大 273 使用できるはずが、本測定時は約半分しか使えていない状態であった (半分は課題実証ホームドア閉扉支援のカメラ映像の UL に利用されていると考えられる)。そのた

め、PRB がすべて使えた場合を仮定して本測定で得られた UL スループット値を 2 倍にて考察した。

UL スループット値を 2 倍にした場合、1 地点を除いてホームドア閉扉支援の所要性能を満たせた。TYB-E1 地点だけわずかに満たせていないが、これはこの測定地点が 2 階と 1 階を結ぶエレベータの途中の半地下ポイントであり、電波が届きにくい環境であったためと考えられる。

また、全体の傾向としてホーム中央付近ではスループットの落ち込みがみられる。これはホームの中央に向かって RU1 と RU2 の電波が干渉しあうためと考えられる。

HARQ の遅延時間については 1msec 程度であり特に問題ない値と考える。(表の HARQ 遅延は、HARQ 初回送信で Ack になった場合の遅延時間を 0 として、各再送における初回送信との時間差を再送率で重みづけした平均時間である。)

図 3.3.1.4-(2)1)-6 TYB-E1 地点 (東横線)

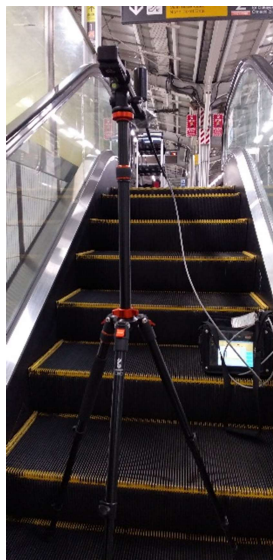




図 3.3.1.4-(2)2) 測定地点 (大井町線)

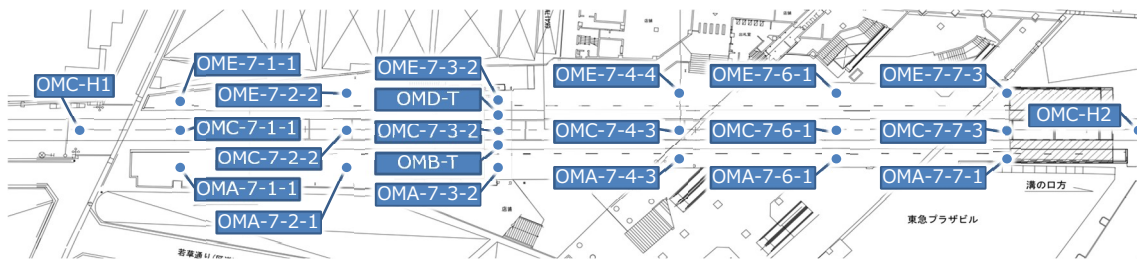
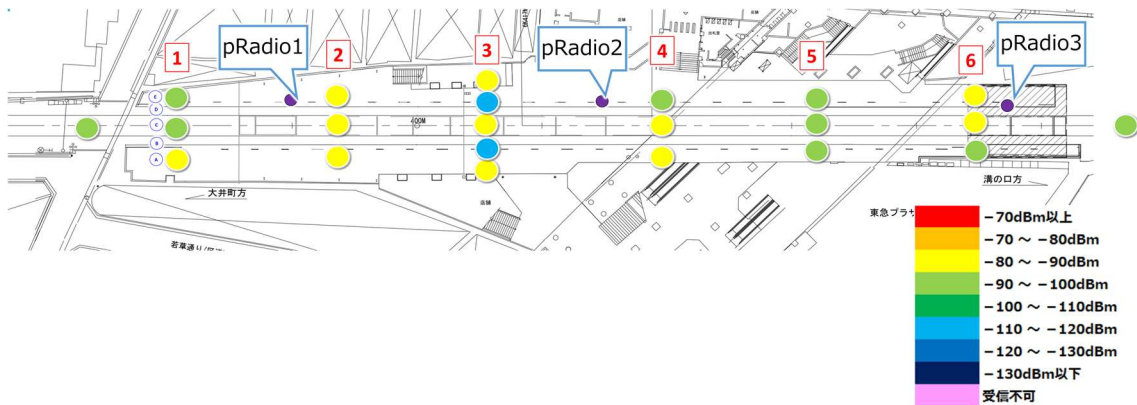


表 3.3.1.4-(2)2)-1 電界強度 (SS-RSRP) 測定値 (大井町線)

| 測定点 ID    | 実測値 [dBm/30kHz] |        |         |          |         |
|-----------|-----------------|--------|---------|----------|---------|
|           | 中央値             | 平均値    | 標準偏差    | 上位 10%値  | 下位 10%値 |
| OME-7-1-1 | -90.06          | -89.20 | 3.03030 | -86.7000 | -94.40  |
| OME-7-2-2 | -81.47          | -81.20 | 3.32160 | -77.6000 | -85.80  |
| OME-7-3-2 | -89.98          | -89.30 | 3.29710 | -86.5000 | -94.50  |
| OME-7-4-4 | -90.33          | -90.10 | 3.22530 | -86.4000 | -94.70  |
| OME-7-6-1 | -96.61          | -95.90 | 4.28610 | -91.8000 | -102.90 |
| OME-7-7-3 | -86.58          | -85.70 | 3.03590 | -83.4000 | -91.10  |
| OMC-H1    | -99.66          | -99.90 | 3.42130 | -95.0000 | -103.50 |
| OMC-7-1-1 | -93.71          | -92.85 | 4.78430 | -88.1000 | -100.40 |
| OMC-7-2-2 | -84.16          | -84.00 | 2.18040 | -81.4000 | -86.90  |
| OMC-7-3-2 | -89.99          | -88.90 | 3.36320 | -86.7000 | -94.50  |
| OMC-7-4-4 | -88.5287        | -87.9  | 4.01990 | -83.7    | -94.2   |
| OMC-7-6-1 | -93.8551        | -92.7  | 4.8148  | -88.6    | -101.3  |
| OMC-7-7-3 | -83.9711        | -83.2  | 3.1879  | -80.5    | -88.8   |
| OMC-H2    | -98.4518        | -98.5  | 3.4823  | -94.1    | -103.6  |
| OMA-7-1-1 | -89.7413        | -89    | 2.6184  | -86.8    | -93.8   |
| OMA-7-2-1 | -84.9911        | -86.8  | 6.3297  | -75.6    | -92.4   |
| OMA-7-3-2 | -89.5573        | -89.1  | 2.4764  | -86.7    | -93     |
| OMA-7-4-3 | -85.0808        | -82.8  | 4.8254  | -80.2    | -91.9   |
| OMA-7-6-1 | -91.7685        | -91.3  | 2.7141  | -88.4    | -95.9   |
| OMA-7-7-1 | -90.6896        | -90.8  | 4.0797  | -85      | -96.3   |
| OMD-T     | -115.1587       | -114.9 | 4.1582  | -110.3   | -120.9  |
| OMB-T     | -115.335        | -114.6 | 4.3961  | -110.2   | -121.4  |

図 3.3.1.4-(2)2)-1 電界強度 (SS-RSRP) 測定値 (大井町線)



すべての地点の中央値、平均値においてカバーエリア閾値-119.8 dBm より高い結果となっている。OMB-T, OMD-T 地点にて電界強度が下がっているが、これはこのポイントが大井町線の上りホームと下りホームを結ぶ立体交差橋内で測定しているためと考えられる。  
(立体交差橋：2階相当の高さで上下左右を壁、ガラスで囲まれている)

図 3.3.1.4-(2)2)-3 立体交差橋上の測定地点 (大井町線)

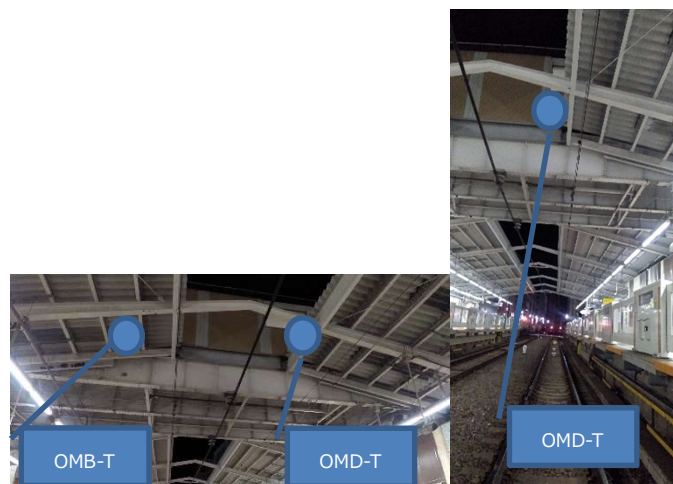


図 3.3.1.4-(2)2)-4 OMB-T 地点(左)、OMD-T 地点(右) (大井町線)



表 3.3.1.4-(2)2)-2 UL/DL スループット・遅延時間 測定値 (大井町線)

| 測定点 ID    | UL スループット [Mbps] | DL スループット [Mbps] | HARQ の遅延時間 [msec] |
|-----------|------------------|------------------|-------------------|
| OME-7-1-1 | 43.8             | 638.9            | 0.838             |
| OME-7-2-2 | 87.4             | 931.6            | 0.813             |
| OME-7-3-2 | 51.6             | 697.8            | 0.719             |
| OME-7-4-4 | 63.8             | 721.8            | 0.825             |
| OME-7-6-1 | 29.8             | 484.3            | 0.701             |
| OME-7-7-3 | 83.7             | 806.6            | 0.842             |
| OMC-H1    | 6.1              | 381.0            | 1.227             |
| OMC-7-1-1 | 48.3             | 609.6            | 0.804             |
| OMC-7-2-2 | 79.6             | 874.3            | 0.913             |
| OMC-7-3-2 | 52.1             | 744.8            | 0.849             |
| OMC-7-4-4 | 71.5             | 779.8            | 0.952             |
| OMC-7-6-1 | 41.1             | 470.2            | 0.784             |
| OMC-7-7-3 | 66.8             | 781.3            | 0.826             |
| OMC-H2    | 49.1             | 500.9            | 0.716             |
| OMA-7-1-1 | 44.9             | 611.4            | 0.855             |
| OMA-7-2-1 | 85.9             | 794.1            | 1.046             |
| OMA-7-3-2 | 54.7             | 670.9            | 0.792             |
| OMA-7-4-3 | 68.9             | 744.3            | 1.032             |
| OMA-7-6-1 | 43.5             | 541.2            | 0.804             |
| OMA-7-7-1 | 63.5             | 657.6            | 0.957             |
| OMD-T     | 4.5              | 165.2            | 1.522             |
| OMB-T     | 0.13             | 31.3             | 0.753             |

図 3.3.1.4-(2)2)-5 UL スループット測定値 (大井町線)

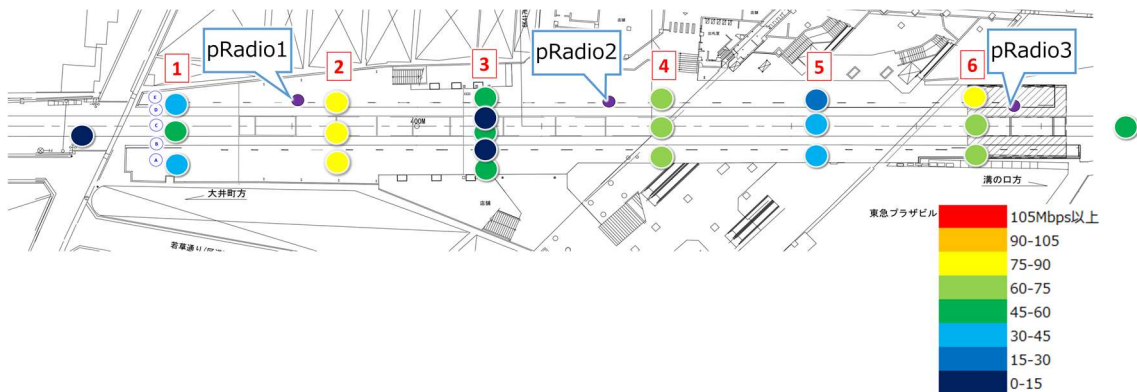
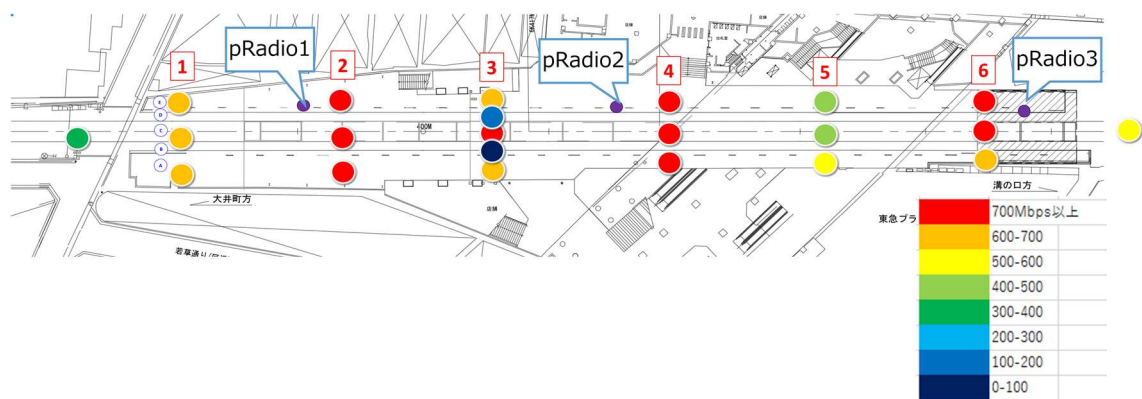


図 3.3.1.4-(2)2)-6 DL スループット測定値 (大井町線)



UL スループットについて課題実証である車載モニタリングの所要性能 91.4Mbps を下回っている。特に1、5のライン上の測定ポイントではUL スループット値が低くなっている。東横線側に課題実証のホームドア閉扉支援のために設置済みのUEからカメラの映像データがUL送信されている状態であり、このUL送信電波が大井町線に流れ込み干渉している影響と考えられる。また、このUL送信を停止した場合にULスループットが改善することを確認している。この干渉影響に関する追加検証については別途3.3.2.5章の(4)に記載する。

OMB-T、OMD-T地点にてスループットの落ち込みが大きいが、これはこのポイントが大井町線の上りホームと下りホームを結ぶ立体交差橋内で測定しているためと考えられる。(立体交差橋：2階相当の高さで上下左右を壁、ガラスで囲まれている)

HARQの遅延時間については1msec程度であり特に問題ない値と考える。(表のHARQ遅延は、HARQ初回送信でAckになった場合の遅延時間を0として、各再送における初回送信との時間差を再送率で重みづけした平均時間である。)

### 3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化

#### 3.3.2.1 実証の目的・目標

##### (1) 背景となる技術的課題と実証目的

3.2 章に記載したように、本実証でローカル5Gを用いたソリューションの課題実証を行う自由が丘駅のホームは下記の特徴を持つ半屋外環境で、長手方向と短手方向の開放度が異なる。

- 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、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

しかしながら、現行のエリア算出法は屋外または屋内に基地局を設置する場合を想定したものであり、駅のような半屋外環境にローカル5Gのエリアを構築するケースに対応可能か十分に検証できていない。具体的には、カバーエリアならびに調整対象区域を見積もる際に、現行のエリア算出法で定義されている各種パラメータをどのように設定すれば半屋外環境の電波伝搬を近似できるのか、新たなパラメータの導入を含めた当該環境に適したエリア算出法の修正が必要なのか等が明確化されておらず、他者土地への干渉漏洩の過剰な見積もりにより、自己土地での最適な基地局配置が阻害されている恐れがあった。

そこで本実証では、都市部の駅に見られる構造的特徴を多数有する自由が丘駅を利用して、様々な遮蔽条件での電波伝搬を測定・評価することにより、横長・狭小な半屋外環境である駅の電波伝搬の精緻化を目的とする。

##### (2) 実証目標

現行のエリア算出法で規定された Sub-6 帯における電波伝搬損の計算式を以下に示す。

(変数・パラメータは、表 3.3.2.1-1) に示す)

①  $d_{xy} \leq 0.04$  km の場合

$$L = L_0 = 32.4 + \log_{10}(f) + 10 \log_{10} \left\{ (d_{xy})^2 + (H_b - H_m)^2 / 10^6 \right\} + R$$

②  $0.04$  km  $< d_{xy} < 0.1$  km の場合

$$L = L_0 + \{2.51 \times \log_{10}(d_{xy}) + 3.51\} \times \{L_H - L_0\}$$

③  $d_{xy} \geq 0.1$  km の場合

$$L = L_H = 46.3 + 33.9 \log_{10}(2000) + 10 \log_{10} \left( \frac{f}{2000} \right) - 13.82 \log_{10} \left( \max(30, H_b) \right) \\ + \left\{ 44.9 - 6.55 \log_{10} \left( \max(30, H_b) \right) \right\} \left( \log_{10}(d_{xy}) \right)^\alpha - a(H_m) - b(H_b) \\ + R - K - S$$

表 3.3.2. 1-1) 伝搬損計算式における変数・パラメータ

| 変数・パラメータ           | 単位    | 値  | 説明                        | 備考   |
|--------------------|-------|--|---------------------------|--|
| F                  | [MHz] |  | 中心周波数                     |  |
| H <sub>b</sub>     | [m]   |  | 基地局の空中線地上高                |  |
| H <sub>m</sub>     | [m]   | 1.5  | 移動局の空中線地上高                |  |
| d <sub>xy</sub>    | [km]  |  | 基地局と移動局の間の2次元距離           |  |
| α                  |       | 1  | 遠距離を考慮する係数                | d <sub>xy</sub> ≤ 20km                       |
| a(H <sub>m</sub> ) | [dB]  | 0.057<br>-0.00092                              | 移動局項に対して考慮する補正項           | 中小都市<br>大都市                                  |
| b(H <sub>b</sub> ) | [dB]  | 0<br>20 log <sub>10</sub> (H <sub>b</sub> /30) | 基地局高に対して考慮する補正項           | H <sub>b</sub> ≥ 30m<br>H <sub>b</sub> < 30m |
| K                  | [dB]  |  | 地形の影響等の補正值                | 通常は 0  |
| S                  | [dB]  | 0<br>12.3<br>32.5                              | 市街地、郊外地、および開放地に対して考慮する補正值 | 市街地<br>郊外地<br>開放地                            |
| R                  | [dB]  | 16.2   | 基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損       | 実際の侵入損が明確な場合は建物に応じた値を適用                      |

実証環境となる自由が丘駅は都市部の平地に立地し、植栽や水面等の地形影響は存在しないと考えられるため、本実証では S および R を精緻化の対象として選択する。以下に当該パラメータを選択した理由を簡単に述べる。

### 1) S について

式③のとおり、S は基地局からの距離が 100m 以上の地点に対して定義されている。駅ホームは長手方向に東横線が約 205m、大井町線が約 130m の長さがあるため、自己土地の一部と他者土地が S による補正の対象となる。現行のエリア算出法では都市部の半屋外環境における S の値は明確化されておらず、本実証の対象として好適と言える。

### 2) R について

上述したように、自由が丘駅ホームは半屋外環境であるが、東横線で見られる腰高壁や目

隠しフェンス、大井町線で見られる屋根まで繋がった壁などの他者土地との境界に存在する障害物は、短手方向の電波伝搬の観点では、屋内に基地局を設置した場合の建物と同様に伝搬損失(透過損)を与えるものとして作用する。従って、現行では屋内に基地局を設置した場合に限定されている R が半屋外環境でも適用できる可能性があり、遮蔽度合いが異なる東横線と大井町線で比較検証する価値があると考える。

### 3.3.2.2 実証仮説

電波伝搬の精緻化の対象として選択したパラメータ S と R について、実証に向けた仮説設定を以下に示す。

#### (1) S について

図 3.3.2.2-1 は、東横線の上りホーム端に設置した RU を例に、RU からの距離が 100m 以上 (※S の適用条件) の様子を示しており、自己土地(ホーム)の一部と他者土地が含まれる。自由が丘駅は都市部の平地に存在し、駅周辺は 2 階建て以上の建物が密集しているため、現行のエリア算出法の定義によると S の値は市街地の 0 が妥当と考えられる。しかしながら、自己土地であるホームの長手方向は線路に沿って障害物が少ないため、準市街地～郊外地相当の伝搬特性を示す可能性がある。そこで、ホームの長手方向とそれ以外では異なる S の値を取るという仮説を設定し、長手方向は  $0 < S \leq 12.5$  [dB]、それ以外の方向は  $S \approx 0$  [dB] で近似できるかを実測により検証することにする。

図 3.3.2.2-1) 伝搬方向によるパラメータ S の違い (東横線を例とした仮説)

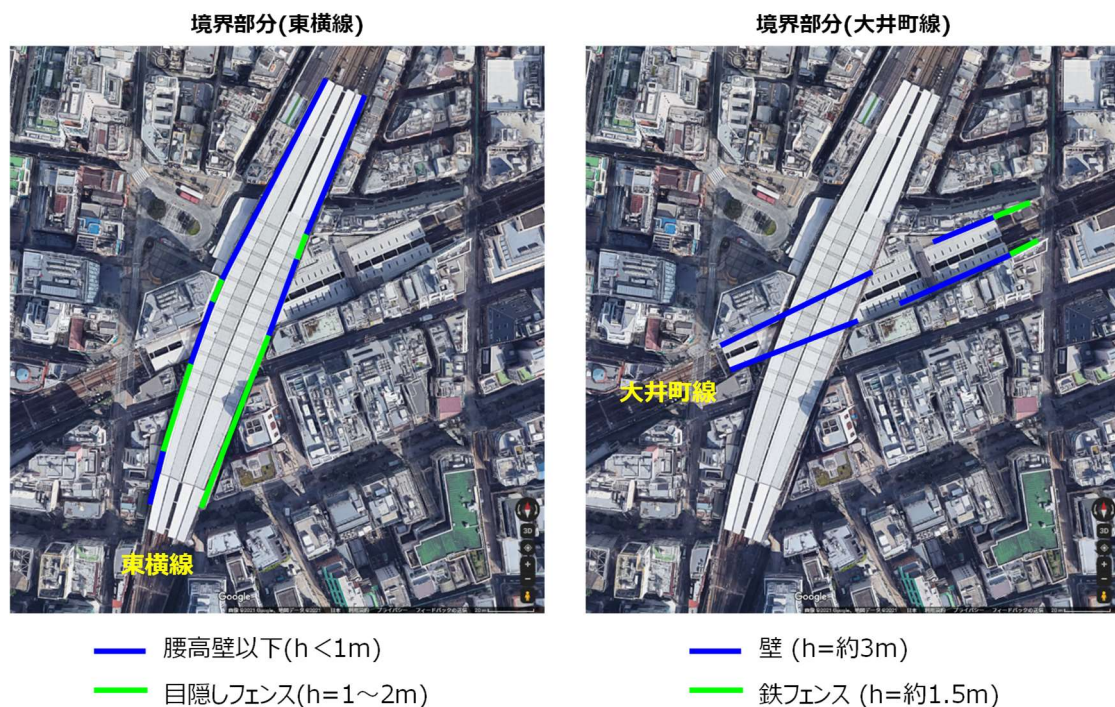


## (2) R について

3.2 章に記載したように、他者土地との境界における遮蔽度合いが東横線と大井町線で異なるため、短手方向の電波伝搬特性が両ホームで異なると予想される。更に、図 3.3.2.2-2 に示すように、東横線ではホーム短手方向が見通せる(壁のない)開放箇所と部分的に遮蔽された箇所が混在するほか、駅ホームに近接する他者土地の建物も壁と近い影響を与え得る。そこで、半屋外環境であっても短手方向の電波伝搬では透過損 R が適用でき、他者土地との境界における遮蔽度の違いによって R の値が異なるという仮説を考える。具体的には、①遮蔽度の低い東横線における R の値  $R_1$  と遮蔽度の高い大井町線における R の値  $R_2$  が、屋外 ( $R=0$ ) と屋内 ( $R=16.2$ ) の値に対して  $0 < R_1 < R_2 < 16.2$  の関係が成り立つこと、②東横線では境界付近の障害物による遮蔽度が大きいほど R の値が大きいことを仮説として設定する。

また、ホーム上の電波伝搬は列車の有無によって大きく影響を受けると予想されるので、当然 S と R も列車の停車位置(何番線ホームに停車しているか)によって取り得る値が異なると考えられる。従って、本実証では列車の停車位置を変えて検証することで、S および R への影響を評価する。

図 3.3.2.2-2) 他者土地との境界における遮蔽度の違い

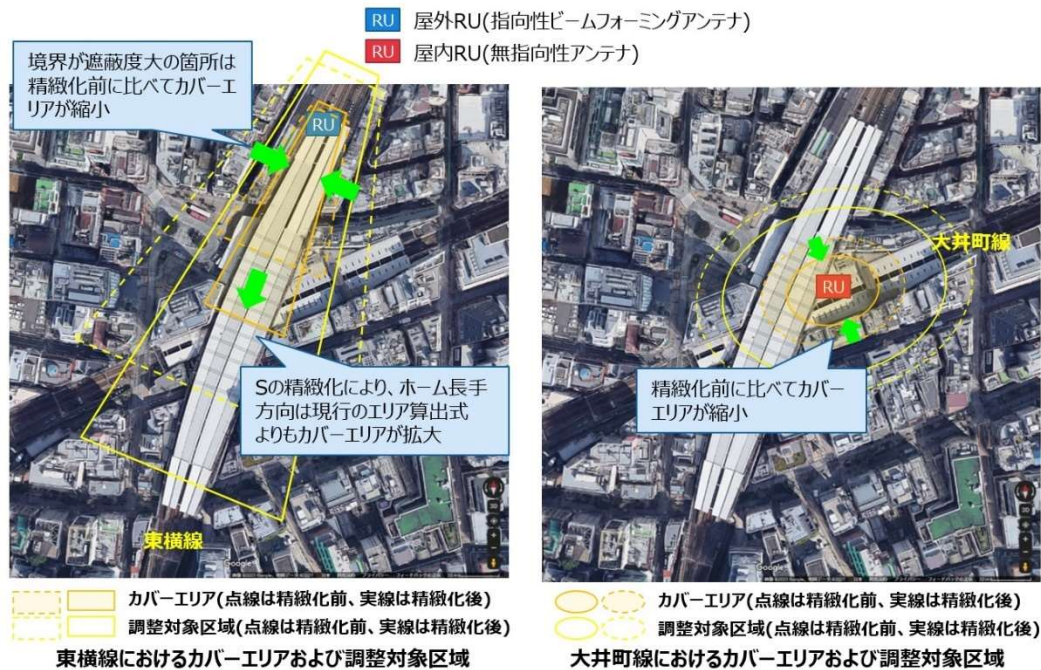


現場環境に応じた S と R の値を適用するエリア算出式を使用することにより、カバーエリアおよび調整対象区域の見積もり精度が向上する。適用前のエリア算出式で計算されたカバーエリアに対して予想される差異を図 3.3.2.2-3) に示す。具体的には、東横線では精緻化後の S の適用により、ホーム長手方向にカバーエリアが拡大し、精緻化後の R の適用により、境界部分の遮蔽度の大きい場所では適用前よりもホーム短手方向のカバーエリア



が縮小する。同様に、大井町線では精緻化後の R の適用により、ホーム短手方向のカバーエリアが縮小する。

図 3.3.2. 2-3) 精緻化によって予想されるカバーエリアおよび調整対象区域の差異



### 3.3.2.3 評価・検証項目

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 3.3.2.3-1 に示す項目を測定する。

表 3.3.2.3-1) 伝搬精緻化のために測定する項目

| 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 |

エリア算出法で規定された下式と測定した受信電力を基に、測定点における伝搬損失  $L$  を算出する。(変数は、表 3.3.2.3-2) に示す。)

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

表 3.3.2.3-2) 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     |
| $G_t$ | [dB]  | 送信アンテナ利得        |
| $G_r$ | [dB]  | 受信アンテナ利得        |
| $L_f$ | [dB]  | 基地局の給電線損失       |

### 3.3.2.4 評価・検証方法

#### (1) 受信電力の測定

自己土地では東横線および大井町線、他者土地では駅周辺エリアにおいて、全RUから電波を吹いた状態で、3.3.2.3章に記載した受信電力を各RUについて測定した。測定には電界強度測定器(アンリツ社製のエリアテスタ ML8780A)を使用した。測定は0.04秒間隔で1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、 $\sigma$ 、上位10%値、下位10%値を求めた。定在波の影響を避けるため、一つの測定点において、測定時間中は測定器のアンテナを水平面で半径30cmの円周上を15秒ごとに90°ずつ回転させることにより、 $10\lambda$ ( $\lambda$ は波長、 $10\lambda$ =約60cm)の範囲で測定位置を動かしながら測定した。測定地点については基本的に干渉調整を行うエリア端を決める算出式のパラメータ精緻化が目的であることに鑑み、基地局からの方向の異なる地点で、SおよびRの仮説検証に必要なデータが取得できることを狙った位置に設けた。

具体的な測定点の位置については後述の(2)、(3)における各パラメータの仮説検証方法の中で説明する。

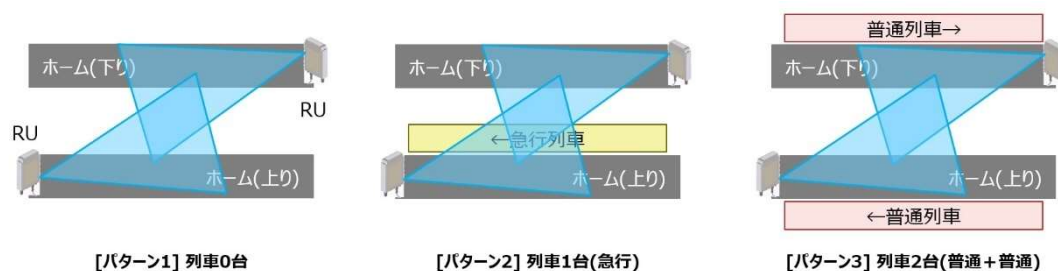
各測定点での測定に際しては、LOS/NLOSの状況を記録し、基地局を望む方向の写真の撮影をするとともに、下記のような情報を併せて収集することとする。

Sに影響する要素：基地局との間に2階建て以上の建物の有無、線路の幅(線路方向の場合)

Rに影響する要素：基地局との間の腰高壁や目隠しフェンスの高さ(東横線の場合)、屋根までつながった壁の有無(大井町線の場合)

3.2章の(4)で説明したように、測定位置におけるRUからの受信電力はRUとホームに停車する列車の位置関係によって異なる。そこで、本実証では通常運行時間中の営業車両ではなく作業車を使用して、東横線において図3.3.2.4-1に示す停車列車のパターンでの受信電力を測定した。列車の影響が全くないパターン1を基本に、列車による反射で他者土地への漏洩電波が増加する可能性のあるパターン2と、他者土地への漏洩電波を抑制する効果が期待できるパターン3での受信電力を比較し、停車列車による伝搬影響を評価した。なお、停車列車パターンで条件づけた評価は東横線のみで実施した。

図 3.3.2.4-1) 実証で比較する停車列車のパターン(東横線)



## (2) S についての仮説検証方法

前述の通り、パラメータ S は基地局からの水平距離が 100m 以上の地点でのみ適用される。東横線と大井町線はいずれもホームの長手方向は 100m 以上あるが、設置する RU の空中線電力やアンテナ指向性を考慮して、本仮説検証では東横線の RU からの受信電力を取り扱うこととする。

本検証は、図 3.3.2.4-1 に示すパターンのうち停車列車の影響が全くないパターン 1 の設定で実施し、その後、停車列車が存在するパターン 2 やパターン 3 の条件でも実施することで、停車列車による S への影響を比較評価した。

図 3.3.2.4-(2)-1 および図 3.3.2.4-(2)-2 に東横線の RU1、RU2 それぞれに対する測定エリアの位置を赤い楕円で示す。また、同図上に各エリアの他者土地との境界条件として(3)の R についての検証方法で説明する低壁(高さ約 1.5m)および中壁(高さ約 2.6m)の位置を合わせて示す。S の精緻化にあたっては、これら壁面の条件を考慮し、R の影響を除去するものとする。

仮説の検証にあたっては、S-B および S-G エリアをホーム長手方向とし、考察で述べる方法により各エリアの S 見積値を算出することでホーム長手方向エリアの S 見積値、その他のエリアの S 見積値を比較することにより検証を実施した。

図 3.3.2.4-(2)-1 RU1 に対する各測定エリアの他者土地との境界条件の位置関係

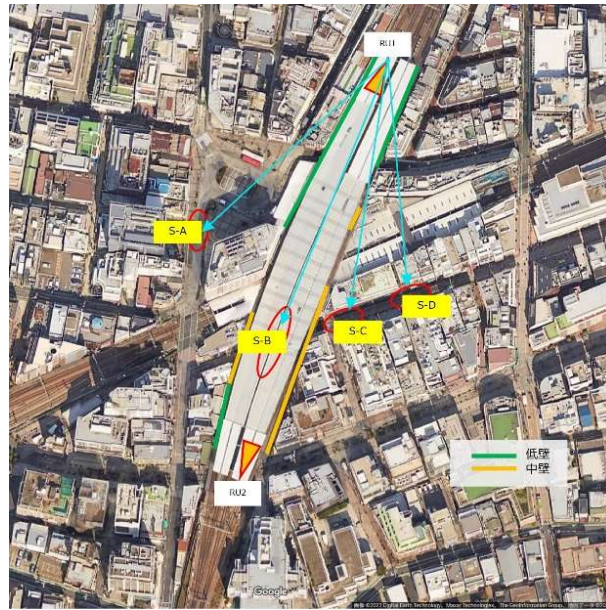
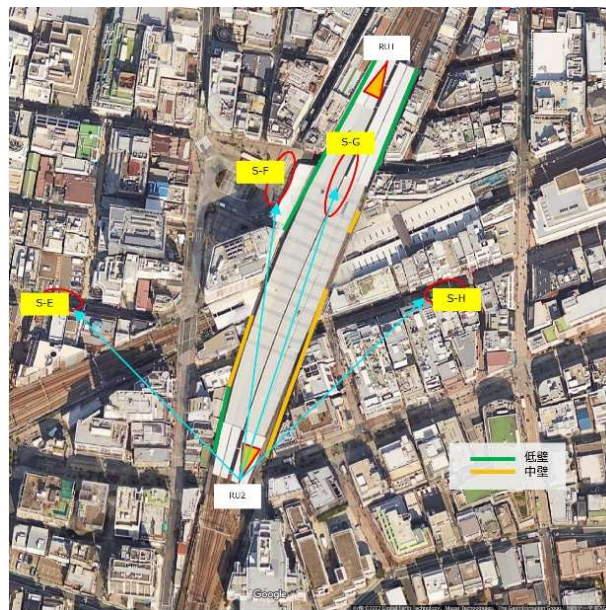


図 3.3.2.4-(2)-2 RU1 に対する各測定エリアの他者土地との境界条件の位置関係



各測定エリアについて、測定地点から基地局方向の写真と伝搬環境の概況を説明する。写真内の赤丸は基地局の方向を示す。

表 3.3.2. 4-(2)-1 RU1 に対する S 値精緻化のための測定地点の概況

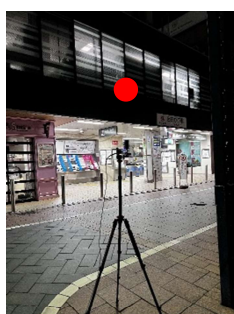
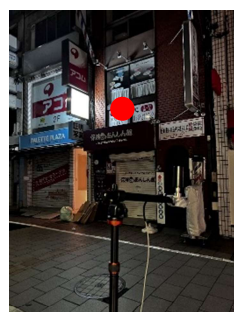


| 測定エリア | RU1 方向の写真   | 伝搬環境の概況   |
|-------|---|---|
| S-A   |    | <p>自由が丘駅正面口からロータリー広場を越えたエリア。東横線の低い壁面の大きな開口部が見える。<br/>RU1 の直接の見通しはない。</p>                    |
| S-B   |   | <p>東横線ホーム上のエリア。各種案内表示設備やエレベータ、階段を囲むガラス等の遮蔽物がある。遮蔽物との位置関係により、RU1 への見通しが得られる測定地点もある。</p>      |
| S-C   |  | <p>自由が丘駅南口前の東西方向の通り沿いのエリア。通りの両側には3階建ての商店が並んでいる。商店は隣との隙間は小さい。<br/>RU1 からの見通しはない。</p>         |
| S-D   |  | <p>S-C と同じ通り沿いで、東側に 40m 程度はなれたエリア。通りの両側には3階建ての商店が並んでいる。商店は隣との隙間は小さい。<br/>RU1 からの見通しはない。</p> |

表 3.3.2. 4-(2)-2 RU2 に対する S 値精緻化のための測定地点の概況

| 測定エリア | RU2 方向の写真   | 伝搬環境の概況  |
|-------|---|--|
| S-E   |    | 東横線の西側、大井町線の踏切付近から東西に延びる道路沿いに 60m 程度入ったエリア。南側(写真の方向)には 3 階建ての商店が並び、写真の背面には駐車場の空間がある。RU2 への見通しは得られない。 |
| S-F   |   | 自由が丘駅正面口前のエリア。写真前方左側が駅正面口、右側がロータリー広場となっている。左側の東横線からは広い開口部が間近に見える。RU2 への見通しは得られない。                    |
| S-G   |  | 東横線ホーム上のエリア。RU1 の S-B エリア同様、各種案内表示設備やエレベータ、階段を囲むガラス等の遮蔽物がある。遮蔽物との位置関係により、RU2 への見通しが得られる測定地点もある。      |
| S-H   |  | 自由が丘駅南口前の東西方向の通り沿いのエリア。通りの両側には 3 階建ての商店が並んでいる。商店は隣との隙間は小さい。RU2 からの見通しはない。                            |

### (3) R についての仮説検証方法

パラメータ R の仮説検証では、S の影響を避けるため、RU からの距離が 100m 以内の測定点でのデータのみを使用した。

仮説①について、RU からの距離が 100m 以内の位置で測定した受信電力を 3.2.2.3 章の式で伝搬損に換算して基地局からの距離に対してプロットし、東横線については考察で述べ

る方法で各エリアの R 値の見積値を求めたものをエリアごとの遮蔽度により平均化して遮蔽度ごとの R 値を求めた。大井町線にすいてはエリア算出式で計算した伝搬損が最もフィットする R の値を求めた。東横線で求めた R の推定値  $R_1$  と、大井町線にフィットする R の推定値  $R_2$  を比較し、 $0 < R_1 < R_2 < 16.2$  の関係が成り立つかどうかを検証した。

仮説②の検証は、自己土地と他者土地との境界部分のバリエーションが多い東横線の RU についての測定データを用いて行った。

なお、本検証は、図 3.3.2.4-1 に示すパターンのうち停車列車の影響が全くないケース 1 の設定で実施し、その後、停車列車が存在するケース 2 やケース 3 の設定でも実施することで、停車列車による S への影響を比較評価した。

### (3-1) 東横線の R 精緻化のための測定

東横線の RU1 に対して測定エリア R-A、R-B、R-C を、RU2 に対して測定エリア R-D、R-E、R-F をそれぞれ設け、各測定エリアにて 5 地点で電界強度を測定した。

各 RU から各エリア(他者土地)への電波伝搬条件を遮蔽度と境界条件について以下の表に整理した。境界条件としては、遮蔽物となる要素として、高さ 1.5m 程度の低壁、高さ 2.5m 程度の中壁、隣接建物がある。他者土地との境界に壁面と隣接建物の両方がある場合を遮蔽度大、壁面のみの場合を遮蔽度中、壁面も建物もない場合を遮蔽度小とした。

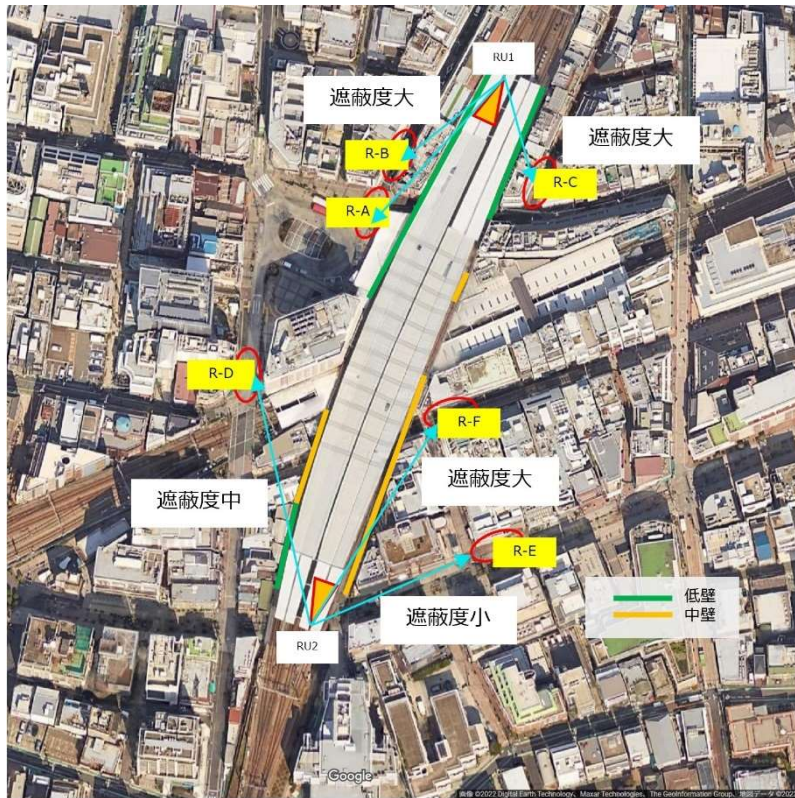
一方、これらの遮蔽物のない境界部分(例えば正面口前のロータリー広場に面した境界部分など、低壁、中壁のない境界部分)や、隣接建物のない境界部分で低壁、中壁より上部の空間は、開口部である。基地局から放射された電波の直接波やホーム上で生じた反射波はこれら開口部から漏洩し易いことが考えられる。

各測定エリアと他者土地との境界条件の位置関係を図 3.3.2.5-(3)-1 に示す。

図中、各測定エリアを赤い楕円で示している。

図 3.3.2.5-(3)-1 測定エリアと他者土地との境界条件





各測定エリアについて、測定地点から基地局方向の写真と伝搬環境の概況を説明する。写真内の赤丸は基地局の方向を示す。

表 3.3.2. 4-(3)-1 RU1 に対する R 値精緻化のための測定地点の概況


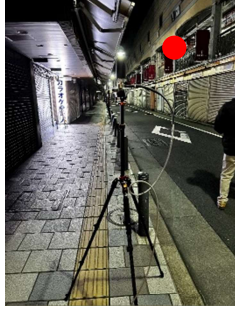
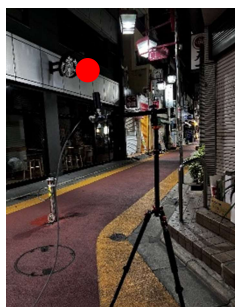






| 測定エリア | RU1 方向の写真   | 伝搬環境の概況   |
|-------|---|---|
| R-A   |    | <p>自由が丘駅正面口前のエリアであり、バスやタクシーのロータリー広場に面している。東横線のホームとの境界は大きな開口部となっている。写真のように一部屋根部分があるが非金属の幕材のため電波の遮蔽の影響は小さい。</p> <p>基地局 RU1 への見通しはない。</p>        |
| R-B   |   | <p>東横線の西側、R-A エリアの北側にある南北方向の路地エリア。写真右側は東横線に隣接する 4 階建ての建物で南北方向に細長い形をしている。写真左側は 3 階～4 階建ての商店がつながった建物に挟まれた路地となっている。</p> <p>基地局 RU1 への見通しはない。</p> |
| R-C   |  | <p>東横線の東側にある南北方向の路地エリア。写真左側は東横線に隣接する 2～3 階建ての商店が立ち並んでいる。商店は隣との距離は狭い。写真右側にも 2～3 階建ての商店が並んでいる。</p> <p>基地局 RU1 への見通しはない。</p>                     |

表 3.3.2. 4-(3)-2 RU2 に対する R 値精緻化のための測定地点の概況

| 測定エリア | RU1 方向の写真   | 伝搬環境の概況   |
|-------|---|---|
| R-D   |    | <p>東横線西側、大井町線の踏切を越えたエリアであり、比較的広い空間となっている。写真背面には商店が入った3階～7階建ての建物がある。写真左手には9階建てのビルがある。</p> <p>基地局 RU2 への見通しはない。</p> |
| R-E   |   | <p>東横線高架下から続く九品仏緑道沿いのエリア。緑道は幅が10m以上ある広い通りであり、両側には3～4階建てのビルがあるが隣との空間に余裕がある。</p> <p>RU2 からの見通しがある。</p>              |
| R-F   |  | <p>自由が丘駅南口前の東西方向の細い通り沿いのエリア。</p> <p>通りの両側には3階建ての商店が並んでいる。商店は隣との隙間は小さい。</p> <p>RU2 からの見通しはない。</p>                  |

各測定エリアについて、測定地点から基地局方向の写真と伝搬環境の概況を説明する。  
写真内の赤丸は基地局の方向を示す。

表 3.3.2.4-(3)-3 各測定エリアの境界条件と遮蔽度

| エリア | 境界壁面情報                                       | 写真  | 遮蔽観点の説明                  | 遮蔽度 |
|-----|--|---|--------------------------|-----|
| R-B | 低壁<br>材質：押出成形セメント<br>高さ：1,510mm<br>厚み：50mm   |    | 壁面通過後の隣接建物はホーム上の屋根と同等の高さ | 大   |
| R-C | 低壁<br>材質：押出成形セメント<br>高さ：1,510mm<br>厚み：50mm   |    | 壁面通過後の隣接建物はホーム上の屋根と同等の高さ | 大   |
| R-F | 中壁<br>材質：金属系パネル<br>高さ：2,660mm<br>厚み：150mm    |   | 壁面通過後に隣接建物あり             | 大   |
| R-A | 低壁<br>材質：押出成形セメント<br>高さ：1,510mm<br>厚み：50mm   |  | 壁面通過後の隣接建物はホーム上の屋根と同等の高さ | 大   |
| R-D | 低壁<br>材質：フレキシブルボード?<br>高さ：1,500mm<br>厚み：50mm |  | 壁面通過後、受信エリアまでに見通し領域がある   | 中   |
| R-E | 壁面無し   |  | 境界はオープン                  | 小   |

### (3-2) 大井町線の R 精緻化のための測定

大井町線の R 精緻化のための測定エリアを図 3.3.2.4-(3)-2 に示す。

大井町線の RU1(大井町線ホームの東側に設置の RU)に対して測定エリア R-G、R-H、R-I、R-J を設け、各測定エリアにつき 7 地点で電界強度を測定した。

大井町線ホームは東西方向に長手となっており、短手方向(南北方向)の多くは屋根とつながった壁面となっている。短手方向の壁面による R の影響をみるため、RU1 からみて線路方向の開口部に近いエリアとして R-G、R-H を、そこから短手方向に回り込むかたちで R-I、R-J の各エリアを設けた。

図 3.3.2.4-(3)-2 大井町線の R 精緻化のための測定エリア



各測定エリアについて、測定地点から基地局方向の写真と伝搬環境の概況を説明する。写真内の赤丸は基地局の方向を示す。

表 3.3.2. 4-(3)-4 大井町線の RU1 に対する R 値精緻化のための測定地点の概況

| 測定エリア | RU1 方向の写真   | 伝搬環境の概況  |
|-------|---|--|
| R-G   |    | <p>大井町線の踏切の北側、南北方向に延びる道路沿いのエリア。道路東側は4階建ての商業ビル、西側は3階建ての商店が並んでいる。大井町線の踏切は見えるがRU1 への見通しは得られない。</p>  |
| R-H   |    | <p>大井町線の踏切から線路沿いに東西に延びる道路沿いのエリア。線路北側は4階建てのビルがある。RU1 への見通しが得られる。</p>                              |
| R-I   |  | <p>大井町線の踏切の南側、南北方向に延びる道路沿いのエリア。東側は4階建ての商業ビル、西側は大井町線ホームに隣接して2階建ての商店がある。RU1 への見通しはない。</p>          |
| R-J   |  | <p>R-I の南側に東西方向に交差する道路沿いのエリア。北側は2～3階建ての商店、南側も2～3階建ての商店が並ぶ。南側商店が大井町線ホーム壁越しに隣接する。RU1 への見通しはない。</p> |

### 3.3.2.5 実証結果及び考察

まず、東横線での S 値の精緻化のための各エリアの伝搬損失の実測値と精緻化前の算出式の値、東横線の R 値の精緻化のための各エリアの伝搬損失の実測値と精緻化前の算出式の値を列車停車パターンごとにグラフに示す。

#### (1) S 値の精緻化

以下、東横線の各測定エリアの伝搬損失の測定結果を示す。

図 3.3.2.5-(1) 1) RU1 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 1)

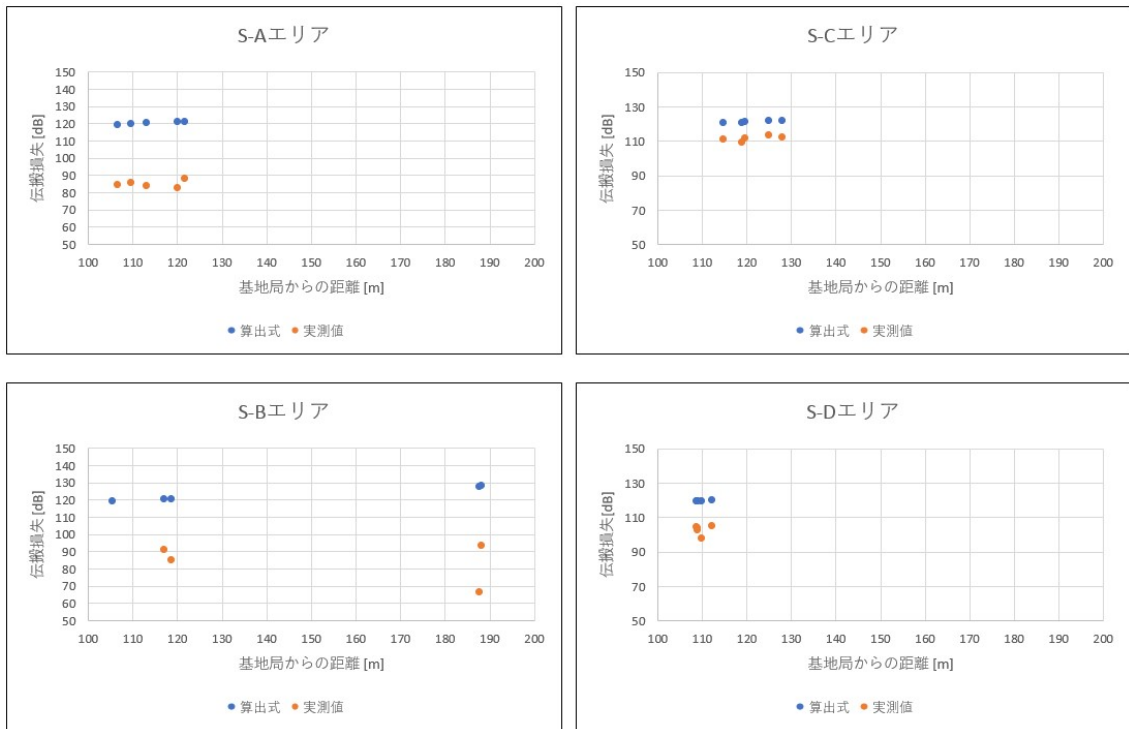


図 3.3.2.5-(1) 2) RU1 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 2)

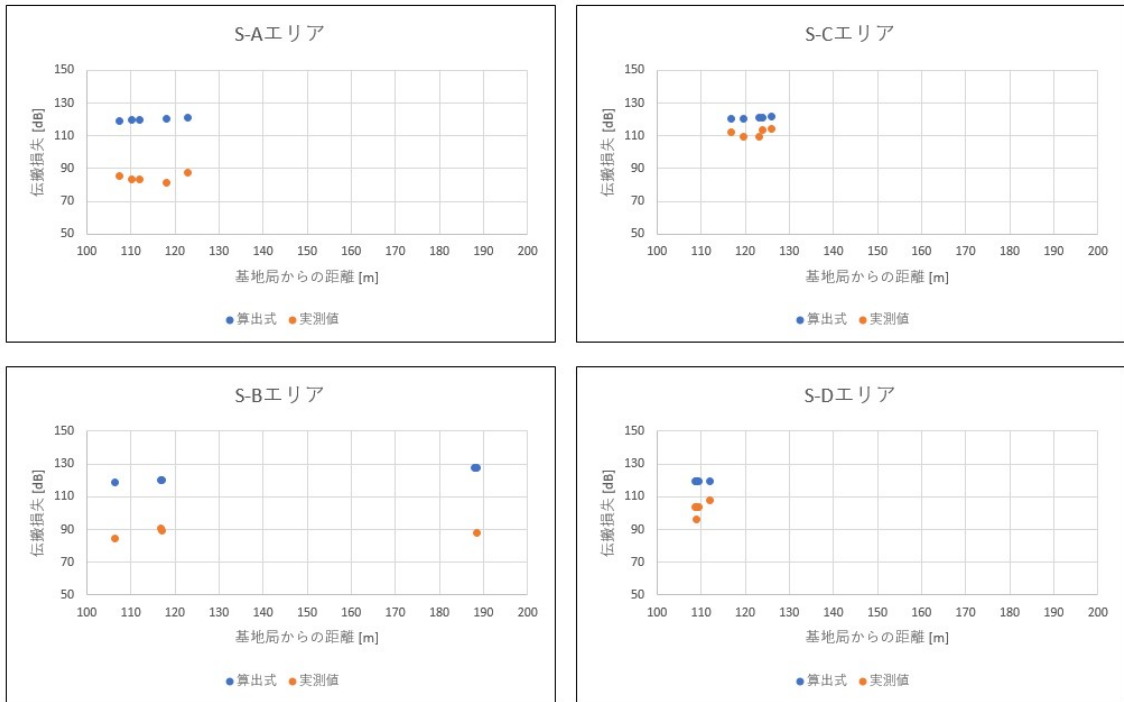


図 3.3.2.5-(1) 3) RU1 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 3)

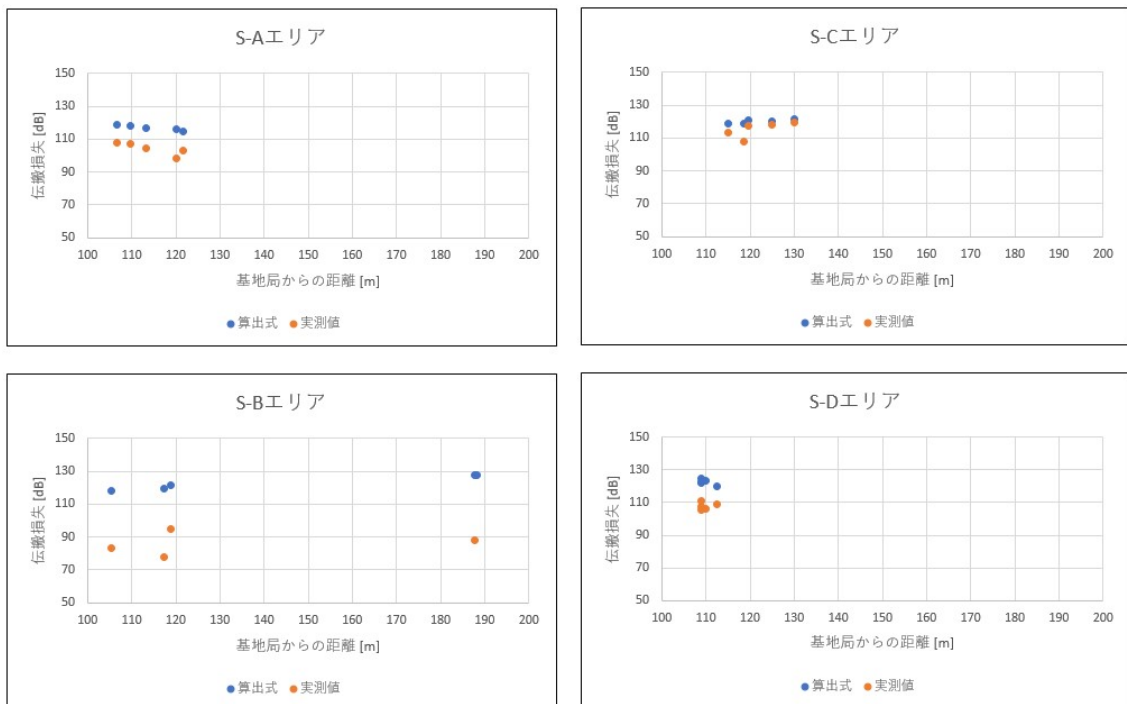




図 3.3.2.5-(1) 4) RU2 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 1)

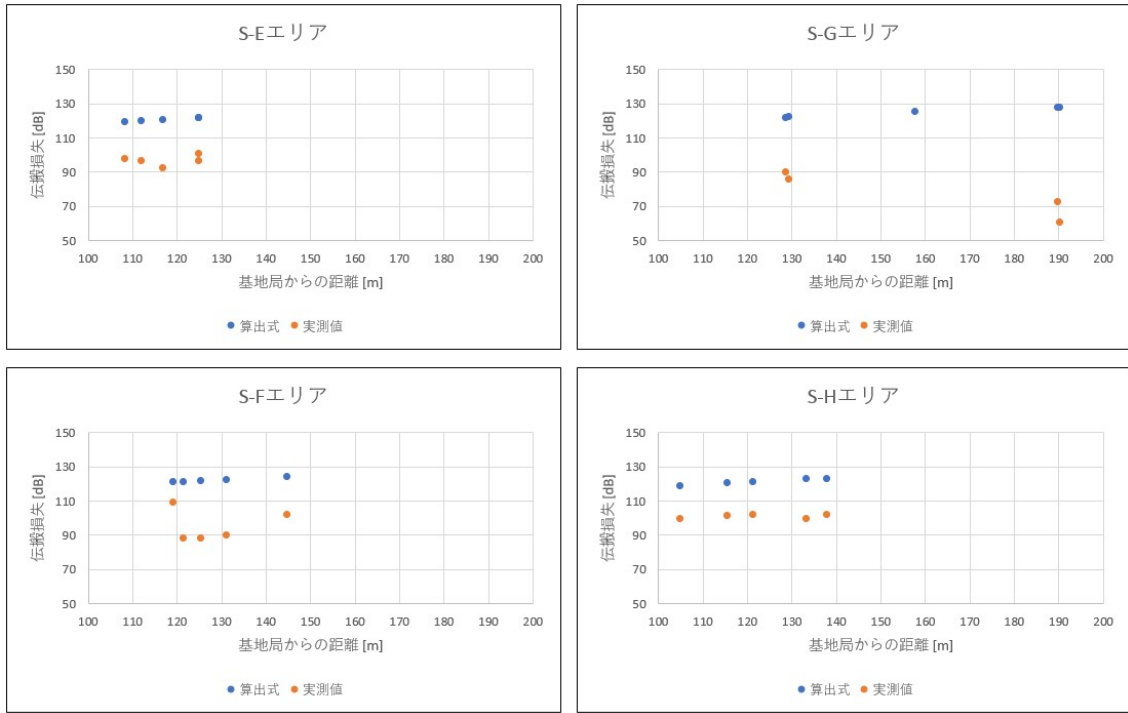


図 3.3.2.5-(1) 5) RU2 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 2)

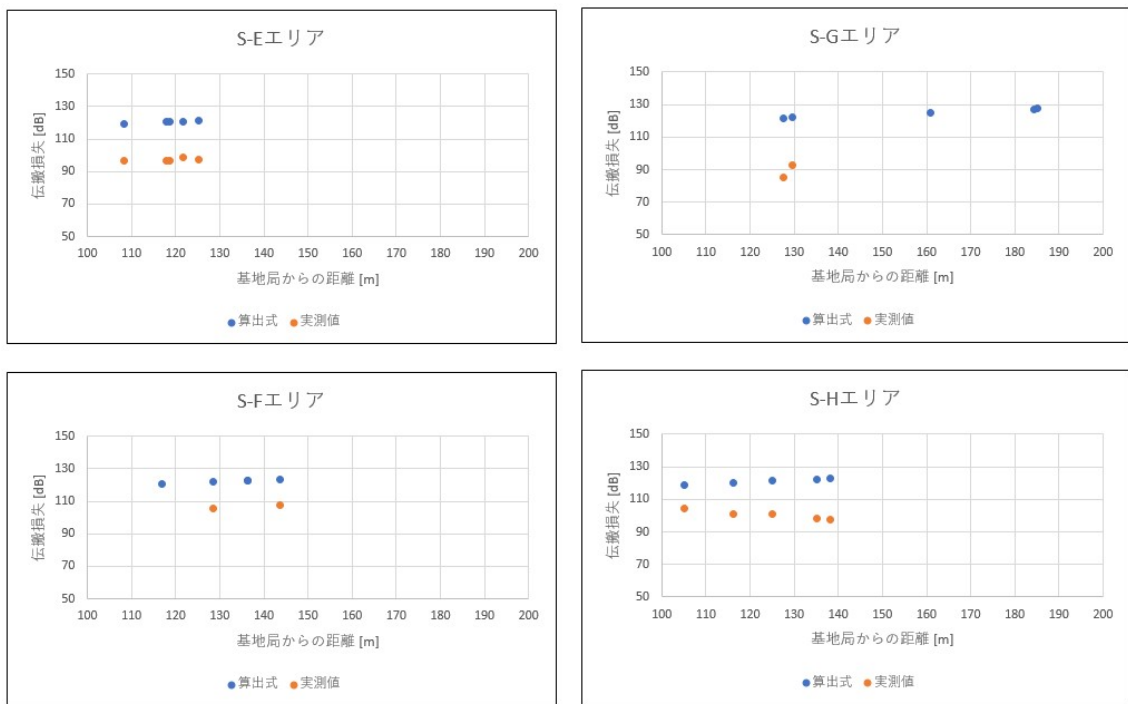
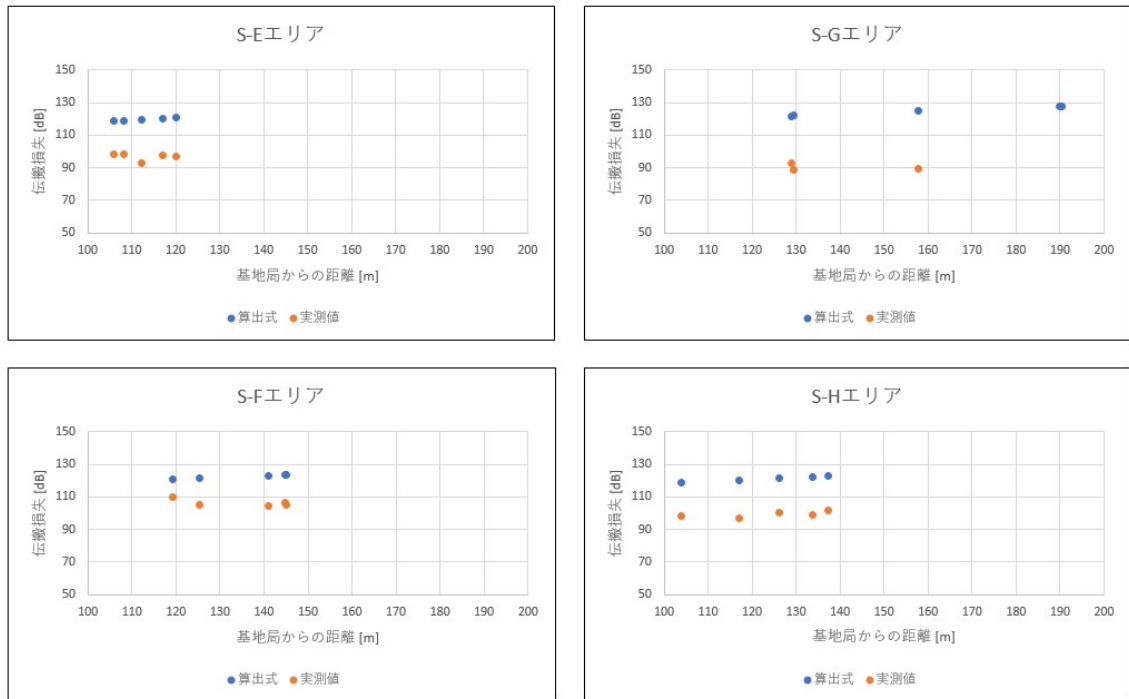


図 3.3.2.5-(1) 6) RU2 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 3)



(2) R 値の精緻化

以下、東横線の各測定エリアにおける測定結果を示す。

図 3.3.2.5-(2) 1) RU1 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 1)

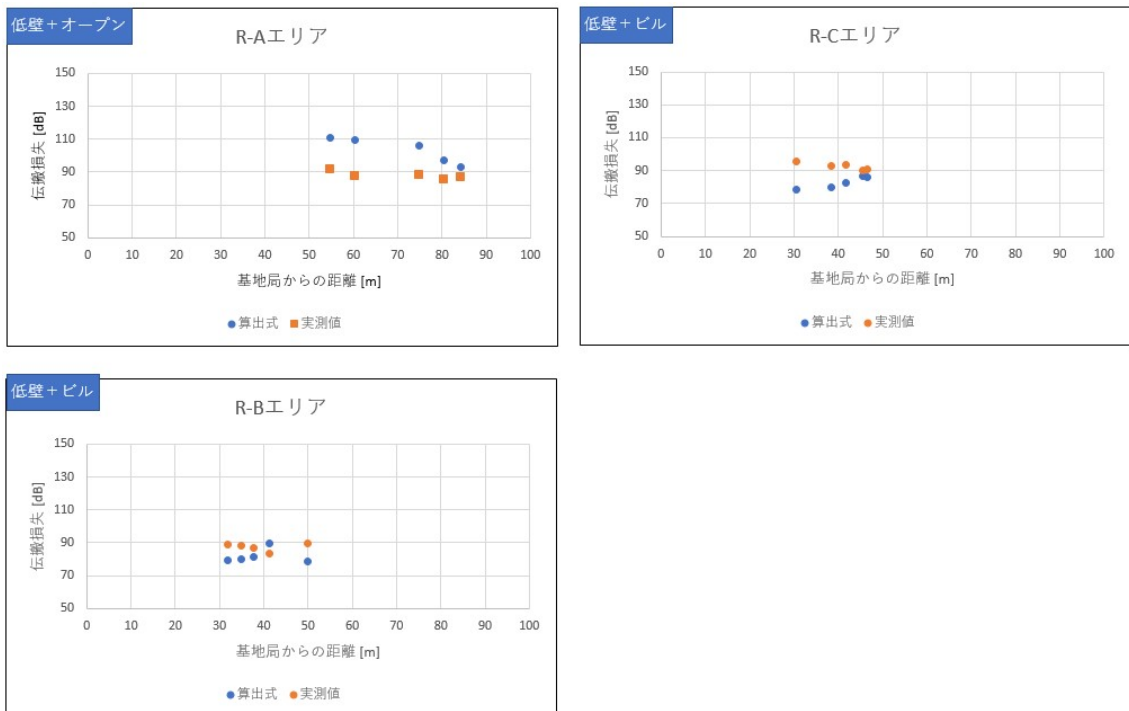


図 3.3.2.5-(2) 2) RU1 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 2)

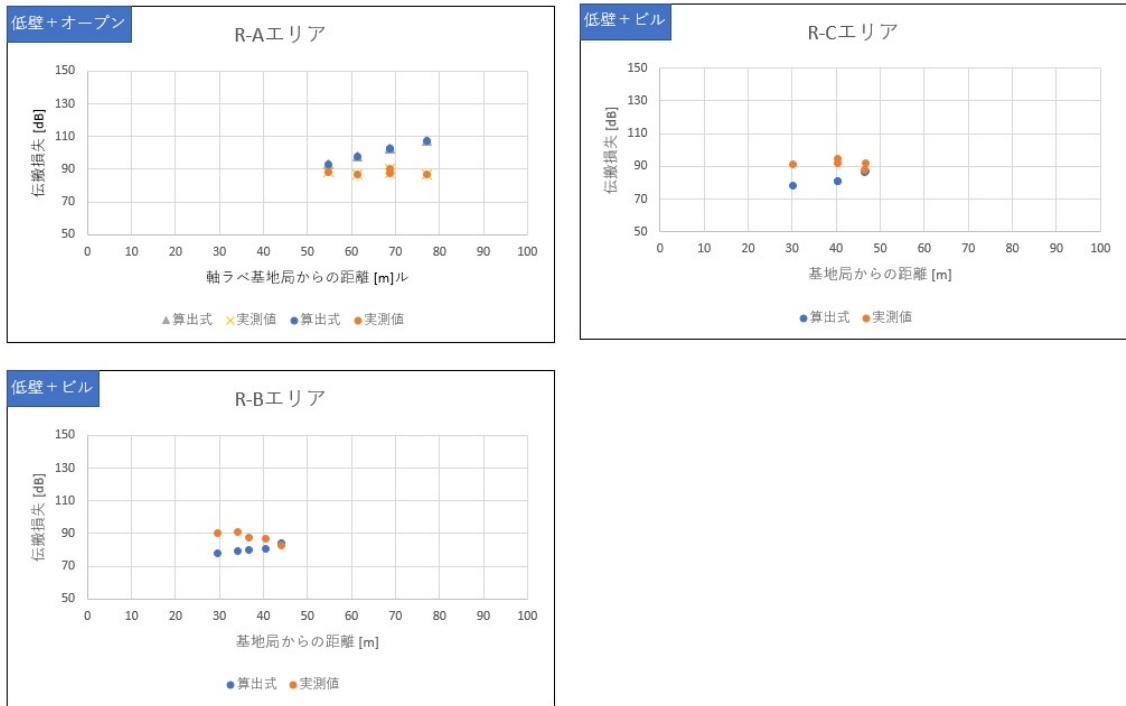


図 3.3.2.5-(2) 3) RU1 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 3)

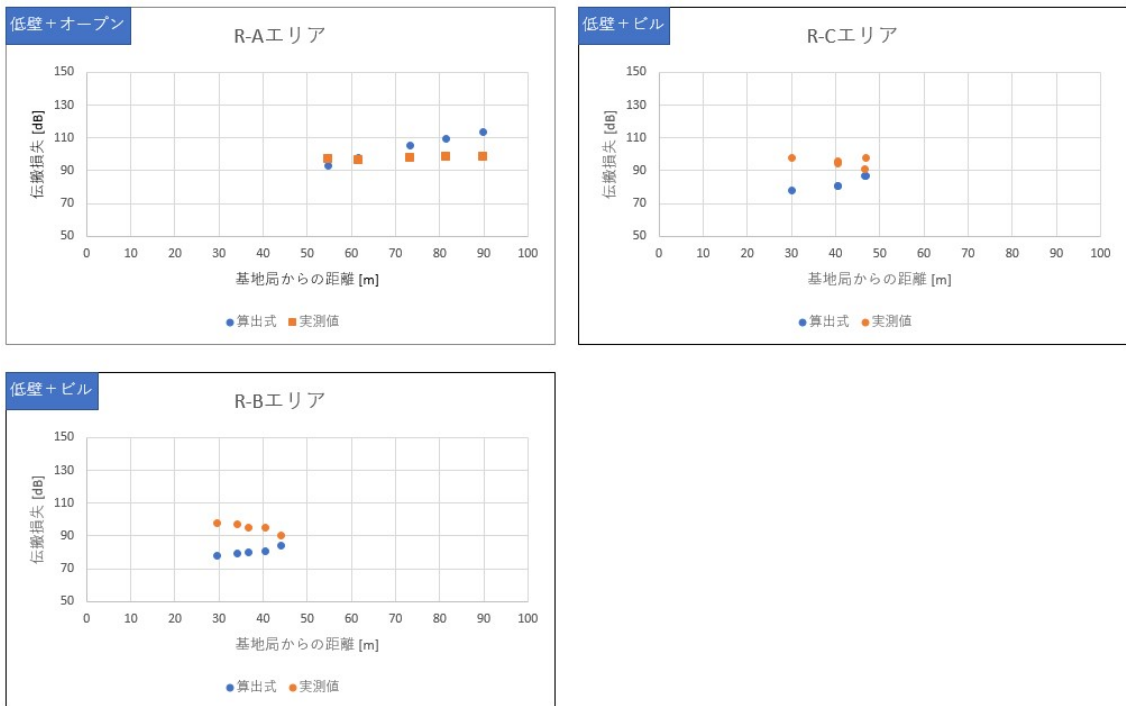


図 3.3.2.5-(2) 4) RU2 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 1)

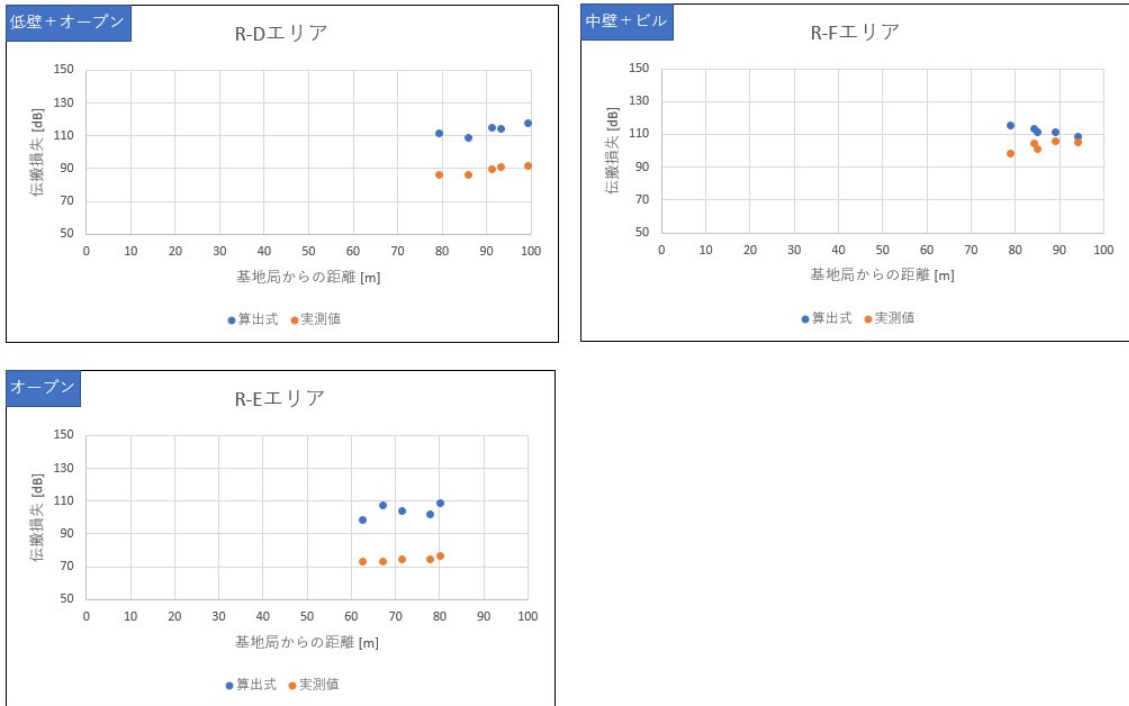


図 3.3.2.5-(2) 5) RU2 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 2)

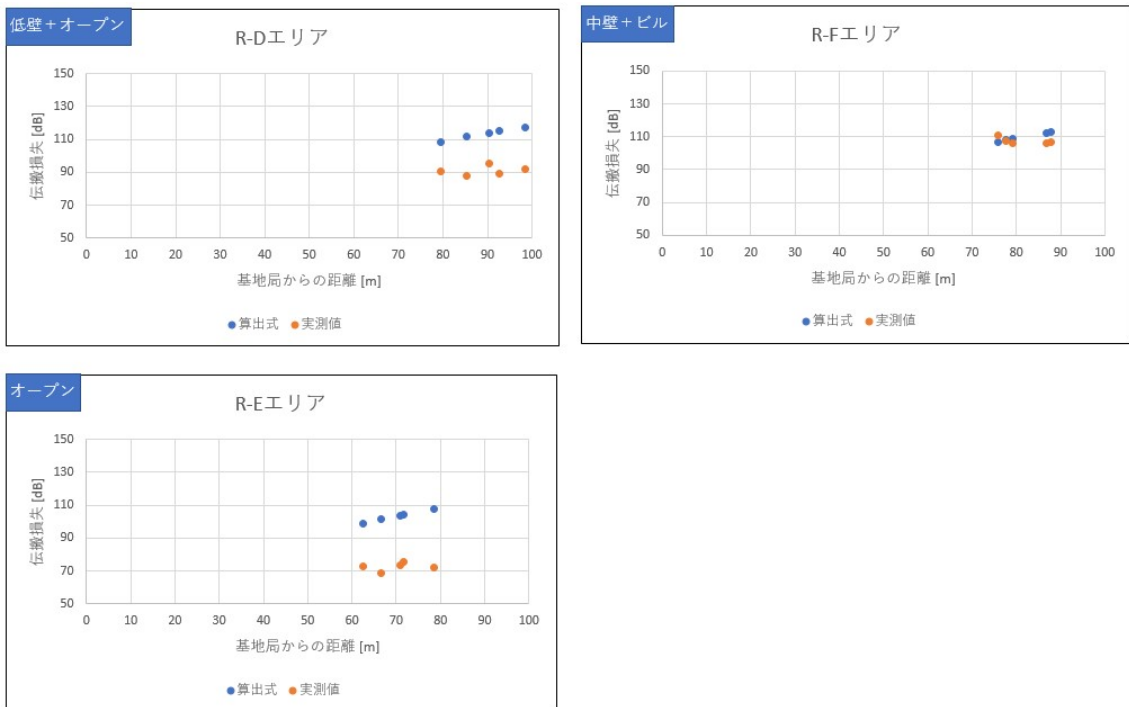
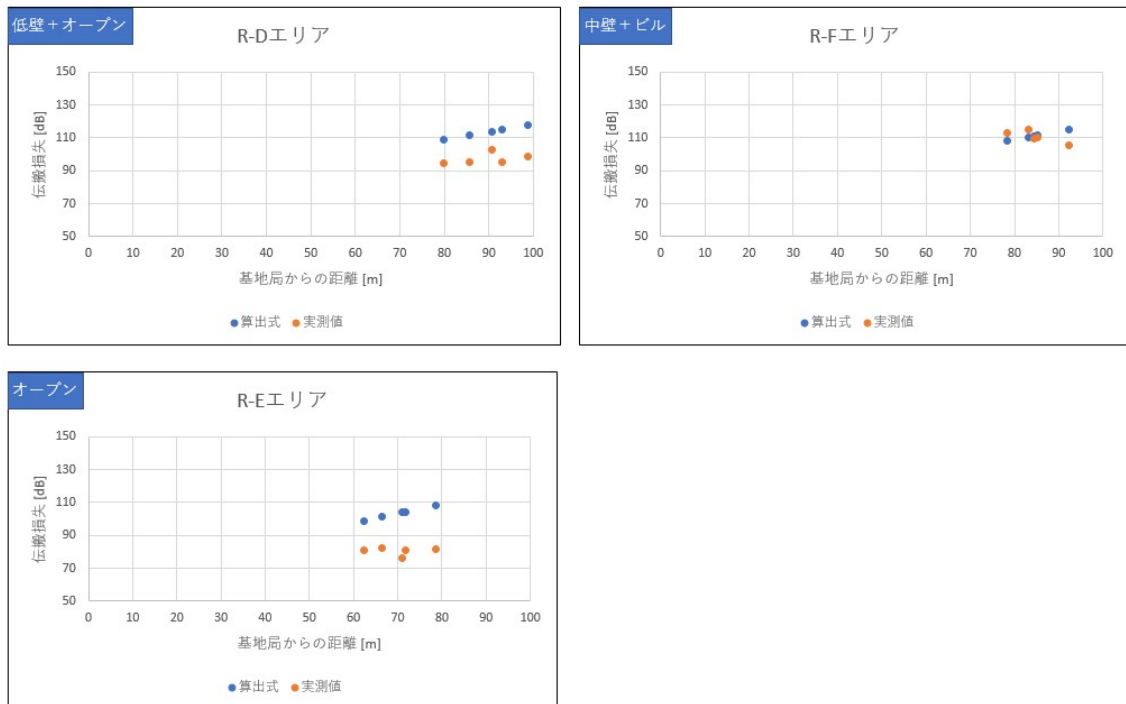


図 3.3.2.5-(2) 6) RU2 に対する各測定エリアにおける伝搬損失(列車停車パターン 3)



### (3) 考察

基地局からの距離が 100m 以上で定義される S 値についての考察には他者土地への境界条件に基づいた R についての条件を排除する必要があるため、まず、R について先に考察する。

#### 1. 東横線のパラメータ R に関する考察

以下の仮説について検証する。

仮説：東横線では境界付近の障害物による遮蔽度が大きいほど R の値が大きいこと

各エリアに対して求めた R の値について、上記仮説の遮蔽度と同様の大小関係が成り立つかどうかを検証する。

境界条件がオープンな R-E エリアが R=0 相当の条件を満たすものと仮定し、下記の方法で各エリアの R を見積もった。

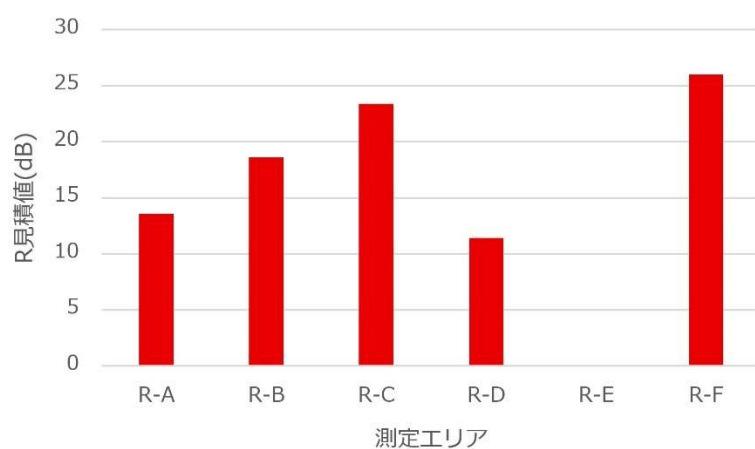
- ① R-E エリアの伝搬損失値を各エリアの測定地点における基地局からの距離に換算した値を算出
- ② ①の算出結果と各エリアでの伝搬損失値との差分の平均値を各エリアの R として見積もる

見積もった結果を表 3.3.2.5-(3)-1 に示す。表をグラフにしたものが図 3.3.2.5-(3)-1 である。

表 3.3.2.5-(3)-1 各エリアに対する R の見積値

| エリア   | R-A<br>遮蔽度：大 | R-B<br>遮蔽度：大 | R-C<br>遮蔽度：大 | R-D<br>遮蔽度：中 | R-E<br>遮蔽度：小 | R-F<br>遮蔽度：大 |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| R 見積値 | 13.6         | 18.6         | 23.4         | 11.4         | 0            | 26.0         |

図 3.3.2.5-(3)-1 各測定エリアの R 見積値



上記の見積もり結果より、R の値としては遮蔽度大の R-B、R-C、R-F の R 値が大きく、遮蔽度中の R-D の R 値がそれより小さく、これらについては仮説を満たしている。遮蔽度大のエリアの中で R-A エリアの R 値が他のエリアの R 値より小さな値となっている。この理由は、R-A エリアが図 3.3.2.5-(3)-2 に示すような大きな開口部に面した位置に存在することにより、この開口部からの電波の漏洩により伝搬損失の測定値が小さくなり、R 値としての遮蔽減衰の効果が小さくなったためと考えられる。

図 3.3.2.5-(3)-2 東横線ホームの開口部からみた R-A エリア方面



なお、表 3.3.2.4-(3)-3 に境界条件となる壁面の高さ、材質、厚みの情報を記載しているが、下記の理由により、自己土地から他者土地への電波の漏洩については壁面の透過損失以外の要因が大きいと考えられるため、本報告書においては個々の壁面情報に基づいて R を見積もることは実施しないこととする。

- ・壁面の高さが 1500～2660mm であり、高さ約 7m の屋根との間にオープンな部分が多く、RU から放射された電波およびその反射波が壁面以外の部分から漏洩すると考えられる
- ・他者土地との境界に壁面のない部分があり、RU から放射された電波およびその反射波がこの部分から漏洩すると考えられる

## 2. 東横線のパラメータ S に関する考察

各測定エリアに対する S 値について考える前に、図 3.3.2.4-(2)-1 および図 3.3.2.4-(2)-2 より、各エリアの S 値を分析する上で、除外すべき R 値について表 3.3.2.5-(3)-2 のように整理する。

表 3.3.2.5-(3)-2 各測定エリアに対する境界条件と除外すべき R 値

| エリア | 他者土地との境界条件                            | 除外すべき R 値 |
|-----|---------------------------------------|-----------|
| S-A | R-A エリアと同様の境界条件                       | 13.6      |
| S-B | 壁面なし、柱や表示板等の遮蔽物があるが、反射や回折により遮蔽の影響は小さい | 0         |
| S-C | 壁面なし、オープン                             | 0         |
| S-D | R-C エリアと同様の境界条件                       | 23.4      |
| S-E | 壁面なし、オープン                             | 0         |
| S-F | 壁面なし、オープン                             | 0         |
| S-G | 壁面なし、柱や表示板等の遮蔽物があるが、反射や回折により遮蔽の影響は小さい | 0         |
| S-H | R-F エリアと同様の境界条件                       | 26.0      |

### S 値の見積もりについて

表 3.3.2.5-(3)-2 に示すように、S-C エリアは境界条件としては壁面がなくほぼオープンであり、R の影響はないと考えられる。また、建物密度としては 2～3 階建ての商業ビルが立て込んだ周辺環境に位置しており、市街地相当と考えられる。そこで、この S-C エリアの S を S=0 と仮定し、S-C エリアの伝搬損失値について、各エリアの測定地点の基地局からの距離に換算した値を算出し、それと各エリアでの伝搬損失値との差分の平均値を各エリアの S として見積もった結果を表に示す。

この方針および表 3.3.2.5-(3)-2 に記載の他者土地との境界条件における R 値から、各エリアの S 値の見積もり値は表 3.3.2.5-(3)-3 のようになる。

表 3.3.2.5-(3)-3 各測定エリアに対する S の見積値

| エリア   | S-A  | S-B  | S-C | S-D  | S-E  | S-F  | S-G  | S-H  |
|-------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| S 見積値 | 39.1 | 32.9 | 0   | 30.3 | 14.3 | 17.3 | 40.8 | 37.0 |



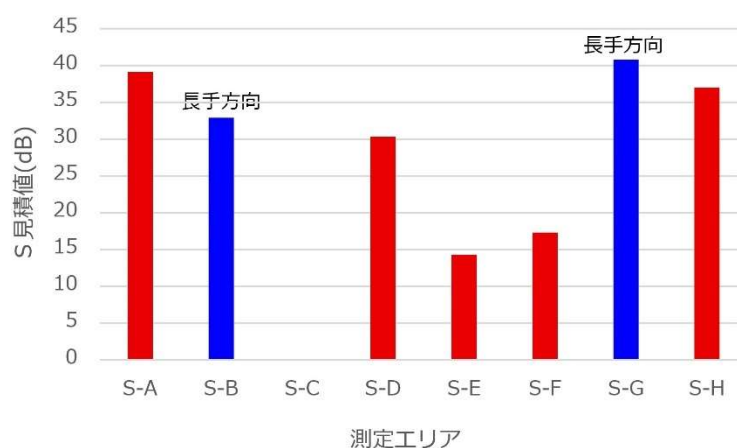
以下の仮説について検証する。

仮説：ホームの長手方向とそれ以外では異なる S の値を取るという仮説を設定し、長手方向は  $0 < S \leq 12.5$  [dB]、それ以外の方向は  $S \doteq 0$  [dB] で近似できる

各測定エリアの S 見積値のグラフを図 3.3.2.5-(3)-3 に示す。長手方向は市街地～郊外地相当、短手方向は市街地相当との仮説に対しては、長手方向の S-B および S-G エリアが S-C、S-E、S-F エリアよりも S 値が大きい傾向はみられるものの、以下の①～③の観点で仮説を満たしていない。

- ① S-B および S-G エリアが開放地相当の大きな値となっている
- ② S-A、S-D、S-H の各エリア開放地相当の大きな値となっている
- ③ S-E、S-F は市街地ではなく郊外地相当の値よりやや大きな値となっている

図 3.3.2.5-(3)-3 各測定エリアの S 見積値



仮説を満たしていない理由については以下のように考察する。

- ① 長手方向の S-B、S-G に対する S が仮説での  $0 < S \leq 12.5$  [dB] という市街地から郊外地の値よりも大きな値となっている理由

S-B、S-G エリアはともに東横線のホーム上である。ホーム上には柱、各種の案内標識、看板、ベンチ等の遮蔽物が存在するが、コンクリートのプラットホーム面やホーム上の屋根等による反射、回折により遮蔽の影響は小さく、建物密度の低い開放地と同様の伝搬環境となっているためと考えられる。

- ② S-A、S-D、S-H の各エリアの S 値が開放地相当の大きな値となっている理由

図 3.3.2.5-(3)-4 に S-A、S-D の各エリアの伝搬環境を示す。S-A エリアは自己土地との境界条件が R-A 相当の壁面を通過することを想定して  $R=13.6$  の

値を除外(元の S 見積値に加算)したが、ロータリー広場に面した境界は広い開口部となっており、ここから電波が漏洩することにより想定した R より減衰が小さいものと考えられる。また、伝搬経路上、周囲の建物密度が低くなっており、長手方向で想定した建物密度の低い特徴を有していることも考えられる。

S-D エリアは自己土地との境界条件が R-C 相当の壁面を通過することを想定して R=23.4 の値を除外(元の S 見積値に加算)したが、ホーム上の別の境界部分から漏洩した電波が到達することにより実際には想定した R の減衰効果が小さかったことが考えられる。また、2階相当の東横線から見ると、受信エリアとの間には、1階のみの大井町線ホーム屋根の比較的広い空間が存在しており、実質的な建物密度が低くなっており、伝搬損失から求めた S 値が大きくなったと考えられる。

図 3.3.2.5-(3)-4 S-A エリア、S-D エリアの電波伝搬環境

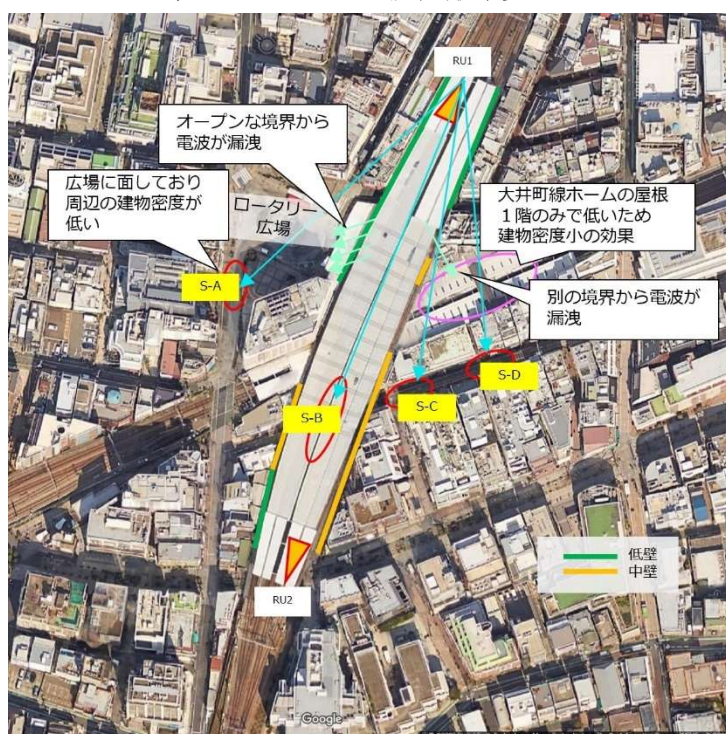


図 3.3.2.5-(3)-5 に S-H、S-E、S-F の各エリアの伝搬環境を示す。

S-H エリアは自己土地との境界条件が R-F 相当の壁面を通過することを想定して R=26.0 の値を除外(元の S 見積値に加算)したが、図 3.3.2.5-(3)-5 に示すようにホーム上の別の境界部分から漏洩した電波が建物が挟まれた道路(マリクレール通り)を両側の建物に反射しながら伝搬したことにより、実際には R の見積値より減衰効果が小さかったことが考えられる。

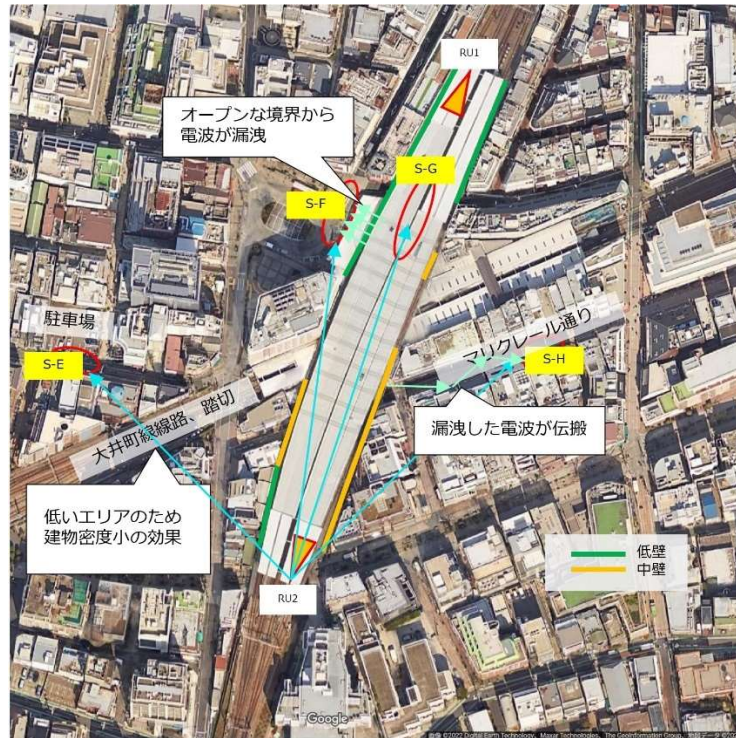
③ S-E、S-F の各エリアの S 値が郊外地をやや上回る大きな値となっている理由

S-E エリアは図 3.3.2.5-(3)-5 に示すように、2階相当の東横線からみると、基地局からの伝搬経路に大井町線の線路、踏切を挟んでおり、駐車場にも面しているなど建物密度が低

い周辺環境となっているためと考えられる。

S-F エリアは図 3.3.2.5-(3)-5 に示すように、東横線の壁面のないオープンな境界に面したエリアであり、開放地相当の東横線ホーム上を伝搬した電波が漏洩して到達するためと考えられる。

図 3.3.2.5-(3)-5 S-E、S-F、S-H エリアの電波伝搬環境



### 3. 東横線の列車の停車パターンの影響に関する考察

1. および 2. では東横線の列車停車パターン 1 についての S 値、R 値について考察したが、列車停車パターン 2、列車停車パターン 3 についても同様に見積値を求め、パターン 1 の値とともに結果を下表に示す。

表 3.3.2.5-(3)-4 各測定エリアに対する R の見積値の列車停車パターン比較

| 停車パターン | R-A<br>遮蔽度：大 | R-B<br>遮蔽度：大 | R-C<br>遮蔽度：大 | R-D<br>遮蔽度：中 | R-E<br>遮蔽度：小 | R-F<br>遮蔽度：大 |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| パターン 1 | 13.6         | 18.6         | 23.4         | 11.4         | 0            | 26.0         |
| パターン 2 | 15.8         | 18.5         | 21.8         | 16.7         | 0            | 34.0         |
| パターン 3 | 17.6         | 13.1         | 13.7         | 18.1         | 0            | 31.2         |

表 3.3.2.5-(3)-5 各測定エリアに対するSの見積値の列車停車パターン比較

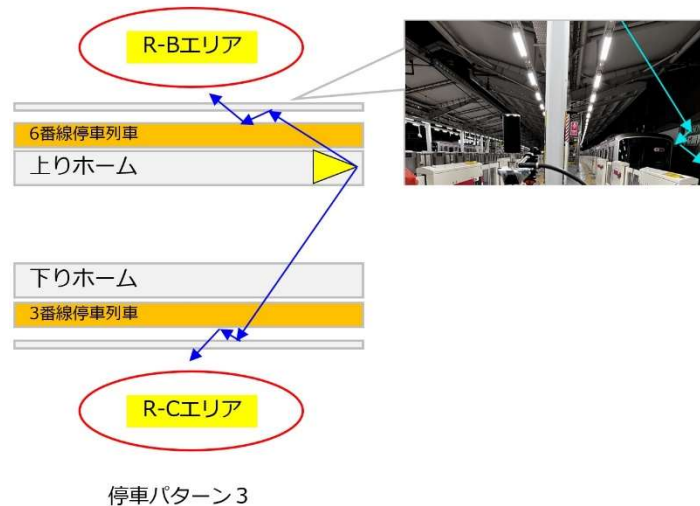
| エリア       | S-A  | S-B  | S-C | S-D  | S-E  | S-F  | S-G  | S-H  |
|-----------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| パターン<br>1 | 39.1 | 32.9 | 0   | 30.3 | 14.3 | 17.3 | 40.8 | 37.0 |
| パターン<br>2 | 41.0 | 26.5 | 0   | 26.9 | 13.5 | 8.9  | 24.7 | 45.8 |
| パターン<br>3 | 24.6 | 34.9 | 0   | 14.7 | 13.6 | 16.0 | 33.9 | 31.2 |

(1) R 値に対する列車停車パターンの影響

下記のエリアが列車停車パターンによる差分の大きなエリアとなっている。  
 R-C エリアについては列車停車パターン1より列車停車パターン3が9.8dB小さくなっている。R-B エリアについても類似の傾向が見られる。停車列車より高い位置から放射され、いったん停車列車を越えて他者土地との境界となる壁面に達した電波が停車列車(R-C エリアについては3番線、R-B エリアについては6番線の停車列車)との間での反射し、外へ漏れる電波が強められた可能性が考えられる。

また、他者土地境界への遮蔽度と列車停車パターンによる差異についての傾向は見られない。

図 3.3.2.5-(3)-6 列車停車パターン3による影響



## (2) S 値に対する列車停車パターンの影響

列車停車パターンによる差分の大きなエリアについて差分とその理由について以下に記載する。

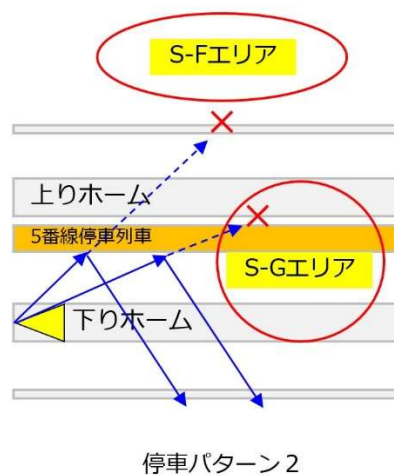
パターン 2 の停車列車による影響

S-F エリアの S 値が他と比べて 7dB 以上小さくなっている。

S-G エリアの S 値が他と比べて 9dB 以上小さくなっている。

いずれも 5 番線の停車列車の影響により RU2 からの電波の一部が遮蔽されるためと考えられる。

図 3.3.2.5-(3)-7 列車停車パターン 2 による影響



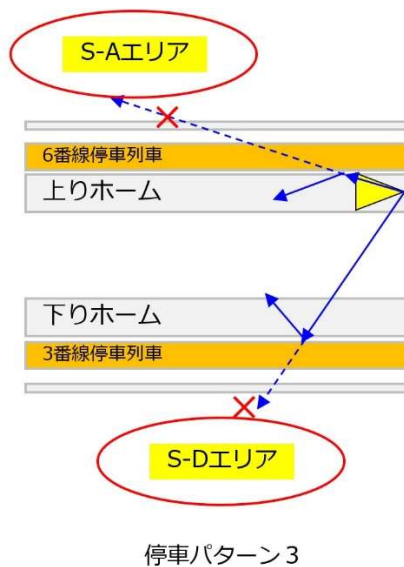
パターン 3 の停車列車による影響

S-A エリアの S 値が他と比べて 14dB 以上小さくなっている。

S-D エリアの S 値が他と比べて 10dB 以上小さくなっている。

いずれも 6 番線の停車列車の影響により RU1 からの電波の一部が遮蔽されるためと考えられる。S-A エリア、S-D エリアは(1)で説明した R-B エリア、R-C エリアより遠方であるため、(1)で説明したような停車列車上部を越えた電波の反射により外部に漏れる影響に比べて停車列車により遮蔽される影響の方が大きいと考えられる。

図 3.3.2.5-(3)-8 列車停車パターン 2 による影響



4. 東横線の精緻化後のパラメータ S、パラメータ R についての考察

本実証によって得られた各パラメータの値をエリア算出式で使用するにあたり、各エリアに対するパラメータ S、パラメータ R の平均値を求めることにより、表 3.3.2.5-(3)-6 および表 3.3.2.5-(3)-7 の形に整理した。

これらのパラメータ S、パラメータ R の値を精緻化後の値として算出式への適用による効果について考察する。

表 3.3.2.5-(3) -6 パラメータ S

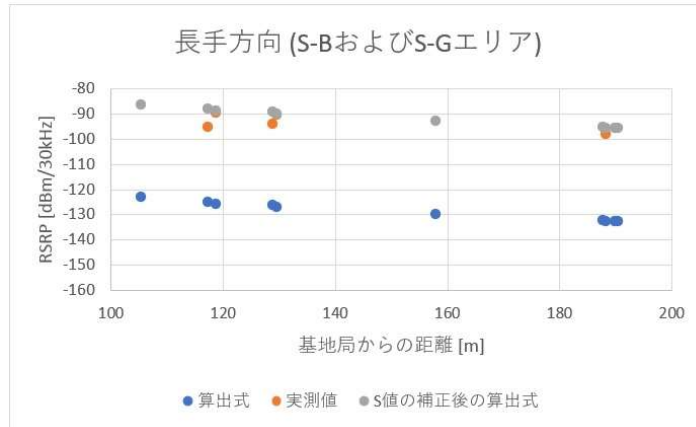
|         | S     |       |       |
|---------|-------|-------|-------|
|         | パターン1 | パターン2 | パターン3 |
| ホーム長手方向 | 36.9  | 25.6  | 34.4  |
| それ以外    | 23.0  | 22.7  | 16.7  |

表 3.3.2.5-(3) -7 パラメータ R

|      | R     |       |       |
|------|-------|-------|-------|
|      | パターン1 | パターン2 | パターン3 |
| 遮蔽度小 | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 遮蔽度中 | 11.4  | 16.7  | 18.1  |
| 遮蔽度大 | 20.4  | 22.5  | 18.9  |

上記表 3.3.2.5-(3) -6 のパラメータ S を算出式に適用した場合の長手方向エリアの受信電力のグラフを図 3.3.2.5-(3)-9 に示す。

図 3.3.2.5-(3)-9 長手方向の S の値を使用したエリア算出式による受信電力



精緻化後のパラメータ S を算出式に適用することにより実測値に近い値が得られている。表 3.3.2.5-(3)-6 のパラメータ S を算出式に適用した場合の長手方向以外の各エリアの受信電力のグラフを図 3.3.2.5-(3)-10 に示す。

図 3.3.2.5-(3)-10 長手方向以外の S の値を使用したエリア算出式による受信電力

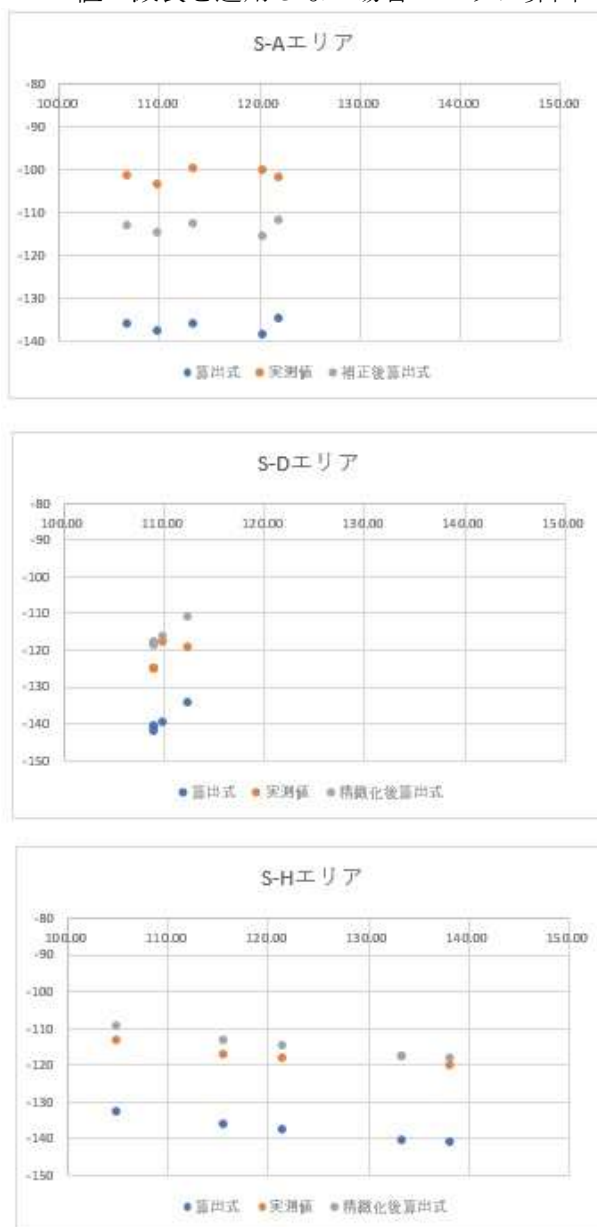


S-Cのエリアについては市街地相当のSの値(≒0)を仮定したが、他のエリアのS見積値の影響で適用したSの値が大きくなっており、実測値よりも大きな値に補正されたと考えられる。S-Cエリアについても他の境界から漏れた反射波の影響でS値が市街地相当よりも大きなS値となっていることが考えられる。実測値からみてS値としては10dB程度(郊外地に近い値)が妥当と考えられる。

S-E、S-Fの各エリアについては精緻化後のSの値を使用することにより、実測値に近い値が得られている。

S-A、S-D、S-Hの各エリアについては今回の精緻化による効果は小さいものとなっている。いずれのエリアについても自己土地との境界条件としてR値による減衰を考慮したが、Sの見積値で考察したように、S-Aエリアについてはロータリー広場に面した境界は広い開口部からの電波の漏洩、S-D、S-Hエリアはホーム上の別の境界分から漏洩した電波が道路の両側の建物に反射しての伝搬などにより想定したRより減衰の影響が小さくなったためと考えられる。これらのエリアについてR値に相当する減衰がないものと仮定した場合のエリア算出式による受信電力をプロットした図を図3.3.2.5-(3)-11に示す。

図3.3.2.5-(3)-11 R値の減衰を適用しない場合のエリア算出式による受信電力

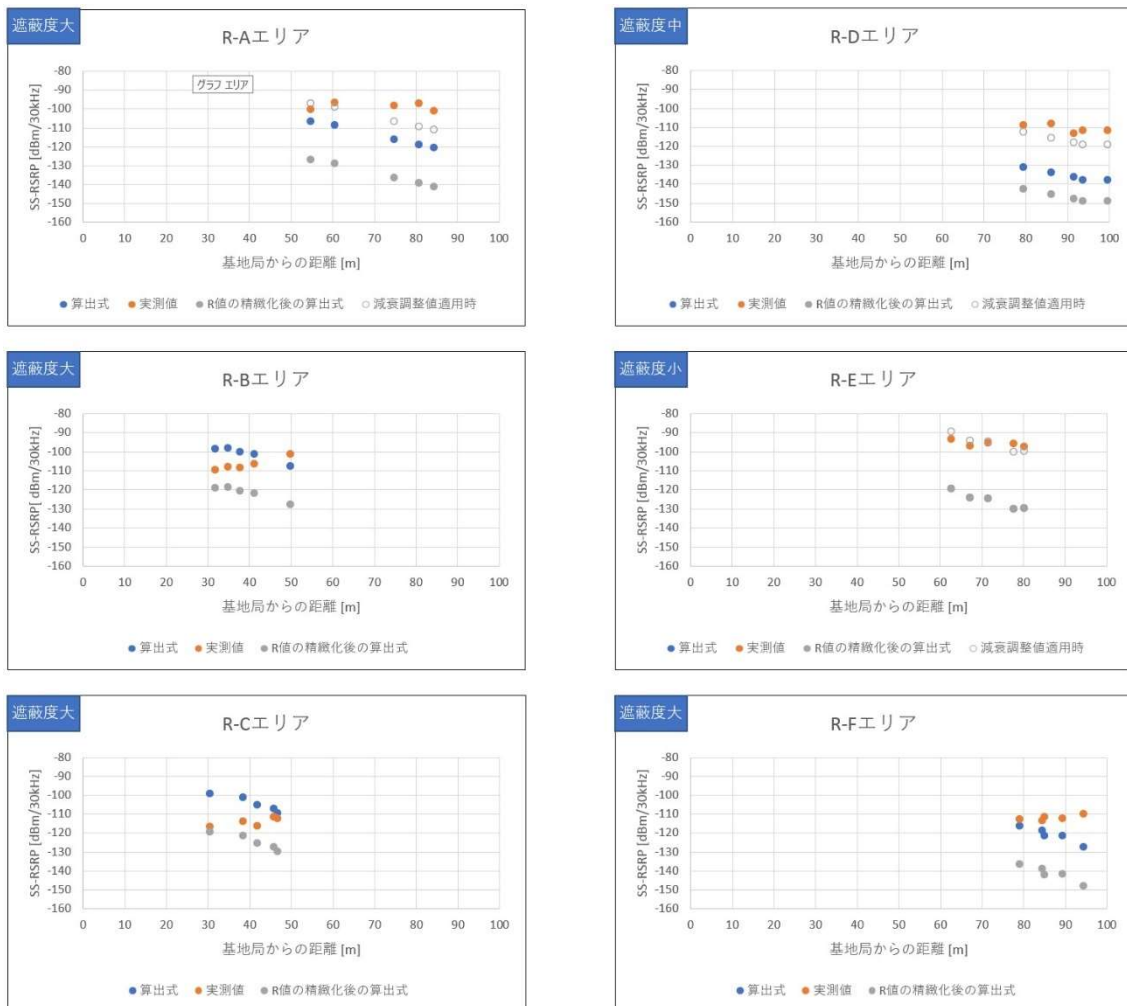




R 値による減衰をエリア算出式に反映しないことにより、S-A エリアはなお 10dB 以上実測値との差分が残るものの実測値により近い値が得られるようになった。他の 2 エリアについては実測値に近い結果が得られた。

次に、表 3.3.2.5-(3) -7 のパラメータ R を算出式に適用した場合の各エリアの受信電力のグラフを図 3.3.2.5-(3)-12 に示す。

図 3.3.2.5-(3) -12) 遮蔽度に応じた R の値を使用したエリア算出式による受信電力



R-A、R-D、R-F の各エリアは R 値を適用しない時点で実測値が算出式を上回っていたため、R 値を適用することでさらに実測値とのかい離が大きくなる結果となった。

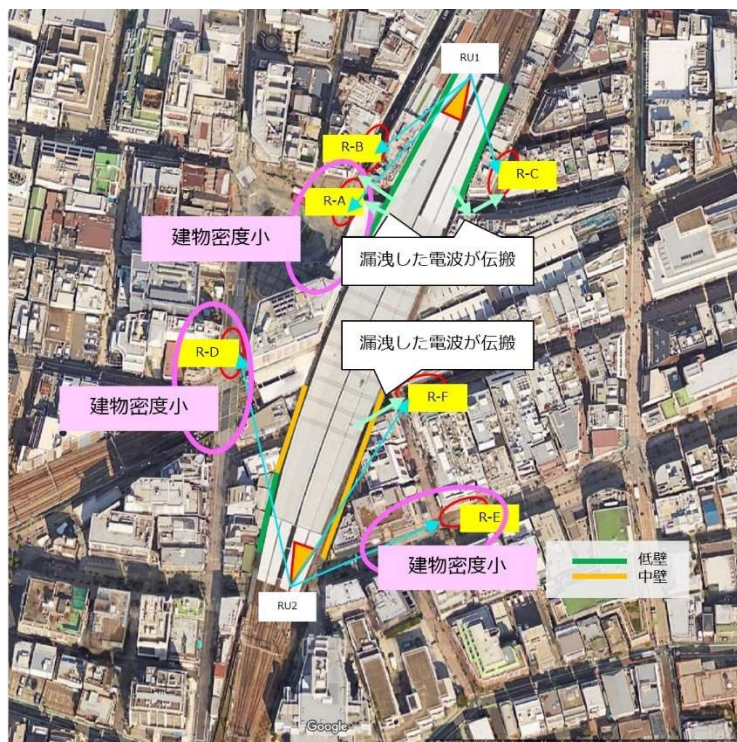
R-E のエリアについては遮蔽度小のため R=0 であり、実質的に算出式の補正はされていない。

R-B、R-C については R 値を適用することで実測値方向に補正されたが、実測よりも大きく補正される結果となった。

以上のように、全体的に適用した R 値に対して、実際には減衰の影響は小さくなっているものと考えられる。

この要因の一つとして、自由が丘駅のような都市部の駅では狭小エリアの自己土地と他者土地との境界が近いことで、自己土地からの電波漏洩の影響が他者土地エリアに及び易く、通常は基地局から100m以上離れたエリアで適用されるS値のような効果が自己土地から近いエリアでも生じていることが考えられる。図 3.3.2.5-(3)-13 にこのような効果が生じる要因について示す。

図 3.3.2.5-(3)-13 各エリアのR値の減衰を小さくする要因



R-A、R-D、R-Eの各エリアについては建物密度が低い伝搬環境にあることにより開放地に近いS値の効果が生じているのではないかと考える。また、R-B、R-C、R-Dの各エリアについては自己土地から近く、自己土地の様々な境界からの電波の漏洩によりR値の減衰を打ち消す効果が想定される。

試みとして、R-A、R-D、R-Eの各エリアについて開放地に対するS値に近い30dBのオフセットを減衰調整値として算出式に適用し、図 3.3.2.5-(3)-10のグラフ上に白抜きのおのマークでプロットした。この減衰調整値を適用した算出式により実測値に近い値が得られるようになることがわかる。

同様にR-B、R-C、R-FについてはR値の減衰を打ち消す効果として実測値から約10dB程度のオフセットが想定される。

## 5. 大井町線のパラメータ R に関する考察

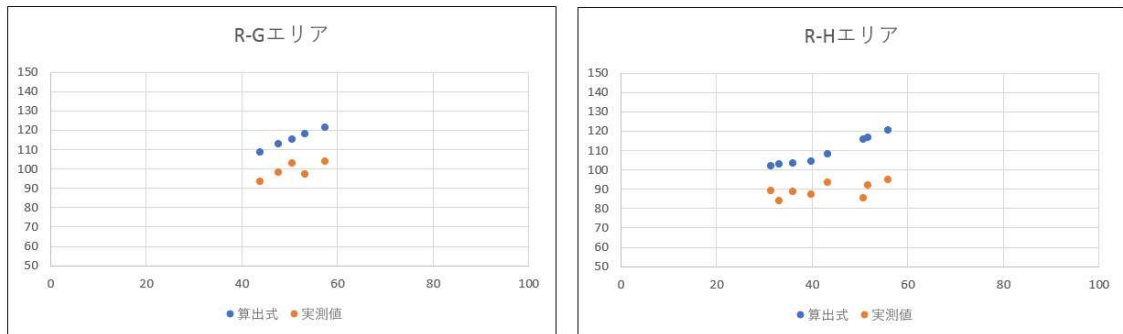
大井町線ホーム長手方向の開口部に近い R-G、R-H エリアと、開口部から大井町線ホームの短手方向に回り込む R-I、R-J エリアに分けて特徴を考察する。

### (1) R-G エリア、R-H エリアについて

図 3.3.2.5-(3)-14 にそれぞれのエリアでの電界強度測定結果に基づく伝搬損失の距離特性のグラフを示す。

このグラフから、エリア算出期による伝搬損失に比べて実測値が R-G エリアは 15dB 程度、R-H エリアは 15~20dB 程度下回っている。測定エリアはともに自己土地との境界に壁面がないため、R の適用は不要と考えられるがエリア算出式では R として 16.2dB を適用しているためと考えられる。

図 3.3.2.5-(3)-14 R-G エリア、R-H エリアにおける伝搬損失

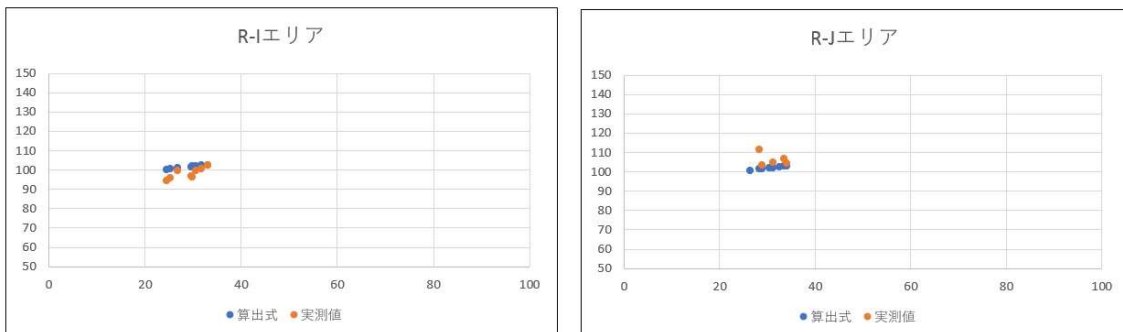


### (2) R-I エリア、R-J エリアについて

図 3.3.2.5-(3)-15 にそれぞれのエリアでの電界強度測定結果に基づく伝搬損失の距離特性のグラフを示す。

このグラフから、R=16.2 を適用した算出式と実測値とは近い値となっていることがわかる。

図 3.3.2.5-(3)-15 R-I エリア、R-J エリアにおける伝搬損失



R 値に関するもう一つの仮説である、東横線で求めた R の推定値  $R_1$  と、大井町線にフィットする R の推定値  $R_2$  を比較し、 $0 < R_1 < R_2 < 16.2$  の関係が成り立つかどうかについて考察する。大井町線の R-I、R-J エリアの結果から大井町線の R としては  $R=16.2$  に近い値と考えることができる。大井町線に隣接する他者土地建物の透過損を考慮すると  $R_2 < 16.2$  は成り立つと言える。一方、東横線で求めた R の推定値  $R_1$  は遮蔽度大のエリアについては最も見積もり R 値の小さい列車停車パターン 1 においても 20.4 と大きな値となっており、本仮説を満たしていない。前述の 4. 東横線の精緻化後のパラメータ S、パラメータ R についての考察で述べたように、都市部の狭小エリアの環境から R 値の減衰を打ち消す効果が影響しているものと考えられる。この効果によるオフセット 10dB を考慮すると、 $R_1 < 16.2$  は成り立つことが考えられる。

#### 6. 精緻化した S 値、R 値の算出式への適用について

4. にて東横線での R 値、S 値の精緻化について、5. にて大井町線での R 値の精緻化について考察した、これらの考察から、都市部の駅ホームに設置したローカル 5G 基地局からの伝搬については下記の方針で S 値、R 値を算出式に適用することにより実測値との差分を小さくすることができると考えられる。

(ア) 東横線のように他者土地との境界が壁面で密閉されていない駅ホームからの伝搬

- ・ R 値

- (i) 基地局から 100m 未満の距離でのエリア算出時：遮蔽度に応じた精緻化 R を使用して算出した伝搬損失に対してオフセット値 10dB~30dB を減じる。本オフセット値は、R の減衰を打ち消す方向の効果であり、都市部の狭小エリアで自己土地から近い他者土地において、自己土地からの電波漏洩の影響が及ぶことにより生じていると考えられる。

- (ii) 基地局から 100m 以上の距離でのエリア算出時：R 値を算出式に適用しない

- ・ S 値

- 長手方向、その他の方向で分類した精緻化値を算出式に使用する

(イ) 大井町線のように他者土地との境界に屋根までつながった壁面があり、密閉度が高い駅ホームからの伝搬における R 値

基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損失 16.2dB を適用することが妥当である

なお、上記 R 値におけるオフセット値の条件については今後の課題であり、建物密度の観点など、さらにデータを取得して検討する必要があると考えられる。

#### (4) 技術実証における追加検証

3.3.1 章の(1)エリア算出法の閾値の検証、(2)カバーエリア内のローカル 5G の性能評価

においてそれぞれ、「他者土地への漏洩（ホーム長手方向および短手方向）」と「自己土地内の干渉」の課題が判明している。

「自己土地内の干渉」については4章に記載の東横線での課題実証（高精細カメラとAIを活用した車両ドア閉扉判断の高度化）におけるカメラ映像品質劣化、大井町線での課題実証（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）におけるULスループット低下として影響を与えるものである。

そこで、本章においては以下の課題への対策について検討、検証を実施する。

【他者土地への漏洩対策（エリア設計）について】

- ①ホーム長手方向電波漏洩への対策
- ②ホーム短手方向電波漏洩への対策

【自己土地内の干渉対策について】

- ③ 東横線での課題実証におけるカメラ映像品質劣化への対策
- ④ 大井町線での課題実証におけるスループット低下への対策

1) 実証目標

3章の技術実証および4章の課題実証で明らかになった課題への各種施策について検証し、検証を踏まえて効果、性能への影響等を考慮した対応方針、課題を明確にすることを目標とする。

2) 評価・検証項目

【他者土地への漏洩対策（エリア設計）について】

- ① ホーム長手方向電波漏洩への対策

本検証では受信電力として以下に示す項目を評価・検証する。

表 3.3.2.5(4)2)-1 ① ホーム長手方向電波漏洩 への対策検証における評価・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 ホーム短手方向電波漏洩への対策

本検証では受信電力として以下に示す項目を評価・検証する。

表 3.3.2.5(4)2)-2 ② ホーム短手方向電波漏洩 への対策検証における評価・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。 |
|---|---------------|---|

【自己土地内の干渉対策について】

③ 東横線での課題実証におけるカメラ映像遅延への対策

本検証では以下に示す項目を評価・検証する。

表 3.3.2.5(4)2)-3 ③カバーエリア内のローカル 5 G の性能評価における評価・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<br>Nemo Outdoor ツールを使用して測定 |

④ 大井町線での課題実証におけるスループットへの対策

本検証では以下に示す項目を評価・検証した。

表 3.3.2.5(4)2)-4 ④カバーエリア内のローカル 5 G の性能評価における評価・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<br>Nemo Outdoor ツールを使用して測定 |

### 3) 評価・検証方法

他者土地への漏洩対策（エリア設計）について

現状、RU 装置の制約により送信出力の変更が不可能である。また実証環境保全のため、RU 装置の設置場所や、チルト角を変更することができない。

そのため、他者土地への漏洩対策（エリア設計）については、これらの条件を変更しないで実施可能な方法を検討、検証を実施する。（①ホーム長手方向電波漏洩への対策、②ホーム短手方向電波漏洩への対策の双方とも）

① ホーム長手方向の電波漏洩への対策

本対策は東横線ホームにて実施する。

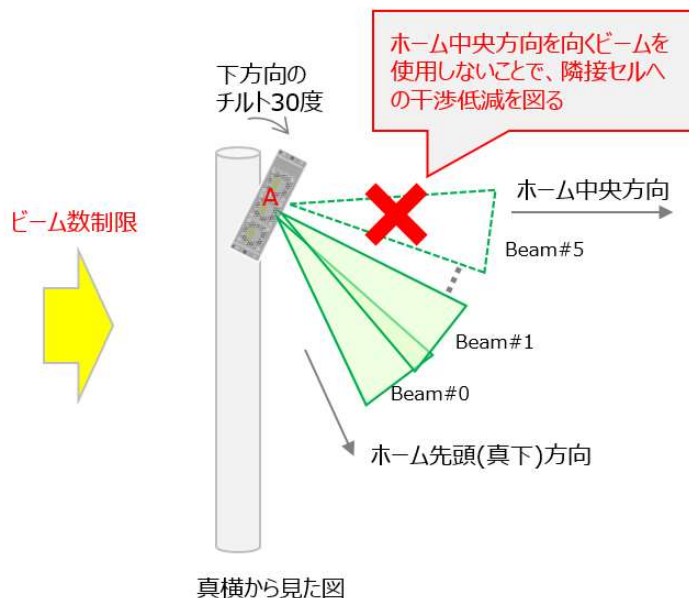
東横線下りホームに設置の RU は 90° 回転させて横置きに設置されている。この状態では通常、電波放射ビームは垂直方向に 6 本の beam が放射されている。電波放射ビームの 6 本の beam は（最も下向きから順に）-17.5 度,-10 度,-5 度,+5 度,+10 度,+17.5 度に縦に振り分けられて放射されており、RU 本体について 30 度のチルトをかけて設置していることから、より長手の正面方向に放射される+5 度,+10 度,+17.5 度（加えて-17.5 度）のビームを抑制することを考える。これによりホーム長手方向へのビームが減少し、漏洩を抑止できるかを検証する。

図 3.3.2.5(4)3)-1 東横線長手方向電波漏洩への対策イメージ

■ 90度回転(横置き)@東横線

水平方向: 1ビーム

垂直方向: 6ビーム



以下の方法で検証する。

1. 東横線下りホーム設置の RU における放射ビームを 2 本の beam( $-10^{\circ}$ ,  $-5^{\circ}$ ) に限定する。
2. RU から放射される電波の長手方向の 5 地点についてエリアテストにて RSRP を測定する。(東横線の列車停車状況は停車列車なしの条件とする)
3. 放射ビームを限定しない状態(6 本の beam を放射)で測定した場合の RSRP の結果と比較検証する。

② ホーム短手方向電波漏洩への対策

本対策は東横線ホームにて実施する。ホーム短手方向の電波漏洩を抑制する方法として、外部アンテナを用いてより半値幅の狭い指向特性とする方法なども考えられるが、現状設置している RU で実施可能な方法として、電波吸収シートを RU 近傍に取り付ける方法について検証する。

具体的には、電波吸収シートを上下左右+背面に貼り付けた段ボール箱で RU を囲うことにより、ホーム長手方向の放射電力に影響を及ぼすことなく、ホーム短手方向の漏洩電力が低減可能かを検証する。

以下の方法で検証する。

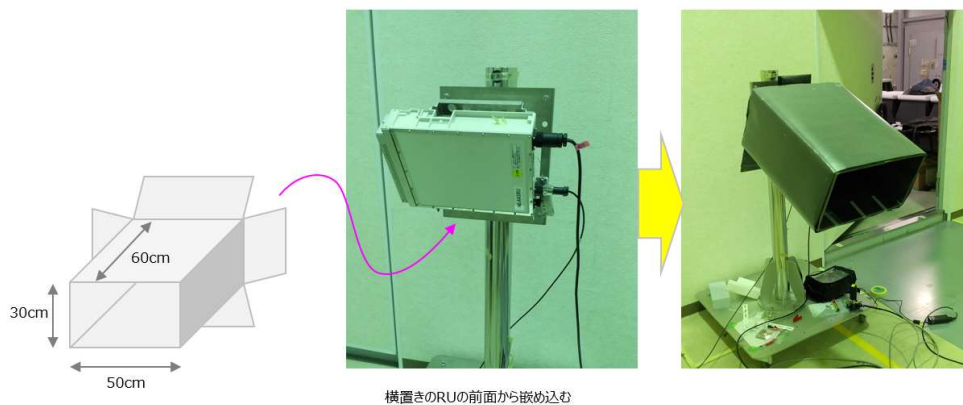
1. 電波吸収シートの事前ラボ実験  
ラボの暗室環境において、電波吸収シートの基本性能を確認する。

今回は以下の電波吸収体を用いて筐体を作成している。筐体イメージと合わせて示す。

図 3.3.2.5(4)3)-2 電波吸収シートのスペック

|                   |  |
|-------------------|--|
| メーカー名             | Ecologa GmbH   |
| 取扱店               | エコロガジャパン(株)  |
| 型名/シリーズ           | RN120  |
| 通称                | 電波吸収シート  |
| 標準形状              |  |
| サンプルサイズ           |  |
| 材質名               | ・カーボン、ポリマーバインダー  |
| 基本組成              | ・カーボン× 90%、ポリマーバインダー×10%   |
| 特長・用途             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・吸収によりRF電界シールド可能</li> <li>・アース取り付け不要</li> <li>・RFの「乱反射」や「強度増幅」のリスク防止可能</li> <li>・このシールド材を床、壁などを覆ってRF対策可能</li> <li>・表面プラスチックフィルムラミネート加工済み</li> <li>・導電性不織布※</li> </ul> |
| RoHS対応            |  |
| 性能 適応周波数 Hz START | 1.0G   |
| 性能 適応周波数 Hz END   | 10.0G  |
| 電波吸収特性 dB         | 25   |
| 使用温度範囲 °C START   | -10  |
| 使用温度範囲 °C END     | 90   |
| 重量 kg             |  |

図 3.3.2.5(4)3)-3 筐体サイズ、取り付けイメージ



## 2. 他者土地(一般道路上)及びホーム上での受信電力測定

東横線下りホームのRU(RU2)に電波吸収シートを適用する。

電波吸収シートの適用前後で、路上13地点と上りホーム6地点で受信電力を測定し、比較をする。

(列車停車パターンは列車停車パターン3(3番線6番線に列車停車))

検証イメージは以下の通り



図 3. 3. 2. 5(4)3)-4 東横線短手方向電波漏洩への対策イメージ

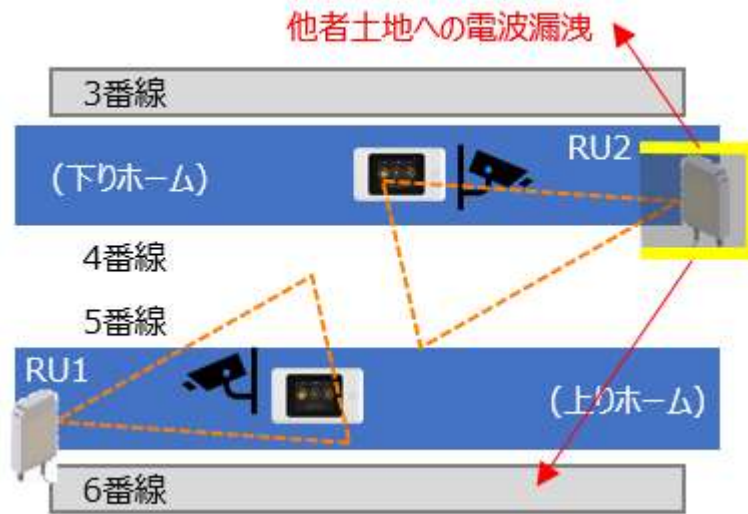


図 3. 3. 2. 5(4)3)-5 東横線下りホーム RU2 への取り付けの様子



### ③ 東横線での課題実証におけるカメラ映像遅延への対策

東横線では RU が 2 台、上りホームと下りホームに向かい合わせとなるように設置されている。それぞれのホームに設置された UE はカメラ映像データを自ホームの RU に送信している。UE のアンテナは特定の方向への指向性を持たないため、一方のホームの UE からの UL 送信の電波はもう一つのホームの RU にも届き、もう一つのホームの UE からのカメラ映像の UL 送信電波に干渉を与えていると考えられる。片方のホームの RU からの電波を停波した場合に、停波していないホームのカメラ映像品質が改善することは確認できた。この干渉の影響により、課題実証のカメラ映像においてカメラ映像品質が低下していると考えられる。

この課題への対策として、UE の電波の放射方向に制限を加えることを考える。具体的には、金属筐体（または電波吸収体）等で UE 収容筐体を覆うことにより、金属筐体（または電波吸収体）等で覆われた UE 収容筐体に設置した UE からは同じホームに設置された RU へは UL 電波が届く状態のまま、異なるホームに設置された RU への UL 電波が届きにくくなることをねらう。これにより干渉の抑制が可能となるかを検証する。

これらを以下の方法で検証する。

#### 1. 金属筐体（または電波吸収体）等の事前ラボ実験

→ラボ暗室環境において、金属筐体（または電波吸収体）等の基本性能を確認する。

筐体は 3 種類を用意した。筐体 1 は段ボールの土台として内外面を複数枚の電波吸収シートで隙間ができないように張り付けたもの（図 3.3.2.5(4)3-6）、筐体 2 は段ボールの土台として外面に銅板を隙間なく張り付けたもの（図 3.3.2.5(4)3-7）、筐体 3 は図 3.3.2.5(4)3-8 のようなリフレクタ構造としたものである。

図 3.3.2.5(4)3-6 筐体 1（電波吸収体）



図 3.3.2.5(4)3-7 筐体 2（銅板箱）



図 3.3.2.5(4)3)-8 筐体3 (銅板リフレクタ)



図 3.3.2.5(4)3)-9 筐体1,2 のサイズ (後方も閉じた状態)

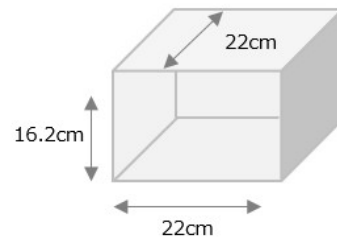
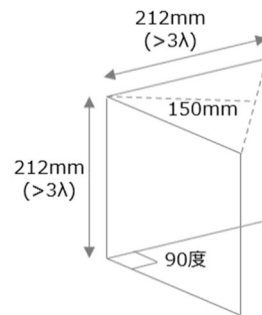


図 3.3.2.5(4)3)-10 筐体3 のサイズ



これらの筐体の効果を確認するため、アンテナ暗室にて確認を実施した。送信側にダイポールアンテナ、受信側にホーンアンテナを用いて送信アンテナ側に各筐体を設置して、反時計回りに45度ずつ回転させて、受信アンテナの電力を測定した。(筐体3については期間的に間に合わず未実施)

図 3.3.2.5(4)3-11 アンテナ暗室 筐体特性評価イメージ

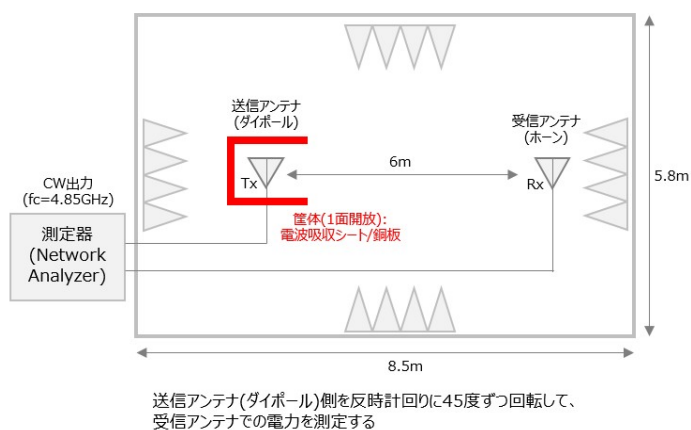


図 3.3.2.5(4)3-12 アンテナ暗室 筐体特性評価 (左下: 筐体 1、右下: 筐体 2 )



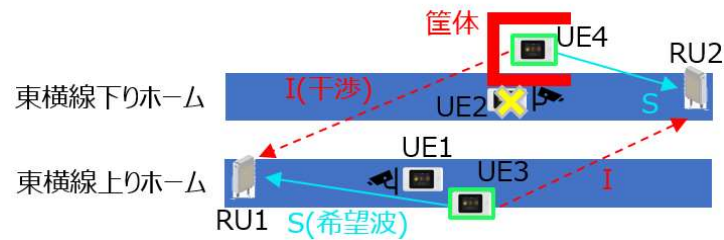
以上により、筐体の効果を確認したのちに現地検証を実施する。

2. 東横線の既存の課題実証のカメラ映像を停止させる (UE2 を停止)。
  3. 東横線下りホームのカメラ端末下に金属筐体 (または電波吸収体) 等で UE 収容筐体を覆った UE (UE4) を設置して課題実証のカメラ映像 UL スループット相当の UL 送信を実施。
- その状態で東横線上りホームのカメラ端末下から別の UE (UE3) にて UL スループットの測定を実施する。

4. 金属筐体（または電波吸収体）等で UE 收容筐体を覆っていない場合での東横線上りホームのカメラ端末下から別の UE にて UL（UE3）スループットの測定を実施する。

5. 「3.」「4.」の結果を比較して UL 干渉低減効果があるかどうかを確認する。  
（列車停車パターンは列車停車パターン 3（3 番線 6 番線に列車停車）  
検証イメージは以下の通り

図 3.3.2.5(4)3)-13 UE への電波吸収シート取り付けイメージ



#### ④ 大井町線での課題実証におけるスループットへの対策

東横線では RU が 2 台、上りホームと下りホームに向かい合わせとなるように設置されている。また大井町線には屋内型の RU(pRadio)[DAS 型]が 3 台設置されている。

現状、東横線の課題実証カメラ映像転送の UL 電波が大井町線での UE からの UL 電波に干渉することにより、大井町線の課題実証の UL スループットの低下が発生していると考えられる。実際に東横線での UL 送信電波によって、大井町線の UL スループットの低下が発生しているのかを確認するため、以下の検証を実施する。

大井町線での課題実証（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）にて以下の 2 パターンの状態をつくり、それぞれのパターンで大井町線での課題実証の UL スループットを測定する。（測定は試験車両内の UE で実施）

1. 東横線の課題実証のカメラ映像データ UL 送信状態（デフォルト状態）
  2. 東横線の課題実証のカメラ映像データ UL 送信を止めた状態（ただし、接続確認のためのわずかなデータ送信は有り）
- 2 つのデータを比較し、上記干渉がスループット低下要因となっていることを確認する。

#### 4) 実証結果及び考察

他者土地への漏洩対策（エリア設計）について

##### (ウ)東横線長手方向電波漏洩への対策

受信電力として RSRP の計測を実施し、地図上にプロットした。

結果は以下の通りである。（測定結果（RSRP[dBm]）は黄色の吹き出しの地点）

図 3. 3. 2. 5(4)4)-14 東横線長手方向電波漏洩への対策結果

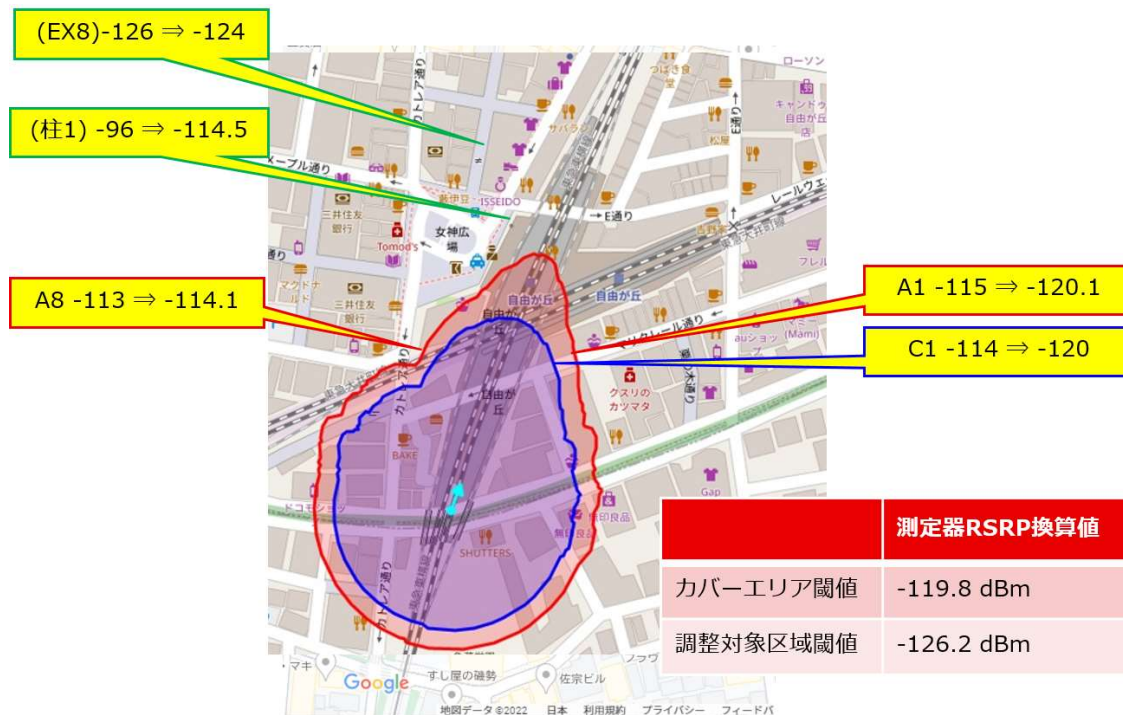


表 3. 3. 2. 5(4)4)-1 東横線長手方向電波漏洩への対策結果

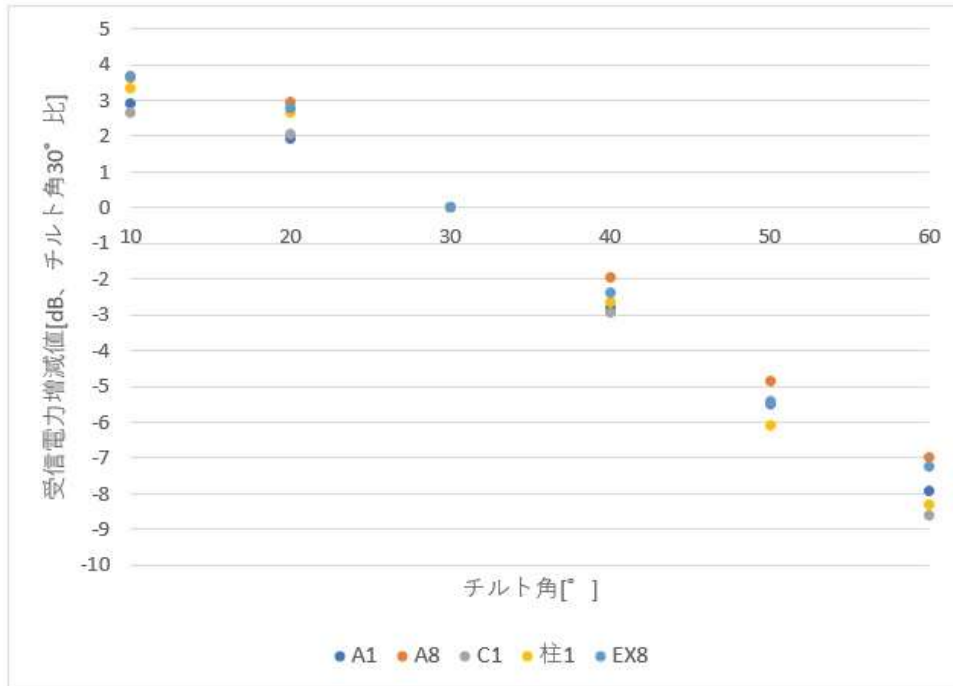
| 場所  | 対策実施前 RSRP [dBm] | 対策実施後 RSRP [dBm] | 所要低減量[dB]<br>カバーエリア閾値<br>調整対象区域閾値との差分 |
|-----|------------------|------------------|---------------------------------------|
| A1  | -115             | -120.1           | 11.2                                  |
| A8  | -113             | -114.1           | 13.2                                  |
| C1  | -114             | -120             | 5.8                                   |
| 柱 1 | -96              | -114.5           | 30.2                                  |
| EX8 | -126             | -124             | 0.2                                   |

- ・ 3 地点(柱 1、A1、C1)については 5dB 以上の改善がみられた一方、2 地点(A8、EX8)についてはほぼ前回と変化は見られなかった。測定地点により改善はみられたものの調整対象区域の閾値 (-126.2dBm) を上回っており、さらなる対策が必要と考えられる。

対策の一つとして、RU2 のチルト角を調整した場合の各地点での受信電力をシミュレ

ーションにて検証した。本シミュレーションは現在の RU2 のチルト角 30 度での各地点の受信電力値を基準として、チルト角を上下に調整した場合の各場所での受信電力の増減値[dB]を示したものである。検証結果を以下に示す。

図 3.3.2.5(4)4)-15 RU2 のチルト角を変更した場合の受信電力増減値[dB]



本シミュレーション結果から、チルト角を 0 度,10 度,20 度と浅く調整した場合の受信電力の増加量は 4dB 未満であることがわかる。A8 地点の実測値に対する所要低減量が 13.2dB であることから、RU の送信出力を 17dB 下げること柱 1 地点を除き、閾値を満たすことができる。(柱 1 の地点については特異点であると考え、このような場所については今後の課題とする。)

しかしながら、RU の送信出力の低減については、自己土地内で必要なスループットへの影響も考慮して調整する必要がある。

また、チルト角を深く調整した場合(40 度,50 度,60 度)は浅く調整する場合と比較して RU の送信出力を下げる幅を小さくすることができるが、東横線ホーム面などによる反射波や大井町線への漏洩などにより干渉影響が大きくなる可能性も考えられる。

今後の課題として RU 低出力化・チルト角変更の調整を通じて、他者土地への漏洩対策、自己土地内の干渉対策を両立していく最適化が必要となる。

## (エ)東横線短手方向電波漏洩への対策

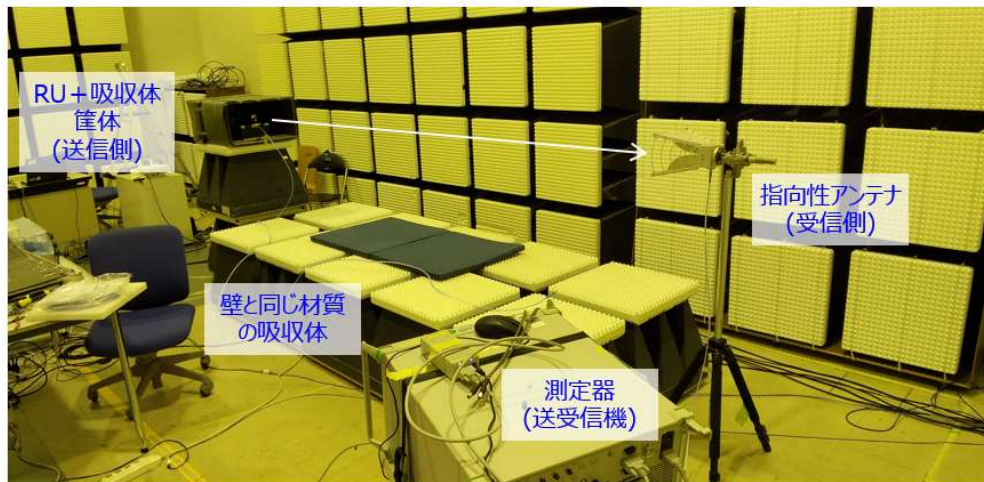
### 1. 電波吸収シートの事前ラボ実験

以下の方法でラボの暗室環境において、電波吸収シートの基本性能を確認した。

確認条件は以下の通り、

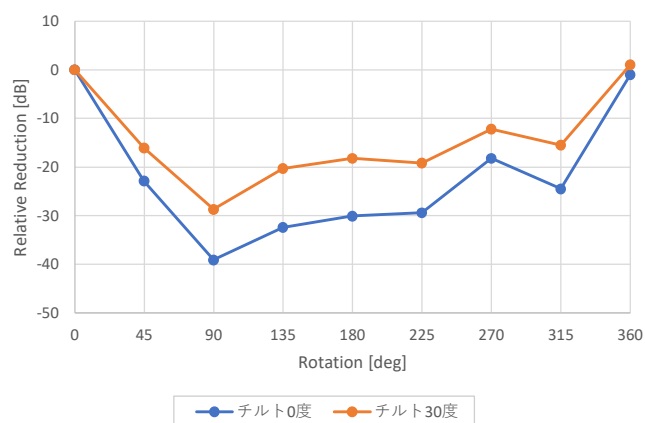
- ・送受信のアンテナは、高さ・方向を揃える
- ・床面からの反射を抑えるため、壁に取り付けられたものと同じ吸収体を床に配置
- ・吸収体筐体側を 45 度刻みで回転して 360 度測定

図 3.3.2.5(4)4)-16 暗室環境



簡易暗室での測定結果について以下に示す。

図 3.3.2.5(4)4)-17 現地と同型の RU 適用時の測定結果



実機 RU において横方向は 20dB 以上の吸収量を確認できた。(現地環境はチルト 30 度) RU を電波吸収体の筐体で覆うことにより短手方向の効果が確認できたことから、次に現地での電波測定を実施した。



## 2. 他者土地(一般道路上)とホーム上での受信電力測定

→東横線下りホームのRU(RU2)に電波吸収シートを適用する。

電波吸収シートの適用前後で、路上13地点で受信電力を測定し、比較した。

(列車停車パターンは列車停車パターン3(3番線6番線に列車停車))

実施結果を以下に示す。

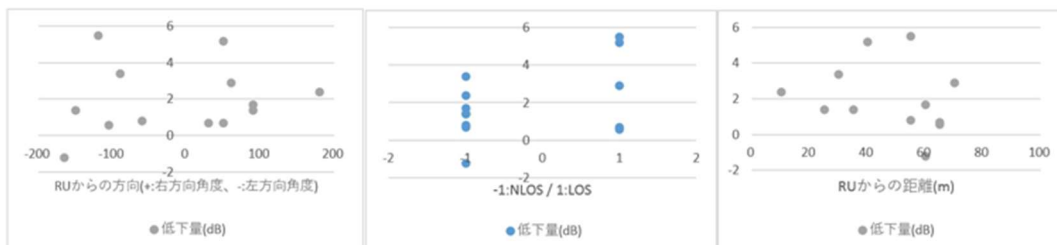
図 3.3.2.5(4)4)-18 現地測定地点



表 3. 3. 2. 5(4)4)-2 現地測定結果

| 測定地点       | 方向<br>長手前方向からの<br>角度 | 基地局から<br>の水平距離<br>[m] | LOS/NLOS    | 取付前<br>[dBm]  | 取付後<br>[dBm]  | 効果<br>[dB] |
|------------|----------------------|-----------------------|-------------|---------------|---------------|------------|
| Ex1        | 右30°                 | 65                    | NLOS        | -112.1        | -112.8        | 0.7        |
| C'3        | 右50°                 | 180                   | LOS         | -112.0        | -112.7        | 0.7        |
| <b>Ex2</b> | <b>右50°</b>          | <b>40</b>             | <b>LOS</b>  | <b>-94.2</b>  | <b>-99.4</b>  | <b>5.2</b> |
| Ex6        | 左60°                 | 55                    | NLOS        | -109.7        | -110.5        | 0.8        |
| <b>A3</b>  | <b>右60°</b>          | <b>70</b>             | <b>LOS</b>  | <b>-99.8</b>  | <b>-102.7</b> | <b>2.9</b> |
| Ex3        | 右90°                 | 25                    | NLOS        | -96.5         | -97.9         | 1.4        |
| <b>A6</b>  | <b>左90°</b>          | <b>30</b>             | <b>NLOS</b> | <b>-105.2</b> | <b>-108.6</b> | <b>3.4</b> |
| A4         | 右90°                 | 60                    | NLOS        | -113.4        | -115.1        | 1.7        |
| A7         | 左105°                | 65                    | LOS         | -98.8         | -99.4         | 0.6        |
| <b>Ex7</b> | <b>左120°</b>         | <b>55</b>             | <b>LOS</b>  | <b>-95.8</b>  | <b>-101.3</b> | <b>5.5</b> |
| Ex5        | 左150°                | 35                    | NLOS        | -102.4        | -103.8        | 1.4        |
| A5         | 左165°                | 60                    | NLOS        | -109.8        | -108.6        | -1.2       |
| Ex4        | 180°                 | 10                    | NLOS        | -103.15       | -105.5        | 2.4        |

図 3. 3. 2. 5(4)4)-19 電波吸収体取付後の RSRP 低下量(dB)のプロット  
左：RU からの方向、中：LOS/NLOS、右：RU からの距離の各観点



ほとんどの測定地点で取付後の値の低下は見られたものの、目標としていた 15~20dB よりかなり低い結果であった。筐体の開口面から放射された電波がホーム面や建物に反射することによる反射波の伝搬により、低減効果が得られにくくなった可能性が考えられる。

比較的効果高い地点は左右 90 度に近い九品仏緑道が通る LOS の地点であり、最大効果値は Ex7 地点での 5.5dB の低下である、その他の LOS の地点も NLOS の地点に比べると比較的には効果がある傾向がある。筐体の開口面から放射された電波がホーム面や建物に反射する反射波の伝搬による影響が NLOS 地点に比べると小さいため、やや高い効果値の傾向がみられたと考えられる。

またホーム上での測定地点、測定結果を以下に示す。

図 3.3.2.5(4)4)-20 測定地点

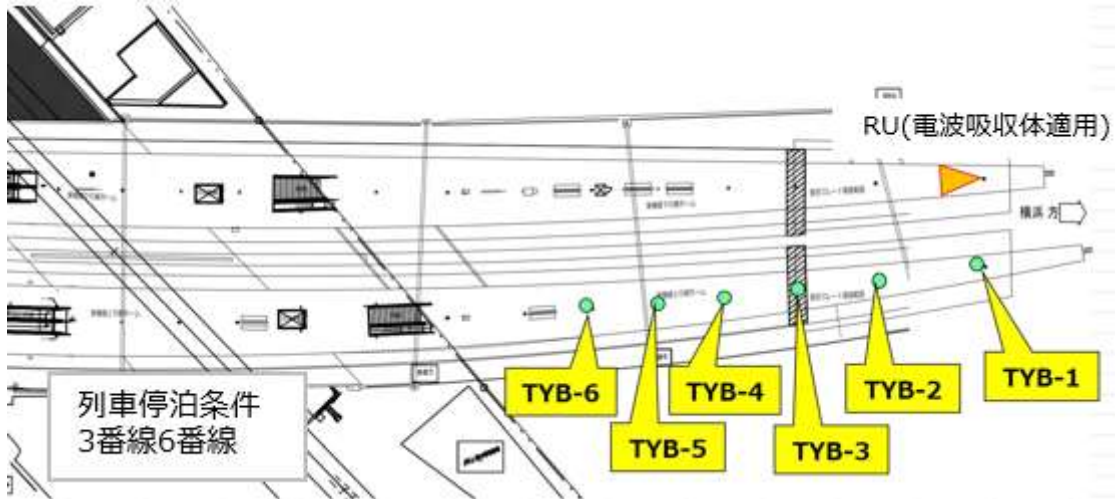
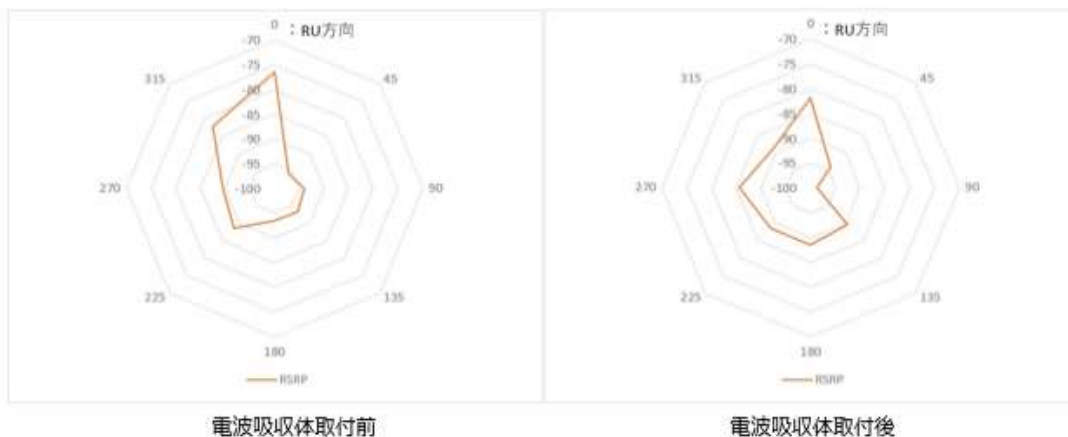


表 3.3.2.5(4)4)-3 測定結果

| 測定地点  | 方向<br>左手前方か<br>らの角度 | 基地局<br>からの<br>水平距<br>離[m] | LOS/<br>NLOS | 3月4日測定：オムニアンテナ使用 |              |            | 3月9日測定：指向性アンテナ使用 |              |            |
|-------|---------------------|---------------------------|--------------|------------------|--------------|------------|------------------|--------------|------------|
|       |                     |                           |              | 取付前<br>[dBm]     | 取付後<br>[dBm] | 効果<br>[dB] | 取付前<br>[dBm]     | 取付後<br>[dBm] | 効果<br>[dB] |
| TYB-1 | 左87°                | 9                         | LOS          | -78.8            | -80.7        | 1.9        | -88.6            | -82.25       | -6.35      |
| TYB-2 | 左43°                | 16                        | LOS          | -76.85           | -79          | 2.2        | -75.4            | -77.6        | 2.2        |
| TYB-3 | 左30°                | 24                        | LOS          | -78.9            | -76.7        | -2.2       | -80.6            | -82.7        | 2.1        |
| TYB-4 | 左23°                | 31                        | LOS          | -73.3            | -75.85       | 2.6        | -72.8            | -76          | 3.2        |
| TYB-5 | 左20°                | 38                        | LOS          | -66.4            | -76.7        | 10.3       | -76.8            | -71.6        | -5.2       |
| TYB-6 | 左15°                | 45                        | LOS          | -75.8            | -74.5        | -1.3       | -80.1            | -69.5        | -10.6      |

図 3.3.2.5(4)4)-21 TYB-2 地点における方向別 RSRP 値(0° :RU 方向)



LOS 環境、近距離の条件のため特に短手方向での効果を期待したが、低下量は 2~3dB にとどまる結果となった。

3 番線と 6 番線に停車列車があることで反射波の影響がより強くなったことが考えられたため、測定器のアンテナをオムニ⇒指向性アンテナ(ホーンアンテナ)に変えて測定を実施した。TYB-2 の地点で指向性アンテナを 45° きざみで一回転させて測定したところ、RU 方向以外の 4 方向でも-90dBm 以上の値がみられ、反射波が多く生じていることが確認できた。RU のチルト角が下向き 30° であることで、電波吸収体の開口部から放射された電波が RU の前方およそ 7m のホーム面で反射し、反射波が発生していることが考えられる。

以上から電波暗室での測定では RU を電波吸収体で囲うことで短手方向への電波漏洩対策の効果がみられたが、RU 送信機付近で指向性を制限する対策は、反射波の多い環境では反射波の伝搬の影響により期待した効果が得られないと考えられる。

そのため、今後の対策としては反射を抑えるためチルト角の調整とともに、RU の送信電力を下げる等の施策が必要と考える。

自己土地への干渉影響について

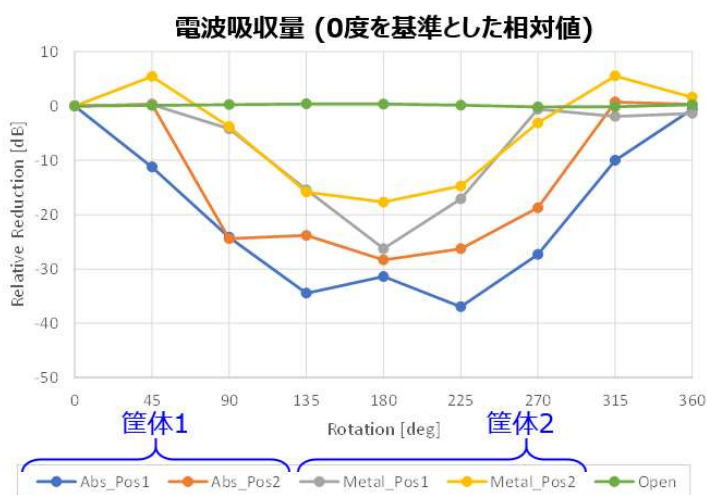
③ 東横線での課題実証におけるカメラ映像遅延への対策

1. 金属筐体（または電波吸収体）等の事前ラボ実験

ラボ暗室環境において、金属筐体（または電波吸収体）等の基本性能を確認した。

確認結果を以下に示す。（筐体1：電波吸収体、筐体2：銅板、筐体3：銅板リフレクタ(未実施)）

図 3.3.2.5(4)4)-22 電波吸収量（0度を基準とした相対値）



筐体1(電波吸収体)にて真横・後方(90~270度)で20~30dB程度の吸収効果を確認できた。筐体2(銅板)の筐体は前面に飛ぶ電波レベルが減少し、筐体の回転量が小さいと遮蔽効果がないが、回転量が大きくなると遮蔽量が増加する傾向は見られた。筐体による効果は確認できたと判断し、現地UEでの確認を実施した。

自由が丘駅での測定結果について以下に示す。

表 3.3.2.5(4)4)-4 測定結果

| 項   | 下りホームUE[UE4] (与干渉UE) |          | 上りホームUE [UE3](被干渉UE) | 備考           |
|-----|----------------------|----------|----------------------|--------------|
|     | 指向性制限                | 送信ON/OFF | ULスループット             |              |
| 0-1 | 無                    | ON       | 10.1Mbps             | デフォルト相当の干渉状態 |
|     | 無                    | OFF      | 66.7Mbps             |              |
| 1-1 | 有(電波吸収体)             | ON       | 11.7Mbps             |              |
|     | 有(電波吸収体)             | OFF      | 42.1Mbps             |              |
| 2-1 | 有(銅板箱)               | ON       | 5.1Mbps              |              |
|     | 有(銅板箱)               | OFF      | 57Mbps               |              |
| 3-1 | 有(銅板リフレクタ)           | ON       | 6.5Mbps              |              |
|     | 有(銅板リフレクタ)           | OFF      | 36.9Mbps             |              |

下りホームの UE(UE4)の指向性を制限する 3 種類の筐体(筐体 1:電波吸収体、筐体 2:銅板箱、筐体 3:銅板リフレクタ)のいずれを適用しても、UL 干渉低減目標量(10dB 以上)は達成できていない。

またスループット等の比較結果を以下に示す。

干渉 UE の送信 ON 時: 10Mbps 程度

干渉 UE の送信 OFF 時: 50~80Mbps

図 3.3.2.5(4)4)-23 干渉 ON/OFF 時における各筐体でのスループット比較 1

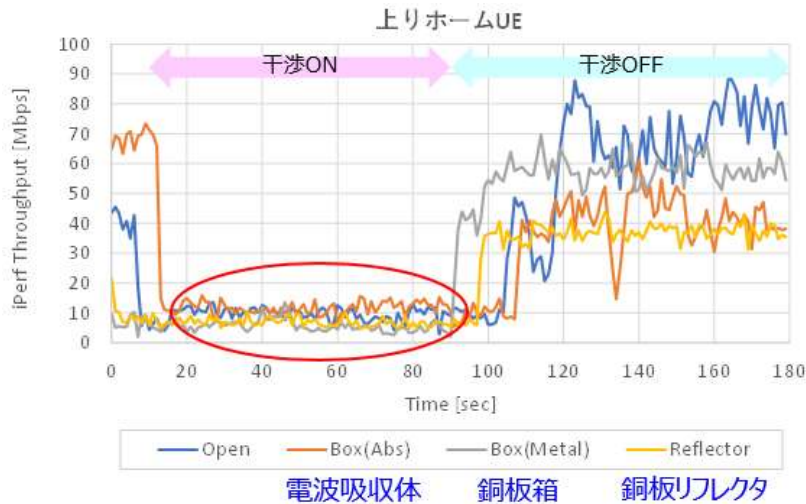
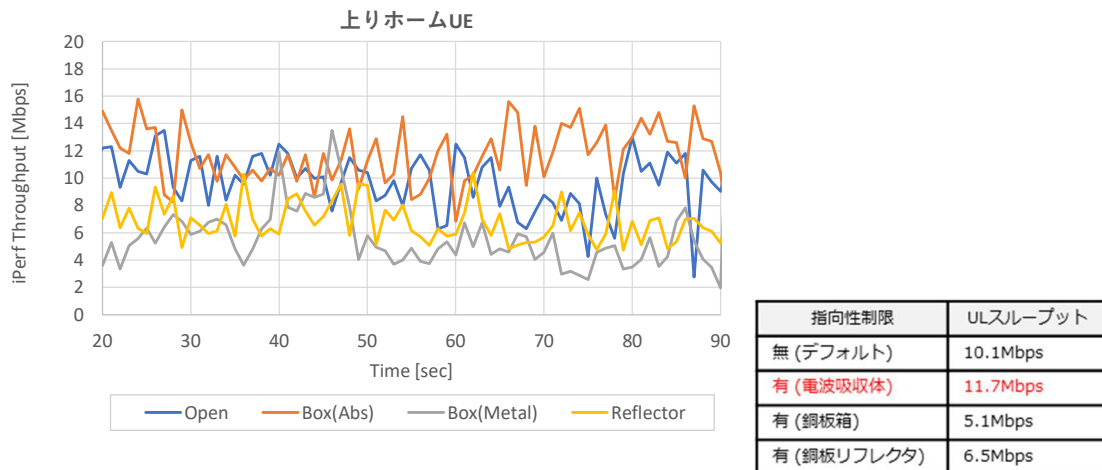


図 3.3.2.5(4)4)-24 干渉 ON 時の各筐体でのスループット比較 2(図 3.3.2.5(4)4)-23 の赤丸部分)

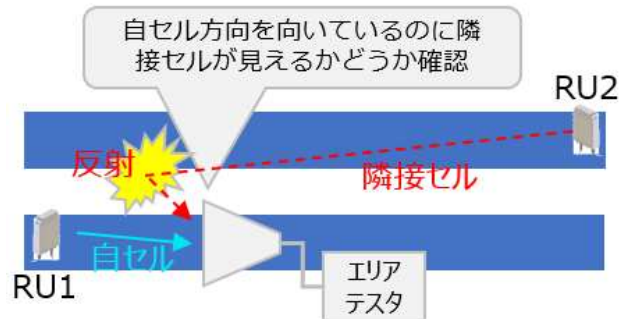


基地局のログから電波吸収体は干渉量を 3~5dB 程度改善していることを確認できたが、スループットは約 15%の増加に留まっており、効果が十分とは言えない。

指向性制限の効果が見られない理由として、開口面から放出された電波がホーム上の近傍で反射して、隣接セル RU の方向に干渉として飛んでいく可能性が考えられるため、指

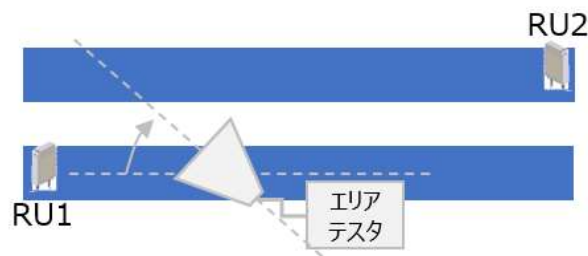
向性のあるアンテナを用いてボアサイト方向を変えて測定し、各方向から隣接 RU からの電波が検出されるかを確認した。

図 3.3.2.5(4)4)-25 隣接 RU からの電波検出イメージ



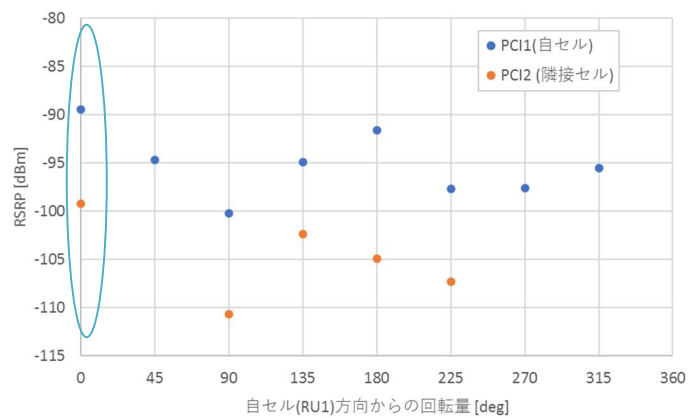
検証では上りホーム (RU1 設置のホーム) のカメラ端末付近で、水平・垂直方向の半値幅約 40 度のホーンアンテナを 45 度ずつ水平方向に回転し、下り受信電力(RSRP)を測定した。

図 3.3.2.5(4)4)-26 追加検証イメージ



実施結果を以下に示す。

図 3.3.2.5(4)4)-27 追加検証結果



結果として、0度(RU1方向)の場合でも隣接セルのRSRPは約10dB差で受信されており、自セル方向に開口面を向けた筐体でも反射パスが影響している可能性が高いことが確認できた。

UEの指向性制限として3種類の筐体(電波吸収体、銅板箱、銅板リフレクタ)を適用したが、期待した隣接セル間UL干渉の低減効果は得られなかった。当該筐体は横方向や後方への伝搬の抑制に焦点を置いていたが、現地での測定の結果、前面(開口面)から放出された電波が反射して干渉となっている可能性が高いことが確認できている。

今後、現地での干渉状態を詳細に把握した上で、干渉影響の少ない端末位置の調査、干渉影響を踏まえた送信電力制御パラメータの検討が課題である。



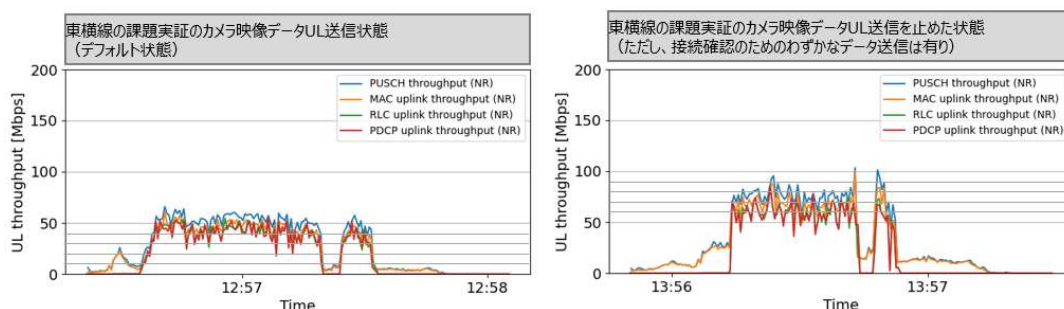
#### ④ 大井町線での課題実証におけるスループットへの対策

<検証結果>

2月9日に実施された大井町線での課題実証にて、東横線の課題実証のカメラ映像データ UL 送信された状態と、そうでない状態での UL スループットを確認した。

東横線の課題実証のカメラ映像データ UL 送信された状態（図（左））では MAC UL スループットが 50Mbps 程度なのに対して東横線の課題実証のカメラ映像データ UL 送信を停止した状態（図（右））では MAC UL スループットが 60~70Mbps 程度まで改善されていることを確認できた。

図 3.3.2.5(4)4)-28 東横線から大井町線への UL スループット



結果より、UL スループットの低減の理由の一つとしては仮説の東横線の課題実証のカメラ映像データ UL 送信による干渉によるものと考えられる。東横線ホームの端末は基地局からの距離が 70m 程度と離れていることで送信電力が高くなっていることと、端末からの電波がオムニ型に放射されることで想定より多くの反射波が生じ、大井町線側の通信に干渉を与えたことが考えられる。

今後の対策としては、③東横線での課題実証におけるカメラ映像遅延への対策と両立する端末位置、送信電力制御パラメータの調整などの検討が課題である。

## 5) 追加検証のまとめ

今回の実証では追加検証として以下の項目について対策を検討、検証した。

「他者土地への漏洩対策（エリア設計）について」

- ① ホーム長手方向電波漏洩への対策
- ② ホーム短手方向電波漏洩への対策

「自己土地内の干渉対策について」

- ③ 東横線での課題実証におけるカメラ映像品質劣化への対策
- ④ 大井町線での課題実証におけるスループット低下への対策

「他者土地への漏洩対策（エリア設計）」については RU に電波吸収体を取り付けることにより、RU の側面方向への電波の放射を制限し、短手方向の電波漏洩の抑制効果を検証した。その結果、駅周辺の漏洩電力低減効果の測定で最大 5.5dB の低下に留まっており、目標としていた 15~20dB よりもかなり低い結果であった。送信源である RU の指向性制限だけではホーム面、建物等による反射波の影響により期待する効果が得られにくいことが判明した。長手方向の対策と合わせて、送信電力の低減、反射波を考慮したチルト角の調整が必要と考えられる。

「自己土地内の干渉対策」について、電波吸収帯を取り付けた筐体、銅板を張り付けた箱形の筐体、銅板でのリフレクタ形の筐体の 3 種類の筐体内に与干渉端末を設置することにより、端末側で指向性を制限する対策についての効果を検証した。検証の結果、最も効果の高かった電波吸収体で干渉量を 3~5dB 程度改善していることを確認できたが、目標である 10dB の改善は達成できず、スループットは約 15%程度の改善に留まった。端末側での指向性制限だけではホーム内の反射波の影響により期待する効果は得られないことが判明した。対策に向けては、例えば、与干渉端末の位置を接続先 RU に対して近距離から段階的に遠ざけて被干渉端末の UL 通信における干渉量を測定（被干渉端末の接続先 RU において測定）する方法などにより、東横線ホーム内、大井町線における干渉状態を詳細に把握した上で、干渉影響の少ない端末位置の調査、送信電力制御パラメータの検討が必要と考えられる。

「他者土地への漏洩対策（エリア設計）」と「自己土地内の干渉対策」の両立を考えた場合、送信電力を下げることは双方にとって有効な策ではあるが、同時に課題実証に必要なスループットを得られなくなる可能性もあり、複数セルでのエリア設計の難しい点であると考えられる。上記の干渉対策でも干渉抑制が困難な場合には基地局の 1 セル化（DAS 化）なども視野に入れた対策の検討が必要と考える。また、今回の実証では周波数帯として Sub6 帯を採用した。これは、駅ホーム上には各種案内表示設備やエレベータ設備などの遮蔽物が多く、基地局-端末間の見通しが得られないことを考慮したためである。一方で、都市部の鉄道駅における他者土地への電波漏洩の抑制や、周辺局からの干渉対策という観点では、ミリ波帯の利用が有効であることが考えられる。鉄道駅のホーム上は遮蔽物の多い環境であるため、ユースケースに応じて比較的小さなカバーエリアを設けるなど基地局-端末間の遮蔽を回避する対策と併せて、ミリ波帯の利用も含めて他者土地への電波漏洩、干渉対策を検

討する必要があると考える。

### 3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟性

本テーマには取り組まない。

### 3.3.4 準同期TDDの追加パターンの開発

本テーマには取り組まない。

### 3.3.5 その他のテーマ

本テーマには取り組まない。

### 3.3.6 技術実証における追加検証

本テーマには取り組まない。

## 4. ローカル5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）

### 4.1 実証概要

#### ◇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

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（4.7GHz 帯）の無線通信システムを活用して、「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」に関する実証を行うととも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う。

列車に搭載した 4K カメラによるモニタリング映像を駅到着時にローカル5G で伝送し、AI 活用して解析することで、これまで保守員が線路内を徒歩又は、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移行することで、課題解決を実現する目的とする。

#### ◇高精細カメラと AI を活用した車両ドア閉扉判断の高度化

駅におけるホーム案内業務の省力化や安全性の向上を目指し、ローカル5G（4.7GHz 帯）の無線通信システムを活用して「列車ドア閉扉判断の AI×ローカル5G による自動化」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討を行う。

本課題実証では、駅ホーム案内業務のうち運転支援業務について、列車乗降監視用カメラの画像をローカル5G で伝送し、画像認識技術を用いて列車の閉扉可否判断を行い、結果を乗務員に通知することで運転支援業務の自動化・省力化の実現を目的とする。

課題実証に際しては駅ホームの他のソリューション候補（駅混雑監視、乗降者数カウント）等への展開、カメラ台数の削減を視野に入れ、HD カメラを使用した既設構内監視システムに比べ撮像範囲の広い 4K カメラを採用する。（図 4.1-1）

図 4.1-1) HD カメラ、4K カメラ撮像範囲比較  
HD カメラの場合



PPM65（一般的に人物として捉えられる画素数）の場合、HDカメラでは20mまでしか撮影できない

4K カメラの場合



PPM65（一般的に人物として捉えられる画素数）の場合、4Kカメラ×1台で60m撮影可能。

## 4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

### 4.2.1 各実証ソリューションにおける課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

#### ◇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

##### ① 背景となる課題

将来的に労働人口が減少していく中、鉄道保守員も昼間作業に加え運行が終了した夜間作業での労働となるため、「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、担当毎に東急全線の巡視・検査を実施しており、鉄道を運行するうえで保守人員を多く要している。

以上のことから、将来的な労働人口減少が見込まれる中、限られた人員の中で巡視・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。(表 4.2.1-1、図 4.2.1-1)

表 4.2.1-1) 東急電鉄 保守人員(2021年4月現在)

| 営業距離    | 路線数 | 駅数 | 保守人員 |      |
|---------|-----|----|------|------|
|         |     |    | 軌道担当 | 電気担当 |
| 104.9km | 8   | 97 | 72名  | 139名 |

※土木・建築担当においては外注へ委託

図 4.2.1-1) 線路内保守の様子



##### ② 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、各々の実施基準に落とし込み運用している。東急電鉄においても実施基準に沿った形で巡視・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 4.2.1-2)

表 4.2.1-2) 現在の巡視・検査の頻度

| 主な設備             |              | 実施基準<br>(法令)                      | 東急電鉄<br>(内規)       |          |
|------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------|----------|
|                  |              |                                   | 線路巡視               | 添乗巡視     |
| 線路設備             | 軌道           | 徒歩：週 1 回又は<br>週 2 回<br>(線区により異なる) | 週 1 回又は<br>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    |

### ③ 実証シナリオ・実装目標

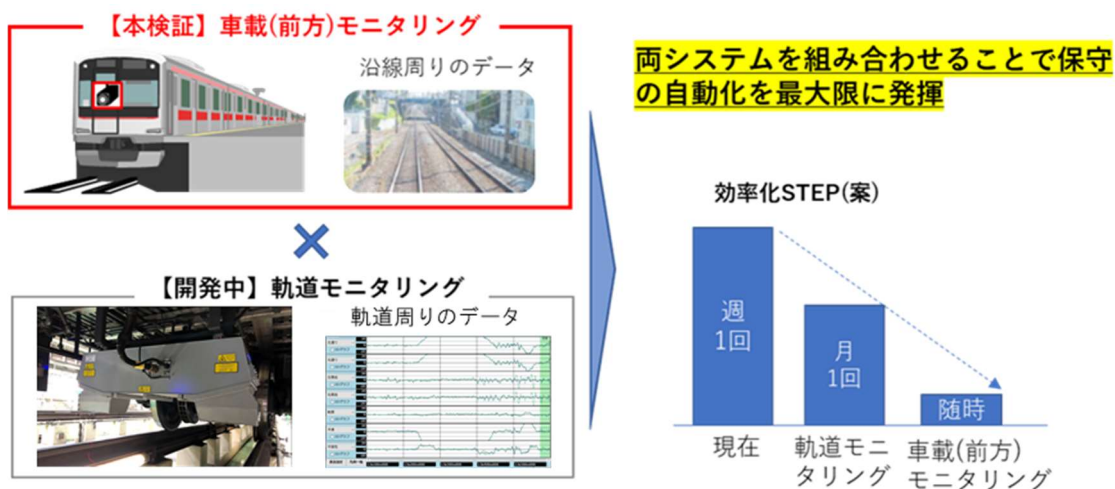
鉄道設備の保守省力化や安全・安定輸送の向上を目的として、ローカル 5 G 無線通信システムを用いて鉄道設備の高精細画像伝送及び AI 活用による目視検査の自動化による新たな保守業務支援を実現し、保守員の効率化や省力化および労働環境改善を目標とする。

今回の実証対象は主に車両前方に設置するカメラで捉えられる軌道設備や踏切保安設備であるが、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を予定しており、軌道変位や枕木ボルトの異常などを検知するものである。

将来的には、本実証の前方カメラによるモニタリングに加えて、軌道モニタリングの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。(図 4.2.1-2)

また巡視・検査の質に関して、本ソリューションによって安全性が担保されるか検証を行う。これまでの人による見落としリスクや「長年の経験の中で培った勘と知恵に基づく専門的な判断」など人と AI の安全性に関する比較を行う。

図 4.2.1-2) 本実証の位置付け



## ◇高精細カメラと AI を活用した車両ドア閉扉判断の高度化

### ① 背景となる課題

東急線全 97 駅のうち、6 駅 11 カ所のホームにて、駅係員による列車ドア閉扉確認支援、出発可否確認支援を行う運転支援業務を実施している。列車ドア閉扉確認支援とは、到着した列車のドア開扉後、乗降客の動向を注視し、安全に列車のドアを閉められるタイミングで乗務員に閉扉合図を送る業務（図 4.2.1-3）であり、出発可否確認支援は、ドア閉扉後、挟まっている人・物がなく、ドアの閉扉状態を確認し、乗務員へ出発合図を送る業務である。始発から最終列車発車まで、常にホームに立ち続け、運転支援業務に従事しており、6 駅 11 カ所で 1 日あたりの要員数は 52 人である。（表 4.2.1-3）

本実証環境である東横線自由が丘駅は 1 日 688 本の列車が発着し、1 日あたりの乗降者数は約 10 万人（2019 年度実績）である。朝ラッシュ時間帯の上り（渋谷方面）7～8 時台は 1 時間当たり 23 本運行しており、平均する 2 分 30 秒おきに発着している状況である。最混雑時間帯である朝 7 時から 9 時は駅サービススタッフを配置し、スムーズな乗降、運行を行うために、ホームで案内や誘導、運転支援業務などを実施している。

自由が丘駅における運転支援業務は始発の 5 時から最終列車 0 時 37 分までの間、上下ホームに 1 名ずつ、交代制 7 名／日の要員で運用している。

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ともに固定費の削減、生産性の向上による鉄道事業基盤の強靱化が急務である。

図 4.2.1-3) 駅合図業務の様子





表 4. 2. 1-3) 東横線全線の駅運転支援業務の配置人員数及び要員数

| 東横線            |    |       | 田園都市線          |    |       |
|----------------|----|-------|----------------|----|-------|
| 渋谷駅            | 上り | 3人/日  | 渋谷駅            | 上り | 1人/日  |
|                | 下り | 3人/日  |                | 下り | 1人/日  |
| 中目黒駅           | 上り | 1人/日  | 渋谷駅<br>朝夕時間帯増員 | 上り | (1人)  |
| 自由が丘駅          | 上り | 1人/日  |                | 下り | (2人)  |
|                | 下り | 1人/日  | 梶が谷駅           | 下り | 1人/日  |
| 白楽駅            | 上り | 1人/日  |                |    |       |
| 横浜駅            | 上り | 1人/日  |                |    |       |
|                | 下り | 1人/日  |                |    |       |
| 小計             |    | 12人/日 | 小計             |    | 3人/日  |
| 要員数 (3.5 を乗する) |    | 42人/日 | 要員数 (3.5 を乗する) |    | 10人/日 |

② 現状のオペレーション

東横線自由が丘駅は、曲線形状のホームかつ乗降数が多いことから旅客の安全性を確保するために列車のドアを閉める際、乗務員から見えにくい部分を駅係員が乗降客の安全確認を行い、列車ドア閉扉タイミングで乗務員に合図を行う。合図には合図旗もしくは、合図灯（カンテラ）を使用しており、自由が丘駅では合図旗を使用している。

列車ドア閉扉後は、出発可否確認として、挟まっている人・物の有無、ドアの閉扉状態を確認し、合図旗にて乗務員へ出発合図を送っている。（図 4. 2. 1-4、図 4. 2. 1-5）

図 4. 2. 1-4) 駅係員の確認範囲

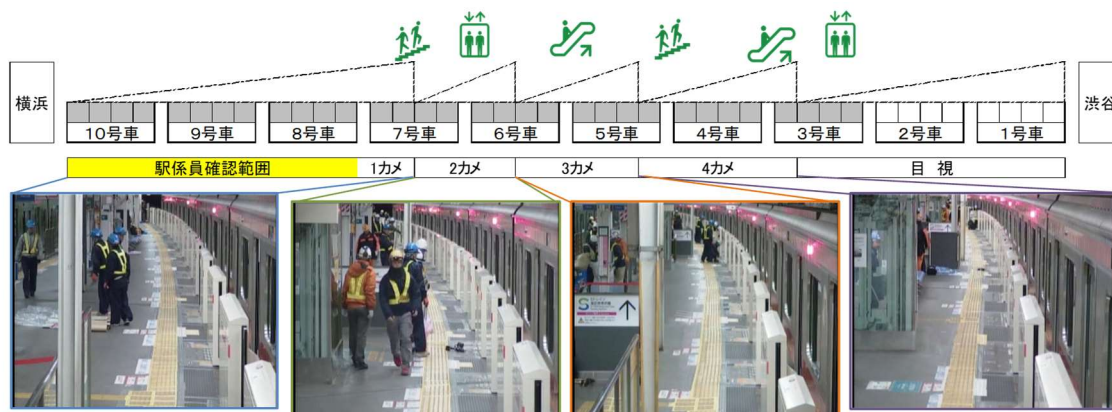
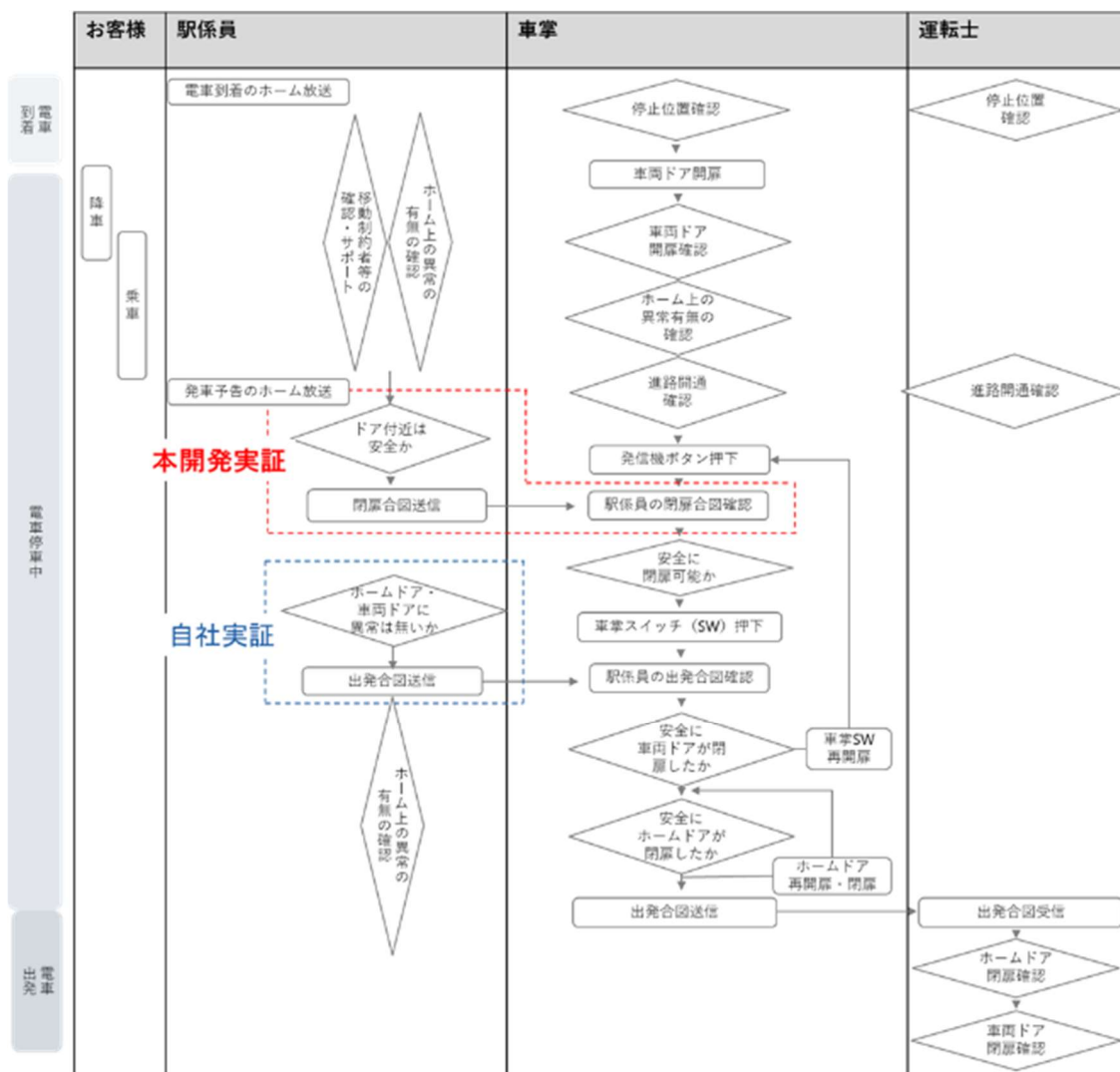


図 4.2.1-5) 駅係員・乗務員業務フロー



② 実装シナリオ

運転支援業務の高度化（自動化）には、大きく下記3つの要求される項目の解決が必要となる。

(1) 閉扉可否確認

- 列車ドア、ホームドア付近における乗降客の判断  
画像認識技術：乗降客可否判断
- 階段、エスカレータからの駆け込み乗車者の認識  
画像認識技術：動線、移動速度判断

(2) 出発可否確認

- ホームドア付近における正常性の確認  
画像認識技術：ホームドアへの寄りかかり、身を乗り出す、手を出すなど人物位置認識  
※ホームドアセンサーにより列車とホームドア間の支障物検出可能

○扉挟みの検出

画像認識技術：車両扉の荷物や傘などの挟みこみの物体認識技術

※10 mm以上の扉挟み検出は列車側で検出可能

(3) 乗務員への即時、確実な可否内容の通知・表示

○接続しやすい通信網の確立

安定した通信、乗務員への通知・表示方法の確立

本実証では、(1) 閉扉可否確認および、(3) 乗務員への即時、確実な可否内容の通知・表示について実証対象とする。(2) 出発可否確認については、既存システムとの連動性の検討・検証が必要となり、東急電鉄独自で実証を実施、本実証を踏まえ次年度、(1)～(3)の総合的な実証を行い、システム化を予定する。

③ 実証目標

運転支援業務の省力化や安全性の向上を目的として、ローカル5G等無線通信システムを用いて列車乗降監視用画像の伝送及びAI活用による列車ドア閉扉可否判断、乗務員へ即時、確実な通知・表示までを自動化することにより運転支援業務の高度化を実現し、駅合図要員の省人化、運転支援業務の安全性向上を目標とする。また、効果、機能面、運用面等の観点から検証するとともに技術的課題や実装を想定した場合の運用に係る課題等について取りまとめた。

4.2.2 課題と解決策の関係性：イシューツリーをもとにした整理

第4.2.1章に記載の課題の整理に当たっては、次ページの通りイシューツリー(図4.2.2-1・図4.2.2-2・図4.2.2-3・図4.2.2-4)を作成し、課題及び課題解決システムに関して整理した。本イシューツリーは(ア)鉄道業界における課題、(イ)課題解決の方向性、(ウ)解決案に階層分けしており、最右段のソリューションを一つ一つ実現し、課題を解決していくことを本コンソーシアムでは「スマートステーション構想の実現に向けた取り組み」と位置付けている。

本実証では、(ウ)解決案に記載のソリューションのうち、第4.2.1章に記載の通り、「車両ドア閉扉判断の高度化」、および、「線路巡視業務の高度化」を課題実証の対象とした。両ソリューション以外についても、本実証の結果を踏まえた導入を検討しており、将来的な導入計画については、第4.4.2章に記載する。

# 鉄道業界における課題と解決方法

## 課題背景

労働力人口の減少が予想される中で、3K(きつい、汚い、危険)と呼ばれる鉄道保守人員の高齢化やコロナ禍による需要が減少した鉄道輸送の安心安全維持/向上の効率化が課題となっている。  
 鉄道事業のDXを推進し、多様な移動ニーズに適応するべく、持続可能で効率的な「デジタルスケーリング構想」実現を目指す。

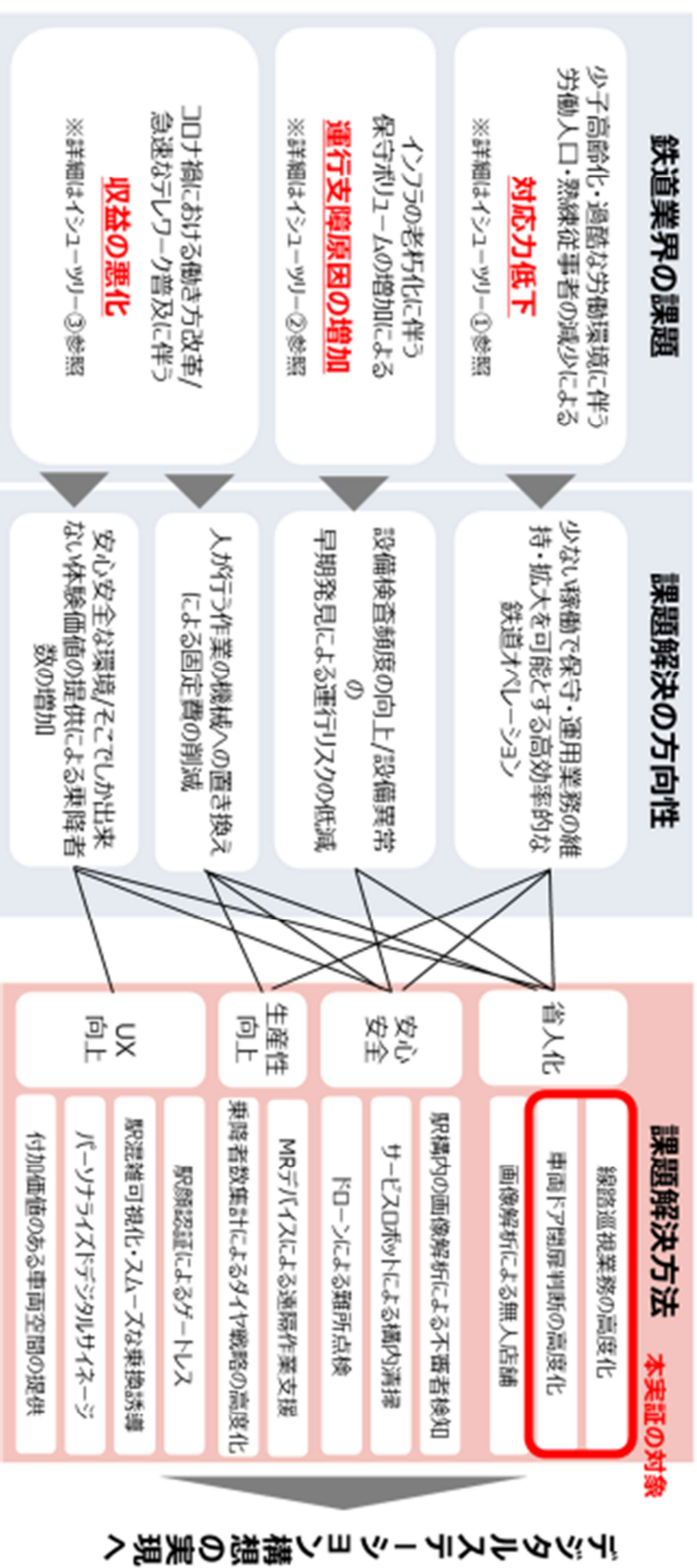


図 4.

# 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

図 4. 2. 2-2) イシューツリー① (詳細版) ※紙面幅の制約上 90 度回転して掲載

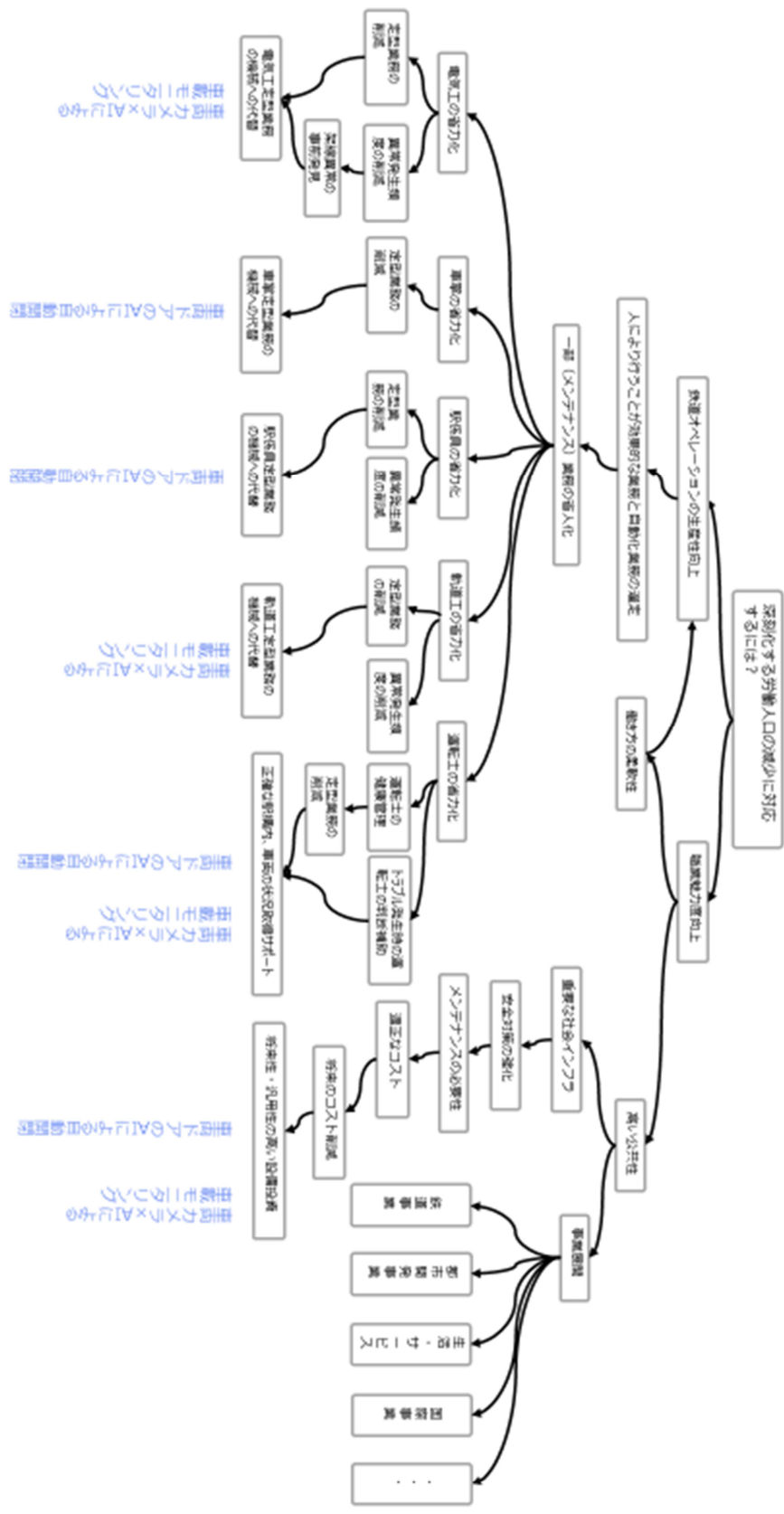
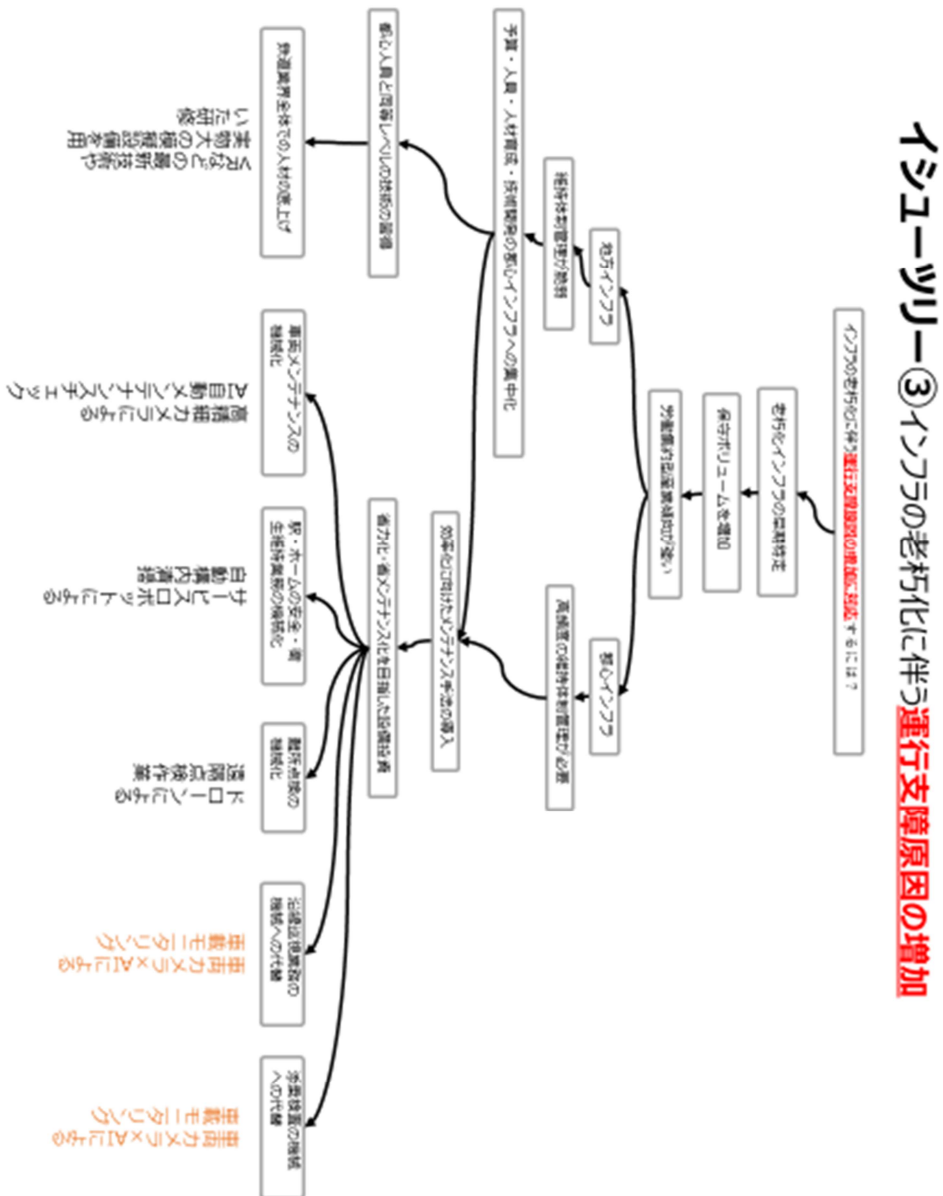




図 4. 2. 2-4) イシューツリー③ (詳細版) ※紙面幅の制約上 90 度回転して掲載



#### 4.2.3 ソリューションにおけるローカル5Gの必要性

2つのソリューション「線路巡視業務の高度化」「ドア閉扉判断の高度化」について、想定される通信インフラ(有線、Wi-Fi、LTE、全国5G等)ごとの比較を行い、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。(図4.2.3-1・図4.2.3-2)

同表においては、各ソリューションについて、通信インフラごとに(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。両ソリューションともに、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、「線路巡視業務の自動化」については、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、通信インフラごとの比較を実施している。



図 4.2.3-1) ローカル 5G の必要性の整理※紙面幅の制約上 90 度回転して掲載

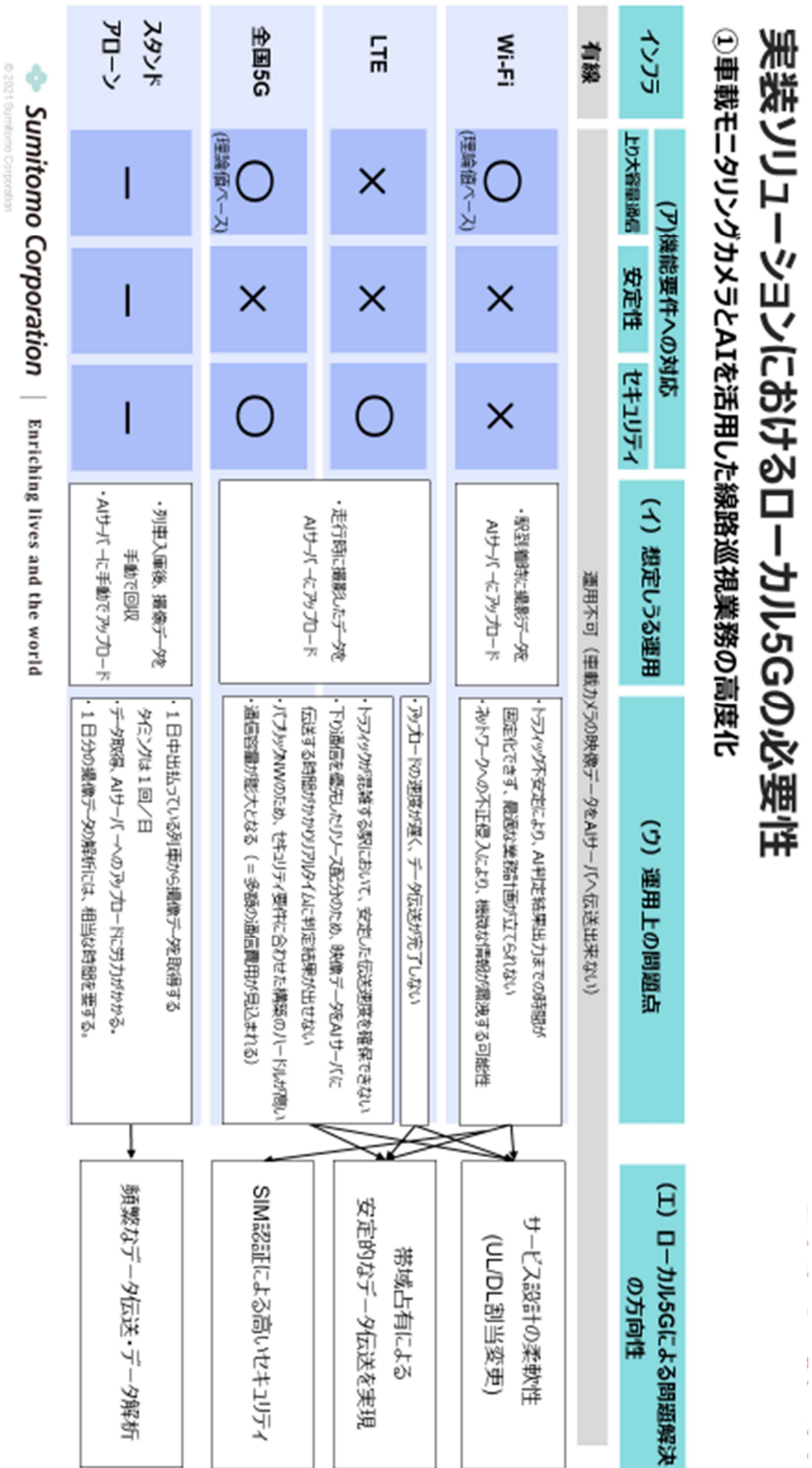
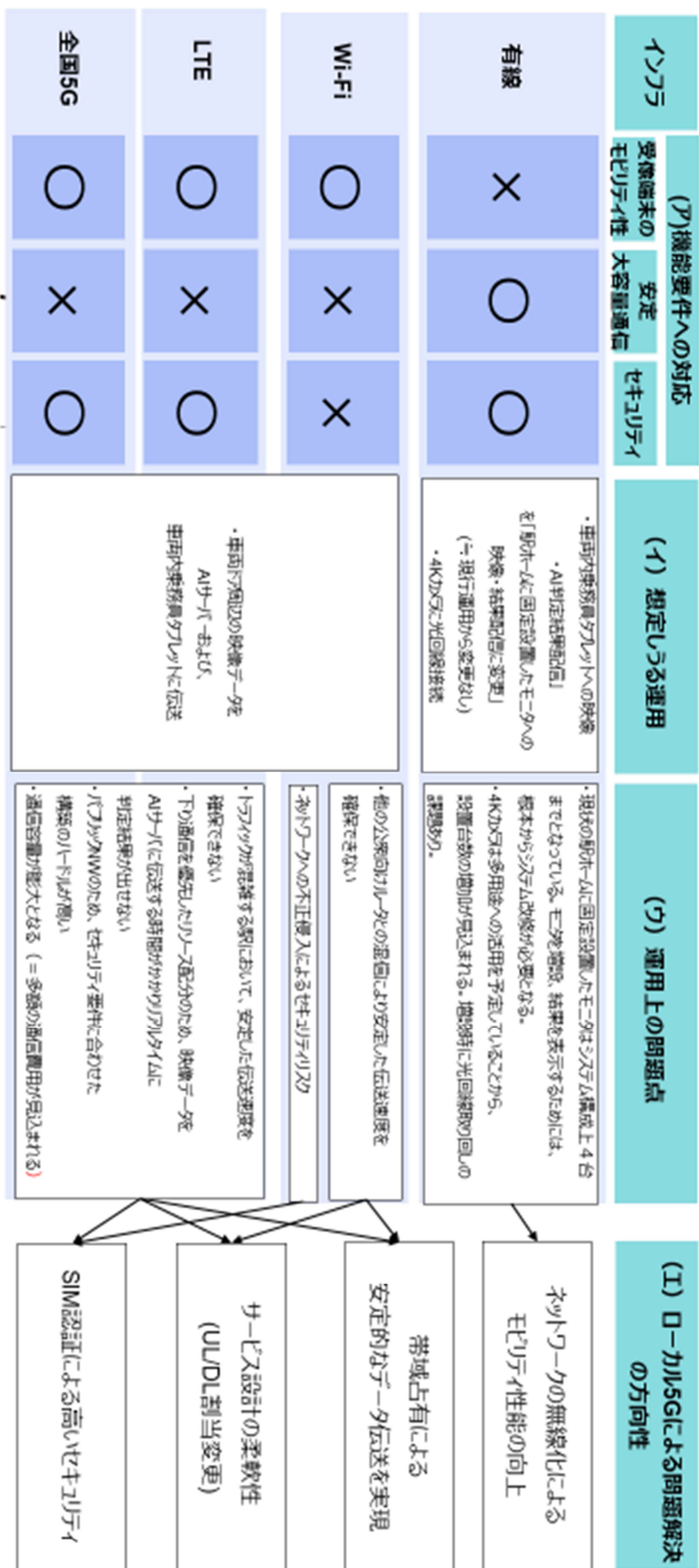


図 4.2.3-2) ローカル 5G の必要性の整理※紙面幅の制約上 90 度回転して掲載



### 4.3 実証環境

#### ◇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

本実証では、大井町線大岡山～二子玉川駅間を対象に課題実証を実施した。選定理由として、上記区間では踏切設備や軌道設備、運転標識類が設置されており、車載モニタリング対象の設備が網羅されていることや、急行列車の所要時間が長いことが特徴の一つであるため、ローカル5Gによる撮像データのアップロード時間実証にも適している。

また、実証環境は屋外エリアと屋内エリアに分かれているため、環境面での変化を捉えることも、今後他の鉄道事業者への実装展開を見据えたときには、有益な情報となることから、上記区間を選定した。(図4.3-1)

図4.3-1) 実証環境



#### ◇高精細カメラとAIを活用した車両ドア閉扉判断の高度化

本実証では、東急電鉄の自由が丘駅2階東横線ホームにおける駅係員の列車ドア閉扉合図業務を対象に課題実証を実施した。(図4.3-1)

東横線自由が丘駅の場合、列車ドア閉扉合図業務は3、4番線ホームの列車進行方向の前方部(横浜方)、5、6番線ホームでは同じく列車進行方向前方部(渋谷方)のそれぞれ列車3両分を駅係員による確認範囲としており、本実証では4番線(横浜方)、5番線(渋谷方)を実証場所とした。(図4.3-2、図4.3-3、図4.3-4、図4.3-5)

図 4.3-2) 東急電鉄 自由が丘駅



図 4.3-3) 自由が丘駅立体図

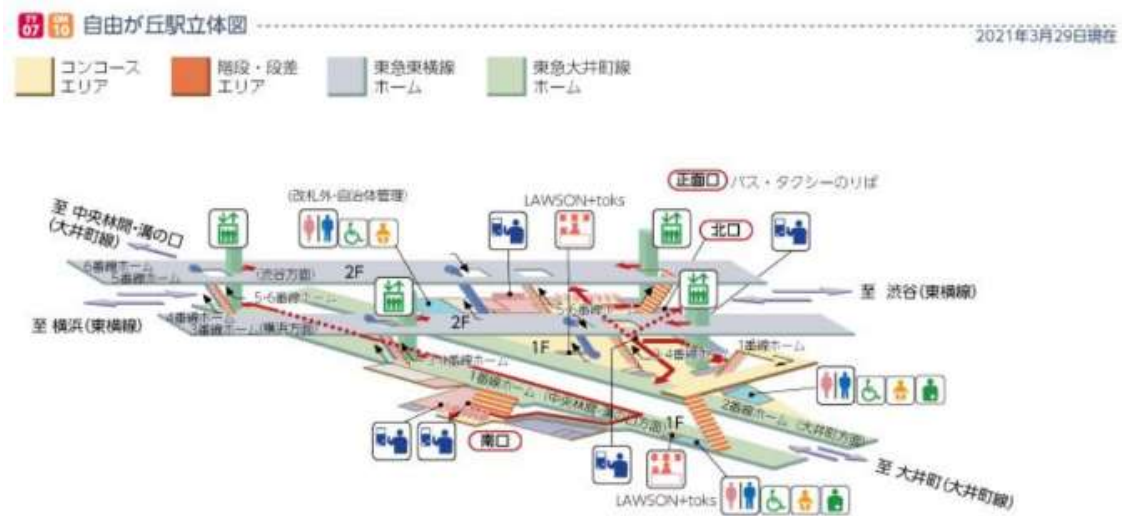


図 4.3-4) 自由が丘駅下りホーム (3番線・4番線)

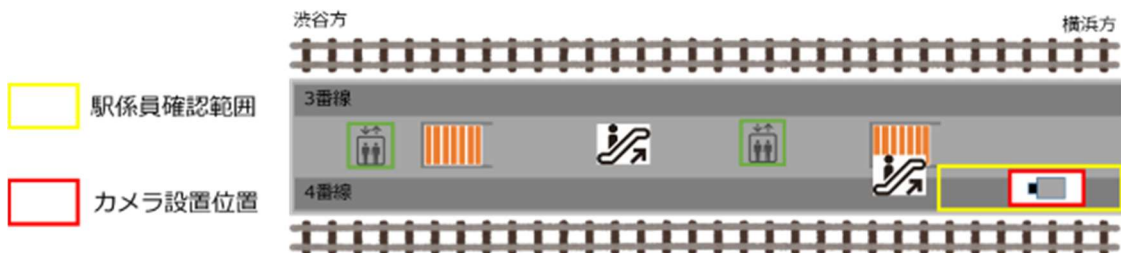
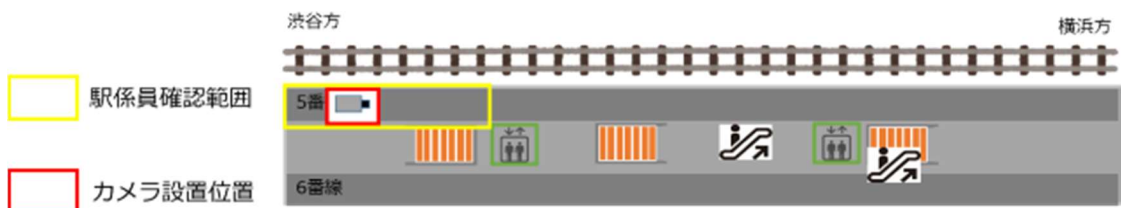


図 4.3-5) 自由が丘駅上りホーム (5番線・6番線)



#### 4.4 実証内容

##### ◇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

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システムを構成する。

また、車載モニタリングにおける実証にあたっては、鉄道運行に支障を及ぼさないよう関係者とすり合わせのもと、東急電鉄の安全基準に則り、安全性確保に十分配慮するとともに、必要な安全対策等を行った上で実施した。

大井町線の車両運転席に設置した 4K カメラを前面に合わせた画角で設置し鉄道設備の画像を撮影した。撮影された画像を、ローカル 5 G を利用して画像解析用 AI サーバへ伝送する。AI サーバでは教師データを用いて学習させた画像処理 AI モデルを用いて、「異常が発生している」と推論させ異常アラートを現場に出向かずに保守員が確認できるようにする。(表 4.4-1、表 4.4-2、図 4.4-1)

表 4.4-1) 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   | 踏切保安設備 | 遮断機     | 遮断桿の水平状態            |
| 3   |        |         | 遮断桿付属物の取り付け状態       |
| 4   |        | 障害物検知装置 | 障害物検知エリアの雑草による誤検知防止 |
| 5   | その他    | 標識・灯器類  | 見通し状態               |

本実証にて検証する設備については、現場保守員からのヒアリング結果を基に、鉄道の運行または、第三者の安全を脅かす観点を取り入れて、数ある線路内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 4.4-2) モニタリング対象選定理由

| No. | 対象設備          | 選定理由   |
|-----|---------------|--|
| 1   | 軌道：砕石の状態      | 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、この事で列車動揺が生じ、乗り心地に大きく影響するため。                                   |
| 2   | 踏切：遮断機の状態     | 踏切遮断機は列車と通行者を分離するための重要な設備であり、異常時には重大事故に繋がる恐れがあるため。   |
| 3   | 踏切：障害物検知装置の状態 | 踏切道には、踏切警報時に自動車や通行者が取り残されていないかを検知する装置があり、踏切道付近に生えている雑草などにより、雑草を誤検知して列車が緊急停止してしまう事象が年間 20 件ほど発生しており、列車の安定輸送を守るため。 |
| 4   | 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。   |

図 4. 4-1) 対象設備の異常例



#### ◇高精細カメラと AI を活用した車両ドア閉扉判断の高度化

東横線自由が丘駅上下ホーム（4 番線、5 番線）それぞれに 4K カメラ 1 台ずつ設置（計 2 台）、指定したエリア内の人物集団において、その人物が停滞している（次の列車を待つ集団）のか、列車方向に移動している人物なのかを AI 画像認識技術を使用して判断する。（図 4. 4-2）

本実証では、課題実証担当者（乗務員経験者）がタブレット端末を携帯し 4K カメラ映像及びドア閉解析結果通知を確認・評価する。

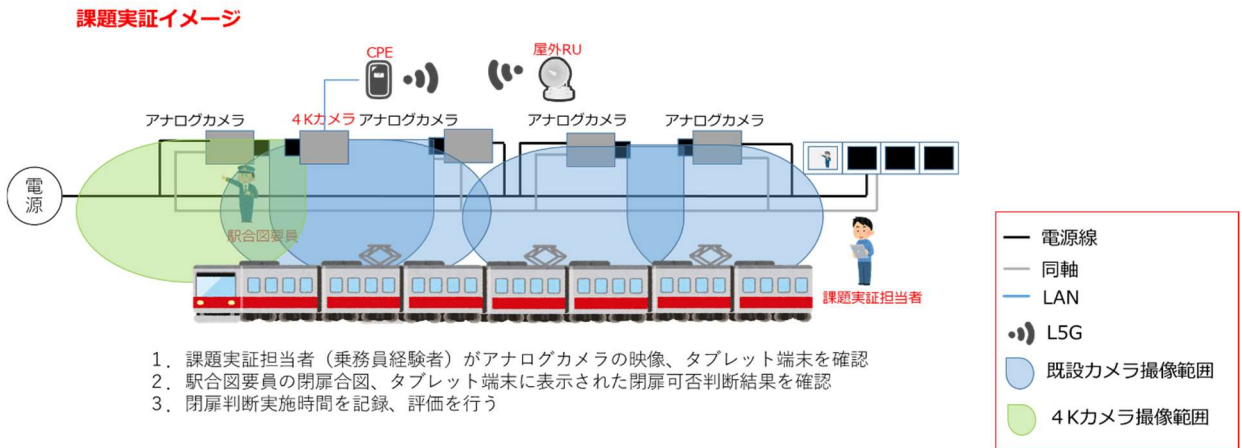
ドア閉の判断時に駅係員の合図と比較し AI 画像解析による判定結果の有効性を検証する。なお、設置する 4K カメラは CPE と直接接続する。（図 4. 4-3）

また、LAN 配線、POE 給電時の中継器の削減による将来的な配線レス効果を期待効果とし、模擬的にローカル 5 G 対応アンテナ一体型カメラとして使用した。

図 4. 4-2) 乗降客判断のイメージ



図 4. 4-3) 課題実証イメージ



偽陰性検証を以下の4つの予測結果に分類して行う。

本実証期間中は、各分類項目の割合を計測するとともに、偽陽性率および偽陰性率の割合を下げられる施策を東急電鉄ならびにソリューションベンダを交えて検討した。

- ・真陽性(True Positive) : AI の予測は「閉扉可能」、結果は「閉扉可能」
- ・真陰性(True Negative) : AI の予測は「閉扉不可」、結果に「閉扉不可」
- ・偽陽性(False Positive) : AI の予測は「閉扉可能」、結果は「閉扉不可」
- ・偽陰性(False Negative) : AI の予測は「閉扉不可」、結果は「閉扉可能」

判断結果より最適な閉扉可能タイミングをAI画像解析により判定し、判定結果を課題実証担当者（乗務員経験者）が携帯するタブレット端末へ伝送する。

なおAI画像解析サーバへの映像伝送は、画像解析による処理遅延が懸念されるため、処理速度を重視し、同じカメラより別ストリームの映像データを伝送することとする。想定される上り伝送帯域を表4.4-3に、下り伝送帯域を表4.4-4に示す。

同時に開閉動作の補助として、4Kカメラ映像をタブレット端末へ直接伝送することで、現行の乗降監視システムのカメラ映像と比較し、視認性を確認した。(図4.4-4)

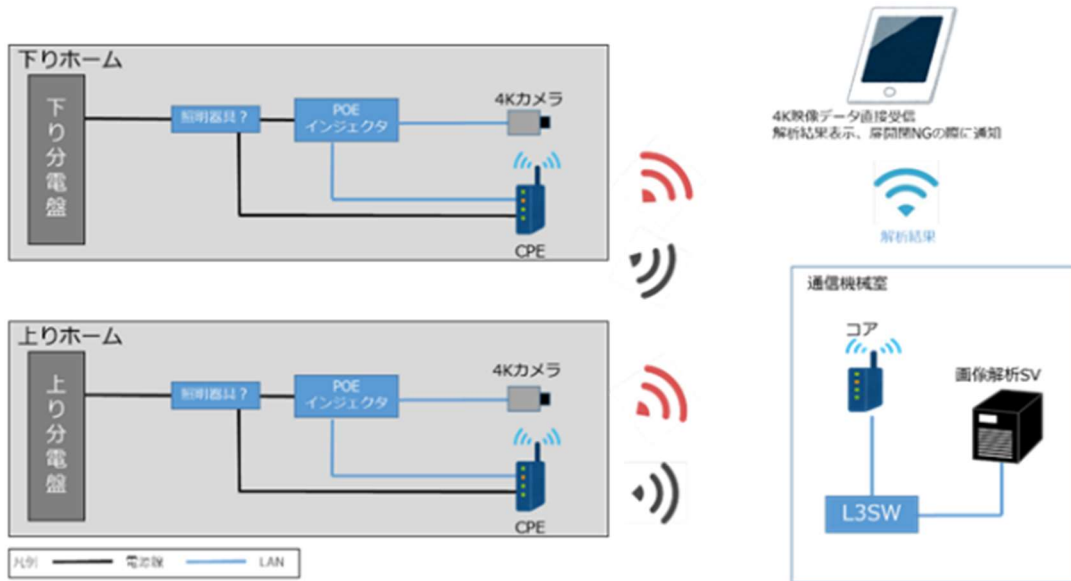
表 4. 4-3) 上り伝送帯域 (想定)

| 圧縮方式     | 解像度              | レート (fps) | 1ストリームの映像帯域(kbps) | カメラ1台当り上り帯域(Mbps) | カメラ2台当り上り帯域(Mbps) | カメラ4台当り上り帯域(Mbps) | カメラ16台当り上り帯域(Mbps) |
|----------|------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| H.265(1) | 4KUHD(3840x2160) | 30        | 7,168             | 9.216             | 18.432            | 36.864            | 73.728             |
| H.264(1) | 4KUHD(3840x2160) | 30        | 10,240            | 12.8              | 25.6              | 51.2              | 102.4              |
| H.265(1) | WQHD(2560x1440)  | 15        | 2,048             | -                 | -                 | -                 | -                  |
| H.264(1) | WQHD(2560x1440)  | 15        | 2,560             | -                 | -                 | -                 | -                  |

表 4. 4-4) 下り伝送帯域 (想定)

| 圧縮方式     | 解像度              | レート (fps) | 1ストリームの映像帯域(kbps) | L5GNW~タブレット下り伝送帯域(Mbps) | L5GNW~画像解析SV下り伝送帯域(Mbps) | L5GNW~タブレット下り伝送帯域(Mbps) 4画面分割表示想定 | L5GNW~画像解析SV下り伝送帯域(Mbps) カメラ16台想定 |
|----------|------------------|-----------|-------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| H.265(1) | 4KUHD(3840x2160) | 30        | 7,168             | 7,168                   | -                        | 28,672                            | -                                 |
| H.264(1) | 4KUHD(3840x2160) | 30        | 10,240            | 10,240                  | -                        | 40,960                            | -                                 |
| H.265(1) | WQHD(2560x1440)  | 15        | 2,048             | -                       | 4,096                    | -                                 | 32,768                            |
| H.264(1) | WQHD(2560x1440)  | 15        | 2,560             | -                       | 5,120                    | -                                 | 40,960                            |

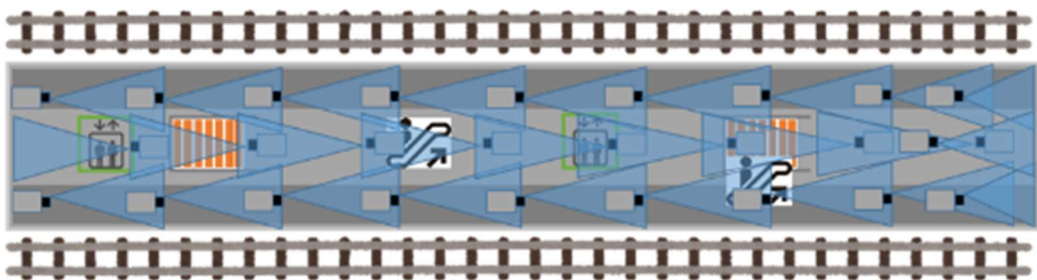
図 4. 4-4) 検証環境



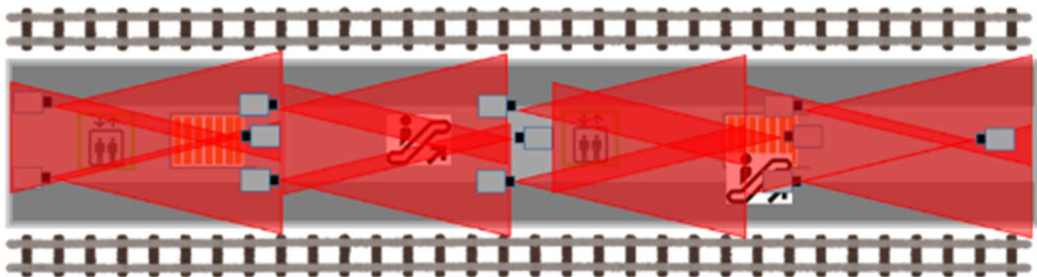
また、将来的な駅ホームの他のソリューション（駅混雑可視化、乗降者数カウント、ホーム上の異常検出、移動制約者等の確認等）との併用や既存カメラの更新等を視野にアナログカメラや HD 映像に比べ、4K は撮像範囲が広く、カメラ台数の削減、更に配線レスによる施工コストの抑制が実現可能であるか実証、シミュレーションツールを用いて確認した。（図 4. 4-5）

図 4. 4-5) HD カメラ、4K カメラ配置比較（イメージ）

従来カメラ



4Kカメラ





#### 4.4.1 ローカル5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証

##### 4.4.1.1 効果検証

###### (1) 評価・検証項目（線路巡視業務）

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ともに、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、多くの設備で実施している 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。

現在の検査周期では2日～1か月の頻度から営業列車による1日複数回の頻度に上がるため、定常的に設備の状態を確認することで安全・安定輸送を維持・向上することができる。

###### 【定量面】

- ・巡視、検査業務の高度化による削減効果

| 評価・検証項目      | 概要  |
|--------------|---|
| 巡視・検査周期の短縮効果 | 高度化により、現在人力で行っている巡視・検査周期の延長や削減を実現することで、業務時間、費用の削減効果を比較検証する。<br>業務時間、費用実績から削減効果の試算を行う。 |

###### 【定性面】

- ・保守員の負担軽減、列車の安定運行

| 評価・検証項目      | 概要  |
|--------------|---|
| 保守員の負担軽減効果   | 現状は気候にかかわらず、現地での作業を周期的に実施しているが、高度化により「必要によって現地に赴く」ことで保守員の労働環境が軽減するか現場へのヒアリングにて確認する。 |
| 列車運行の安全性向上効果 | 車載モニタリングへの置き換えにより、巡視・検査頻度が向上することで、設備の安定性向上、設備故障の減少に寄与するか現場へのヒアリングを実施する。             |

## (2) 評価・検証方法（線路巡視業務）

### 【定量面】

| 評価           | 検証方法   |
|--------------|--|
| 巡視・検査周期の短縮効果 | 本実証で得た解析データを基に巡視・検査の周期延長や巡視・検査の削減が可能な作業項目を熟練者と共に確認、選定。 |
| 巡視・検査費用の低減効果 | 現在の作業項目や作業人工、費用を洗い出し、置き換えた場合の削減効果を算出する。                |

### 【定性面】

| 評価           | 検証方法  |
|--------------|---|
| 保守員の負担軽減効果   | 解析データの信憑性を評価して、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現場へのヒアリングを基に検討する。                                 |
| 列車運行の安全性向上効果 | 車載モニタリングへの置き換えにより、巡視・検査頻度が向上するため、運行支障までに至らぬ軽度な設備異常を早期に発見することで運行支障防止に繋がるか等、現場へのヒアリングを基に検討する。 |


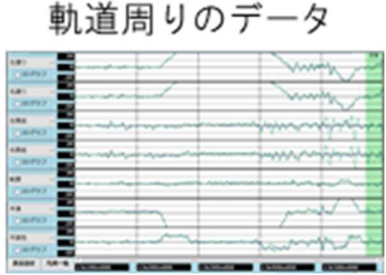

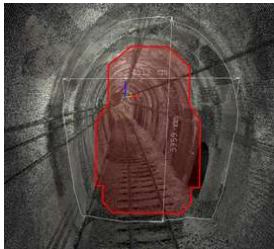
## (3) 実証結果及び考察

実証の結果、線路巡視業務における削減効果および保守員の負担軽減、安全性向上効果について以下に示す。

### 【定量面】

- 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 4.4.1.1(3) -1) 他の高度化手法

| 設備名              | 考えられる高度化手法  |
|------------------|---|
| 軌道設備             | <p>営業列車床下に搭載された軌道材料、軌道モニタリングにて軌道状態を監視する。</p>   <p style="text-align: center;">軌道周りのデータ</p> |
| 信号保安設備<br>踏切保安設備 | <p>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。</p>  |
| 電力設備             | <p>異臭、異音、振動などの状態監視を行う。</p>  |
| 土木建築設備           | <p>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。</p>    |

当社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掛けて、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、徒歩巡視を毎日実施しており、列車添乗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モニタリングを活用していくことで徒歩巡視を週に1回、列車添乗巡視を月に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。

図 4.4.1.1(3) -1) 現状の巡視業務頻度

|    | 添乗巡視 | 徒歩巡視 |
|----|------|------|
| 軌道 | 回/日  | 回/週  |
| 信号 | 回/月  | 回/月  |
| 電路 | 回/月  | 回/月  |

図 4. 4. 1. 1 (3) -2) 高度化後の巡視業務頻度(案)

|    | 添乗巡視  | 徒歩巡視  |
|----|-------|-------|
| 軌道 | 回/週   | 回/月   |
| 信号 | 回/3カ月 | 回/3カ月 |
| 電路 | 回/3カ月 | 回/3カ月 |

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。

【定性面】

・保守員の負担軽減効果

→保守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、保守員の労働環境改善に資するか検討を実施した。

ヒアリング結果として高度化への移行条件として以下の課題、対応策が求められる。

表 4. 4. 1. 1 (3) -2) 主な高度化移行条件

| 項目        | 課題                              | 対応策                         |
|-----------|---------------------------------|-----------------------------|
| 全設備の状態監視  | 前方の画角だけでは対象となる設備に限られてくる         | 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      | 現在の業務と移行後の業務フローを作成し検討・評価    |

また、現状は気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、高所作業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、保守員の労働環境改善に大きく繋がる。

・列車の安定運行向上効果

→モニタリングへの置き換えにより巡視・検査頻度が向上するため、運行支障までに至らぬ軽度な設備異常を早期に発見することが可能か保守員へのヒアリングを基に検討を実施した。

【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が、他にも多岐に渡る巡視・検査項目があり、土木部門で管理する法面などの状態も巡視時には確認をしている。雨天続きで土の含水量が増え、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 4.4.1.1(3) -3) 沿線の法面崩壊



また、保線部門では終電車が運行を終了したあとに、夜間作業にて軌道整備を東急全線で毎日のように実施している。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頻度が向上することで線路内の安全性が向上する。

【電気部門】

本実証にて、踏切保安装置の遮断かん状態をモニタリング対象の一つとして実施した。ホーム上については東急線全駅にホームドア、ホームセンサを整備し人身事故の件数が大幅に低減したが、踏切については列車と第三者が交わる環境にあり事故が発生する頻度が高い。列車運行の安全性向上を検討した際に、踏切保安装置は常に正常であることが望ましいが、検査頻度は現状 1 カ月周期であるため検査の翌日に設備の異常があった場合は、異常状態が 1 カ月ほど続く恐れがある。

図 4.4.1.1(3) -4) 遮断かんの先端が折損(イメージ)



踏切では遮断かんが自動車などの渡り残りなどにより接触し、折損してしまうケースがあり、折損時は自動車や列車の運転士からの申告により緊急補修をしている。しかし、遮断かんの先端部分の折損では自動車側からの申告が無く、先端部分のため列車の運転士も気づきにくいケースがあり、保守員の定期検査にて判明することもある。今回の AI 異常検出では遮断かんの状態を確認しているため、遮断かんの異常についても早期発見が可能となり、安全性の向上効果は十分に考えられる。

#### ◇高精細カメラと AI を活用した車両ドア閉扉判断の高度化

##### (4) 評価・検証項目 (車両ドア閉扉判断)

4K カメラによって撮像された画像から、指定したエリア内の人物集団において、その人物が停滞している (次の列車を待つ集団) のか、列車方向に移動している人物なのかを AI 画像認識技術を使用して判断した結果を課題実証担当者 (乗務員経験者) への即時、可否内容を通知・表示し、閉扉可否判断の自動化を実現する手段としての適性や実用性について検証するとともに、4K カメラ映像を乗務員が携帯したことを想定し、タブレット端末へ直接伝送することによる視認性について確認した。

また、将来的な駅ホームの他のソリューション (駅混雑可視化、乗降者数カウント、ホーム上の異常検出、移動制約者等の確認等) との併用や既存カメラの更新等を視野にアナログカメラや HD 映像に比べ、4K は撮像範囲が広く、カメラ台数の削減、更に配線レスによる施工コストの抑制が実現可能であるかシミュレーションツールを用いて確認した。

具体的な目標値として、「撮影から判定結果のタブレット表示までの時間」を設定しており、運用面を考慮し、1 秒としている。

評価・検証項目に関して、定量的・定性的な観点から以下 6 項目を軸に検証を実施した。

##### 定量面① 閉扉判断に係る人員の省人化効果

駅業務は交番制で行われており、決められた時間に駅合図要員を交代配置している。オペレーション変更による運用計画の見直しを想定し、現在の運用から駅合図要員の省人化を行った場合の省力化、省人化効果を定量的に確認する。

定量面② カメラ台数削減による設備投資費用の削減

既設 HD カメラを使用した構内監視システムと比較し、4K カメラを使用することで 3 倍の範囲を撮像することが可能である。

本課題実証では既設構内監視システムを 4K カメラへ置き換えた場合を想定し、カメラ台数削減効果をパナソニックシステムデザインツールにより確認した。(図 4.4.1.1-2、図 4.4.1.1-3) 自由が丘駅では現在上りホーム 20 台、下りホーム 18 台の構内監視カメラが設置されており、各カメラの画角を考慮したうえで以下の削減目標を設定し、カメラ台数削減を実施した場合の費用対効果を検討した。

表 4.4.1.1(4)-1)

|       | 既設システム<br>(HD カメラ) | 4K カメラ導入時のシミュレーション目標値 | 備考  |
|-------|--------------------|-----------------------|-----|
| 上りホーム | 20 台               | 10 台                  | 東横線 |
| 下りホーム | 18 台               | 9 台                   | 東横線 |

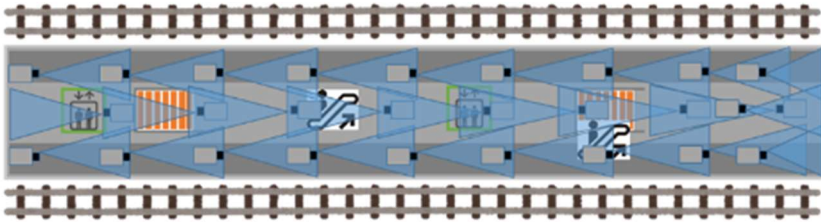
なお自由が丘駅コンコースは柱による死角が多いため、4K カメラへの更新が実現した場合も既設カメラ同様の画角に設置することとなり、台数削減が困難と想定したため、本課題実証の対象範囲外とした。

図 4.4.1.1(4)-1) パナソニックシステムデザインツール

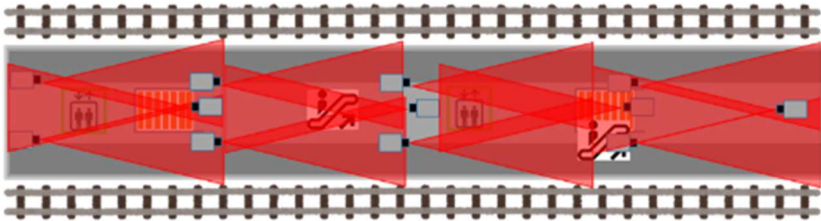


図 4.4.1.1(4)-2) HD カメラ、4Kカメラ配置比較（想定）

従来カメラ



4Kカメラ

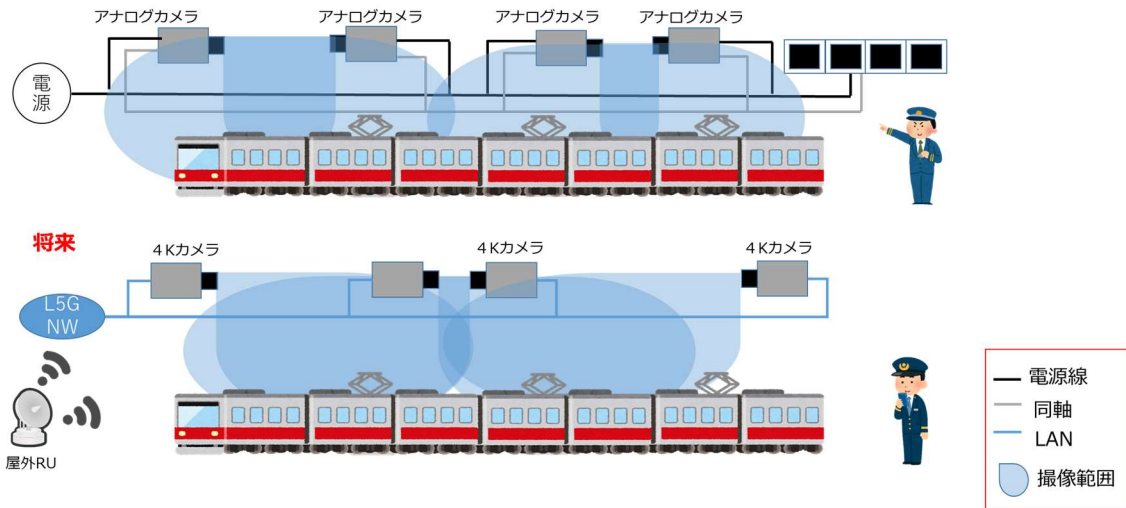


定量面③ 無線化による施工費用の削減効果

ローカル5G環境が整備された場合、各カメラに対し無線伝送器を接続することで、配線レス化が期待される。また、4Kカメラ導入によるカメラ台数削減に伴い、配線ルートの変更が必要になり新規で配線敷設を実施する事になるが、無線化することでLANケーブル敷設が不要となり配線レスによる施工費用削減が期待できる。

配線レスによる施工コストの削減効果を既設の有線によるシステム構成と比較、検討する。具体的な将来像を図4.4.1.1(4)-3)に示す。

図 4.4.1.1(4)-3) ローカル5G環境が整備された際の構成イメージ



定性面① 乗務員へのドア周辺映像のリアルタイム配信による効果

本実証ではローカル5G回線を使用し、4Kカメラで撮影した高精細映像を課題実証担当者（乗務員経験者）が携帯するタブレット端末へ直接伝送した。4Kカメラで撮影した高精細映像を伝送することによる業務負荷の変化、乗務員の判断精度（扉ばさみの軽減等）について、視認性、リアルタイム性の観点から定性的に検証を実施した。

具体的な目標値として、「撮影から判定結果のタブレット表示までの時間」を設定しており、運用面を考慮し、1秒としている。



定性面② 扉挟みリスクの軽減による安全性の向上

既設システムの映像はアナログカメラを利用していることから、夜間・日中のコントラスト不足による視認性の低下、白杖を利用した乗客の見落としなど、安全面での課題が残る。

4K 高精細映像を直接課題実証担当者（乗務員経験者）が携帯するタブレット端末へ伝送することによる視認性を確認すると同時に、従来システムとの安全性を比較した。

定性面③ 画像解析結果通知の有効性（既存業務との比較）

現状の運用では、列車のドアを閉める際、乗務員から見えにくい部分を駅係員が乗降客の安全確認を行い、列車ドア閉扉タイミングで合図旗を用いて乗務員に合図を行う。乗務員はホーム上に設置されたモニタを使用し、駅合図を確認している。本課題実証では 画像解析結果を課題実証担当者（乗務員経験者）が携帯するタブレット端末へ表示することによる有効性、既存業務と比較したときの業務改善効果についてヒアリングを実施した。

実証を通じて評価・検証する項目を下表（表 4.4.1.1(4)-2）に示す。

表 4.4.1.1(4)-2) 具体的な検証項目

| 評価・検証項目  | 概要   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定性面① 乗務員へのドア周辺映像のリアルタイム配信による効果</li> <li>・ 定性面② 扉挟みリスクの軽減による安全性の向上</li> <li>・ 定性面③ 画像解析結果通知の有効性</li> </ul> | ローカル 5 G 回線を使用し、課題実証担当者（乗務員経験者）に対し 4 K カメラ映像を伝送することによる視認性を確認し、乗務員の業務負荷が変化するかどうかをアンケートにて確認した。 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定性面① 乗務員へのドア周辺映像のリアルタイム配信による効果</li> <li>・ 定性面② 扉挟みリスクの軽減による安全性の向上</li> </ul>                              | 既設のアナログカメラを使用した乗降監視カメラと比較し、4 K カメラ映像の表示による視認性を検証した。<br>扉挟みのリスクがどの程度軽減されたかをヒアリングした。           |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定性面③ 画像解析結果通知の有効性</li> </ul>  | 課題実証担当者（乗務員経験者）が携帯するタブレット端末へ AI 画像解析により判定した閉扉可否タイミングの通知を行い、現運用との業務効率を比較した。                   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定量面③ 無線化による施工費用の削減効果</li> </ul>   | ローカル 5 G 環境が整備された際の機器・電源配線の省線化による効果を確認した。  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定量面② カメラ台数削減による設備投資費用の削減</li> </ul>   | 既設システムと比較した場合のカメラ台数削減効果をシミュレーションツールにより確認した。  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定量面① 閉扉判断に係る人員の省人化効果</li> </ul>   | 工数削減等の定量的な効果を纏め、駅合図業務削減による省力化、省人化効果を定量的に確認した。  |

### (5) 評価・検証方法（車両ドア閉扉判断）

具体的な評価・検証方法を下表（表 4.4.1.1(5)-1）に示す。

表 4.4.1.1(5)-1) 具体的な評価・検証方法

| 評価  | 検証方法   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・定性面① 乗務員へのドア周辺映像のリアルタイム配信による効果</li> <li>・定性面③ 画像解析結果通知の有効性</li> </ul>                                   | <p>撮影からタブレット端末への映像表示までの時間、判断結果の通知は従来の運用方法と比較して有効か課題実証担当者（乗務員経験者）へアンケートにて確認した。</p>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・定量面③ 無線化による施工費用の削減効果</li> <li>・定量面② カメラ台数削減による設備投資費用の削減</li> </ul>                                      | <p>4K カメラによる視認性を確認するとともに、駅ホームの他のソリューション候補（駅混雑監視、乗降者数カウント）等への展開を考慮し、パナソニックシステムデザインツールにて 4K カメラを駅構内に展開した場合のカメラ台数削減効果を検討した。</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・定性面① 乗務員へのドア周辺映像のリアルタイム配信による効果</li> <li>・定性面② 扉挟みリスクの軽減による安全性の向上</li> <li>・定性面③ 画像解析結果通知の有効性</li> </ul> | <p>乗務員への映像伝送により業務負荷が変化するのか、画像解析結果を乗務員へ通知することによる業務効率の変化、4Kカメラ映像を直接伝送することによる視認性について課題実証担当者（乗務員経験者）へアンケートにて確認した。</p>            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・定量面① 閉扉判断に係る人員の省人化効果</li> </ul>   | <p>駅舎図要員削減を実施した場合の運用計画をシミュレーションし、工数削減等の定量的な効果を纏めた。</p>   |

#### 検証条件

1. 画像解析で使用する AI はパナソニックにてすでに所有する「閉扉可否確認の自動化」技術を使用する。精度、機能保証及び実験終了後の改修・改造は実施しない。
2. 通信速度計測の際、4K カメラ内で処理する映像変換にかかる時間は測定不可のため計測対象外とする。
3. 各実証実験に際しては課題実証担当者（乗務員経験者）がタブレット端末を携帯し 4K カメラ映像及びドア閉解析結果通知を確認・評価する。

#### アンケートの実施方法

アンケート対象者は以下の通りである。

- ・課題実証担当者（乗務員経験者）  
 現地にてタブレット端末を操作し、判定結果表示のタイミング、UI の操作性について評価する。課題実証担当者にて実機を操作し現地評価、フィードバックを実施。  
 フィードバック結果をもとに再度 AI チューニングを検討。  
 アンケートは評価用データセットを元に回答

実施時期：2022年1月5日～1月18日、2022年1月28日～2月4日

実施時間：半日

※評価用データセットは動画データを含むため別添にて提出予定

今回、新型コロナウイルス感染拡大予防の観点から現地での確認は最小限に抑えたが総勢27名の課題実証担当者（乗務員経験者）にアンケート回答頂くことができた。

#### アンケート項目

効果検証に際して実施したアンケート項目を下表（表4.4.1.1(5)-2）に示す。

表4.4.1.1(5)-2) 効果検証に際して実施したアンケート

| 対象                  | 評価項目                      | アンケート設問内容  |
|---------------------|---------------------------|--|
| 課題実証担当者<br>(乗務員経験者) | 乗務員へのドア周辺映像のリアルタイム配信による効果 | タブレット端末に表示された映像は実際の映像と比較して遅延があると感じましたか？<br>また、判定結果表示は実際の駅係員による判断と比較して遅延があると感じましたか？   |
|                     | 画像解析結果通知の有効性              | 今後の運用にて運転士がタブレット端末を確認して扉を閉めることは可能だと思いますか？<br>(運転士がタブレット端末のみで閉扉を行う運用を想定してご回答ください。)  |
|                     | 扉挟みリスクの軽減による安全性の向上        | 既設ITVのHD映像と比較し、本システムの4K映像は画質、撮像範囲、遠方の視認性が向上しましたか？<br><br>タブレット端末に表示した4K映像で扉を閉める判断を行う場合、既設ITVのHD映像と比較して扉挟みリスクの軽減等、安全性は向上しますか？(HD映像、4K映像を比較しご回答ください) |

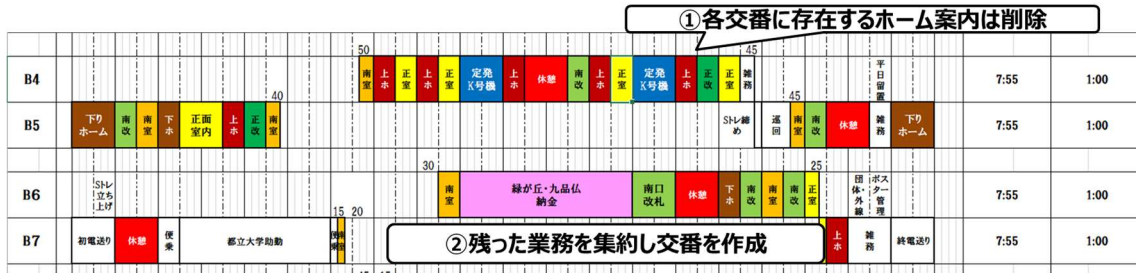
#### (6) 実証結果及び考察（車両ドア閉扉判断）

定量面① 閉扉判断に係る人員の省人化効果

##### ①.1 交番の考え方

- ① 各交番に存在するホーム案内要員を削除する
- ② 残った業務を集約し交番表を作成する

図 4.4.1.1(6)-1)



①.2 交番の削減効果

I. 自由が丘駅における終日のホーム案内勤務時間

上りホーム：20 時間 15 分

下りホーム：20 時間 00 分      合計：40 時間 15 分

II. 1 交番あたりの実働時間

7 時間 55 分 (休憩時間含まず)

交番削減数 ( I / II で算出 ) = 約 5 交番 ( 5 人 )

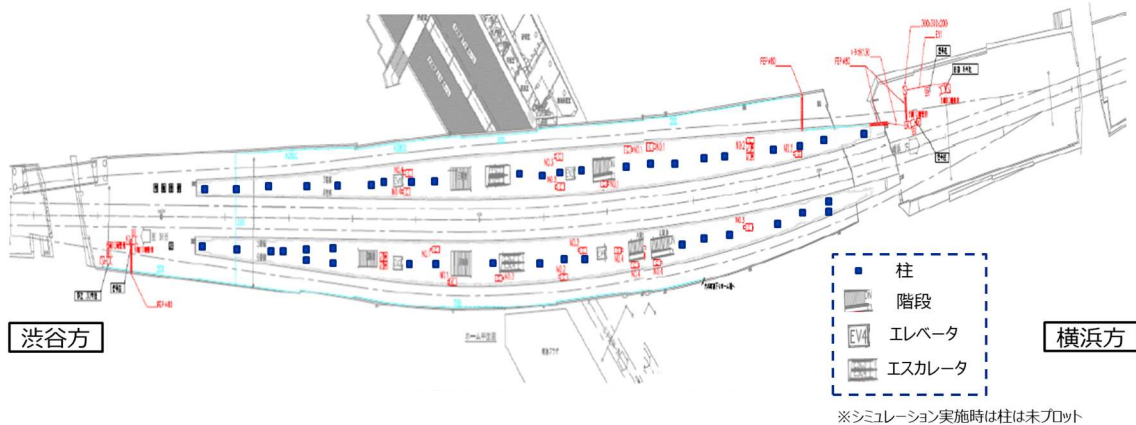
ホーム案内が削減されることで約 5 交番の削減に寄与できると推測される

定量面② カメラ台数削減による設備投資費用の削減

②.1.1 東横線 自由が丘駅の駅構造

東横線 自由が丘駅は半屋外環境(屋根は存在するが、壁で密閉されてはいない空間)である。ホーム上は柱による死角、エレベータボックス、看板などの障害物が存在し画角が制限される。本課題実証では上記を考慮し、シミュレーションを実施する。

図 4.4.1.1(6)-2) 東横線 自由が丘駅ホーム平面図



## ②.1.2 検証条件

1. シミュレーションツール上では PPM という単位を元に人間、AI が判断するために最低限必要な画素数を表示している

PPM・・・撮影される被写体の 1m あたり画素数

被写体までの高さ/距離が遠くなるほど数値は小さくなる

人間が人物を認識するのに必要な PPM=65PPM

AI が人間を判定するのに必要なピクセル数 (横×縦)・・・60×120 ピクセル

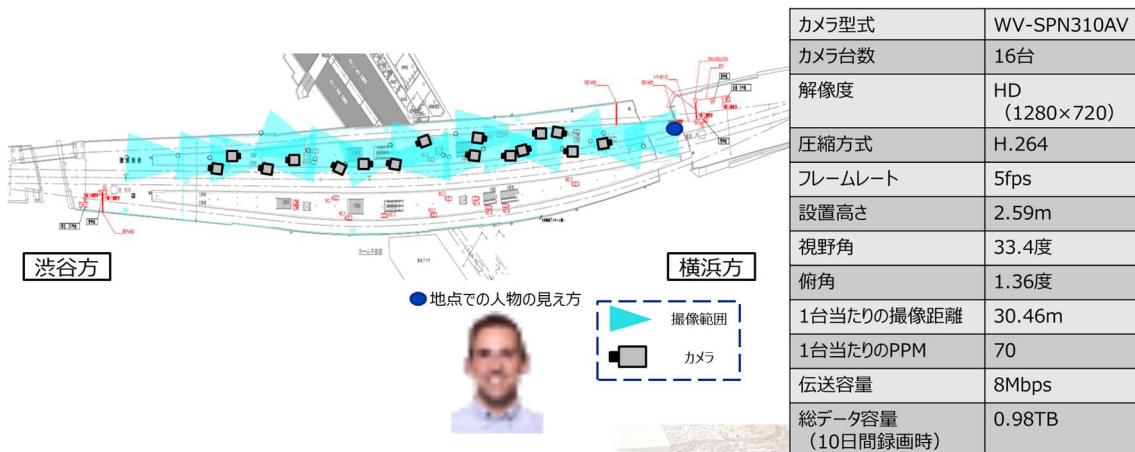
AI が人間を判定するのに必要な PPM=120 ピクセル÷1.7m (男性の平均身長)  
 $\approx 70\text{PPM}$

本シミュレーション実施時はカメラ 1 台ごとに 70PPM で人物が撮影可能な範囲を最大撮像範囲と設定しシミュレーションを行う。

2. 東急電鉄電気通信設備施工基準第 15 章\_その他設備\_通信機器設置高さより「天井面に通信機器 (カメラ) を設置する場合、GL～レンズ中心までの最低高は 2500mm」と定められている。シミュレーションツール上での設置高設定は GL～カメラ底面までの高さより計算されるため、シミュレーションツール上での設置高設定は 2590mm とする。
3. ホーム全長は 205m とする。

## ②.2.1 下りホーム 駅構内監視カメラ 既設画角の撮像範囲について

図 4.4.1.1(6)-3) 下りホーム\_駅構内監視カメラ既設画角の撮像範囲



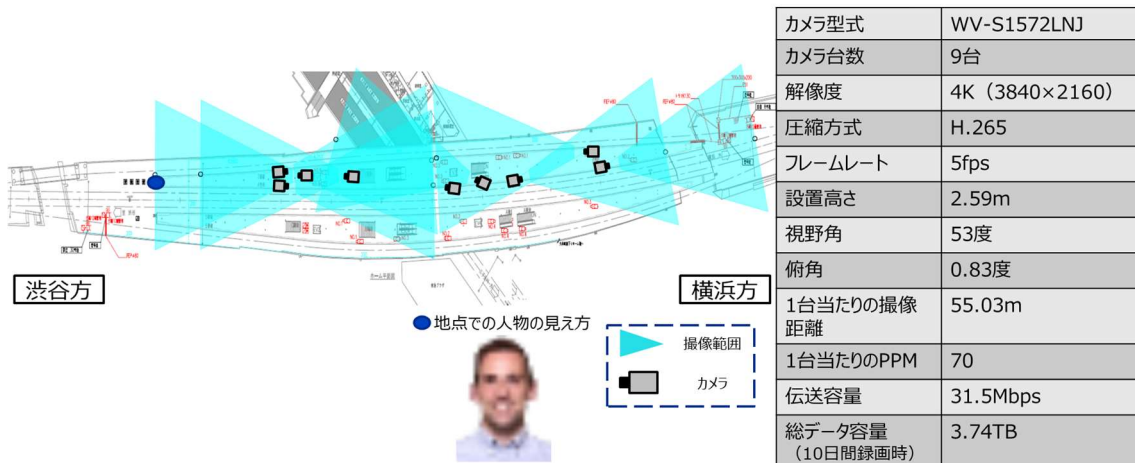
### 【考察】

- ・ 既設画角では 16 台のカメラを使用しホーム全体を監視している
- ・ 監視カメラのため、人間が見ても人物と判断できるよう 70PPM で撮影可能な画角設定がされていると推測
- ・ エレベータボックス、階段、ESC を監視するため、乗降口付近を各 1 台のカメラで監視する必要がある

- ・横浜方の階段付近は看板、ベンチによる死角があり、カメラ台数が多い

## ②.2.2 下りホーム駅構内監視カメラを4Kカメラに置き換えた場合について

図 4.4.1.1(6)-4) 下りホーム\_駅構内監視カメラ4K画角の撮像範囲

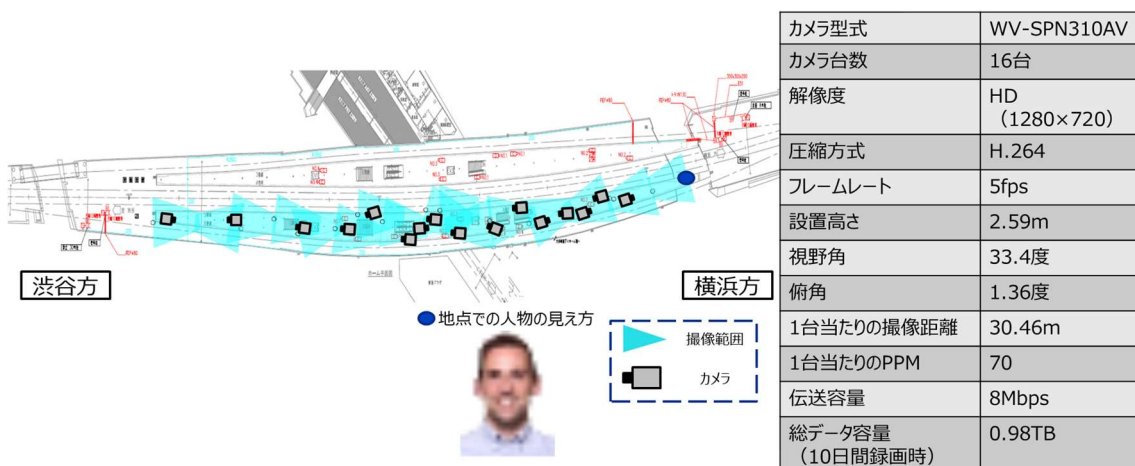


### 【考察】

- ・4Kカメラを使用した場合、同じ解像度でカメラ台数を半分の9台まで削減可能
- ・階段、エレベータボックスの乗降口にはカメラが各1台必要になるが、撮像範囲が広がったため1台のカメラで広範囲を監視することが可能と推測
- ・伝送容量は3.94倍となり、録画装置側のHDD容量が3.74TB必要

## ②.2.3 上りホーム駅構内監視カメラ 既設画角の撮像範囲について

図 4.4.1.1(6)-5) 上りホーム\_駅構内監視カメラ既設画角の撮像範囲

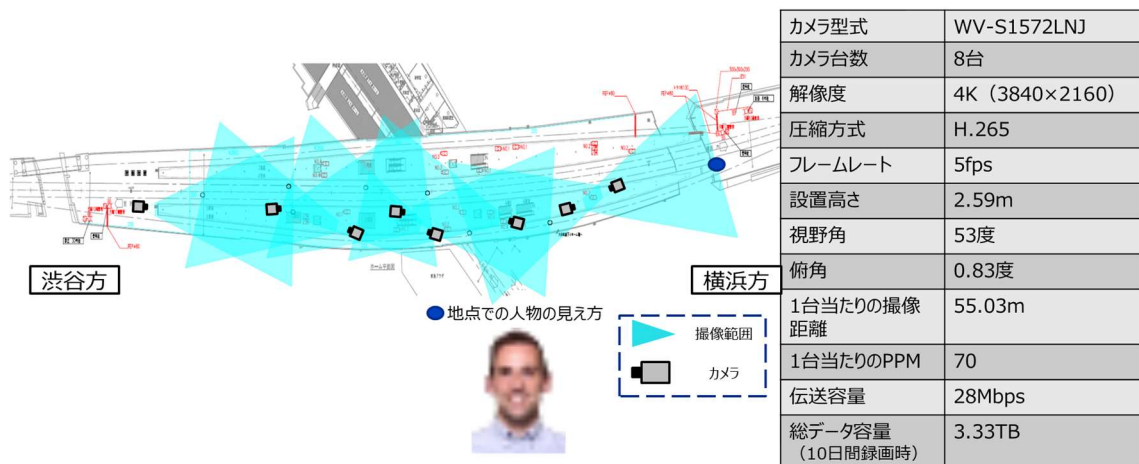


【考察】

- ・既設画角では16台のカメラを使用しホーム全体を監視している
- ・監視カメラのため、人間が見ても人物と判断できるよう70PPMで撮影可能な画角設定がされていると推測
- ・下りホーム同様、エレベータボックス、階段、ESCを監視するため、乗降口付近を各1台のカメラで監視する必要がある
- ・ホーム中央～横浜方の階段付近は柱、看板による死角が発生するためカメラ台数が多い

②.2.4 上りホーム駅構内監視カメラを4Kカメラに置き換えた場合について

図 4.4.1.1(6)-6 上りホーム\_駅構内監視カメラ4K画角の撮像範囲



【考察】

下りホームと比較し、ホームの幅が狭く、エレベータボックスによる死角が少ないため、既設カメラと比較し8台までカメラ台数を削減可能と考えられる。

- ・伝送容量は約3.5倍となり、録画装置側のHDD容量が3.33TB必要

②.2.5.検証結果

表 4.4.1.1(6)-1 検証結果

|       | 既設システム<br>(HDカメラ) | 4Kカメラ導入時のシ<br>ミュレーション目標値 | 検証結果 |
|-------|-------------------|--------------------------|------|
| 上りホーム | 20台               | 10台                      | 8台   |
| 下りホーム | 18台               | 9台                       | 9台   |

【考察】

上りホーム、下りホームともに既設のHDカメラを4Kカメラに置き換えることで、カメラ1台あたりの撮像範囲が広がり必要カメラ台数を半数に抑えることが可能である。

後述にも記載するが、既設のHDカメラは200,000円/台に対し、4Kカメラは321,000円/台のため、上りホームでは1,432,000円、下りホームでは711,000円の削減効果が期待できる。しかしながら、4K解像度により伝送容量が増加し録画装置のHDD容量が増加す

る。HDD 1TBが90,000円に対し、4TBは270,000円のため、片ホーム180,000円のコスト増となる想定である。トータルコストではローカル5Gでの構築の方がコストメリットがあると考えられる。

また、各駅の死角状況によりカメラ台数の削減効果の変動するため、現地での最適な必要カメラ数の算出が必要と考える。

上記に加え、ローカル5G活用での無線化により、配線レス効果が見込め更なる削減効果が期待できると推測される。

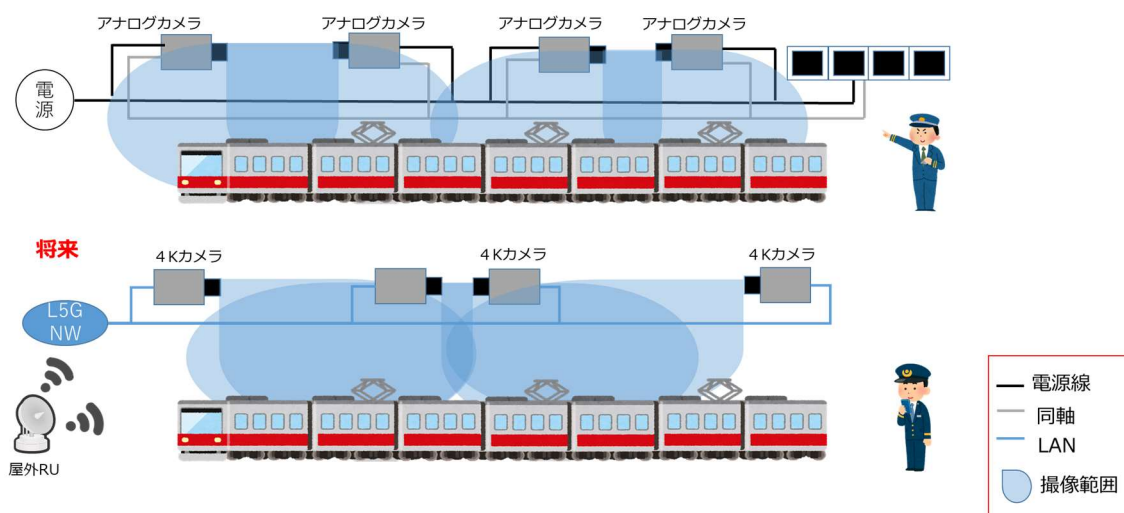
無線化による施工費用の削減効果は「定量面③\_無線化による施工費用の削減効果」にて別途検討を実施する。

### 定量面③ 無線化による施工費用の削減効果

#### ③.1. 検証条件

1. ローカル5GのNW環境はすでに構築済みのもとと想定し、既設ITV設備をIP化した場合の「機器費」「材料費」「労務費」について検討を行う。
2. 将来的なシステム構成は後述の「機能検証 定性面③システム拡張性の検討」にて検討した構成とする。

図 4.4.1.1(6)-7) ローカル5G環境が整備された際の構成イメージ





### ③.2. 機器費 削減効果

図 4.4.1.1(6)-8) 既設 ITV 設備

| 項目        |                    | 単位 | 数量 | 平均単価    | 金額        | 摘要    |
|-----------|--------------------|----|----|---------|-----------|-------|
| カメラケース    | HDカメラ用 屋内型・防曇      | 台  | 4  | 193,000 | 772,000   | カメラ工事 |
| 映像コンバータ   | AD-001HD4          | 台  | 4  | 72,000  | 288,000   | カメラ工事 |
| ハイビジョンカメラ | TK-HD9701(レンズ含)    | 台  | 4  | 200,000 | 800,000   | カメラ工事 |
| Webエンコーダー | WJ-GXE500 ACアダプター付 | 台  | 1  | 80,600  | 80,600    | 録画工事  |
|           |                    |    |    |         |           |       |
|           |                    |    |    |         |           |       |
|           |                    |    |    |         |           |       |
|           |                    |    |    |         |           |       |
|           | 小計                 |    |    |         | 1,940,600 |       |

図 4.4.1.1(6)-9) ローカル 5G ITV 設備

| 項目        |                             | 単位 | 数量 | 平均単価    | 金額        | 摘要    |
|-----------|-----------------------------|----|----|---------|-----------|-------|
| カメラケース    | HDカメラ用 屋内型・防曇               | 台  | 0  | 193,000 | 0         | カメラ工事 |
| PoEHUB    | PoE給電付きHUB                  | 台  | 2  | 100,000 | 200,000   |       |
| 4Kカメラ     | WV-S1572LNJ<br>(屋外ハウジング一体型) | 台  | 4  | 321,000 | 1,284,000 |       |
| Webエンコーダー | WJ-GXE500 ACアダプター付          | 台  | 0  | 80,000  | 0         | 録画工事  |
| L5Gハブ盤    |                             | 個  | 2  | 200,000 | 400,000   |       |
|           |                             |    |    |         |           |       |
|           |                             |    |    |         |           |       |
|           |                             |    |    |         |           |       |
|           | 小計                          |    |    |         | 1,884,000 |       |

#### 【考察】

今回採用した4Kカメラは屋外ハウジング一体型のため、カメラケースの削減が可能である。また、既設構成では録画用でアナログ映像をwebエンコーダ経由で取得しているが、カメラのIP化に伴いWebエンコーダの削減が可能である。最終的なコスト削減効果としては56,600円程度が期待できる。

### ③.3. 材料費 削減効果

図 4.4.1.1(6)-10) 既設 ITV 設備

| 項目                   |                      | 単位 | 数量  | 平均単価    | 金額      | 摘要    |
|----------------------|----------------------|----|-----|---------|---------|-------|
| カメラケース取付金物           | 吊下型                  | 組  | 4   | 230,000 | 920,000 | カメラ工事 |
| ビニルケーブル (ITV制御器-カメラ) | VCT 4C/1.25          | m  | 560 | 180     | 100,800 | カメラ工事 |
| ビニルケーブル (電源-ITV制御器)  | CV3.5-2C             | m  | 20  | 120     | 2,400   | カメラ工事 |
| 同軸ケーブル               | 5C-FB                | m  | 560 | 70      | 39,200  | カメラ工事 |
| 同軸ケーブルコネクタ           | 5C用BNC               | 個  | 8   | 270     | 2,160   | カメラ工事 |
| 屋外用STPケーブル (60m)     | 両端RJ45プラグ付           | 本  | 1   | 18,480  | 18,480  | カメラ工事 |
| Webエンコーダ取付金物         | モニタケース内蔵             | 組  | 1   | 50,000  | 50,000  | 録画工事  |
| 同軸ケーブル               | 3C-FB 両端<br>BNCコネクタ付 | 本  | 4   | 3,000   | 12,000  | 録画工事  |
| 屋外用STPケーブル (100m)    | 両端RJ45プラグ付           | 本  | 1   | 30,480  | 30,480  | 録画工事  |
| 雑材料                  |                      | 式  | 1   |         | 36880   |       |
| 小計                   |                      |    |     |         | 1212400 |       |

図 4.4.1.1(6)-11) ローカル 5 G ITV 設備

| 項目                   |                      | 単位 | 数量  | 平均単価    | 金額        | 摘要    |
|----------------------|----------------------|----|-----|---------|-----------|-------|
| カメラケース取付金物           | 吊下型                  | 組  | 4   | 230,000 | 920,000   | カメラ工事 |
| ビニルケーブル (ITV制御器-カメラ) | VCT 4C/1.25          | m  | 0   | 180     | 0         | カメラ工事 |
| ビニルケーブル (電源-ITV制御器)  | CV3.5-2C             | m  | 0   | 120     | 0         | カメラ工事 |
| 同軸ケーブル               | 5C-FB                | m  | 0   | 70      | 0         | カメラ工事 |
| 同軸ケーブルコネクタ           | 5C用BNC               | 個  | 0   | 270     | 0         | カメラ工事 |
| 屋外用STPケーブル (60m)     | 両端RJ45プラグ付           | 本  | 0   | 18,480  | 0         | カメラ工事 |
| Webエンコーダ取付金物         | モニタケース内蔵             | 組  | 0   | 50,000  | 0         | 録画工事  |
| 同軸ケーブル               | 3C-FB 両端<br>BNCコネクタ付 | 本  | 0   | 3,000   | 0         | 録画工事  |
| 屋外用STPケーブル (100m)    | 両端RJ45プラグ付           | 本  | 0   | 30,480  | 0         | 録画工事  |
| 屋外用STPケーブル           | カメラ~ハブ盤              | m  | 400 | 308     | 123,200   |       |
| L5Gハブ盤取付金物           |                      | 組  | 2   | 50,000  | 100,000   |       |
| 雑材料                  |                      | 式  | 1   |         | 17,800    |       |
| 小計                   |                      |    |     |         | 1,161,000 |       |

#### 【考察】

カメラの IP 化に伴い電源ケーブル、同軸ケーブルのコスト削減が可能と想定される。またアナログカメラの場合、カメラモニター間の同軸配線が必須だが、置き換えとなる LAN ケーブルはカメラから NW スイッチ (L5G ハブ) 間の配線となりケーブル長の削減効果が期待できる。

上記に伴い、後述の労務費部分でもコスト削減効果が見込めると想定される。

加えて、録画用 Web エンコーダはカメラの IP 化に伴い不要となるため、付随材料を全て削減することが可能である。

コスト削減効果としては 51,400 円程度が期待できる。

### ③.4. 労務費 削減効果

図 4.4.1.1(6)-12) 既設 ITV 設備

| 項目                     |                           | 単位 | 数量 | 平均単価    | 金額        | 摘要              |
|------------------------|---------------------------|----|----|---------|-----------|-----------------|
| ITVカメラ取付（夜間）           |                           | 台  | 4  | 18,100  | 72,400    |                 |
| ITVカメラケース取付（夜間）        | 金物、触れ止共                   | 台  | 4  | 83,400  | 333,600   |                 |
| ケーブル布設（夜間）             | 5C-FB, VCT<br>4C/1.25 STP | 人工 | 16 | 36,700  | 587,200   | 8人工×2晩          |
| 同軸ケーブルコネクタ取付（夜間）       | 5C用BNC                    | 個  | 8  | 2,450   | 19,600    |                 |
| カメラ画角調整（夜間）            |                           | 回  | 1  | 146,800 | 146,800   | 4人工/回<br>(施工会社) |
| カメラ画角調整（夜間）            |                           | 回  | 1  | 267,000 | 267,000   | 4人工/回<br>(メーカー) |
| データ整理・打合せ調整・機材準備費      |                           | 式  | 1  | 66,750  | 66,750    |                 |
| 工事監督費（夜間）              |                           | 人工 | 10 | 36,700  | 367,000   |                 |
| ネジロック塗付（夜間）            | カメラ金物                     | 人工 | 4  | 36,700  | 146,800   |                 |
| 屋外用STPケーブル（100m）布設（夜間） | 試験共                       | 人工 | 10 | 36,700  | 367,000   |                 |
| Webエンコーダ取付（夜間）         |                           | 台  | 1  | 9,300   | 9,300     |                 |
| Webエンコーダ設定費（夜間）        |                           | 回  | 1  | 135,000 | 135,000   |                 |
| Webエンコーダ設定、引渡し立会（夜間）   |                           | 人工 | 2  | 36,700  | 73,400    |                 |
| 現場調査（夜）                |                           | 人工 | 3  | 36,700  | 110,100   |                 |
| 手順書、資料作成、打合せ調整費        |                           | 式  | 1  | 230,000 | 230,000   |                 |
| 竣工図書作成費                |                           | 式  | 1  | 92,000  | 92,000    |                 |
| 雑労務費                   |                           | 式  | 1  |         | 181,050   |                 |
|                        |                           |    |    |         |           |                 |
|                        | 小計                        |    |    |         | 3,205,000 |                 |

図 4. 4. 1. 1(6)-13) ローカル 5 G ITV 設備

| 項目                        |         | 単位 | 数量 | 平均単価    | 金額        | 摘要               |
|---------------------------|---------|----|----|---------|-----------|------------------|
| ITVカメラ取付 (夜間)             | L5G     | 台  | 4  | 18,100  | 72,400    |                  |
| ITVカメラケース取付 (夜間)          | 金物、触れ止共 | 台  |    | 83,400  | 0         |                  |
| ケーブル布設 (夜間)               | STP     | 人工 | 8  | 36,700  | 293,600   | 4人工×2晩<br>(施工会社) |
| 同軸ケーブルコネクタ取付 (夜間)         | 5C用BNC  | 個  | 8  | 2,450   | 19,600    |                  |
| カメラ画角調整 (夜間)              |         | 回  | 1  | 146,800 | 146,800   | 4人工/回<br>(施工会社)  |
| カメラ画角調整 (夜間)              |         | 回  | 1  | 267,000 | 267,000   | 4人工/回<br>(メーカー)  |
| データ整理・打合せ調整・機材準備費         |         | 式  | 1  | 66,750  | 66,750    |                  |
| 工事監督費 (夜間)                |         | 人工 | 5  | 36,700  | 183,500   |                  |
| ネジロック塗付 (夜間)              | カメラ金物   | 人工 | 4  | 36,700  | 146,800   |                  |
| 屋外用STPケーブル (100m) 布設 (夜間) | 試験共     | 人工 | 0  | 36,700  | 0         |                  |
| Webエンコーダー取付 (夜間)          |         | 台  | 0  | 9,300   | 0         |                  |
| Webエンコーダー設定費 (夜間)         |         | 回  | 0  | 135,000 | 0         |                  |
| Webエンコーダー設定、引渡し立会 (夜間)    |         | 人工 | 0  | 36,700  | 0         |                  |
| 現場調査 (夜)                  |         | 人工 | 3  | 36,700  | 110,100   |                  |
| 手順書、資料作成、打合せ調整費           |         | 式  | 1  | 230,000 | 230,000   |                  |
| 竣工図書作成費                   |         | 式  | 1  | 92,000  | 92,000    |                  |
| 雑労務費                      |         | 式  | 1  |         | 97,450    |                  |
|                           |         |    |    |         |           |                  |
|                           | 小計      |    |    |         | 1,726,000 |                  |

【考察】

ケーブル長の削減により、ケーブル敷設時のコスト削減が可能である。  
併せて録画用 Web エンコーダー取付が不要となるため、大幅な施工コスト削減が期待できる。

最終的なコスト削減効果は 1, 479, 000 円程度が期待される。

③.5. 無線化による施工費用の削減効果

図 4. 4. 1. 1(6)-14) 既設 ITV 設備とローカル 5 G ITV 設備の費用比較

乗降監視設備工事 (既設ITV設備)

| 項目  | 金額        | 摘要 |
|-----|-----------|----|
| 機器費 | 1,940,600 |    |
| 材料費 | 1,212,400 |    |
| 労務費 | 3,205,000 |    |
| 諸経費 | 577,000   |    |
| 計   | 6,935,000 |    |

乗降監視設備工事 (L5G ITV設備)

| 項目  | 金額        | 摘要 |
|-----|-----------|----|
| 機器費 | 1,884,000 |    |
| 材料費 | 1,161,000 |    |
| 労務費 | 1,726,000 |    |
| 諸経費 | 309,000   |    |
| 計   | 5,080,000 |    |

▼1,855,000円

※諸経費は運搬費、機械器具損料、現場費、一般管理費を含んだものとする

### 【考察】

無線化による最終的な施工費用の削減効果は1,855,000円程度が期待できる。  
今回の検討ではローカル5G環境はすでに構築済み想定のため、IP化による施工コストの削減効果が大半を占めたが、従来の施工でホームのNWスイッチ～機械室まで配線していたNWケーブルが削減できるため、通常のIP化時よりも大幅なコスト削減効果が見込める。諸経費は現地作業工数の削減、機器・材料の削減に伴い268,000円程度のコスト削減効果が見込める。

また、駅構内ではNWを使用した様々なシステムが稼働しており、将来的に他のソリューションでもローカル5G環境が適用された際は、トータルのコスト削減効果が見込まれる。

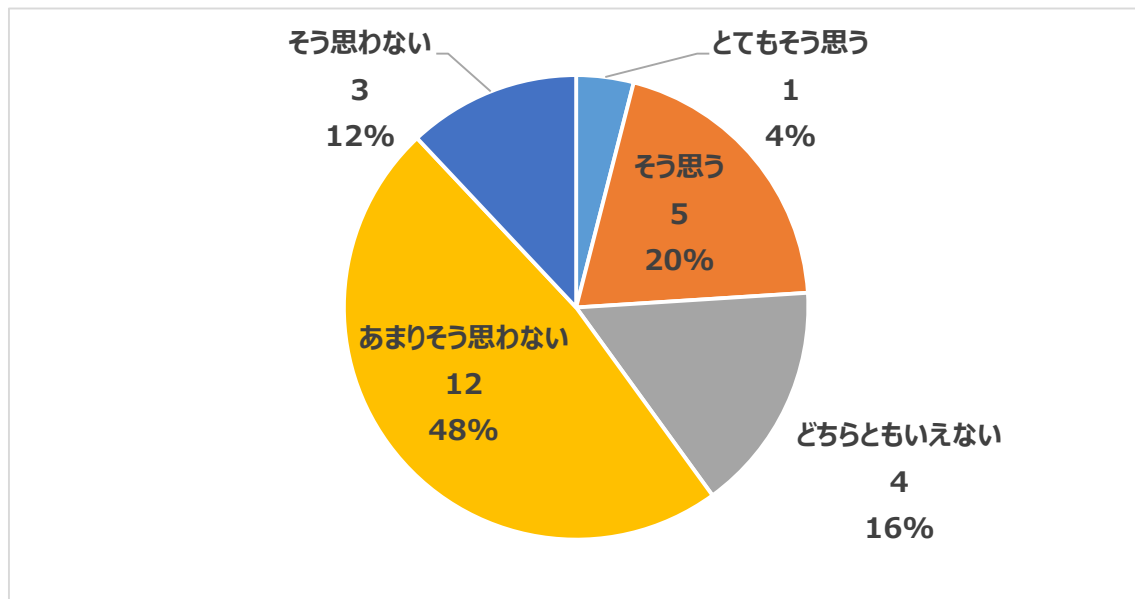
定性面① 乗務員へのドア周辺映像のリアルタイム配信による効果

### アンケート結果

設問：タブレット端末に表示された映像は実際の映像と比較して遅延があると感じましたか？

また、判定結果表示は実際の駅係員による判断と比較して遅延があると感じましたか？

図 4.4.1.1(6)-15)



### 【乗務員経験者コメント】

- ・特に遅延は感じなかった
- ・電車に平行に歩いていた方を判定していたのか、一部映像においては遅延しているように感じた。
- ・遅延なしと感じるので問題なし
- ・「閉扉時機」は早いぐらいで、遅延にはならないと思う。
- ・映像は遅延しているが、判定結果自体は実際の駅係員の判断より緑枠になるのが早いと思った。

### 【考察】

実際の映像と比較して撮影から映像表示までの遅延、判定結果表示までの遅延があると感じたか？といった設問に対しては「そう思わない」「あまりそう思わない」と回答する人が6割と過半数を占めた。一方で、一部映像において遅延を感じたという回答者もいた。

また、映像が遅れていると感じた人については、技術実証でも課題定義されているが、一部限定的な条件下ではNWの伝播状況が変化していた影響で映像によっては遅延が発生していた可能性も考えられる。

判定結果表示までの時間は機能検証 定量面②でも触れるが250msec程度である。人間が歩行する時の速度を5km/hと仮定した場合、250msecでは約35cm進むことになる。今回のアンケートでは通常の乗降（歩行）時の映像で実際の現地との映像遅延を比較したため、遅延はそこまで気にならなかったと推測される。

しかし、駆け込みを仮に10km/hと仮定すると、250msecの映像遅延で人間は約70cm進むことになる。黄色点字ブロックの大きさが1辺約30cmのため、黄色点字ブロック2枚分の移動距離となり、扉挟みの可能性がある。

将来運用時は、乗務員の指差喚呼による1秒程度の確認時間があり、さらに今後の運用に向けた検証でAI閉扉判定から乗務員通知までの最適な通知時間を検証していく。

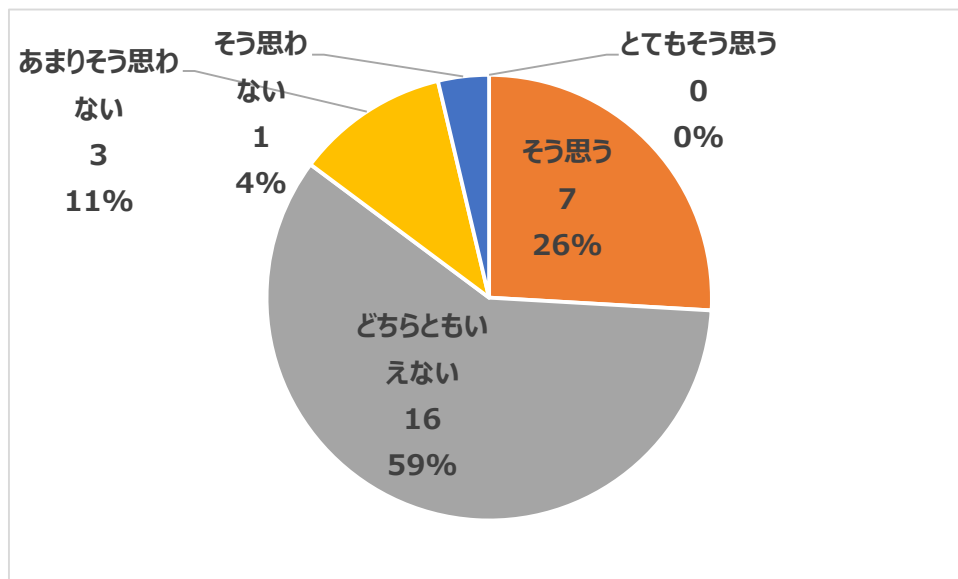
定性面② 扉挟みリスクの軽減による安全性の向上

### アンケート結果

設問：既設ITVのHD映像と比較し、本システムの4K映像は画質、撮像範囲、遠方の視認性が向上しましたか？

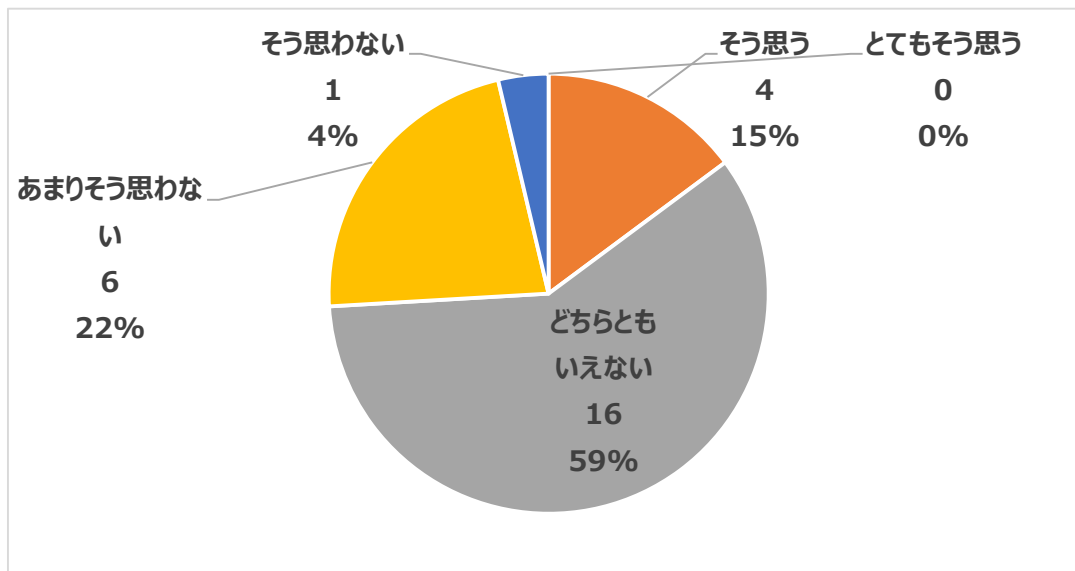
また、判定結果表示は実際の駅係員による判断と比較して遅延があると感じましたか？

図 4.4.1.1(6)-16)



設問：タブレット端末に表示した 4K 映像で扉を閉める判断を行う場合、既設 ITV の HD 映像と比較して扉挟みリスクの軽減等、安全性は向上しますか？（HD 映像、4K 映像を比較しご回答ください。）

図 4.4.1.1(6)-17)



設問：「そう思わない」「あまりそう思わない」にチェックした方にお聞きします。改善すべき点をお聞かせください。

回答

- ・違いがあまりわからなかった
- ・今回の映像では、4K 映像のほうが解像度がよいので鮮明に見えたが、遠方の視認性については違いがわからなかった
- ・4K 映像は輪郭がはっきりしたものの、扉挟みリスクの軽減や安全性は向上とは関連しないと感じる
- ・遠方の視認性は良いように思えたが、そこが良いからといって、一概に安全性の向上という所までは言い切れなかった
- ・画質の違いがあまりわからなかった。

#### 【考察】

「定性面① 乗務員へのドア周辺映像のリアルタイム配信による効果」でのアンケート回答結果でも記載があったが、映像の遅延（リアルタイム性）については乗務員経験者の半数以上が「遅延を感じない」と回答している。

従来システムでは、IP カメラを使用した場合、映像が遅延することからアナログカメラが採用されていたが、ローカル 5 環境における超高速・低遅延伝送ではカメラを IP 化した場合の遅延は解消可能と想定される。

一方「既設 ITV の HD 映像と比較し、本システムの 4K 映像は画質、撮像範囲、遠方の視認性が向上しましたか？」という設問に対しては「どちらともいえない」と回答した割合が 59%、「タブレット端末に表示した 4K 映像で扉を閉める判断を行う場合、既設 ITV の HD 映像と比較して扉挟みリスクの軽減等、安全性は向上しますか？」という設問に対して「ど

らともいえない」と回答した割合も同様に 59%であった。

今回実施したアンケートでは、データセットとして準備した映像を各個人の端末にて再生しアンケートに回答いただいたため、4K 映像のメリットを感じにくかったものと考えられる。実際に現地で確認した課題実証担当者からは「HD と比較すると色合いが鮮やかで見やすい」といった意見もいただいた

また、乗務員経験者からのコメントとして「遠方の視認性は良いように思えたが、そこが良いからといって、一概に安全性の向上という所までは言い切れない」という意見もいただいた。4K 映像を使用することで映像自体の鮮明度は向上するが、単に画質を良くしても扉挟みリスク軽減に直結するわけではないと想定される。

遠方の視認性を確保する場合は、ズーム機能を実装することでズーム時も高解像度を保つことができる 4K 映像の優位性を発揮できると考えられる。

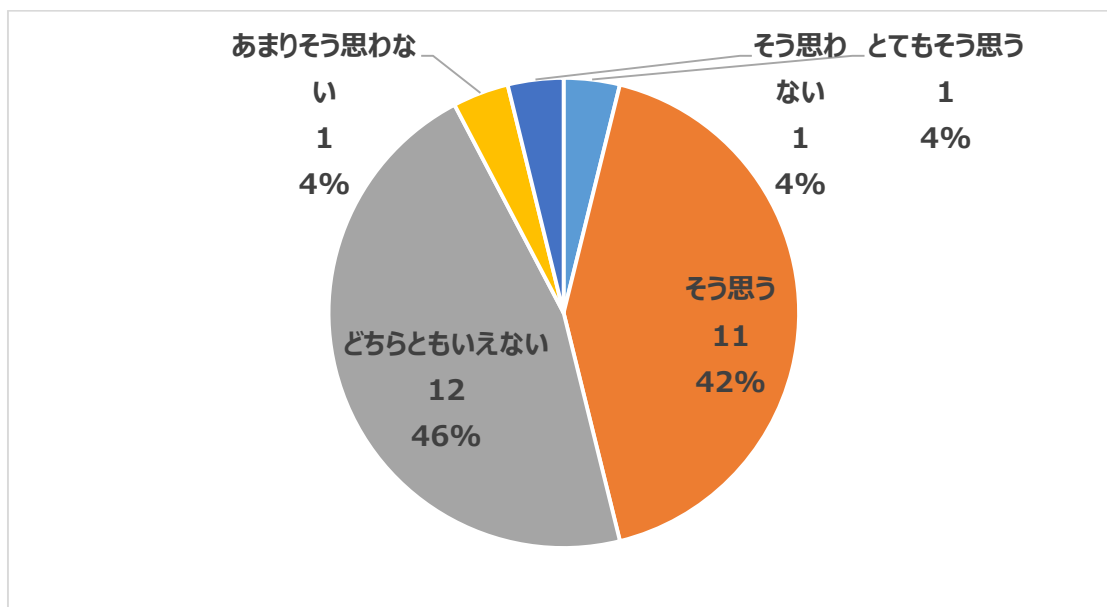
### 定性面③ 画像解析結果通知の有効性（既存業務との比較）

#### アンケート結果

設問：ITV モニタの代わりに本システムのタブレット端末で閉扉操作を行った場合、駅係員合図の代替となりますか？

（現時点でのリアルタイム性、判定結果の正確性、判定結果のちらつきの観点から総合判断してご回答ください。）

図 4.4.1.1(6)-18)



設問：「そう思わない」「あまりそう思わない」にチェックした方にお聞きします。改善すべき点をお聞かせください。



## 回答

- ・今後、精度が上がれば実用できると思いますが、乗降しているお客さまがいるにも関わらず、判定しないということは現段階では実用化できないと考えます。
- ・ちらつきの件がかなり気になる。多数決判定機能を入れて、ちらつきをある程度防止できれば、可能かもしれない。
- ・赤枠、緑枠が瞬時に変わるので、「赤枠だ！すぐに開けなきゃ」の繰り返しか、「赤枠だけどいつも大丈夫だよ」と惰性にならないか。

## 【考察】

タブレット端末にAI判定結果を表示することで駅係員の代替となると回答した乗務員経験者は約半数であり、駅係員の代替にはならないと回答した割合は8%の割合と肯定的な意見が多かった。

一方で「どちらともいえない」という割合も高く、判定精度、判定結果のちらつき部分でまだ実用的ではないといった意見もいただいている。

本課題実証で使用したAIは乗降がある時は常時判定を行い続けるため、1本の列車に対して閉扉可能の判定を何回か出力する。

一方で、駅係員はある程度乗降が完了したタイミングで閉扉合図（旗を振る動作）を行い、その後旗を降ろすことは無い。そのため乗務員経験者は、実際の運用とは異なるAI判定結果の出力方法に違和感を抱いたと考えられる。

判定結果の表示方法としては駅係員のように一度閉扉OKと判定した後その結果を固定するか協議していく必要がある。

また、判定結果を固定する場合、一度判定結果を固定した後、乗降が発生した場合の扱いについては閉まった後に再開扉するアクションが重要である。

閉扉後の扱いについては東急電鉄独自で実証予定の「出発可否確認」にて今後協議していく。

今後はAI判定精度の向上とともに、システムとして判定結果をどのように表示することが最適か、検討していく必要があると考える。

現在検討中の対策案を以下に示す。

- ・ちらつき対策：AIが〇〇フレーム連続で閉扉OKと判定した場合、緑枠を表示する。
- ・表示方法：緑枠の表示時間が〇〇秒経過したら判定を固定する。

#### 4.4.1.2 機能検証

##### ◇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

#### (1) 評価・検証項目（線路巡視業務）

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。

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実施した。

具体的な目標値として、「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分として実施した。

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。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、処理時間を検証する。(表 4.4.1-8)

表 4.4.1.2(1)-1) 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 モニタリング対象を検知するに必要十分な映像の撮影頻度

モニタリング対象の特性により、必要となる映像の撮影頻度（フレームレート）は異なる可能性がある。前述のデータアップロード時間への影響が大きいこともあり、データ量との兼ね合いも考慮しながら検討・評価を行う。(表 4.4.1-9)

表 4.4.1.2(1)-2) 映像の撮影頻度

| 評価・検証項目 | 概要  |
|---------|---|
| フレームレート | 車両内に設置したカメラから映像を撮影する際のフレームレート (fps : frame per sec) |

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する。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に、実証実験構成における処理時間を計測の上、評価を行う。表 4.4.1-10)

表 4.4.1.2(1)-3) 処理時間

| 評価・検証項目        | 概要   |
|----------------|--|
| 中間サーバ→クラウド伝送時間 | 中間サーバ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予定。                   |
| 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。実証実験では 5 つのテーマに関する処理を画像ごとにシーケンシャルに実行する予定。 |
| 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。実証実験では必要最低限の画面をブラウザから参照可能な仕組みを構築予定。                     |

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する。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する。

なお、本実証においては実際に走行する車両から映像を撮影し、これを教師データとして AI の学習を実施するため、以下の通り計画している。(表 4.4.1-11)

表 4.4.1.2(1)-4) データ取得と AI 学習の計画

| 計画項目      | 概要   |
|-----------|--|
| 想定データ種別と量 | モニタリング対象 (5 種) ごとに 300 枚程度   |
| 取得手段      | 営業車両にカメラを持って乗り込み、実証時に想定する画角にて映像を撮影する。これを分析し、必要データを抽出するとともに、不足するデータについては別途個別に撮影機会を設けるなどして取り揃える。 |
| 学習の手順     | 基準を定義し、準備した教師データにアノテーションを行う。アノテーション済画像を INPUT に学習するツールを用いてモデルを作成し、検証・評価を繰り返して精度を確認する。          |

|           |   |
|-----------|---|
| 想定根拠とする理由 | AI ソリューションベンダによるプレ PoC や過去実績からの推定。(検証の精度を見ながら対応可能な範囲でデータの追加も検討する) |
|-----------|---|

画像処理 AI などの機械学習の評価指標として「混同行列」と呼ばれる評価指標がある。これは、複数の異常画像を AI に学習させ、新しい画像に「異常があるかどうか」を予測する場合に、予測結果を以下 4 つの分類に分けたものである。

- ・真陽性(True Positive) : AI の予測は「異常がある」、結果は「異常がある」
- ・真陰性(True Negative) : AI の予測は「異常がない」、結果に「異常がない」
- ・偽陽性(False Positive) : AI の予測は「異常がある」、結果は「異常がない」
- ・偽陰性(False Negative) : AI の予測は「異常がない」、結果は「異常がある」

真陽性および真陰性は予測と結果が一致している一方で、偽陽性と偽陰性は予測と結果が一致していない。つまり、真陽性率と真陰性率が高く、偽陽性率と偽陰性率が低いことが良い AI モデルの条件となる。本実証期間中は、各分類項目の割合を計測するとともに、偽陽性率および偽陰性率の割合を下げられる施策、あるいはこれらの値の組み合わせで求められる正解率・適合率・再現率などの評価を行う。その際、これまで問題なしと分類していたケースを異常検知(過検知)、もしくは問題ありと分類していたケースを異常検知しない(見逃し)の有無も検証する。

【定性面】

⑤ カメラ設置検証

今回の実証実験では、同一映像から 5 ケースのモニタリングを実施予定である。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する。(表 4.4.1-12)

表 4.4.1.2(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 | 車両内に取り付けるカメラの取り付け位置、固定方法、撮影対象に対する角度などを検討する |
| 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する    |

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。利用者が結果を確認し、保守担当に作業指示を行うために必要な画面への表示方法や表示場所などの検討を行い、実証実験中にプロトタイプの実装と評価を行う。(表 4.4.1-13)

表 4.4.1.2(1)-6) 結果表示機能・UI

| 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・プロトタイプ実装・評価する。 |
| 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・プロトタイプ実装・評価する。    |

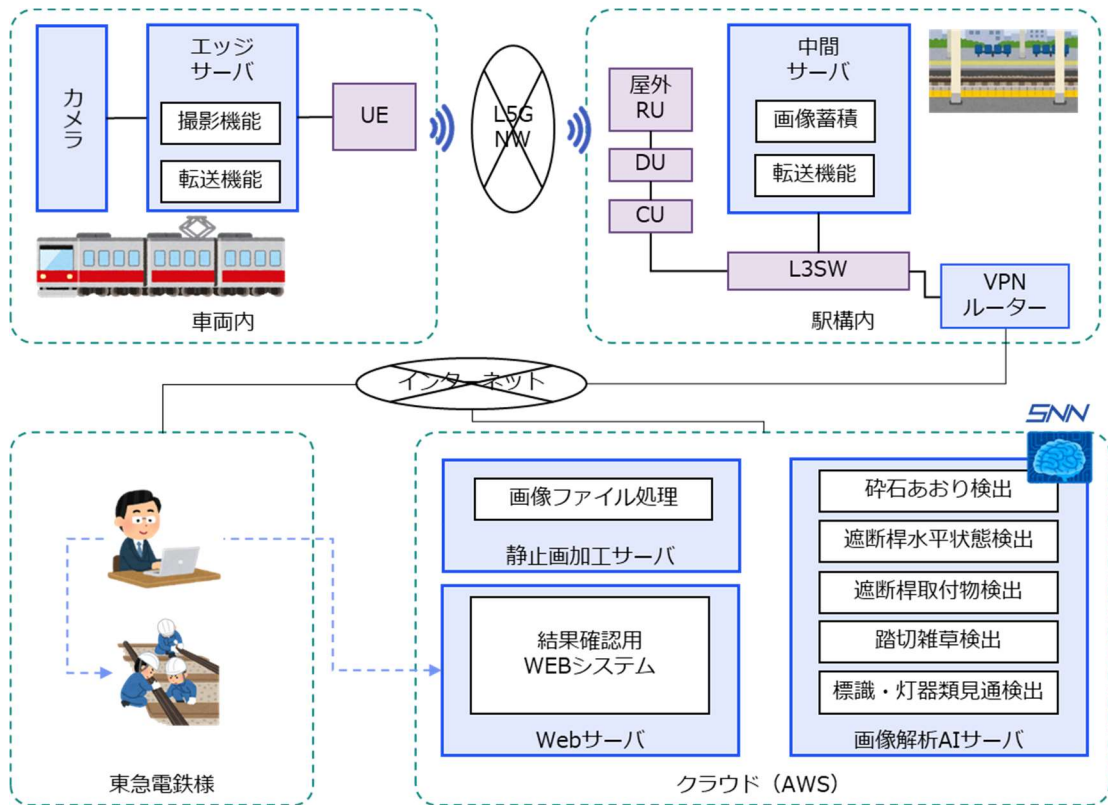
(2) 評価・検証方法

具体的な評価・検証方法を下記（表 4.4.1-14）に参考としてシステム構成イメージを下記（図 4.4.1-24）に示す。

表 4.4.1.2(2)-1) 評価・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・評価を行う。                               |
| モニタリング対象を検知するに必要な十分な映像の撮影頻度  | 学習データ撮影時に複数のフレームレートで検証データを取得しておく。実証実験時に途中でフレームレートを変更して結果の違いを評価する。         |
| 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・評価を行う。                               |
| AI 精度                        | 実証実験結果で各値を算出し、評価を行う。<br>特に偽陽性、偽陰性については、保守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する。 |
| 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、結果を評価する。                                 |
| 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ー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する。                      |

図 4.4.1.2(2)-1) システム構成イメージ



### (3) 実証結果及び考察（線路巡視業務）

#### ① 停車時間中における映像データアップロード時間

アップロード時間を短縮するために、撮影パラメータの調整によりデータ量を圧縮した。また、動画で撮影し転送後静止画を切り出す方式と静止画で撮影する方式を机上評価した。その結果を表 4.4.1-15) に示す。

表 4.4.1.2(3)-1) 映像データアップロード時間 結果

| 評価・検証項目 | 結果   |
|---------|--|
| 撮影パラメータ | 解像度 : 4K (3840×2160)<br>コーデック : H.265<br>フレームレート : 5fps<br>ビットレート : 4Mbps                            |
| 処理方式    | 1) 車輻に搭載のエッジコンピュータで動画撮影<br>2) 駅入構時に動画形式で中間サーバへ転送<br>※中間サーバへ転送後、静止画を切り出し                              |
| 処理時間    | 1) 二子玉川駅→自由が丘駅 (7分57秒、233.4MB)<br>34.2秒 (54.6Mbps)<br>2) 大岡山駅→自由が丘駅 (2分20秒、69MB)<br>10.7秒 (51.6Mbps) |

評価)

- ・ H. 265 コーデックを採用することにより、動画サイズを小さくすることができた
- ・ フレームレートは 5fps とすることで、本実証における検査対象に必要な十分な撮影範囲を確保しながらデータ量を抑制することができた（後述）
- ・ 動画で撮影し転送後静止画を切り出す方式と静止画で撮影する方式を机上で評価し、より転送データ量を抑えることができる前者を採用した
- ・ 本実証では営業ダイヤを縫って走る総合計測車であったため、通常 5 分 30 秒の二子玉川駅→自由が丘駅で約 8 分かかったが、撮影データは入構前後を含む停車時間内にアップロードを完了することができた
- ・ 実際には入構中には電波を拾い始めたため 34.2 秒で 233.4MB (54.6Mbps) の伝送を行ったことを確認した。UL 平均速度 54.8Mbps×停車時間 34 秒÷8 (bit→Byte 換算) ≒233MB  
※駅停車時間は 30 秒だが入構し始めから L5G の電波を拾うことは可能。出構時もしばらくは通信を継続可能なため 35~40 秒程度通信が可能。L5G 設備のある駅で通信可能時間内にすべてのデータをアップロードできる処理速度が求められる
- ・ なお、本実証を行った二子玉川駅→自由が丘駅の 5 分 30 秒は東急電鉄区間では長い走行時間となっており、これを上記の時間でアップロードできたことから、他の駅への展開時に各種撮影パラメータを調整する必要はない

② モニタリング対象を検知するに必要な十分な映像の撮影頻度

本実証でモニタリング対象とした設備を撮影するには 5fps が必要十分と事前に机上評価したが、実証では 5fps と 1fps で撮影を行い、机上評価通りであることを確認した。評価内容を以下に示す。

表 4.4.1.2(3)-2) 映像の撮影頻度 結果

| フレームレート | 結果  | 評価   |
|---------|---|--|
| 5fps    | 高速移動中においても、線路路面が途切れることなく連続的に撮影されており、区間が漏れることなく線路路面白色化の推論が行えている。 | 想定通り必要十分な撮影頻度となった。ただし徐行などでスピードが落ちた場合に、同じ個所が何度も撮影されて検出されてしまうケースもあり、検出結果から外すなどの対応が必要なのことがわかった。 |
| 1fps    | 完全に映らない区間はないものの、1 秒間にかなり進んでしまい小さい画像としてしか撮影されない設備が多い。            | 撮影対象が小さすぎると検出されない可能性が高まるため、本実証の目的には撮影頻度が不足。  |

※机上評価の根拠

- ・ 本実証のモニタリング対象としては、道床砕石白色化が最も高頻度での撮影が必要であり、事前の調査で、画像上、線路の枕木 8 本分が十分なサイズで映っていることが望

ましいことがわかっている

- ・ 枕木の標準的な間隔は 600mm、標準的な枕木の幅は 140mm である
- ・ よって  $600\text{mm} \times 7 + 140 \times 8 = 5,320\text{mm}$  分の線路が撮影されていることが必要
- ・ 時速 80km を想定すると 1 秒間に進む距離は約 23m のため、もれなく線路を撮影するには  $23\text{m} \div 5.32\text{m}$  で、少なくとも 4.32fps が必要となる

### 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。モニタリング対象ごとに並列で順次処理を行っているため、1 走行分についてそれぞれ Web で確認が始められるまでの時間と全解析が完了するまでの時間を示す。

表 4.4.1.2(3)-3) 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 | 全解析完了時間 |
|-------------|---------------|---------|
| 砕石 道床あおり    | 00:13         | 26:54   |
| 遮断かんの水平状態   | 01:28         | 26:24   |
| 遮断かん付属物取付異常 | 01:30         | 24:58   |
| 障害物検知エリア雑草  | 02:45         | 26:20   |
| 標識・灯器類見通し状態 | -(検出なし)       | 27:56   |

すべての解析を終えて Web 画面で結果確認が可能になるまでの時間はおおむね 30 分以内となっており、目標値に収まっている。また Web 確認開始可能までの時間もほぼ数分レベルとなっているため、処理の優先順位を考慮することで、重要度の高いモニタリング対象を早期に検出する方式にも対応可能なことが見て取れる。

処理時間の内訳をシーケンスごとに計測した結果と分析・対応内容を以下に示す。

表 4.4.1.2(3)-4) 処理時間の内訳

| 測定箇所           | 結果  | 分析・対応   |
|----------------|---|---|
| 中間サーバ処理時間      | 2.5～3 枚/秒   | 事前確認で、メモリ、ディスク I/O ネットワークを確認したため、十分なメモリと高速 SSD を具備したサーバ機器を用意。       |
| 中間サーバ→クラウド伝送時間 | 約 55～60Mbps   | 事前確認で、明示的に伝送を行うよりも中間サーバにクラウド上の領域をマウントし直接書き出した方が高速であることを確認し、そのように実装。 |
| AI 解析処理時間      | 1～2 推論/秒<br>※モニタリング対象によっては 2 推論の組み合わせ<br>※DB 登録など Web 表示に関わる処理時間を含む | 事前確認で、解析対象枚数が多くすべて終わるまでにはかなりの時間を要することが判明ため、到着した画像から順次処理する方式を採用。     |



|          |  |   |
|----------|--|---|
|          |  | また将来的にモニタリング対象によって優先順位が異なることも考慮し、対象ごとの並列処理として全体処理時間を短縮した。                                     |
| 結果画面表示時間 | 検索：即時<br>異常画像表示：1～2秒程度（ネットワーク速度に依存）<br>時系列画像表示：スムーズに再生するには数十秒待ってから再生する必要あり | 異常画像は4K画像のまま表示しているため、ネットワークの状況等によっては表示まで数秒かかる場合もある。<br>時系列画像表示は、スムーズな再生を優先し、画質を落としてデータ量を圧縮した。 |

#### ④ AI 精度

モニタリング対象ごとに、本実証での精度と課題・対応方針について記載する。

##### 1) 砕石 道床あおり

|     |                | AI 推論結果      |               |
|-----|----------------|--------------|---------------|
|     |                | Positive(検知) | Negative(未検知) |
| 真の値 | Positive(異常あり) | TP=107       | TN=16         |
|     | Negative(異常なし) | FP=63        | TN=2250       |
| 正解率 |                | 0.967        |               |
| 適合率 |                | 0.629        |               |
| 再現率 |                | 0.869        |               |
| F 値 |                | 0.730        |               |

評価)

- ・ 大半の画像には異常がないため、正解率は比較的高いがあまり意味はない
- ・ 日陰の中の一部が明るいところや特殊な形状/色の枕木などを誤検知していることが目立ち、適合率が低い
- ・ 日陰で道床が暗くしか映っていない場所を中心に見落としが一定数発生しており、再現率が低い
- ・ 学習データ撮影時は晩夏（9月頃）であったが、実証が冬（1～2月）であったため、同じ昼間の晴天であっても影が長く、撮影範囲の多くが影にかかれてしまった影響が大きい



<正しい検出例>



<誤検知例：日陰の加減で明るい部分を誤検知>

課題と対応方針)

| 課題               | 対応方針   |
|------------------|--|
| 日陰への対応           | <ul style="list-style-type: none"> <li>学習データに季節や影の多様性を実データ並びに増幅データで加える</li> <li>HDR などの画像処理で明暗の差を軽減して推論する</li> </ul> |
| 特殊形状/色の枕木誤検知への対応 | <ul style="list-style-type: none"> <li>学習データに含まれる特殊な枕木を排除し、色味のみでの検出度合いを高める</li> </ul>                                |

日陰要素への対応に関して、夏に取得した学習データに対して冬等の日陰要素を追加するために明るさをランダムに変更して再学習することで、適合率（※1）は62.9%から85%、再現率（※2）は86.9%から96%への改善を確認している。次年度は季節性を考慮した学習を行うことで極力100%に近づけるように進め、一方運用観点では1日に複数回走行・検出を行うことで、1往復での再現率が96%でも1日トータルでは100%（見落とし無し）という形を目指す。

※1:適合率 「正解/全体数（正解+誤検出）」 値が高い方が誤検出が少ない

※2:再現率 「正解/全体数（正解+見落とし）」 値が高い方が見落としが少ない

## 2) 遮断かんの水平状態

遮断かんの水平状態については、まず遮断機を検出し、遮断機のみ切り出した画像から遮断かんの水平状態のずれを検出する二段構えの仕組みとしている。

|     |                | AI 推論結果      |               |
|-----|----------------|--------------|---------------|
|     |                | Positive(検知) | Negative(未検知) |
| 真の値 | Positive(異常あり) | TP=7         | FN=2          |
|     | Negative(異常なし) | FP=8         | TN=-          |
| 正解率 |                | -            |               |
| 適合率 |                | 0.466        |               |
| 再現率 |                | 0.777        |               |
| F値  |                | 0.583        |               |

※TN, 正解率はあまり意味がないため割愛  
評価)

- ・ 遠すぎる遮断機や近すぎる遮断機を検出したことで、遮断かんのずれを正確に検出することができていないと思われるケースがあった。全体の件数が少ないため、適合率が非常に低い
- ・ 再現率は低いものの、そもそもの対象数が少ないため見落としは2件にとどまっている



<正しい検出例>



<誤検出例：遮断機が近すぎて一部見切れている>

課題と対応方針)

| 課題        | 対応方針   |
|-----------|--|
| 適正な遮断機の検出 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アノテーション時の遮断機サイズを再考し、遠すぎるものや近すぎるものが検出されにくくする</li> <li>・ 検出時の画像サイズを評価し、遮断かんのずれ検出手に適切なサイズのもののみ対象とする</li> </ul> |

3) 遮断かんの付属物取付異常

遮断かんの付属物取付異常についても、まず遮断機を検出し、その後遮断かんに付属する旗の数を検出する二段構えの仕組みとした。

しかし、以下の課題があり、誤検出が多発してしまった。

- ・ 遮断機そのものは検出しているものの、遮断かんの旗の画像が小さい、角度的に見にくいなどの理由で検出できない
- ・ 遮断かんが2本ある場合、それぞれに2枚以上の旗付属を検出する必要があるが、いずれかの旗の画像が小さい、角度的に見にくいなどの理由で検出できない



<検出例：左前遮断機の画像が小さく遮断かんの旗が検出できていない>

課題と対応方針)

| 課題        | 対応方針  |
|-----------|---|
| 適正な遮断機の検出 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アノテーション時の遮断機サイズを再考し、遠すぎるものや近すぎるものが検出されにくくする</li> <li>・ 他のモニタリング対象を追加する際に改めてカメラ取付位置を検討。線路左右を撮影できれば、より正確な検出が可能になると考えられる</li> </ul> |

4) 障害物検知エリア雑草

障害物検知エリアの雑草は、踏切路面の前後 2m あたりに生えている 20cm 以上の雑草を検知するため、踏切路面と雑草の二段構えの検出とした。

該当する雑草が実際に生えていた場合、踏切異常となってしまうため、実証時には検出対象は存在しない。そこで総合検測車走行時に疑似的な雑草を踏切横に配置することで、検出可否を評価した。

|     |                | AI 推論結果      |               |
|-----|----------------|--------------|---------------|
|     |                | Positive(検知) | Negative(未検知) |
| 真の値 | Positive(異常あり) | TP=3         | TN=2          |

|     |                |       |      |
|-----|----------------|-------|------|
|     | Negative(異常なし) | FP=4  | TN=- |
| 適合率 |                | 0.429 |      |
| 再現率 |                | 0.600 |      |
| F値  |                | 0.500 |      |

評価)

- ・ 疑似的に用意した雑草は検知することができた
- ・ 他の2件は意図通り踏切路面周辺の雑草を検知したものの、サイズは20cm未満であり、厳密には誤検出とも言える
- ・ 母数が少なく、各指標値はあまり意味がないが、検出ロジックを見直し、誤検出を減らす必要がある



<検出例：疑似的に配置した雑草>

課題と対応方針)

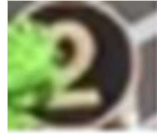
| 課題      | 対応方針  |
|---------|---|
| 誤検出への対応 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 路面検出後の雑草検出位置やサイズを調整し、地面に生えている一定サイズ以上の雑草に絞り込む</li> <li>・ 実例がほぼなく、疑似的な学習データが中心であったため、バラエティを拡充する</li> </ul> |

#### 5) 標識・灯器類見通し状態

標識・灯器類が雑草や樹木などで見通しに支障がある状態を検出するために、標識・灯器類を検出した後、その画像内に雑草や樹木を検出する二段構えの仕組みとした。

これについても、実際に存在してはいけないため、総合検測車走行時に疑似的な樹木で標識を遮ることで、検出可否を評価した。

しかし、検出後の標識・灯器類がそもそも非常に小さい画像になってしまうことから、二段目の雑草・樹木検出はほぼ機能しない結果となった。



<標識の検出結果>

全体画像に対して、標識・灯器類と雑草・樹木を別々に検出し、その重なりを検出対象とする方式に見直す必要がある。



<別々に検出して重なりを検出する方式のイメージ>

⑤ カメラ設置検証

実証に先立って、総合検測車（TOQ-i）にて機器設置位置の確認を実施した。確認にあたっては、東急電鉄管理者立会いの下、ソリューションベンダーのメンバーが機器を持ち込み、電源の確保や安全運行上問題のない設置場所を確認。合わせてカメラやGPSなどの機器類の設置条件、固定方法などを確認した。

表 4.4.1.2(3)-5) カメラ設置検証結果

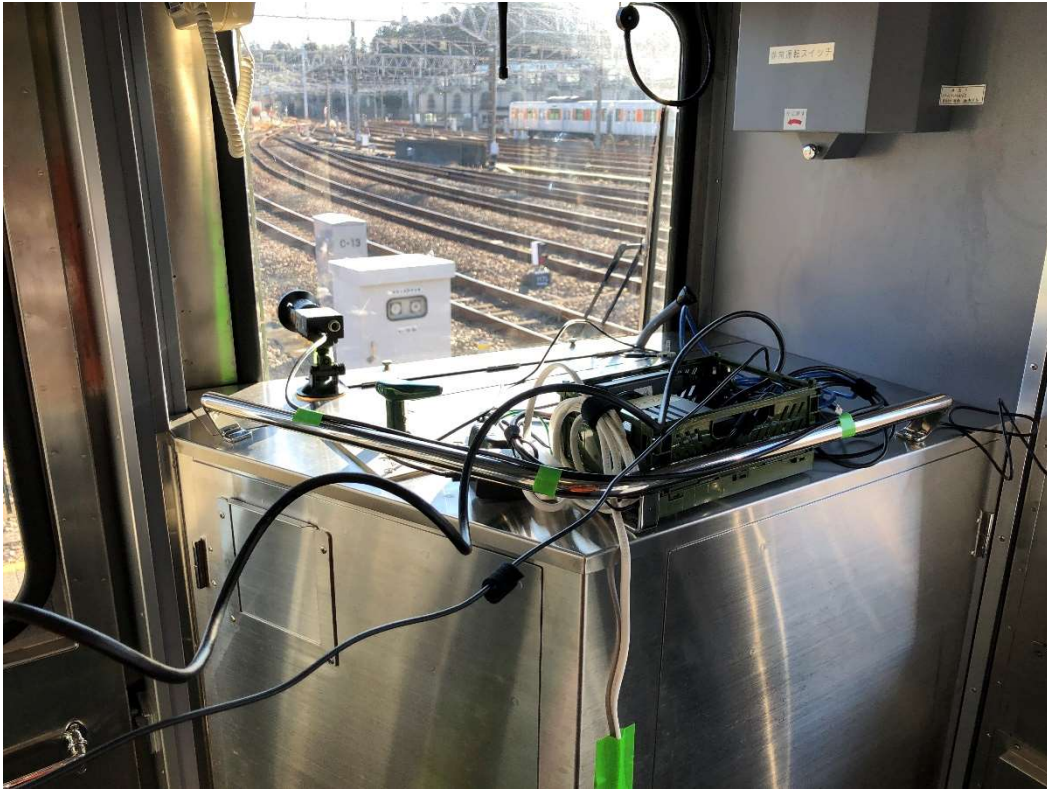
| 評価分類          | 評価項目 | 評価結果   | 機器側要求事項等                                       |
|---------------|------|--|--|
| カメラ設置条件       | 設置場所 | 運転席右側正面ガラス前に設置（手動ワイパーの稼働域外への設置が必要）                               | —  |
|               | 画角   | モニタリング対象となる、道床碎石、踏切（遮断かん）、踏切路面（雑草）、標識・灯器類が認識可能なサイズと角度で撮影できる画角を確認 | 水平 63° 以上<br>垂直 50° 以上                         |
|               | 固定方法 | 吸盤式固定器具を使用し、さらに養生テープで固定  | 三脚用ねじ穴（汎用アタッチメント使用）                            |
| エッジコンピュータ設置条件 | 設置場所 | 運転席右側の台の上に設置   | 大型ノート PC サイズは難しい。今回は小型エッジコンピュータ（約 10cmx10cm）使用 |
|               | 固定方法 | ケースに収納し底面に滑り   | —  |

|          |       |   |                                   |
|----------|-------|---|-----------------------------------|
|          |       | 止めとゴムバンドでの安定化                                 |                                   |
| GPS 設置条件 | 設置場所  | 正面ガラスにできるだけ近い場所に設置                            | 本実証では GPS 信号が拾えない箇所も多かったため継続評価が必要 |
| その他      | ケーブル類 | 各種ケーブルは運行上問題にならないよう、養生テープ等で固定                 |                                   |
|          | 注意事項  | 運転席内で LED や液晶画面などが光ると運行上支障がある可能性があるため、消灯または遮蔽 |                                   |

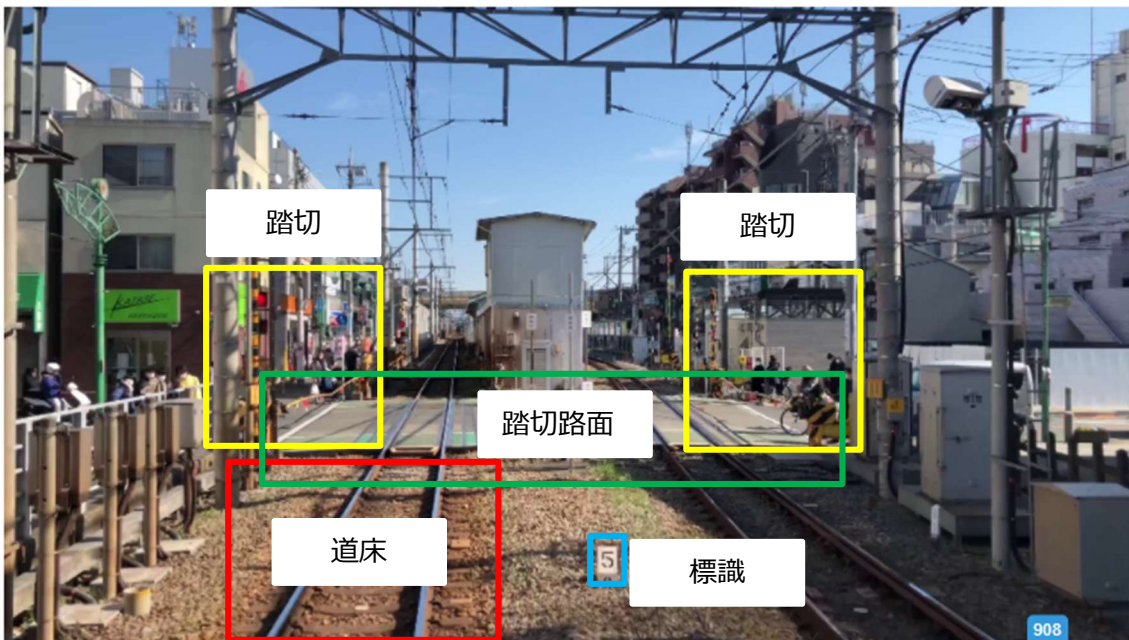


<総合検測車 TOQ-i>





<設置後の様子>



<撮影画角例>

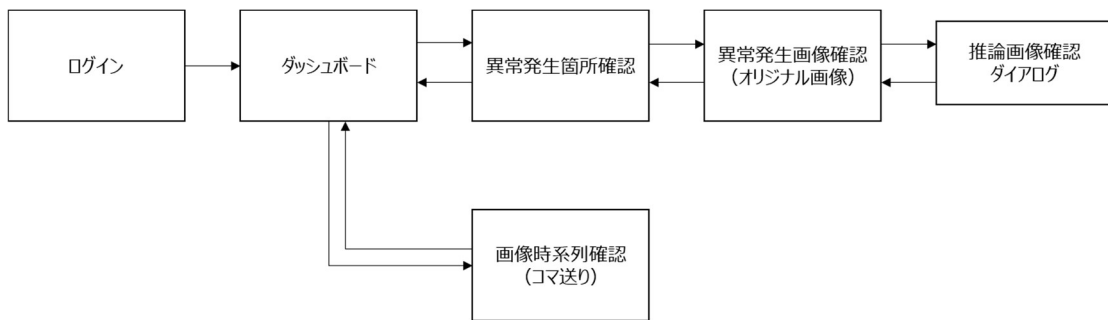
⑥ 結果表示機能・UI（画面構成・表示内容など）

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。

- ・ 異常検知個所を視覚的にわかりやすくするために、地図表示を行うこととした  
→そのために検証装置にはGPSセンサーを取り付けることとした
- ・ 撮影画像を確認のために動画のように再生したい  
→静止画をコマ送りできる画面を追加
- ・ 連続して撮影された同一の異常を複数回検知しないようにしたい  
→この時点では対応を見送ったが、実証実施直後に対応実施（後述）

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。（図 4.4.1.2-2）

4.4.1.2(3)-1) 結果表示機能 画面遷移図



| 線路巡視業務支援AI                        |   |                                    |                         | ログアウト |
|-----------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|-------|
| ダッシュボード                           |   |                                    |                         |       |
| 検索結果を取得しました                       |   |                                    |                         |       |
| 開始日                               | <input type="text" value="2022年1月14日"/> | <input type="text" value="hh:mm"/> |                         |       |
| 終了日                               | <input type="text" value="2022年1月14日"/> | <input type="text" value="hh:mm"/> |                         |       |
| <input type="button" value="検索"/> |   |                                    |                         |       |
| カテゴリ                              | 検出内容                                    | 異常発生数                              | 登録日時                    |       |
| 道床碎石                              | 白色化検出                                   | 789                                | 2022/01/14 14:16:04.169 |       |
| 踏切遮断かん                            | 水平状態異常検出                                | 142                                | 2022/01/14 14:17:06.164 |       |
| 踏切遮断かん                            | 付属品異常検出                                 | 173                                | 2022/01/14 13:52:38.238 |       |
| 踏切障害物検知装置                         | 雑草高検出                                   | 56                                 | 2022/01/14 12:53:02.971 |       |
| 標識類                               | 見通し支障物検出                                | 13                                 | 2022/01/14 13:23:37.764 |       |
| <a href="#">画像時系列確認画面</a>         |   |                                    |                         |       |

<ダッシュボード画面>

検索結果を取得しました

白色化検出



< 異常発生箇所確認画面 >

白色化検出

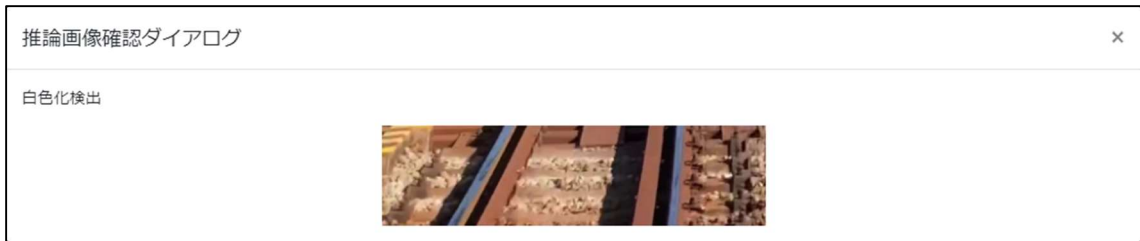


最初へ 前へ 次へ 最後へ

件数 : 29件目 / 全75件中  
 発生日時 : 2022/02/16 12:01:12.800  
 正解率 : 99.69%

推論画像の表示

< 異常発生画像確認画面 >



< 推論画像確認ダイアログ >

※当初、推論画像を先に出す仕様としていたが、第一回実証で実際に操作してみた結果を受けて、全体画像を先に表示する仕様に変更した

< 画像時系列確認画面 >

以下に、実際に操作してみた結果とその対応整理する。

表 4.4.1.2(3)-6) 結果表示機能・UI 操作結果と対応

| 対象箇所       | 利用者要望   | 対応  |
|------------|---|---|
| 異常発生画像確認画面 | 異常箇所の拡大画像を先に出すより、まず全体画像で確認する方が分かりやすい                | 先に全体画像を表示し、ダイアログのほうを推論画像（異常箇所拡大）表示に変更                 |
| 全体         | 同一異常が複数回検出されるため確認しにくい                               | 極めて短い間隔で同種の異常が検出された場合には、信頼度スコアの最も高いもののみを表示するように修正     |
| ダッシュボード    | 地図表示よりも一覧表示の方が確認しやすい。（可能であれば駅やキロ標など日頃目印としているものを基準に） | 本実証では実装を見送り。一覧表示自体は難しくないが、駅やキロ標など現実の目印を基準に並べる実装方式は検討要 |

## ◇高精細カメラとAIを活用した車両ドア閉扉判断の高度化

### (4) 評価・検証項目（車両ドア閉扉判断）

4Kカメラによって撮像された画像から、指定したエリア内の人物集団において、その人物が停滞している（次の列車を待つ集団）のか、列車方向に移動している人物なのかをAI画像認識技術を使用して判断するモデルを構築、判断結果の検討を実施した。

課題実証担当者（乗務員経験者）への即時、確実な可否内容の通知・表示については、4Kカメラ映像をタブレット端末へ直接伝送、現行の乗降監視システムのカメラ映像と比較し、視認性を確認するとともに4Kカメラ映像の伝送からタブレットへの表示まで、ローカル5Gを用いることによる即時性について、時間計測を行い、発生するタイムラグが運用上問題無いか有効性を確認した。

次年度に向け、本実証対象の閉扉可否確認後の乗務員タブレットへの表示から東急電鉄独自で実証予定の閉扉後の出発可否確認結果のタブレット表示までの一気通貫したシステム構成・UI検討を実施した。

評価検証項目に関して、定量的・定性的な観点から以下6項目を軸に検証を実施した。

#### 定量面① リアルタイム性（AI解析結果表示までの時間）

現状の運用では駅係員目視確認範囲において、閉扉可能と判断した場合、赤旗を利用した閉扉合図を行う。本検証ではAI画像解析結果による閉扉可否判断の結果と駅係員による閉扉合図を送るタイミングを実際の映像から抽出し、双方の判断時間について比較検討を実施した。併せて、映像表示までの時間、判断結果の通知時間の有効性を課題実証担当者（乗務員経験者）へヒアリングを実施した。

具体的な目標値として、「撮影から判定結果のタブレット表示までの時間」を設定しており、運用面を考慮し、1秒としている。

#### 定量面② 複数台同時運用時の必要スループットと伝送容量

カメラ1台当たりのスループットを評価する。カメラ増設時を想定し、複数台同時運用時のスループットを机上にて計算した。（表4.4.1.2(4)-1）、表4.4.1.2(4)-2）

表4.4.1.2(4)-1 上り伝送帯域（想定）

| 圧縮方式     | 解像度              | レート(fps) | 1ストリームの映像帯域(kbps) | カメラ1台当り上り帯域(Mbps) | カメラ2台当り上り帯域(Mbps) | カメラ4台当り上り帯域(Mbps) | カメラ16台当り上り帯域(Mbps) |
|----------|------------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| H.265(1) | 4KUHD(3840x2160) | 30       | 7,168             | 9.216             | 18.432            | 36.864            | 73.728             |
| H.264(1) | 4KUHD(3840x2160) | 30       | 10,240            | 12.8              | 25.6              | 51.2              | 102.4              |
| H.265(1) | WQHD(2560x1440)  | 15       | 2,048             | —                 | —                 | —                 | —                  |
| H.264(1) | WQHD(2560x1440)  | 15       | 2,560             | —                 | —                 | —                 | —                  |

表4.4.1.2(4)-2 下り伝送帯域（想定）

| 圧縮方式     | 解像度              | レート(fps) | 1ストリームの映像帯域(kbps) | L5GNW～タブレット下り伝送帯域(Mbps) | L5GNW～画像解析SV下り伝送帯域(Mbps) | L5GNW～タブレット下り伝送帯域(Mbps) 4画面分割表示想定 | L5GNW～画像解析SV下り伝送帯域(Mbps) カメラ16台想定 |
|----------|------------------|----------|-------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| H.265(1) | 4KUHD(3840x2160) | 30       | 7,168             | 7,168                   | —                        | 28,672                            | —                                 |
| H.264(1) | 4KUHD(3840x2160) | 30       | 10,240            | 10,240                  | —                        | 40,960                            | —                                 |
| H.265(1) | WQHD(2560x1440)  | 15       | 2,048             | —                       | 4,096                    | —                                 | 32,768                            |
| H.264(1) | WQHD(2560x1440)  | 15       | 2,560             | —                       | 5,120                    | —                                 | 40,960                            |

本実証ではカメラ2台のスループット検証となるが、実運用時にはカメラは4台必要となり、更に将来を見据え、乗降監視用カメラをすべて対象とする場合は、カメラ台数は16台となる。実運用時、将来増設時を想定し検討を実施した。

※本課題実証では圧縮方式H.264を採用した。

### 定量面③ カメラ1台あたりの撮像範囲

4Kカメラではアナログカメラ、HDカメラと比較し、4倍の画素数で撮影することが可能である。4Kカメラを使用した際の視認性、撮像範囲を確認するとともに、本実証で使用するAI画像解析において、人物を判定するうえで最低限必要な画素数を考慮し、撮像及びAI判定可能範囲をシミュレーションツールにより検討を実施した。

現行システムではカメラ4台(80m)＋駅係員の判断(60m)＋車掌の目視範囲(60m)を合わせて確認することで閉扉可否判断を実施している。本実証時のシミュレーションではカメラ4台ですべての確認範囲(200m)をカバーできることを確認した。

### 定性面① 判定結果表示機能(フレームレート、画質、表示情報等)

本実証においては判定結果の通知方法として、タブレット端末への映像、通知結果の表示を行う。4Kカメラ映像をタブレット端末へ表示した場合の視認性、撮像範囲を既設カメラと比較した結果を課題実証担当者(乗務員経験者)へのアンケートにてヒアリングする。その他、技術的な観点から画像解析に最適な通知手法を検討した。

### 定性面②操作性などシステムに係わる動作全般

タブレット端末への映像・閉扉可否判断結果通知方法について最適なUIを検討する。タブレット端末の画面上に4Kカメラ映像を表示した場合の視認性を考慮したUIデザイン、将来運用を想定し、最大4カメラの映像をタブレット端末へ表示した場合のUIデザイン、その他表示することで業務効率上有効な情報を検討した。想定しているUIデザインを(図4.4.1.2(4)-1、図4.4.1.2(4)-2)に示す。

図4.4.1.2(4)-1) UIデザイン(想定)

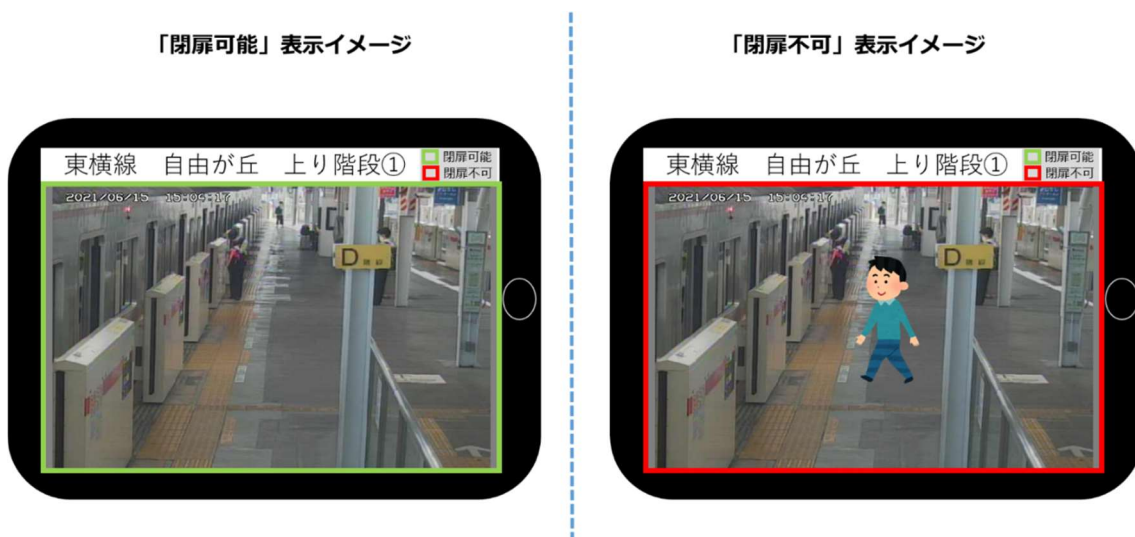
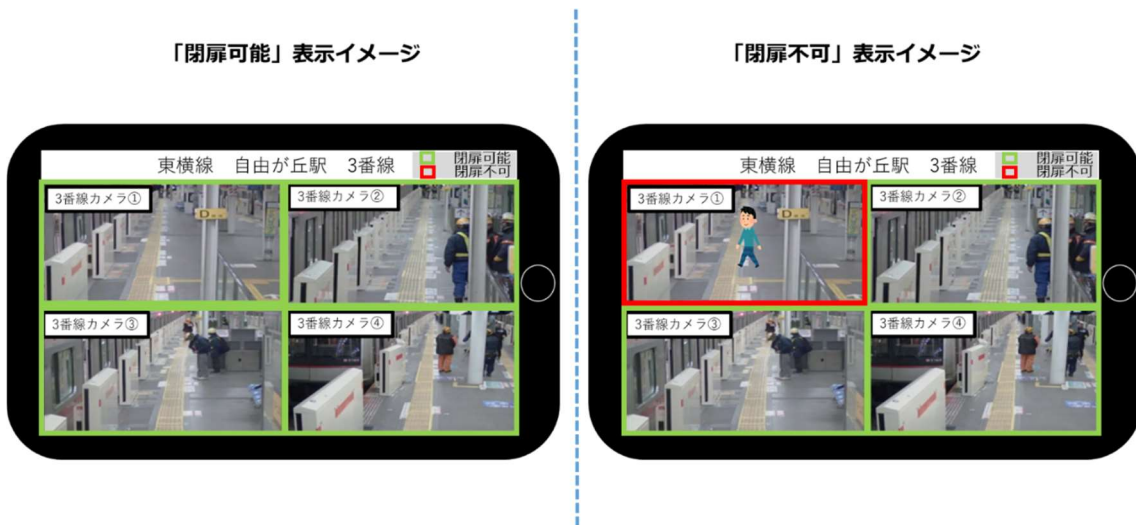


図 4.4.1.2(4)-2) 4画面分割映像表示を行う場合のUIデザイン(想定)



定性面③ システム拡張性の検討

次年度に向け、本実証対象の閉扉可否確認後の乗務員タブレットへの表示から、東急電鉄独自で実証予定の出発可否確認結果のタブレット表示までの一気通貫したシステム構成・UI 検討を行う。閉扉可否判断、出発可否確認結果の通知方法として最適な手法および、システム構成の検討を実施した。

それぞれの評価項目に対して、具体的な検証項目を下表(表 4.4.1.2(4)-3)に示す。

表 4.4.1.2(4)-3) 具体的な検証項目

| 評価・検証項目   | 概要   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定量面③ カメラ 1 台あたりの撮像範囲</li> <li>・ 定性面① 判定結果表示機能</li> </ul>       | <p>4K カメラ映像では既設の乗降監視カメラと比較し、4 倍の画素数で撮影することが可能である。シミュレーションツール、課題実証担当者(乗務員経験者)へのヒアリングを行い、既設カメラと比較した際の視認性、撮像範囲がどの程度変化したか検証した。</p>     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定量面① リアルタイム性</li> <li>・ 定量面② 複数台同時運用時の必要スループットと伝送容量</li> </ul> | <p>駅係員による合図タイミングと AI 画像解析による判定結果が通知されるまでのタイミングを比較・検討した。</p> <p>また、画像解析結果表示に伴う処理遅延の計測を実施した。</p> <p>※撮像画像の IP 化に伴う遅延は考慮しないものとする。</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定性面① 判定結果表示機能</li> </ul>                                       | <p>本実証では判定結果の通知方法として、タブレット端末への映像、通知結果の表示を行う。4K カメラ映像及び判定結果をタブレット端末へ表示した場合の画面レイアウト、視認性を課題実証担当者(乗務員経験者)へのアンケートを行い検証し</p>             |



|   |  |
|---|--|
|   | た。   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定性面② 操作性などシステムに係わる動作全般</li> <li>・ 定性面③ システム拡張性の検討</li> </ul> | 本実証では閉扉可否判断結果として映像伝送を用いるが、判定結果の通知方法としてタブレット端末への通知・映像表示が最適か、その他方策による通知方法が必要か検討した。 |

#### (5) 評価・検証方法（車両ドア閉扉判断）

具体的な評価・検証方法を下表（表 4.4.1.2(5)-1）に示す。

表 4.4.1.2(5)-1) 具体的な検証方法

| 評価  | 検証方法  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定性面① 判定結果表示機能</li> <li>・ 定性面② 操作性などシステムに係わる動作全般</li> </ul>     | 課題実証担当者（乗務員経験者）へのアンケートにより本検証にて使用した閉扉判断結果通知方法が運用に耐えうるか、視認性、撮像範囲が既設システムと比較し有効か確認した。   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定量面① リアルタイム性</li> <li>・ 定量面② 複数台同時運用時の必要スループットと伝送容量</li> </ul> | 実際の運用にて画像解析結果により閉扉可能と判断されたタイミングと駅合図要員による閉扉可能合図のタイミングを比較した。<br>比較手法として、駅合図要員の閉扉可能判断時の動作を画像から読み取り、画像解析結果による閉扉可能タイミング通知との時間差分をグラフ化した。また、画像解析結果表示に伴う処理遅延について回線伝送、AI 判定処理のログ計測を実施した。 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定量面③ カメラ 1 台あたりの視認性、撮像範囲</li> </ul>                            | 4K カメラによる視認性を確認するとともに、AI 画像解析に必要な最低画素数を考慮し、撮像及び AI 判定可能な最適なカメラ配置を検討した。  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定性面③ システム拡張性の検討</li> </ul>                                     | 現地におけるソリューションベンダとの会話を通し、判定結果の通知方法としてタブレット端末への通知・映像表示が最適か、その他方策による通知方法が必要か検討した。  |

#### 検証条件

1. 画像解析で使用する AI はパナソニックにてすでに所有する「閉扉可否確認の自動化」技術を使用する。精度、機能保証及び実験終了後の改修・改造は実施しない。
2. 通信速度計測の際、4K カメラ内で処理する映像変換にかかる時間は測定不可のため計測対象外とする
3. 各実証実験に際しては課題実証担当者（乗務員経験者）がタブレット端末を携帯し 4K カメラ映像及びドア閉解析結果通知を確認・評価する。

## アンケートの実施方法

アンケート対象者は以下の通りである。

- ・ 課題実証担当者（乗務員経験者）

現地にてタブレット端末を操作し、判定結果表示のタイミング、UI の操作性について評価する。課題実証担当者にて実機を操作し現地評価、フィードバックを実施。

フィードバック結果をもとに再度 AI チューニングを検討。

アンケートは評価用データセットを元に回答

実施時期：2022 年 1 月 5 日～1 月 18 日、2022 年 1 月 28 日～2 月 4 日

実施時間：半日

※評価用データセットは動画データを含むため別添にて提出予定

今回、新型コロナウイルス感染拡大予防の観点から現地での確認は最小限に抑えたが総勢 27 名の課題実証担当者（乗務員経験者）にアンケート回答頂くことができた。

## アンケート項目

機能検証に際して実施したアンケート項目を下表（表 4.4.1.2(5)-2）に示す。

表 4.4.1.2(5)-2) 機能検証に際して実施したアンケート

| 対象                                | 評価項目              | アンケート設問内容   |
|-----------------------------------|-------------------|---|
| 課題実証担当者<br>(乗務員経験者)               | リアルタイム性           | タブレット端末に表示された映像は実際の映像と比較して遅延があると感じましたか？                             |
|                                   | 判定結果表示機能          | タブレット端末の画面レイアウトは分かりやすいですか？<br>(4 分割表示、1 画面表示両方の画面レイアウトを観点にご回答ください。) |
|                                   |                   | ご自身の閉扉判断と AI の判定でずれはありましたか？   |
|                                   | 操作性などシステムに係わる動作全般 | タブレット端末の表示は、路線名、駅名、カメラ名称、判定結果枠で十分ですか？                               |
| タブレット端末の単画面・4 画面表示切替は、機能として十分ですか？ |                   |   |

## (6) 実証結果及び考察（車両ドア閉扉判断）

【定量面①】リアルタイム性（AI 解析結果表示までの時間）

### ①.1. 検証条件

1. 本実証では AI 閉扉可否の判定開始条件を取得していない。

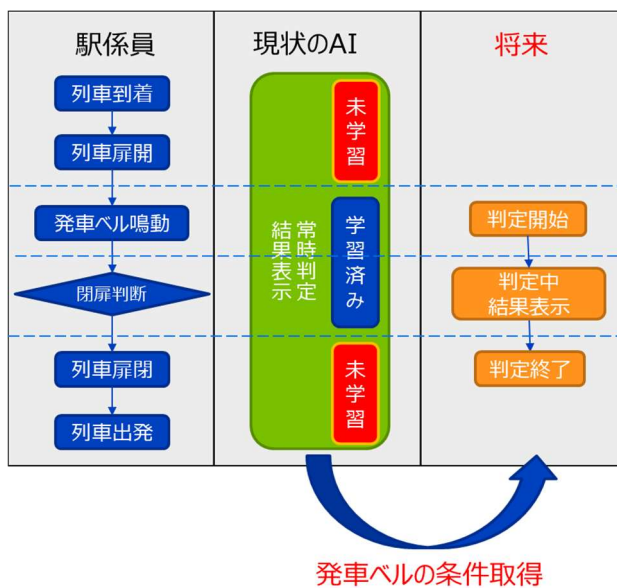
したがって AI は列車の有無に関わらず常時判定状態となる。本実証では駅合図要員の動作から以下のいずれか先に行われた動作を判定開始のスタートタイミングと仮定し、AI の判断ログと閉扉合図（旗振り動作）までの時間差を比較する。

- ① 出発反応灯が点灯し、駅合図要員が出発反応灯を確認する際の指差喚呼
- ② 駅合図要員による閉扉前のマイクアナウンス動作

※本来、駅係員は発車ベルの鳴動後より閉扉可否の判断を行う。

上記の仮定条件では駅係員が乗降客に対して注意放送を行うことがあるため、必ずしも判定開始のタイミングは再現できない（図 4. 4. 1. 2(6)-1 を参照のこと）  
今後の検討では発車ベルとの連動が必要。

図 4. 4. 1. 2(6)-1)



※今回の検証で、AI 判定は旅客乗降中は閉扉 NG、旅客乗降後は閉扉 OK と期待通りの動きをしていた。

2. 1 秒間に 15 フレームのカメラ画像を取得しており、AI の判定は 15 フレーム全てに対して行う。判定開始後、AI が 1 度でも閉扉 OK と判定したフレームと駅合図要員による閉扉合図までの時間を比較対象とする。
3. AI 判定における精度・要因分析は東急電鉄/パナソニックにて検証中の「閉扉可否確認」の自動化技術検証にて実施する。
4. 検証日、検証時間帯、当日の気象条件を以下に記載する。

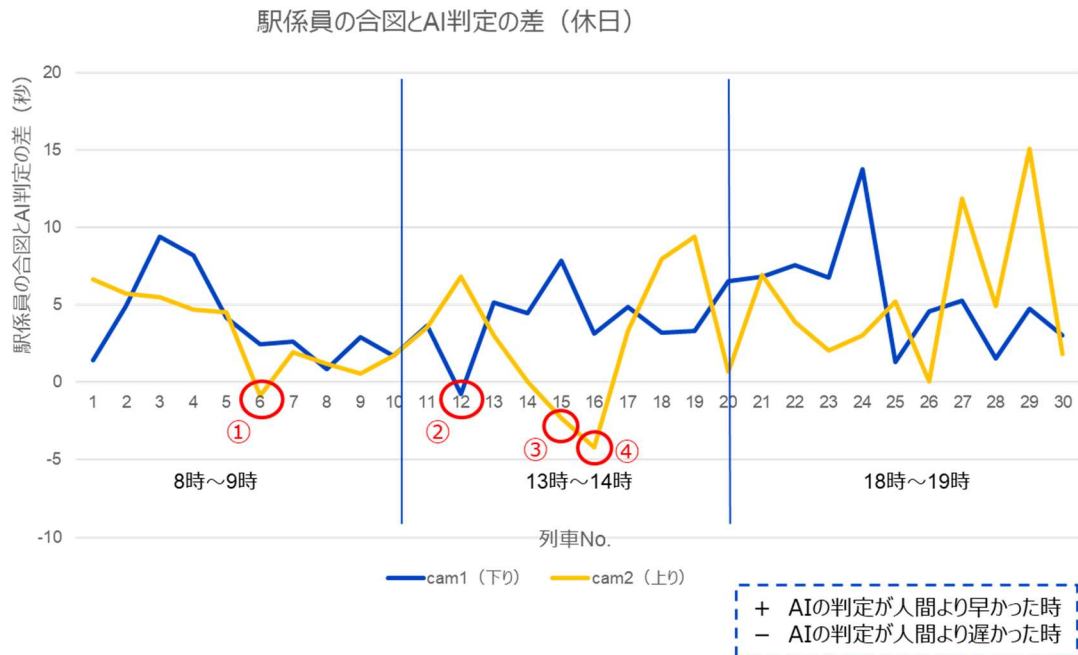
検証日：1/9（休日）8時～9時、13時～14時、18時～19時

1/11（平日\_雨）8時～9時、13時～14時、18時～19時

1/12（平日\_晴）8時～9時、13時～14時、18時～19時

## ②.2.1 検証結果 1/9（休日）

図 4.4.1.2(6)-2) 駅係員の合図と AI 判定の差（休日）



### 【考察】

- ・全時間帯を通し AI は人間より閉扉可能と判断するのが早い  
駅係員の合図よりも AI 判定が明らかに早い時は乗降が終わっていても発車ベルが鳴動するまでは旗を振らない、もしくは駅係員が乗降客に対して注意放送を行ったためと推測。
- ・日中時間帯に AI 判定のほうが人間よりも遅いことがあった。  
休日の日中帯は家族連れの移動が多く乗降が途切れないことがある。  
駅係員はダイヤ遅延を避けるため、旅客乗降中でもある程度乗降が完了しそうなタイミングで閉扉合図を行うが、AI は予測ができないため結果として判定が遅れてしまったと考えられる。

図 4.4.1.2(6)-3)





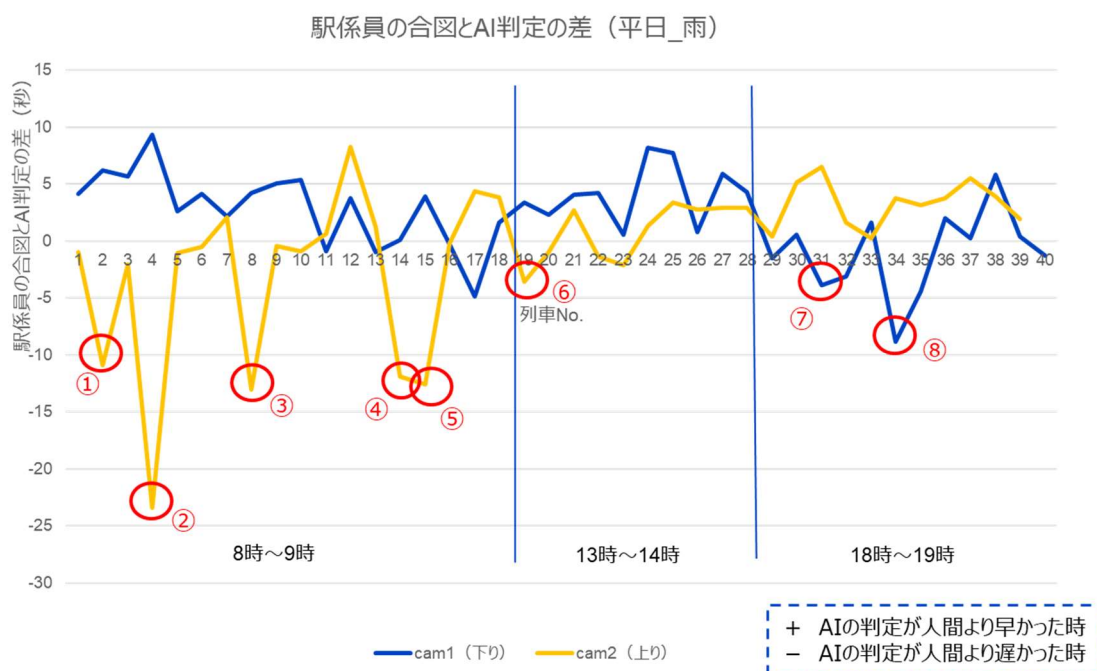
|       |  |   |
|-------|--|---|
| キャプチャ | <p>2022/1/9 13:09 休日<br/>①乗降途中で駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉合図</p>   | <p>2022/1/9 8:32 休日<br/>②乗降途中で駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉合図</p>  |
|       | <p>備考<br/>発車時刻：13時9分<br/>カメラNo：cam1（下り）<br/>判定遅延：0.73sec</p>   | <p>備考<br/>発車時刻：8時32分<br/>カメラNo：cam2（上り）<br/>判定遅延：0.87sec</p>  |
| 考察    | <p>原因：赤枠箇所にて旅客乗降が続いているが、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉合図を出している。AIは旅客の乗降が続いている場合は閉扉OKを出さないため判定が遅れたと推測。<br/>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど</p> |   |

図 4.4.1.2(6)-4)

|       |  |  |
|-------|--|--|
| キャプチャ | <p>2022/1/9 13:25 休日<br/>③駅係員責任範囲外での乗降</p>   | <p>2022/1/9 13:31 休日<br/>④駅係員責任範囲外での乗降</p>  |
|       | <p>備考<br/>発車時刻：13時25分<br/>カメラNo：cam2（上り）<br/>判定遅延：2.33sec</p>  | <p>備考<br/>発車時刻：13時31分<br/>カメラNo：cam2（上り）<br/>判定遅延：4.2sec</p>   |
| 考察    | <p>原因：AI判定対象領域は青枠範囲内である。しかし、画像手前側の1車両は駅係員責任範囲ではなく乗務員責任範囲である。AIは判定対象領域内で乗降が続いている場合は閉扉OK判定を行わないが、駅係員は自分の責任範囲内での乗降が終了したタイミングで閉扉合図を行うため、ずれが生じたと考えられる。<br/>対策：AI判定対象領域について今後協議していく。</p> |  |

## ②.2.2 検証結果 1/11 (平日 雨)

図 4.4.1.2(6)-5) 駅係員の合図と AI 判定の差 (平日 雨)



### 【考察】

- ・ 上りホームでは朝ラッシュ時間帯に AI が閉扉 OK 判定を出せない場面が多かった。帰宅ラッシュの時間になると下りホーム側で AI 判定が駅係員よりも遅れる場面が多かった。混雑が続く状況では、AI は乗降が続く限り閉扉 OK の判定を出せないが、人間は列車遅延を発生させないために、発車ベルが鳴動しある程度乗降が終了すると、閉扉合図を行うことが原因と推測する。
- ・ 朝ラッシュ時間帯は閉扉合図を行う駅係員に加え混雑している扉を監視する駅係員が配置されるため、AI が駅係員を誤って乗客と判断している可能性が高い。また、運転士も車両から身を乗り出して状況確認を行うため、運転士を乗客と誤って判断している可能性も高い。

図 4.4.1.2(6)-6)

|       |  |  |
|-------|--|--|
| キャプチャ | <p>2022/1/11 8:5 平日_雨<br/>① 駅係員を乗客と誤判断</p>  | <p>2022/1/11 8:11 平日_雨<br/>② 駅係員を乗客と誤判断/列車から人物がはみ出ている</p>                                  |
|       | <p>備考</p> <p>発車時刻：8時3分（当日は2分遅延）<br/>カメラNo：cam2（上り）<br/>判定遅延：10.86sec</p>   | <p>備考</p> <p>発車時刻：8時10分（当日は2分遅延）<br/>カメラNo：cam2（上り）<br/>判定遅延：23.4sec<br/>※AIは列車進出まで閉扉OK判定できず</p>   |
| 考察    | <p>原因：駅舎図案員に加え、混雑している扉を監視する駅係員が配置されているため、その駅係員による影響が考えられる。</p> <p>対策：駅係員が複数人いるシーンを学習データに加えることで、改善できる可能性がある。</p>              | <p>原因：列車からはみ出ている旅客が影響している可能性がある。</p> <p>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど</p> |

図 4.4.1.2(6)-7)



|       |   |  |
|-------|---|--|
| キャプチャ | <p>2022/1/11 8:25 平日_雨<br/>③ 駅係員・乗務員を閉扉NGと判断</p>  | <p>2022/1/11 8:49 平日_雨<br/>④ ホームドア付近を通行中の旅客を閉扉NGと判断</p>   |
|       | <p>備考</p> <p>発車時刻：8時25分<br/>カメラNo：cam2（上り）<br/>判定遅延：13sec<br/>※AIは列車進出まで閉扉OK判定できず</p>   | <p>備考</p> <p>発車時刻：8時48分（当日は1分遅延）<br/>カメラNo：cam2（上り）<br/>判定遅延：11.87sec<br/>※AIは列車進出まで閉扉OK判定できず</p>  |
| 考察    | <p>原因：複数の駅係員、列車から身を乗り出して状況確認を行う運転士の影響が考えられる。</p> <p>対策：駅係員が複数人いるかつ運転士が列車から身を乗り出しているシーンを学習データに加えることで、改善できる可能性がある。</p>                | <p>原因：ホームドア付近を通行中の旅客をAIが閉扉NGの要因として捉えている可能性が高い。</p> <p>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど</p> |

図 4.4.1.2(6)-8)

|       | 2022/1/11 8:52 平日_雨<br>⑤列車からはみ出ている荷物を閉扉NGと判断   | 2022/1/11 13:10 平日_雨<br>⑥乗降途中で駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉合図  |
|-------|--|---|
| キャプチャ |   |   |
| 備考    | 発車時刻：8時52分（当日は1分遅延）<br>カメラNo：cam2（上り）<br>判定遅延：12.6sec<br>※AIは列車進出まで閉扉OK判定できず   | 発車時刻：13時10分<br>カメラNo：cam2（上り）<br>判定遅延：3.53sec   |
| 考察    | 原因：赤枠箇所にて、乗降完了後列車から荷物がはみ出している状態をAIが閉扉OKと判定できなかったと推測。<br>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。<br>例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど | 原因：赤枠箇所にて旅客乗降が続いているが、駅係員は閉扉合図を行っている。AIは旅客の乗降が続いている場合は閉扉OKを出せないため判定が遅れたと推測。<br>発車ベルが鳴ると駅合図要員は乗降中でも乗車タイミングを予測して閉扉合図を行うと考えられる。<br>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。<br>例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど |

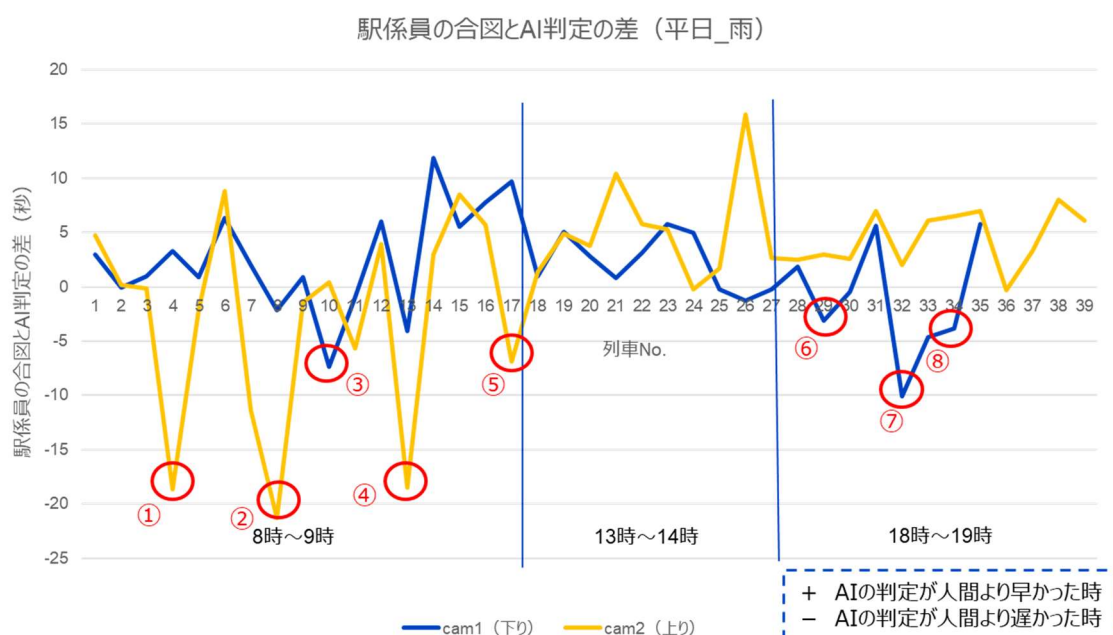
図 4. 4. 1. 2 (6) -9)

|       | 2022/1/11 18:10 平日_雨<br>⑦列車からはみ出ている人物を閉扉NGと判断  | 2022/1/11 18:25 平日_雨<br>⑧列車からはみ出ている人物を閉扉NGと判断                                       |
|-------|--|---|
| キャプチャ |    |  |
| 備考    | 発車時刻：18時10分<br>カメラNo：cam1（下り）<br>判定遅延：3.87sec  | 発車時刻：18時25分<br>カメラNo：cam1（下り）<br>判定遅延：8.8sec  |
| 考察    | 原因：車内が混雑しており、車両ドア付近で停滞している人物を閉扉NGの判定要因として捉えていると推測。<br>下りホームは駅形状が内側にカーブしているため列車内の人物が映りこんでいることが原因と考えられる。<br>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。<br>例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど |   |



## ②.2.3 検証結果 1/12 (平日 晴)

図 4.4.1.2(6)-10) 駅係員の合図と AI 判定の差 (平日 晴)



### 【考察】

- 朝ラッシュ時間帯の上りホームでは AI が閉扉 OK を出せない場面が多い。  
 帰宅ラッシュの時間になると下りホームにて AI の判定が駅係員よりも遅れる場面が多い。1/11 の考察でも述べたが、混雑が続く状況では、AI は乗降が続く限り閉扉 OK の判定を出せないが、人間は列車遅延を発生させないために、発車ベルが鳴動しある程度乗降が終了すると、閉扉合図を行うことが原因と推測。  
 駅係員の合図よりも AI 判定が明らかに早い時は乗降が終わっていても発車ベルが鳴動するまでは旗を振らない、もしくは駅係員が乗降客に対して注意放送を行ったためと推測。
- 雨天時と比較すると晴天時は駅合図要員の合図が早い場面が多くみられる。  
 晴天時はホーム上が混雑しており、駅合図要員は乗降途中に乗車タイミングを予測して閉扉合図を送るためと推測される。

図 4. 4. 1. 2 (6) -11)

|       | 2022/1/12 8:10 平日_晴<br>①乗降途中で駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉合図<br>駅係員を乗客と誤判断  | 2022/1/12 8:26 平日_晴<br>②列車からはみ出ている人物を閉扉NGと判断<br>駅係員を乗客と誤判断   |
|-------|--|--|
| キャプチャ |   |                    |
| 備考    | 発車時刻：8時10分<br>カメラNo：cam2（上り）<br>判定遅延：18.7sec<br>※AIは列車進出まで閉扉OK判定できず  | 発車時刻：8時25分（当日は1分遅延）<br>カメラNo：cam2（上り）<br>判定遅延：21.3sec<br>※AIは列車進出まで閉扉OK判定できず                         |
| 考察    | 原因：赤枠箇所にて旅客乗降が続いているが、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉合図を出している。AIは旅客の乗降が続いている場合は閉扉OKを出せないため判定が遅れたと推測。<br>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど | 原因：駅合図要員に加え、混雑している扉を監視する駅係員が配置されているため、その駅係員による影響が考えられる。<br>対策：駅係員が複数人いるシーンを学習データに加えることで、改善できる可能性がある。 |


図 4. 4. 1. 2 (6) -12)

|       | 2022/1/12 8:43 平日_晴<br>③乗降途中で駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉合図  | 2022/1/12 8:44 平日_晴<br>④列車からはみ出ている人物を閉扉NGと判断  |
|-------|--|---|
| キャプチャ |   |   |
| 備考    | 発車時刻：8時43分<br>カメラNo：cam1（下り）<br>判定遅延：7.33sec   | 発車時刻：8時44分<br>カメラNo：cam2（上り）<br>判定遅延：18.5sec<br>※AIは列車進出まで閉扉OK判定できず   |
| 考察    | 原因：赤枠箇所にて旅客乗降が続いているが、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉合図を出している。AIは旅客の乗降が続いている場合は閉扉OKを出せないため判定が遅れたと推測。<br>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど | 原因：列車から人物がはみ出ている状態をAIが閉扉OKと判定できていないと推測。<br>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど |

図 4.4.1.2(6)-13)

|       | 2022/1/12 8:59 平日_晴<br>⑤列車からはみ出ている荷物を閉扉NGと判断  | 2022/1/12 18:25 平日_晴<br>⑥列車からはみ出ている人物を閉扉NGと判断  |
|-------|---|--|
| キャプチャ |    |    |
| 備考    | 発車時刻：8時59分<br>カメラNo：cam2（上り）<br>判定遅延：6.86sec  | 発車時刻：18時25分<br>カメラNo：cam1（下り）<br>判定遅延：3.13sec  |
| 考察    | 原因：赤枠箇所に列車から荷物がはみ出している状態をAIが閉扉OKと判定できていないと推測。<br>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。<br>例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど | 原因：列車から人物がはみ出している状態をAIが閉扉OKと判定できていないと推測。<br>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。<br>例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど |

図 4.4.1.2(6)-14)

|       | 2022/1/12 18:40 平日_晴<br>⑦乗降途中で駅係員は閉扉合図  | 2022/1/12 18:46 平日_晴<br>⑧乗降途中で駅係員は閉扉合図  |
|-------|---|---|
| キャプチャ |   |  |
| 備考    | 発車時刻：18時40分<br>カメラNo：cam1（下り）<br>判定遅延：10.7sec   | 発車時刻：18時46分<br>カメラNo：cam1（下り）<br>判定遅延：4.67sec                                       |
| 考察    | 原因：赤枠箇所に旅客乗降が続いているが、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉合図を出している。AIは旅客の乗降が続いている場合は閉扉OKを出せなかったため判定が遅れたと推測。<br>対策：旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、駅係員は乗車タイミングを予測して閉扉することがある。この場合の運用について協議する。<br>例えば、一定時間を過ぎてもAIが閉扉NGと判断している場合、そのカメラ映像を乗務員が見えるように表示し人間が最終的に判断するなど |   |

## ②.3 アンケート結果

前述した定性面① 乗務員へのドア周辺映像のリアルタイム配信による効果の通り、タブレット端末に表示された映像は実際の映像と比較して遅延があると「思わない」「あまりそう思わない」が過半数を占めており、リアルタイム性についても効果があることが分かる。

### 【定量面②】複数台同時運用時の必要スループットと伝送容量

#### ②.1. 検証条件

1. 回線伝送にかかる時間、は技術実証側で測定した値を使用する。
2. カメラ映像の圧縮処理変換にかかる時間は測定不可のため 200ms と仮定する。
3. AI 処理にかかる時間は以下の 2 項目で計測を実施する。

前処理にかかる時間：画像取込、蓄積処理、変換処理にかかる時間

※1 フレーム分の処理時間

判定処理にかかる時間：AI 処理、処理結果送信にかかる時間

※1 フレーム分の処理時間

4. 検証日、検証時間帯を以下に記載する。

検証日：1/28（平日）

検証時間帯：上りホーム 16時～18時

下りホーム 14時～16時

## ②.2.1 画像解析結果表示に伴う処理遅延計測結果

図 4.4.1.2(6)-15)

|     | 構成要素 | 内容                             | 処理速度目標<br>(msec) | 実測値<br>(msec) | 備考                        |
|-----|------|--------------------------------|------------------|---------------|---------------------------|
| (a) | 圧縮処理 | 圧縮方式によるエンコード処理時間               | 200              | 200           | ※圧縮処理については測定不能のため検証対象外とする |
| (b) | 回線伝送 | カメラ→画像解析装置間の伝送時間               | 50               | 16.75         | ※回線伝送速度はNW環境により前後する       |
| (c) | 前処理  | 画像取込、蓄積処理、変換処理<br>※1フレーム分の処理時間 | 300              | 19            |                           |
| (d) | 判定処理 | AI処理、処理結果送信<br>※1フレーム分の処理時間    | 200              | 1.6           |                           |
| (e) | 回線伝送 | 画像解析装置→判定結果表示装置間の伝送時間          | 50               | 16.75         | ※回線伝送速度はNW環境により前後する       |
|     |      | total                          | 800              | 254.1         |                           |

## ②.2.2 回線伝送速度

技術実証側で測定した遅延時間、スループット値を以下に示す。

### スループット値

上りホーム

UL：75.9Mbps

DL：279Mbps

下りホーム

UL：71.5Mbps

DL：281Mbps

スループット値は上りホーム、下りホームの平均値より以下の通り。

UL：73.7Mbps

DL：280Mbps

### 遅延時間（片道）

上りホーム：14ms

下りホーム：19.5ms

遅延時間は上りホーム、下りホームの平均値より以下の通り。

遅延時間（片道）：16.75ms

図 4. 4. 1. 2(6)-16)

## UL想定値と実測値の比較

| カメラ台数 / 圧縮方式 | H.264使用時の想定使用帯域(Mbps) | H.265使用時の想定使用帯域(Mbps) |
|--------------|-----------------------|-----------------------|
| カメラ1台        | 12.8                  | 9.2                   |
| カメラ2台        | 25.6                  | 18.4                  |
| カメラ4台        | 51.2                  | 36.9                  |
| カメラ8台        | 102.4                 | 73.7                  |
| カメラ16台       | 204.8                 | 147.5                 |
| 実測帯域         | 73.7                  | 73.7                  |

図 4. 4. 1. 2(6)-17)

## DL想定値と実測値の比較

| 通信経路 / 圧縮方式              | H.264使用時の想定使用帯域(Mbps) | H.265使用時の想定使用帯域(Mbps) |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| L5GNW～タブレット              | 10.2                  | 7.2                   |
| L5GNW～画像解析SV             | 2.6                   | 2.0                   |
| L5GNW～タブレット<br>4画面分割表示想定 | 41.0                  | 28.7                  |
| L5GNW～画像解析SV<br>カメラ16台想定 | 41.0                  | 32.8                  |
| 実測帯域                     | 280                   | 280                   |

### 【考察】

スループット値としては UL、DL とも将来的に 1 ホームカメラ 4 台の伝送を実施した場合でも問題ない結果となった。

しかし、自由が丘駅のような島ホーム型の駅では特急列車待機番線を含めると片ホームで最大 8 台のカメラが接続されることになる。

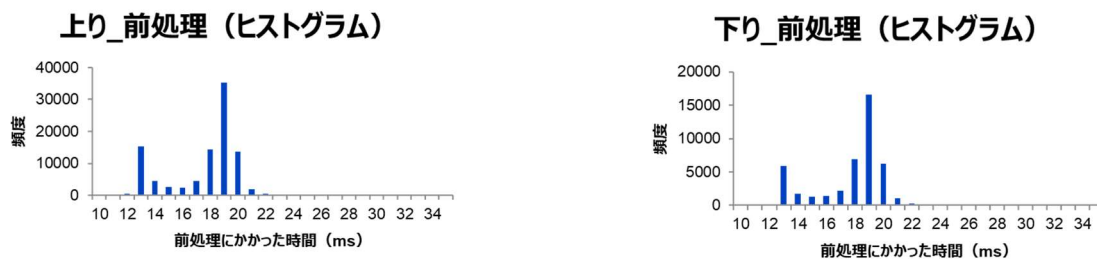
その場合、現状の H.264 圧縮方式を使用しての変換処理ではスループット値が足りない。今回の課題実証では変換処理の複雑性から圧縮方式は H.264 を採用したが、将来的な片ホーム最大 8 台のカメラ接続を想定するとより圧縮率の高い H.265 方式での AI 処理を検討する必要があると考えられる。

また、仮に H.265 方式を採用した場合でも、カメラ 8 台の伝送を想定すると余裕が無い。今後はさらに安定した UL を確保する必要があると考えられる。回線伝送における遅延時間についても当初想定していた片道 50ms よりも早い結果となった。

### ②2.3 (c) 前処理にかかる時間

1 フレーム単位での AI 前処理にかかった時間をヒストグラムで示す。

図 4.4.1.2(6)-18)



AI 前処理にかかる時間は上りホーム、下りホームともに平均して 19ms 程度での処理が可能である。

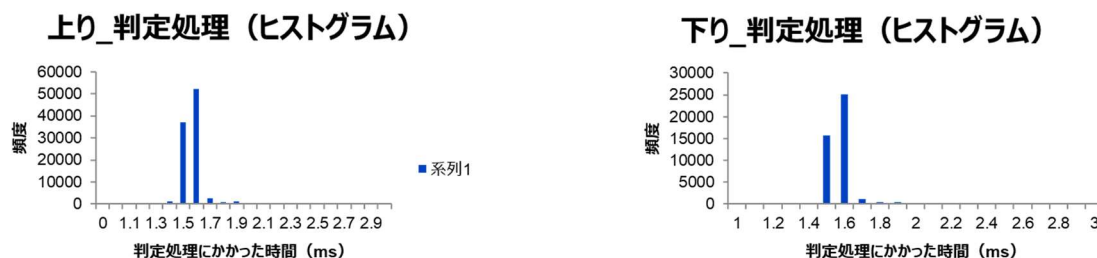
また、処理するフレームによっては 12ms 程度で前処理が完了していた。

今回使用した圧縮方式では画像内の変化量が多い場合はデータが多く、変化量が少ない場合はデータが少なくなるため、処理時間に多少の誤差があるものと推察される。

### ②2.4 (d) 判定処理にかかる時間

1 フレーム単位での AI 前処理にかかった時間をヒストグラムで示す。

図 4.4.1.2(6)-19)



AI 判定処理にかかる時間は上りホーム、下りホームともに平均して 1.6ms 程度での処理が可能である。

本課題実証で使用したサーバは、GPU に最適化する処理を行っているため、これほどの高速処理が可能と推測される。アルゴリズムを抜本的にかえることがない限り、それほど大幅な判定処理時間の増加は発生しないと推測される。

### 【考察】

実証の結果、課題実証前に想定していた処理速度目標値の半分以下の速度で処理結果の伝送ができた。

処理時間としては、カメラ側の圧縮処理にかかる時間が大半を占めているが、それを考慮し

でも当初想定を大幅に上回る結果となった。

現時点で実装している AI 処理では、GPU の最適化や処理の軽量化など行ったことが大きな要因と想定される。

今後の AI 調整、アルゴリズムの改良などで多少前後することは考えられるが、総合的な処理速度としては必要十分と考えられる。

しかし、254msec の遅延で「効果検証 定性面① 乗務員へのドア周辺映像のリアルタイム配信による効果」でも述べたが、250msec の遅延では駆け込みの乗降客 (10km/h) の場合、70 cm進むことになる。将来運用時は、指差喚呼による 1 秒程度の確認時間があり、さらに今後の運用に向けた検証で AI 閉扉判定から乗務員通知までの最適な通知時間を検証していく。

### 【定量面③】カメラ 1 台あたりの撮像範囲

#### ③.1.1 視認性の比較

4K 解像度と HD 解像度において下記の通り、比較し考察する。

図 4.4.1.2(6)-20)

| 画質    | 4K   | HD  |
|-------|--|---|
| キャプチャ |  |  |
| 備考    | 解像度：3840×2160<br>データサイズ：6379KB   | 解像度：1280×720<br>データサイズ：1001KB   |

#### 【考察】

同一カメラにて 4K 画質、HD 画質での映像比較を実施。

4K 画質では 1 ピクセル単位で表現できる情報量が増えたため、映像自体を鮮明に撮影することが可能である。

しかし、出力装置側の画面解像度が低いため、撮影した映像をそのまま人間が見た場合、全体的な画面の見え方としてはほぼ同じであった。


したがって、乗降監視用 ITV を 4K カメラに置き換え、そのままの映像を確認する場合は 4K 映像表示が可能な出力装置を準備することが必要不可欠と考えられる。

次ページにて上記画像を 4 分割表示した場合を想定し、撮像範囲を検討する。

### ③.1.2 撮像範囲の比較

4K 解像度と HD 解像度において下記の通り、比較し考察する。

図 4.4.1.2(6)-21)

| 画質        | 4K  | HD   |
|-----------|---|--|
| キャブ<br>チャ |  |  |
| 備考        | 解像度：1920×1080   | 解像度：640×360  |

#### 【考察】

1 台のカメラ映像を 4 分割で切り出した場合を想定し映像比較を実施。

HD 画質では画面奥側の人物がつぶれてしまい乗降時の扉挟み等が視認しづらいと想定される。対して 4K 映像では 4 分割で切り出した映像でも FHD 解像度で表現することが可能なため、1 台のカメラで 4 台分の撮像範囲をカバーすることが可能と考えられる。

### ③.1.3 AI 画像解析における人物のピクセル数比較

4K 解像度と HD 解像度において下記の通り、比較し考察する。

図 4.4.1.2(6)-22)

| 画質        | 4K (近くの人物)  | HD (近くの人物)  | 4K (遠くの人物)   | HD (遠くの人物)  |
|-----------|---|---|--|---|
| キャブ<br>チャ |  |  |  |  |
| 備考        | ピクセル数：<br>227×610pix  | ピクセル数：<br>80×210pix   | ピクセル数：<br>69×169pix  | ピクセル数：<br>26×65pix  |

#### 【考察】

4K 映像では 1 人物を表現するためのピクセル数は HD のおよそ 7~8 倍となった。また、dpi(1 インチ当たりのピクセル数)が多くなったことにより 1 人物を表現する際の鮮明度が向上した。本課題実証で使用する AI 画像解析では 1 人物当たり最低 60×120pix 程度のピクセル数が必要である。

4K カメラを使用した場合、1 台のカメラで AI 判定対象可能範囲を広げることが可能と推測される。上記を踏まえ、既設 ITV カメラを 4K カメラへ置き換えた場合のシミュレーションを次項で行う。



### ③.2.1 検証条件

1. シミュレーションツール上では PPM という単位を元に人間、AI が判断するために最低限必要な画素数を表示している

PPM・・・撮影される被写体の 1m あたり画素数

被写体までの高さ/距離が遠くなるほど数値は小さくなる

人間が人物を認識するのに必要な PPM=65PPM

AI が人間を判定するのに必要なピクセル数 (横×縦)・・・60×120 ピクセル

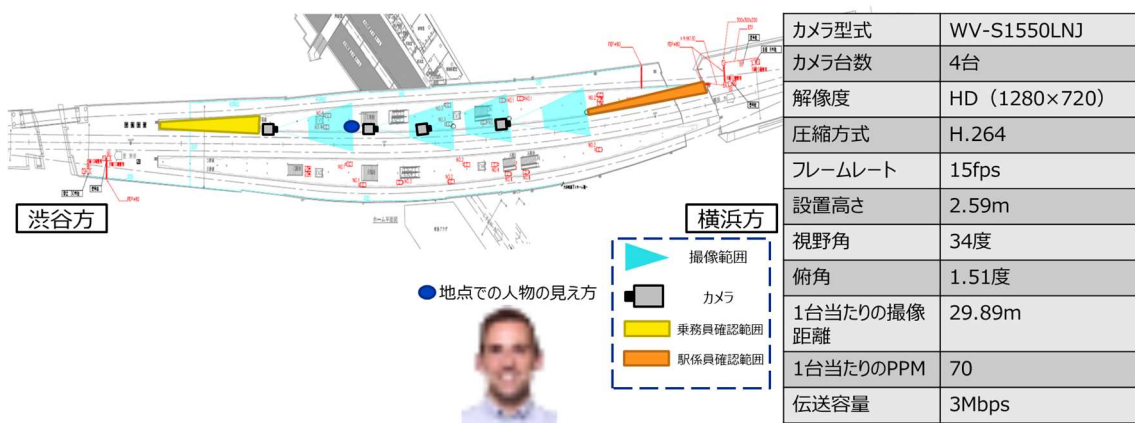
AI が人間を判定するのに必要な PPM=120 ピクセル÷1.7m (男性の平均身長)  
≒70PPM

本シミュレーション実施時はカメラ 1 台ごとに 70PPM で人物が撮影可能な範囲を最大撮像範囲と設定しシミュレーションを行う。

2. 東急電鉄電気通信設備施工基準第 15 章\_その他設備\_通信機器設置高さより「天井面に通信機器 (カメラ) を設置する場合、GL～レンズ中心までの最低高は 2500mm」と定められている。シミュレーションツール上での設置高設定は GL～カメラ底面までの高さより計算されるため、シミュレーションツール上での設置高設定は 2590mm とする。
3. ホーム全長は 205m とする。
4. シミュレーション対象は本課題実証にてカメラを設置した 4 番線、5 番線とする。

### ③.2.2 4 番線シミュレーション結果 乗降監視 ITV 既設画角

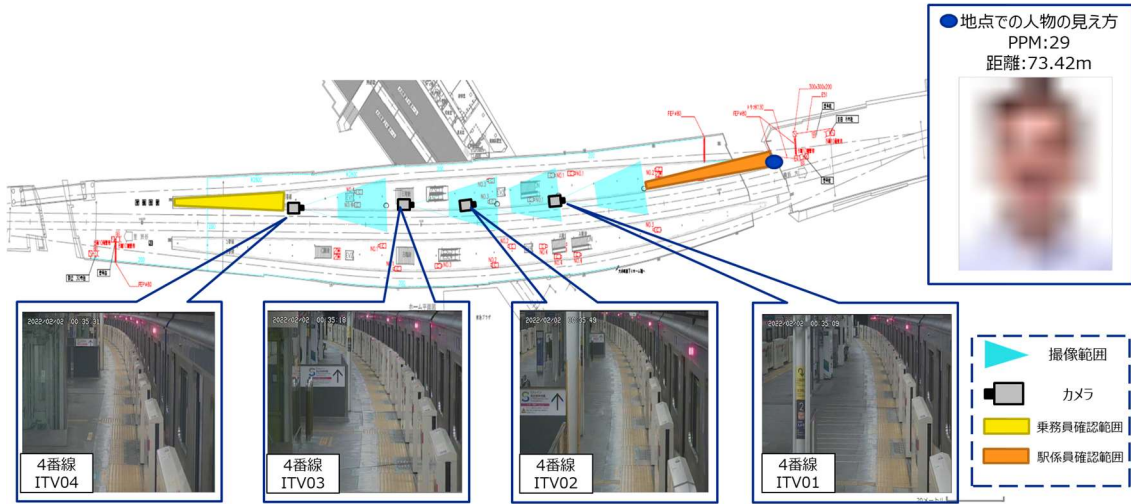
図 4.4.1.2(6)-23)



#### 【考察】

- ・現在のカメラ撮像範囲では 70PPM でホーム全体を撮影することは困難である
- ・既設画角は一般の人が人物を認識できるかではなく、乗務員が乗降を確認するための画角設定が行われていると想定される。したがって、カメラ 4 台 (80m) + 駅係員の判断 (60m) + 車掌の目視範囲 (60m) ですべての乗降監視エリアをカバーできる。

図 4.4.1.2(6)-24)

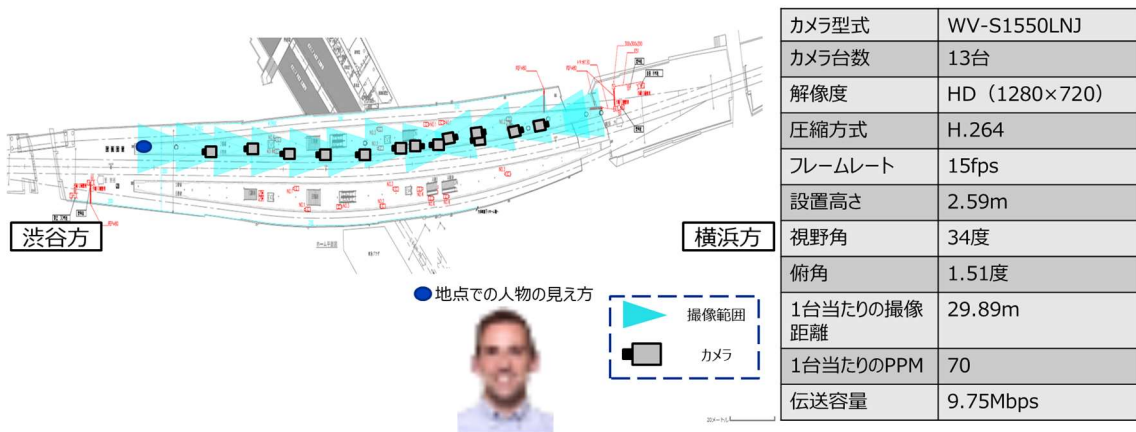


【考察】

- ・現在の画角では駅係員確認における確認範囲最遠端の人物は 29PPM で撮影される。  
したがって AI が人物と判断することは非常に困難と想定される。

③.2.3 4番線シミュレーション結果 HD カメラで乗降監視エリア全てをカバーした場合

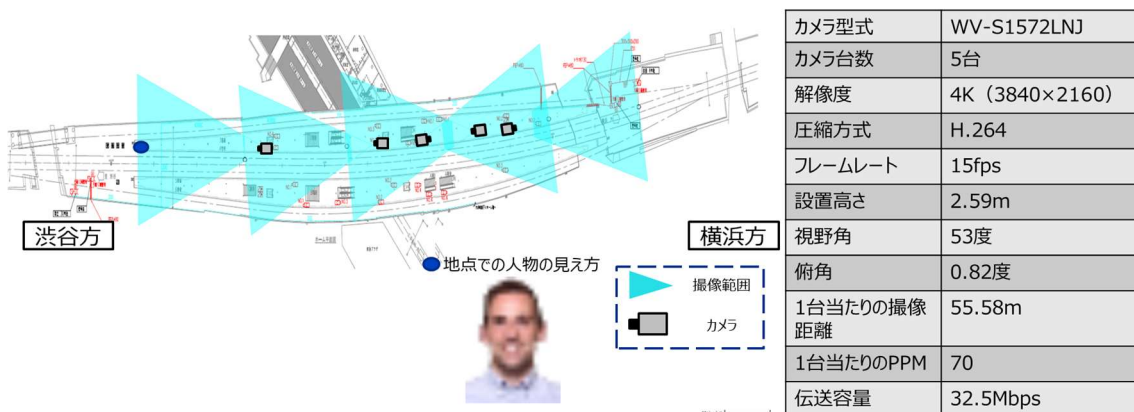
図 4.4.1.2(6)-25)



【考察】

- ・HD カメラのみで AI 判定可能な乗降監視エリア全てをカバーした場合、カメラ台数は 13 台必要である。
- ・伝送容量も既設カメラと比較すると 3 倍となる。
- ・配線施工コスト、設備数増加による保守の負担を考慮すると現実的ではないと考えられる。

③.2.4 4番線シミュレーション結果\_4Kカメラで乗降監視エリア全てをカバーした場合  
 図 4.4.1.2(6)-26)

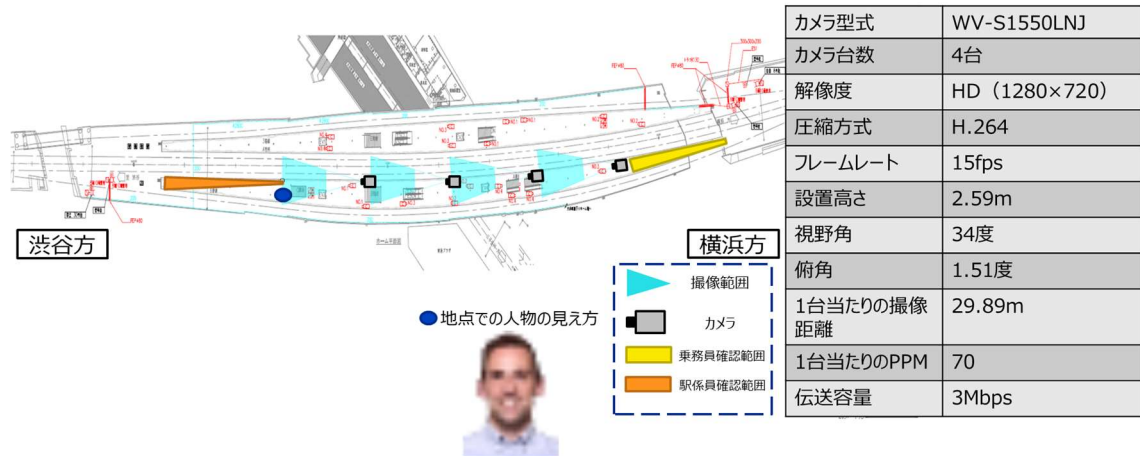


【考察】

- 4Kカメラを使用した場合、カメラ5台で乗降監視エリア全てをカバーすることが可能である。
- 1台当たりの撮像距離はHDカメラのおよそ2倍であった。
- 視野角も広くとれるため、1台のカメラで画角を複数設定することで別の用途にも使用可能であると推測される。
- 伝送容量が既設の10.8倍となるため、大容量で安定した通信網の構築が必要不可欠である。

### ③.2.5 5番線シミュレーション結果 乗降監視 ITV 既設画角

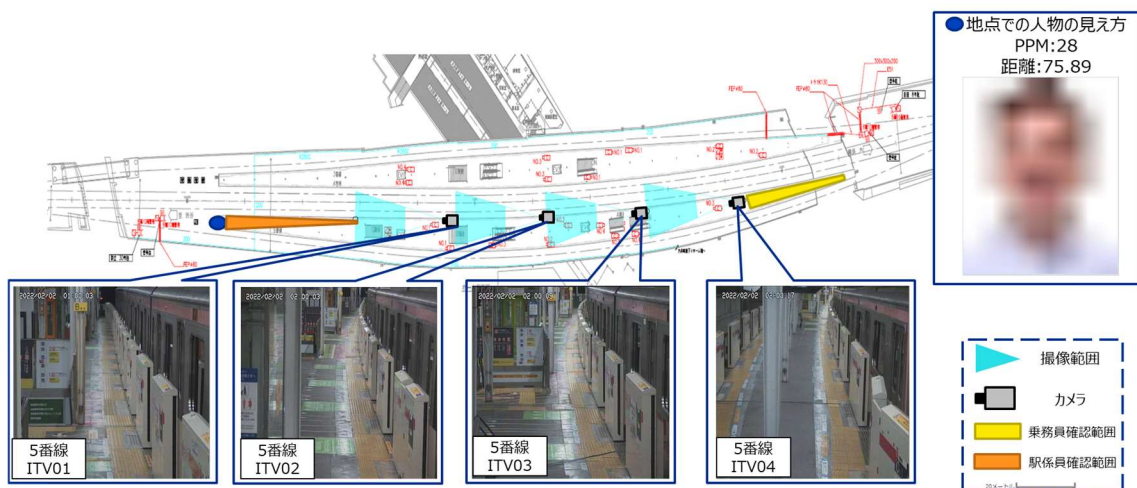
図 4.4.1.2(6)-27)



#### 【考察】

- ・ 4番線同様、既設画角は一般の人が人物を認識できるかではなく、乗務員が乗降を確認するための画角設定が行われている。したがって、カメラ4台(80m) + 駅係員の判断(60m) + 車掌の目視範囲(60m) ですべての乗降監視エリアをカバーできる。

図 4.4.1.2(6)-28)

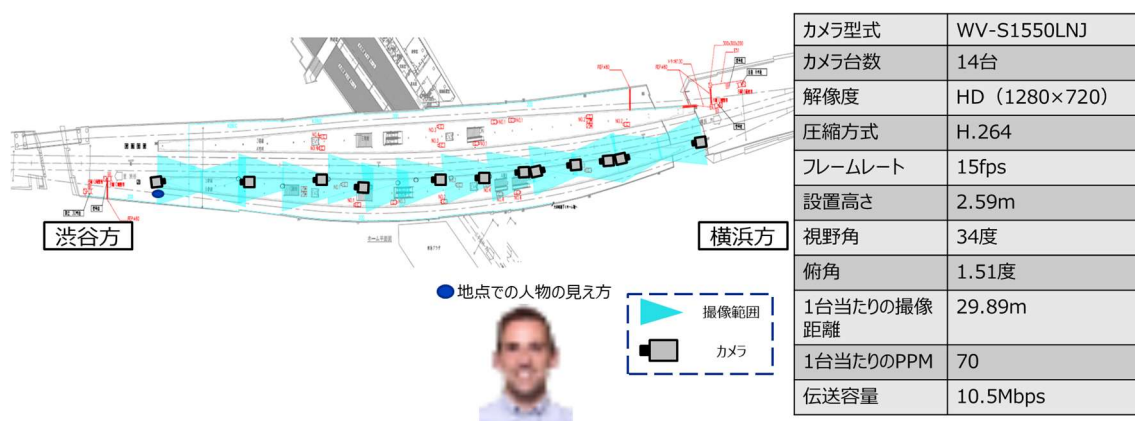


#### 【考察】

- ・ 現在の画角では駅係員確認範囲の最遠端は28PPMで撮影される。したがってAIが人物と判断することは非常に困難と想定される。
- ・ ITV03の撮像範囲は外側カーブの影響で画面奥側の車両扉が視認できないため乗務員による目視範囲に含まれると推測される。

### ③.2.6 5番線シミュレーション結果 HD カメラで乗降監視エリア全てをカバーした場合

図 4.4.1.2(6)-29)

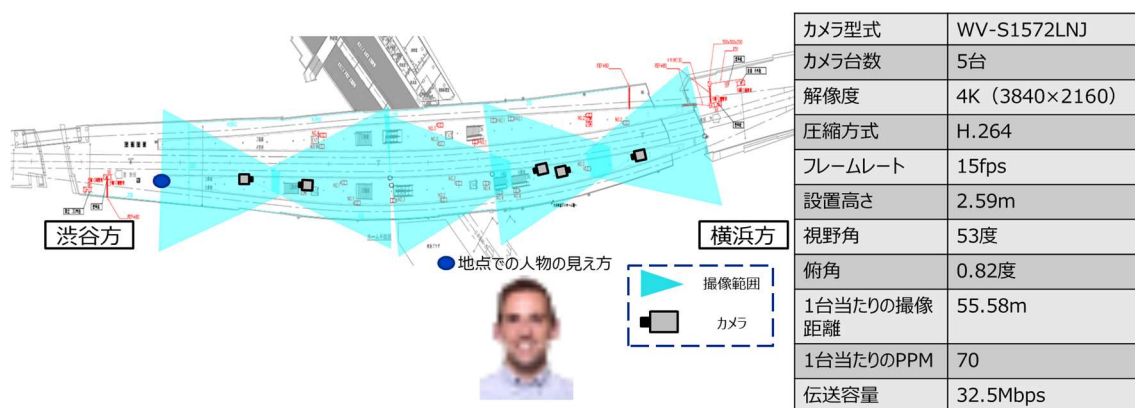


#### 【考察】

- HD カメラのみで AI 判定可能な乗降監視エリア全てをカバーした場合、カメラ台数は 14 台必要である。
- 4 番線と比較し外側のカーブで隠蔽される箇所があり、将来的に AI が判定する場合はなるべくホームを平行に捉えられるようカメラを設置する必要があると推測される。
- 伝送容量も既設カメラと比較すると 3 倍となる。
- 配線施工コスト、設備数増加による保守の負担を考慮すると現実的ではないと考えられる。

### ③.2.7 5番線シミュレーション結果 4K カメラで乗降監視エリア全てをカバーした場合

図 4.4.1.2(6)-30)



【考察】

- ・ 4Kカメラを使用した場合、4番線と同じくカメラ5台で乗降監視エリア全てをカバーすることが可能である。
- ・ 1台当たりの撮像距離はHDカメラのおよそ2倍であった。
- ・ 4番線と比較し外側のカーブで隠蔽される箇所があり、将来的にAIが判定する場合、なるべくホームを平行に捉えられるようカメラを設置する必要があると推測される。
- ・ 伝送容量が既設の10.8倍となるため、大容量で安定した通信網の構築が必要不可欠である。

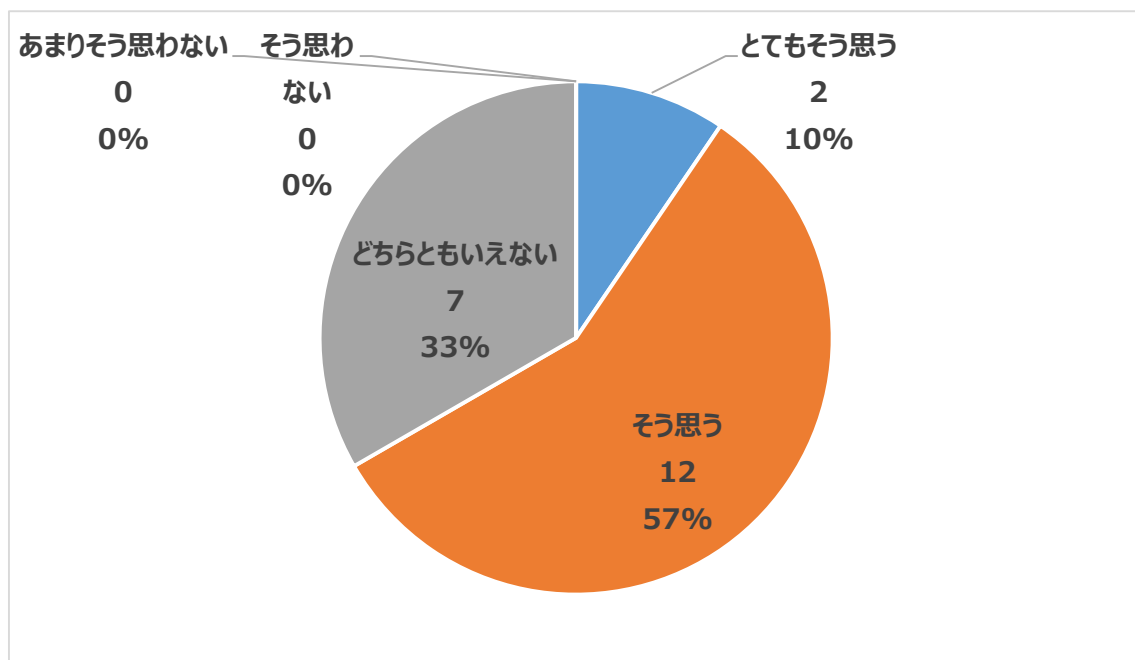
【定性面①】 判定結果表示機能（フレームレート、画質、表示情報等）

アンケート結果

設問：タブレット端末の画面レイアウトは分かりやすいですか？

（4分割表示、1画面表示両方の画面レイアウトを観点にご回答ください。）

図 4.4.1.2(6)-31)



【考察】

タブレットの画面レイアウト、表示情報については半数以上が分かりやすいと回答している。

4分割画面、1画面表示のシンプルな機能構成のほうが複雑な乗務員業務の中では組み込みやすいと想定される。

今後の機能拡張を検討する際は、運用中の画面上では余計な機能を増やさずシンプルな

UI 設計を行い、出発前の動作確認時に設定画面にて各種設定の変更を行うような仕様が良くと考えられる。

また、本課題実証においては 15fps で映像表示を行ったが、効果検証 定性面①での回答結果より、映像の遅延、画質は問題ないといった評価を多くいただいている。

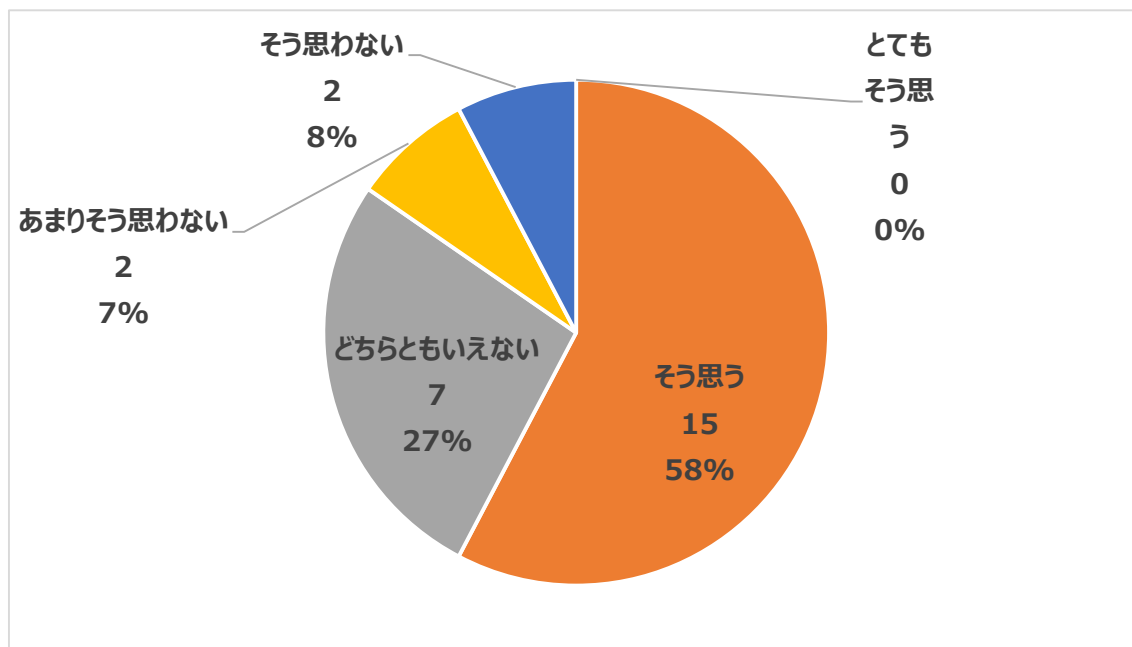
しかし、4K 映像を表示した際のメリットが今回のシステムでは実感しづらかったと想定されるため、将来的にはズーム機能を実装することで遠方の視認性向上が可能と考えられる。

#### 【定性面②】操作性などシステムに係わる動作全般

#### アンケート結果

設問：タブレット端末の表示は、路線名、駅名、カメラ名称、判定結果枠で十分ですか？

図 4.4.1.2(6)-32



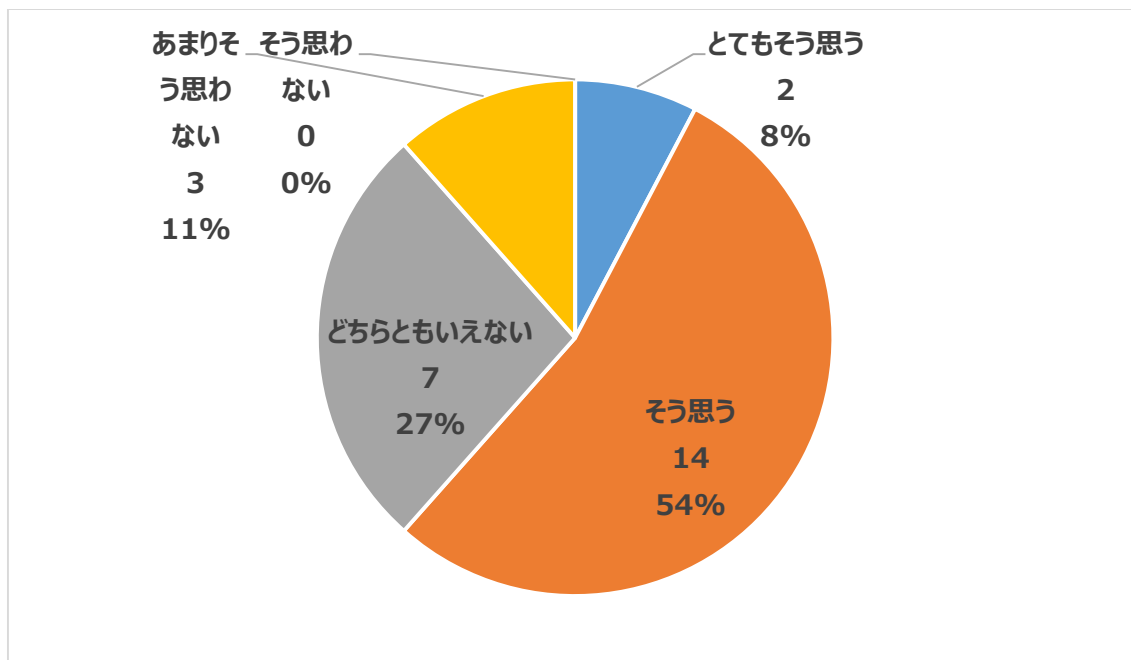
設問：「そう思わない」「あまりそう思わない」の方へ、タブレット端末で表示してほしい情報、不要な情報、表示方法を変更してほしい情報をお聞かせください。

#### 回答

- ・判定結果枠はもう少し大きい方が見やすいと感じた
- ・タブレット端末で表示する必要性はないかも知れませんが、目視範囲をどこかに表示させないといけないのかなと思います
- ・ドアを閉扉するタイミングや判断基準は個々に違いがあるので、表示方法についても色々なパターンを選択できるようにしてほしい
- ・号車表記があった方がわかりやすい
- ・運用するにあたり、路線名や駅名の有無や、上下線または番線の表示も含めて再検証が必要と思われる

設問：タブレット端末の単画面・4画面表示切替えは、機能として十分ですか？

図 4.4.1.2(6)-33)



設問：その他、タブレット端末に必要な機能、操作などがございましたらお聞かせください。

回答

- ・調光の調整（夏場と冬場、晴と雨、朝と夜）
- ・コントラスト対応（明暗機能）
- ・バッテリー容量、一交番持つのか
- ・AIにより、乗務員が画像上確認できない部分で赤表示されている場合、どの部分がNGなのかピンポイント表示ができると現場確認が行いやすいと感じる
- ・1/15 判定以外はあまり違いを感じなかった
- ・4分割でどこか一か所でもNGの場合は、全体枠を赤くするなどなれば良いかと
- ・今後、音（チャイム音等）を出す機能は無いほうが良いと考える
- ・タブレット端末の中で、指を使って各カメラ画面の拡大・縮小ができると使いやすいかと思う

#### 【考察】

タブレット端末の操作性については機能検証 定性面①にて述べた通り、4分割画面、1画面表示のシンプルな機能構成のほうが複雑な乗務員業務の中では組み込みやすいと想定される。

また、タブレット端末の表示は、路線名、駅名、カメラ名称、判定結果枠で十分か？といった設問に対しては半数以上が「とてもそう思う」「そう思う」と回答している。



「そう思わない」「あまりそう思わない」と回答した人の意見としては目視確認範囲の表示、判定結果表示方法の設定が追加が必要といった意見が挙げられた。現時点での UI 設計はそのまま残し、別画面にて設定用の UI を組み込むことも検討が必要と考えられる。

パフォーマンス部分の問題として、本運用に組み込まれた際バッテリーが 1 回の項番で持つかどうか懸念事項として挙げられる。東横線での運用を想定した場合、複数会社の列車が乗り入れる東横線では予備バッテリー、故障時の予備端末搭載の可否なども検討が必要と考えられる。

追加機能としての要望として多かったのはコントラスト機能とズーム表示機能であった。異常時の状況確認に有効と推測される。

今後の展開検討ではタブレット端末上での追加機能、AI 判定時の追加機能についても検討する必要があると考えられる。

### 【定性面③】システム拡張性の検討

後述の運用検証「乗務員業務の変化」にて詳細を述べるが、乗務員が ITV モニタ+タブレット画面に表示された AI 判定結果を確認し閉扉可否判断を行うことは困難である。

したがって、判定結果は既設の ITV モニタへの表示、またはタブレット端末にて乗降監視カメラ映像を 4 分割画面表示し併せて判定結果表示を行う必要がある。

また駅係員は閉扉判断後、赤色旗を振り閉扉合図を行った後、異常時以外旗を降ろすことは無いが、AI は乗降が続く限り判定を行い続ける。

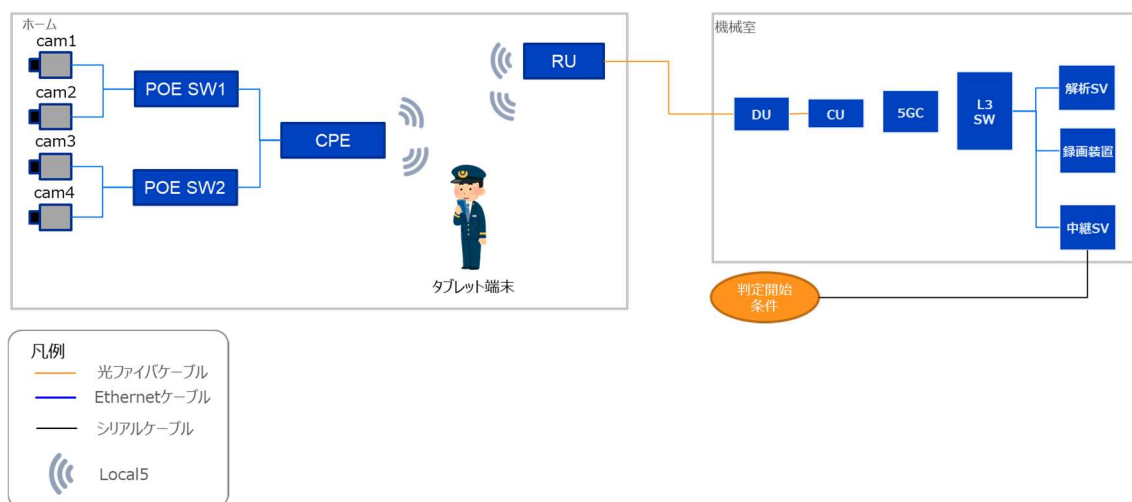
判定結果はあるタイミングで固定する必要があると想定される。

また、判定結果を固定する場合、一度判定結果を固定した後、乗降が発生した場合の扱いについては閉まった後に再開扉するアクションが重要である。

閉扉後の扱いについては東急電鉄独自で実証予定の「出発可否確認」にて今後協議していく。上記を考慮しシステム構成検討を行う。

#### ③.1. 将来システム構成検討

図 4.4.1.2(6)-34



将来的なシステム構成としては上記のような構成が考えられる。

乗務員はタブレット端末を使用し、4分割表示された映像を見て車両ドア閉判断を行う。駅係員確認範囲においては、本課題実証にて使用したAIによる判定結果を確認する。

サーバは判定処理のリアルタイム性を考慮しオンプレ型が理想である。

また車両ドア閉判断をどのタイミングから開始するかについては、判定開始の条件を別途取得する必要があると考えている。

現段階で検討中の判定開始条件を以下に示す。

1. ホームドア開閉条件
2. 発車ベル鳴動条件
3. 列車到着条件

### ③ 2. タブレット運用イメージ

前述のアンケート結果より、路線名、駅名表示の有無は検討が必要である。また、カメラ名称ではなく号車表記のほうが分かりやすいといった意見もあった。

画面レイアウトとしては本課題実証にて採用したイメージから大幅な変更は不要と想定される。

現地では「追加機能として、閉扉 NG が続いた場合に、ズーム表示できるような機能が欲しい」といった意見も乗務員経験者よりいただいた。

また、将来的には東急電鉄独自で実証予定の「出発可否確認」による判定結果も同じように緑枠、赤枠での表示が分かりやすいと考えられる。今後の追加機能としては以下を想定する

1. タブレット画面上でのズーム機能
2. 「テロップ OFF/ON」ボタンによる、駅名、番線、凡例表示の表示/非表示
3. 「出発可否確認」判定結果表示（扉挟み、もたれかかり人物の有無を検知）

図 4.4.1.2(6)-35)



#### 4.4.1.3 運用検証

##### (1) 評価・検証項目

あらかじめ実運用を想定して運用作業の洗い出しを行い、運用検証を実施した。実証を通じて、運用面に関する課題の抽出・解決策の検討を行い、特に検査・巡視業務の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自動化する設備の拡充や運用方法などを網羅的に検討して、他の鉄道事業者への汎用性・拡張性にも配慮した。具合的な検証項目と検証方法は以下のとおり。

###### 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・検査の自動化については、運用方法が大切なポイントの一つとなる。自動化に置き換えていくプロセスを事前に検討することで自動化運用に向けた動きを停滞させないよう社内検討および他の鉄道事業者へヒアリングを行い、運用方法を検討した。

###### 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、保守人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、検査対象ごと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実施した。

###### ④ 普及展開の方針

労働人口減少や保守員の高齢化については、当社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) 評価・検証方法

評価・検証方法を下表(4.4.1-23)に示す。

表 4.4.1.3(2)-1) 評価・検証方法

| 評価項目            | 概要   | 検証方法                           |
|-----------------|--|--------------------------------|
| モニタリング対象設備の拡充   | モニタリングの結果から更なる拡充が可能か                                       | 保守員・AI ベンダへのアンケート              |
| 運用方法の検討         | 高度化に向けたプロセス、運用イメージの検討しておくことで、自動化後の動きを円滑にできるか               | 保守員へのアンケート、および他鉄道事業者へのヒアリング    |
| 業務オペレーションを通じた検討 | 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 | 保守員へのアンケート                     |
| 普及展開の方針         | 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               | 他鉄道事業者への普及展開を検討してステップ毎の目標を定義する |

### (3) 実証結果及び考察




#### (ア) モニタリング対象設備の拡充

本実証にて、優先順位の高い5つをモニタリング対象の設備として選定したが、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、保守員・AI ベンダから行ったヒアリング結果を下記に記す。

#### 【保守員】

本実証以外にも鉄道線路内設備には主に電路設備、信号保安設備、踏切保安設備、軌道設備、土木建築設備に分けられ、他設備への展開は十分考えられる。今回は列車の前面にカメラを設置して撮像データをAI解析しているが、列車前面のカメラからは撮像範囲に入らない設備も多々あるため、全ての設備を網羅するには前面に加えて上下左右からの撮影が実運用に向けては必須となる。また、画像だけでは判別がつかない設備については振動や音による異常検知を視野に入れ、効率化・自動化に向けて検討を深度化させていく。

表 4.4.1.3(3)-1) 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     |
| 信号保安設備 |  | レール付属物の取付状態  |
| 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】

モニタリング対象設備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。

| 観点   | 対応方針  |
|--|---|
| <p>屋外の異常検知</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・屋外では景色等の状況が大きく変化するため、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</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・予め異常の外観が明らかなものについては、所謂物体検出アルゴリズムで対応</li> <li>・想定外の異物などについては、画像の前処理や継続的な正常画像の更新などにより、状況変化の影響を抑制して異常検知アルゴリズムの適用を検討</li> <li>・異常状態の条件をルール定義できる場合には、AI だけでなくルールベースも組み合わせ</li> </ul> |
| <p>データの収集</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・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</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・対象設備／点検・巡視項目ごと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</li> <li>・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</li> </ul>  |
| <p>学習データの確保</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・画像処理などを組み合わせ、学習データを増幅</li> <li>・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</li> </ul>  |

#### (イ)運用方法の検討

現在の鉄道設備目視検査を AI などによる異常検出に置換が可能か、他の鉄道事業者を含めてのヒアリング結果を以下に記す。

#### 【当社】

今後、定年退職や少子化の影響から当社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リソース不足が懸念されている。本実証での AI 検出については今後さらなる精度向上が課題となってくる。AI 検出の精度は保守員の目視検査と 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、現状の目視検査で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安全性が向上するという意見が出た。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。保守の自動化を目指すには、①現状の目視検査、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 4.4.1.3(3)-1) 高度化へのステップアップ



#### 【他鉄道事業者】

他社でも当社と同様の課題を抱えており、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員が現地確認をして、AI 判定と保守員判定を組み合わせることで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。全てを AI に移行すると技術伝承の観点から保守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員には必要条件となってくる。

#### (ウ)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、事務所と現場で分けをして比較、効率化が図れるか検討した。

上記に記す通り、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 4.4.1.3(3)-2) 現状と自動化の業務比較フロー

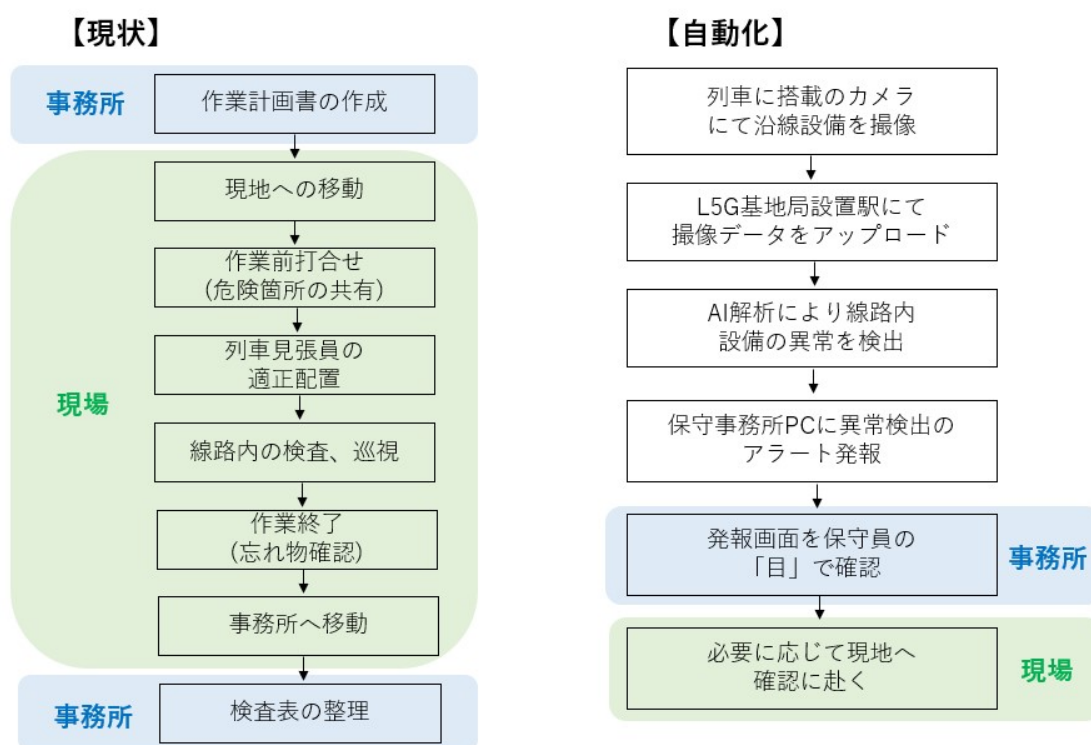


表 4.4.1.3(3)-2) 各方面の現状と自動化の比較

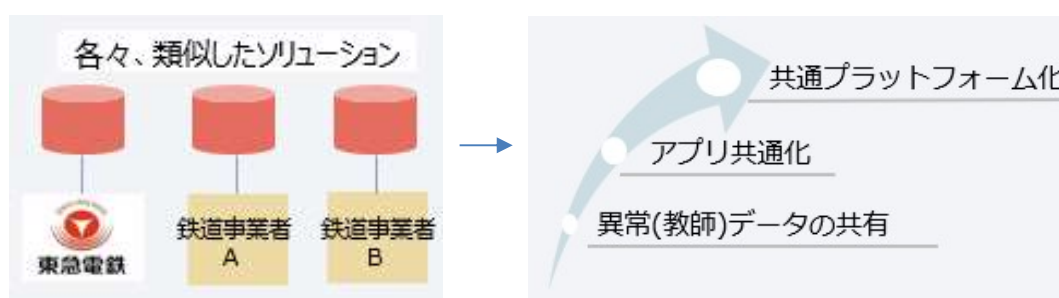
|       | 現状   | 自動化  |
|-------|--|--|
| 作業面   | 線路内設備を担当毎に線路内にて検査・巡視を実施している                        | AIによる異常検出を確認して、必要により現地に赴く  |
| 労働環境面 | 夏場の猛暑時期や荒天時も線路内での作業が発生するため、保守員の労働環境の負担となっている       | 必要により現地確認を行うので、線路内作業の頻度が大幅に減少し、労働環境の改善に期待できる                         |
| 安全面   | 保守員が営業時間内に線路内で作業を行うため、列車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 |



#### (エ)普及展開の方針

当社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事が現状である。当社としては、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)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 4.4.1.3(3)-3) 普及展開の方針



#### ◇高精細カメラとAIを活用した車両ドア閉扉判断の高度化

##### (4) 評価・検証項目（車両ドア閉扉判断）

実運用を想定して運用作業の洗い出しを行い、運用検証を実施する。実証を通じて、運用面に関する課題の抽出・解決策の検討を行う。特に、閉扉可否判断の自動化に伴うオペレーションの変更や改善策、他設備や情報システムへの影響等を明らかにするとともに、今後、他の駅合図要員配置駅にローカル5Gを活用した課題解決システムを導入するにあたり、新たに自動化することによる駅の現場管理者や運用者が取り組むべき安全対策、リスク低減策、運用方法などを網羅的に検討した。検討にあたっては、他の駅への汎用性・拡張性にも配慮する。運用検証項目について、以下4項目を軸に検証を実施した。

##### 定性面① 駅業務における負担の軽減

現状、自由が丘駅では駅合図業務に7人/日を割かれており、駅運用業務の大きな負担となっている。

また、駅合図業務に際して、駅係員の教育には時間を要する。加えて、誤って扉挟みが発生してしまった場合の精神的な負荷は大きい。

閉扉可否判断自動化による駅合図要員削減、技術伝承時間の削減、駅係員の業務負荷軽減効果を確認するとともに、閉扉可否判断を自動化することによる駅の現場管理者や運用者が取り組むべき安全対策、リスク低減策、運用方法など、運用上の課題の抽出、及び改善策を検討した。

#### 定性面② 乗務員業務の変化

既設システムにおけるアナログカメラ映像では視認性に問題があり、夜間・日中のコントラスト不足による扉挟み等が問題視されている。

A I 画像解析による閉扉可否判断を実運用に組み込み、将来的に全カメラにて閉扉可否判断をシステム化した場合のオペレーションの変化を検証した。

運用を想定しタブレットアプリケーションの操作マニュアルを作成する。作成したマニュアルを元に課題実証を行い、記載不足箇所を洗い出し、マニュアルのアップデートを実施した。

#### 定性面③ 他駅への展開における有効性・実現性

最終的な実装時の利用環境や条件を想定したうえで、運用上支障となる問題を露出させ図 4.4.1.3-1 記載の他駅へ展開した場合どういった問題点が発生するかを検証した。

#### 定性面④ 保守運用における課題検討

ハード・ソフト両面における保守運用の課題を抽出するとともに、運用支障が発生した場合の対応方、東急電鉄、ソリューションベンダの体制について検討した。

具体的な検証項目を下表（表 4.4.1.3(4)-1）に示す。

表 4.4.1.3(4)-1) 具体的な検証項目

| 評価項目                | 検証項目           | 概要   |
|---------------------|----------------|--|
| ・ 定性面② 乗務員業務の変化     | 現場の機器習熟難易度     | 機器を入れただけで使いこなせない可能性がある。全員共通の使い方マスターを目標とし、最適なUIデザイン・マニュアルの整備を検討した。  |
| ・ 定性面② 乗務員業務の変化     | オペレーションへの影響    | 現状の運用ではホーム上に設置された乗降監視カメラ映像を確認し、閉扉可否判断を実施している。<br>本検証ではタブレット端末への映像表示を想定しているため、現行オペレーションへの影響・実運用における課題を確認した。 |
| ・ 定性面① 駅業務における負担の軽減 | オペレーションへの影響（駅） | 駅業務において、駅合図要員の省人化を行った場合のオペレーションの変化、駅業務負荷の変化を確認した。  |
| ・ 定性面④ 保守運用における課題検討 | 保守運用の難易度       | 画像解析技術の保全について、メンテナンス体制、頻度、作業内容等検討する。<br>カメラやサーバ、その他機器の保全について、メンテナンス、修繕体制、頻度を検討した。                          |

|                                |            |  |
|--------------------------------|------------|--|
| <p>・定性面③ 他駅への展開における有効性・実現性</p> | <p>汎用性</p> | <p>本検証にて実施したAI画像解析による閉扉可否判断を他駅へ展開した場合の汎用性を確認した。(天候、光、カーブ駅における影響など)</p> |
|--------------------------------|------------|--|

### (5) 評価・検証方法（車両ドア閉扉判断）

具体的な評価・検証方法を下表（表 4.4.1.3(5)-1）に示す。

表 4.4.1.3(5)-1) 具体的な検証項目

| 評価項目  | 検証方法                 | 概要   |
|---|----------------------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定性面② 乗務員業務の変化</li> <li>・ 定性面① 駅業務における負担の軽減</li> </ul>          | アンケート                | 課題実証担当者（乗務員経験者）へのヒアリングにより本検証にて使用した閉扉判断結果通知方法が運用に耐えうるか確認した。 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定性面④ 保守運用における課題検討</li> <li>・ 定性面③ 他駅への展開における有効性・実現性</li> </ul> | 現地におけるソリューションベンダとの会話 | 現地検証を通し、他駅へ展開した場合の外的要因の影響（天候、光、カーブ駅における影響など）を検証した。         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定性面③ 他駅への展開における有効性・実現性</li> </ul>                              | 現地におけるソリューションベンダとの会話 | 他駅に展開する場合の各駅での条件整理や乗務員経験者へのヒアリングを実施し課題・対策の整理を実施した。         |

#### 検証条件

1. 画像解析で使用する AI はパナソニックにてすでに所有する「閉扉可否確認の自動化」技術を使用する。精度、機能保証及び実験終了後の改修・改造は実施しない
2. 通信速度計測の際、4K カメラ内で処理する映像変換にかかる時間は測定不可のため計測対象外とする
3. 各実証実験に際しては課題実証担当者（乗務員経験者）がタブレット端末を携帯し 4K カメラ映像及びドア閉解析結果通知を確認・評価する

#### アンケートの実施方法

アンケート対象者は以下の通りである。

- ・ 課題実証担当者（乗務員経験者）

現地にてタブレット端末を操作し、判定結果表示のタイミング、UI の操作性について評価する。課題実証担当者にて実機を操作し現地評価、フィードバックを実施。

フィードバック結果をもとに再度 AI チューニングを検討。

アンケートは評価用データセットを元に回答

実施時期：2022 年 1 月 5 日～1 月 18 日、2022 年 1 月 28 日～2 月 4 日

実施時間：半日

※評価用データセットは動画データを含むため別添にて提出予定

今回、新型コロナウイルス感染拡大予防の観点から現地での確認は最小限に抑えたが

総勢 27 名の課題実証担当者（乗務員経験者）にアンケート回答頂くことができた。

#### アンケート項目

運用検証に際して実施したアンケート項目を下表（表 4. 4. 1. 3(5)-2）に示す。

表 4. 4. 1. 3(5)-2) 運用検証に際して実施するアンケート

| 対象  | 評価項目         | アンケート設問内容   |
|---|--------------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 課題実証担当者<br/>(乗務員経験者)</li> <li>・ 乗務員</li> </ul> | 乗務員業務の変化     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 操作マニュアルを読んでタブレット端末を操作できますか？<br/>(閉扉可否タブレット操作マニュアルを参考にご回答ください)</li> <li>・ タブレット端末のみで扉を閉める判断を行う運用を開始する場合、乗務区全体での運用の習熟期間はどれくらい必要ですか？</li> </ul> |
|   |              | <ul style="list-style-type: none"> <li>ツーマン線区全駅にて本システムの運用方法を実際の運用に取り入れることは可能だと思いますか？（車掌がタブレット端末のみで閉扉を行う運用を想定してご回答ください。）</li> <li>本システムを実際の運用に取り入れた場合、運用可能な時間帯をお聞かせください</li> </ul>     |
|   | 駅業務における負担の軽減 | <ul style="list-style-type: none"> <li>ITV モニタの代わりに本システムのタブレット端末で閉扉操作を行った場合、駅係員合図の代替となりますか？<br/>(現時点でのリアルタイム性、判定結果の正確性、判定結果のちらつきの観点から総合判断してご回答ください。)</li> </ul>                       |

## (6) 実証結果及び考察（車両ドア閉扉判断）

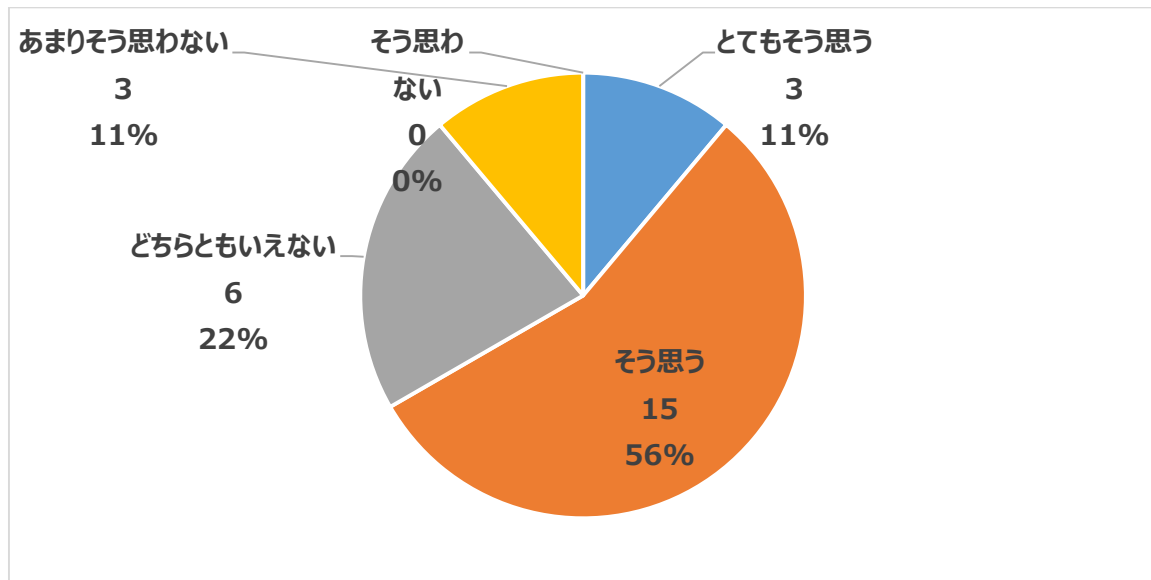
### ① 駅業務における負担の軽減

#### アンケート結果

設問：今後の運用にて運転士がタブレット端末を確認して扉を閉めることは可能だと思いますか？

（運転士がタブレット端末のみで閉扉を行う運用を想定してご回答ください。）

図 4.4.1.3(6)-1)



設問：「そう思わない」「あまりそう思わない」にチェックした方にお聞きします。

改善すべき点をお聞かせください。

回答

・既存の車載 ITV よりも画面サイズが小さくなるようであれば、視認上厳しいのではないかと

既存のシステムよりは格段に画質は良くなると思われるが、設置場所による西日等、映り込み対策は必須だと考える

・タブレットでは、4分割だと画面が小さくて、見にくいという人が出てくるのではないかと。可能であるならばITVカメラの保守費の削減などメリットが大きいと思う

・ホームの状況を肉眼で確認できない中では難しいのではないかと

#### 【考察】

効果検証でも記載したが、ホーム案内が削減されることで約5交番の削減に寄与できると推測される。

他駅でも同程度の削減効果が見込めた場合、35 交番分の削減効果が期待できる。

しかし、後述の保守運用における課題検討にて記載するがハード・ソフト故障時は、一時的に駅合図要員による対応が必要不可欠と想定されるため、駅合図要員の教育にかかる時間削減は見込めないと考えられる。

また、「今後の運用にて運転士がタブレット端末を確認して扉を閉めることは可能だと思いますか？」といった設問では半数以上が可能であると回答している。

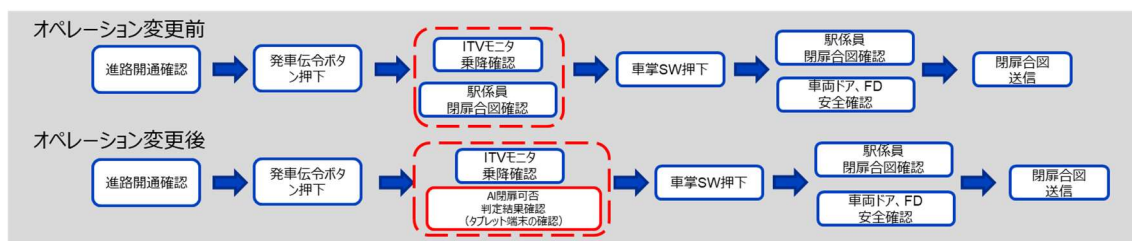
タブレット端末での運用が実現した場合、地上設備の削減につながり保守・点検業務の負担軽減も可能であると想定される。

## ②乗務員業務の変化

### ②.1 業務フローの変化 課題実証システムの流用

今回開発したアプリケーションを現運用へ移行した場合のオペレーションは以下の通りである。

図 4.4.1.3(6)-2)



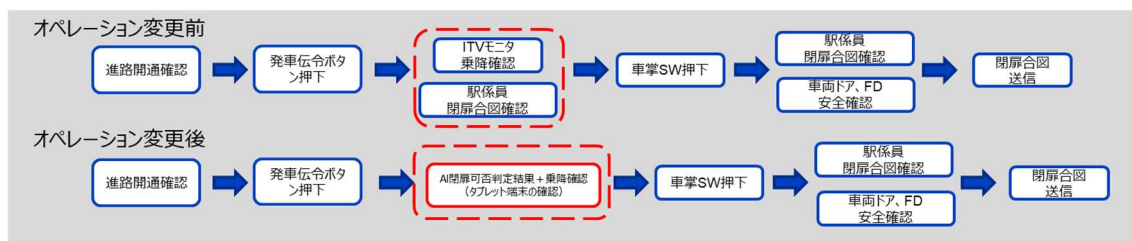
#### 【考察】

本課題実証にて開発したシステムをそのまま流用した場合、既設 ITV 映像（4 台）＋タブレット端末を確認する必要がある。

車掌が確認できるモニタの最大数は 4 台までのため、このままのシステムを運用に組み込むことは困難である。

今回開発したアプリケーションに表示された映像のみで閉扉可否オペレーションを行った場合は以下の通りである。

図 4.4.1.3(6)-3)



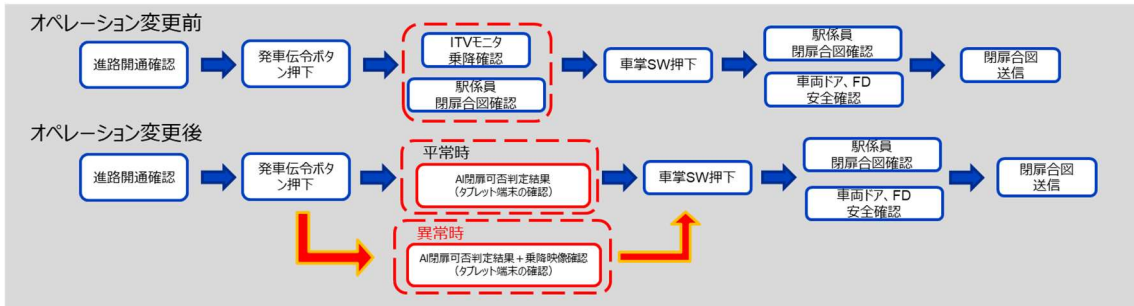
#### 【考察】

今回開発したアプリケーションのみで乗降確認、駅係員確認範囲における閉扉可否判断を実施した場合、ITV モニタによる乗降確認が不要となり、地上設備を削減することが可能である。

しかし、タブレット端末上で 4 分割表示された映像では画面が小さく画面奥の人物の乗降を車掌が映像を見て判断することは困難と想定される。

今回開発したアプリケーションに表示された映像は異常時のみ確認し、平常時は AI 閉扉可否判定結果のみを確認する運用の場合は以下の通りである。

図 4. 4. 1. 3(6)-4)



【考察】

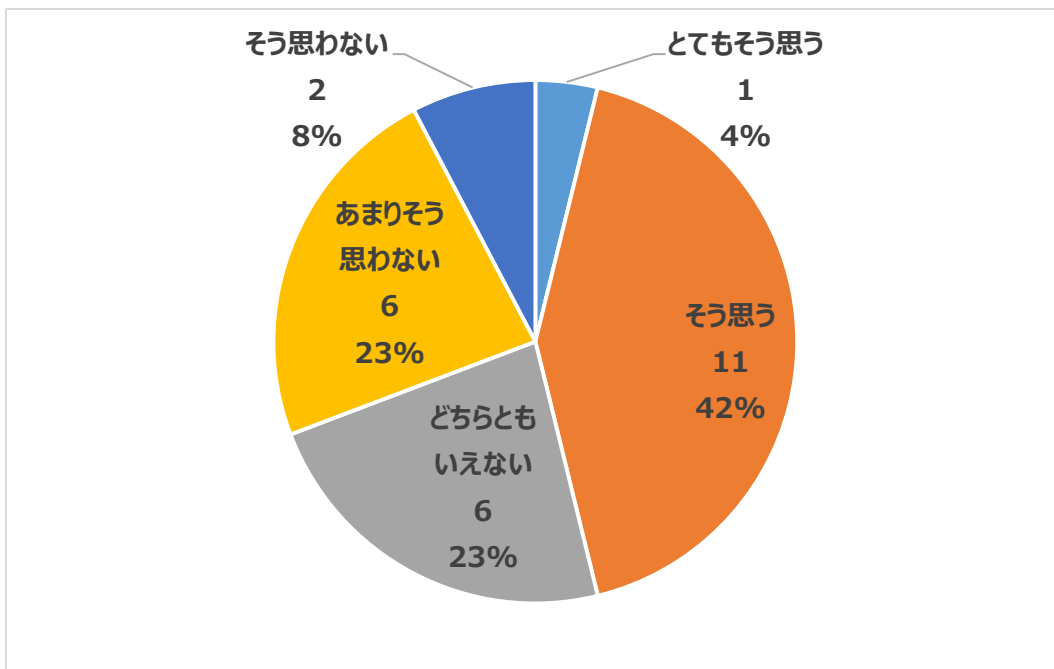
平常時は AI 閉扉可否判定結果のみを確認、異常時はアプリケーションに表示された映像を確認する場合、乗務員は常に映像を見る必要が無く、業務負荷の軽減を行うことが可能であると推測される。

また、1 度に 4 分割された映像を確認する必要は無く、異常が発生している扉付近を撮影したカメラを選択し 1 画面表示が可能のため、乗務員が素早く異常に気付くことができ、安全性の向上へつながると想定される。

②.2 アンケート結果

設問： ツーマン線区全駅にて本システムの運用方法を実際の運用に取り入れることは可能だと思いますか？（車掌がタブレット端末のみで閉扉を行う運用を想定してご回答ください。）

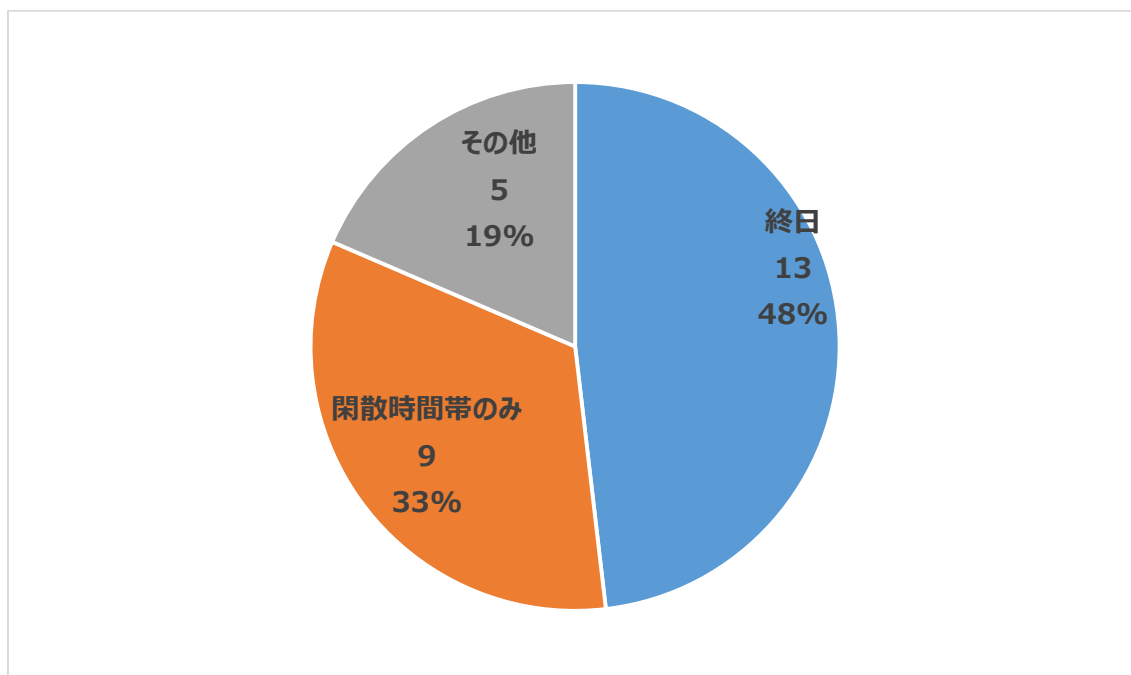
図 4. 4. 1. 3(6)-5)





設問：本システムを実際の運用に取り入れた場合、運用可能な時間帯をお聞かせください。

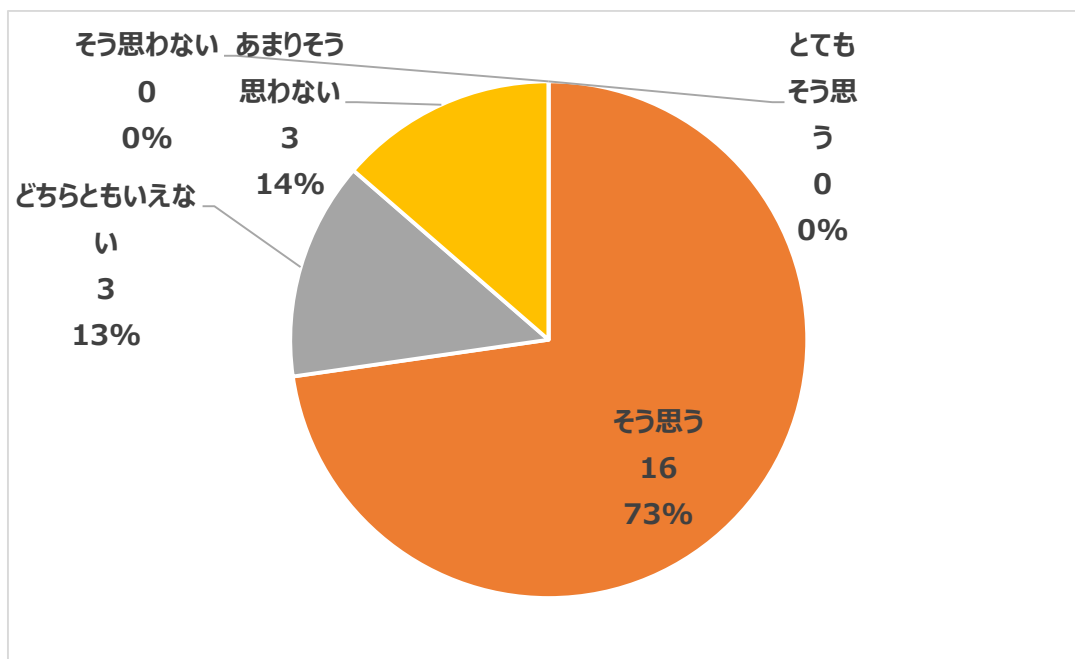
図 4.4.1.3(6)-6)



設問：操作マニュアルを読んでタブレット端末を操作できますか？

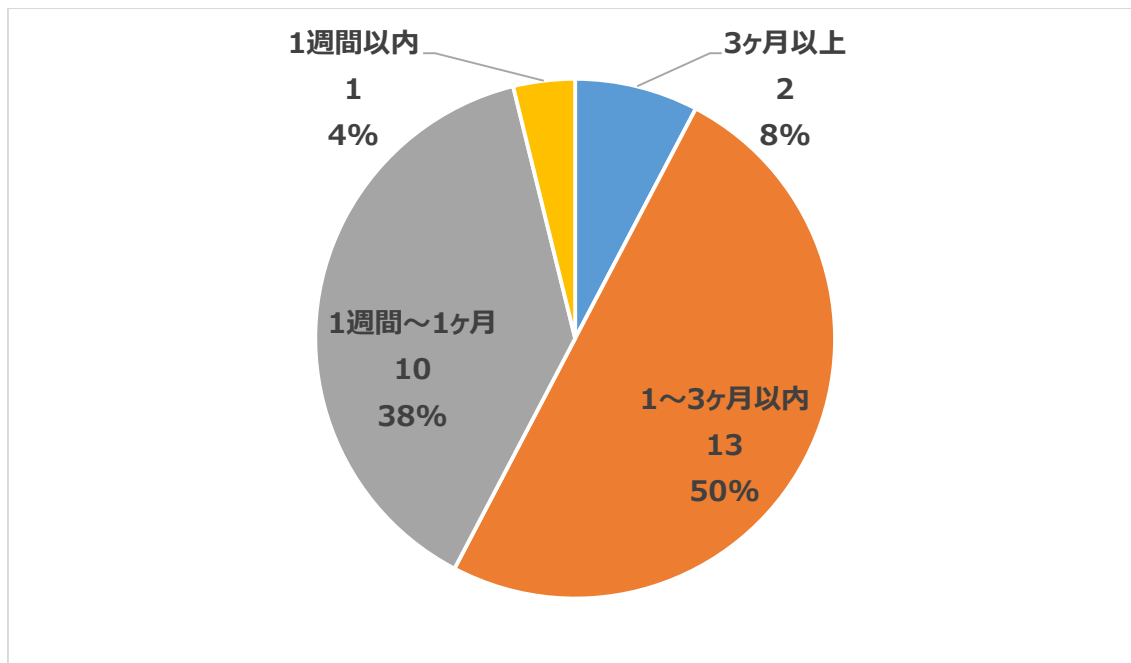
(閉扉可否タブレット操作マニュアルを参考にご回答ください)

図 4.4.1.3(6)-7)



設問：タブレット端末のみで扉を閉める判断を行う運用を開始する場合、乗務区全体での運用の習熟期間はどれくらい必要ですか？

図 4.4.1.3(6)-8)



設問：今後の運用で本システム以外に必要な機能がありましたらお聞かせください。

回答

・ドア開閉時に事故や取扱いミスが発生したときに、運転士・車掌がどのタイミングで開扉・閉扉したのかバックアップが取れるようにした方がよい

システムのエラーやシステムのルールを守って作業したのにも関わらず事象が発生したときに、乗務員、従業員を守るように

・将来的に自動で閉扉する場合は個別ドア操作機能が必要と考える（ホームドア連動の改修が必要）

・機能的には十分かと思う

・抑止や出発合図との連動が必要

・信号、標識を確認せず、出発時間前にドアを閉扉するリスクがあるので、

画面に信号、標識の表示をして視線を移さず一画面で確認できる画面構成が必要と考える

・本社員のホーム案内応援時、何かの対策が必要かと思った

・実際に運用するにあたっては映像や画質、AI判定等だけでなく、設置する場所によって影響度が異なると思う

設置場所にもよるが、ホーム上に設置されているITVと比べどうしても視線の移動量が大きくなるため、不測の事態に際して即座に対応できるかが心配である

・ドアで異常発生時、当該ドアのドアNo表示と画面がクローズアップできる機能

設問：従来の運用に関する課題がございましたら、お聞かせください。

回答

- ・従来の運用に加えて、タブレット端末を持って業務に就くのはきびしい  
ワンマン線区の場合はタブレット端末を設置する場所も課題。他社車両との調整も課題
- ・既存 ITV モニタは太陽の光線により、モニターの視認性に影響が出ることがある（期間は1年中、同じ時間でもなく季節にもよる）
- ・どこの号車が映っているか、経験者でないとわかりにくい
- ・ホームが狭い箇所では混雑時、お客さまがドア付近にいるため表示があおる  
AI の場合、お客さまの進行方向、動作の速度で判定ができればよいのではないか
- ・画面の大きさが大きい分、人間が異常を見やすいので、画面を見て人間が閉扉する場合は、画面の大きさが大きい方が閉めやすい

#### 【考察】

前述した定性面① 駅業務における負担の軽減の今後の運用にて運転士が本システムを実際の運用に取り入れることは可能かという設問では、肯定的な意見が 67%であったにも関わらず、ツーマン線区で車掌が本システムを実際の運用に取り入れることは可能かという設問に対し、肯定的な意見は 48%であった。理由としては、前述したとおり本課題実証にて開発したシステムをそのまま流用した場合、ツーマン線区では既設 ITV 映像（4台）+タブレット端末を確認する必要があり、このままのシステムを運用に組み込むことは困難であるからと推測する。

実際に、従来の運用に加えタブレット端末を持って業務に就くのはきびしいという意見や、視線の移動を最小限する工夫が必要という意見も頂いた。

また、実運用に組み込まれた場合のタブレット操作難易度は低く、習熟期間としては1週間～3カ月以内といった回答が大半を占めた。

タブレット端末自体の操作が容易なため、運用への組み込み、仮運用を行ったとしてもそれほど大きな支障にはつながらないものと推測される。

タブレット端末の操作マニュアルについては非常に簡素なものであったが、もともとの機能が少ないためマニュアルを読めば機器を操作できるといった回答がほとんどだった。

また、本システムを実際の運用に組み込んだ場合どの時間帯であれば運用可能かといった設問では終日運用可の回答が約半数を占めた。

混雑時間帯の運用ではAI判定だけでなく、画像による確認が可能のためと推測される。

その他、本システム以外に必要な検討としては故障時のフェールセーフの仕組み、他システムとの連動などの意見が多かった。

現時点では判定開始のタイミングが定まっていないため、将来的にはホームドア、発車ベルとの連動を含めた検討は必要不可欠と想定される。

また、タブレット端末を持った状態での操作は通常業務に支障をきたす可能性があるため、車両内のどこかに固定する必要があると考えられる。

### ③他駅への展開における有効性・実現性

#### 他駅への展開における課題

駅合図要員配置駅の特徴を下表へ記載する。

各駅の特徴を元に次頁で AI 判定に影響すると想定される課題・対策を検討する。

図 4.4.1.3(6)-9)

| 路線    | 駅名   | 駅形状         | 特徴                     | 想定される影響   |
|-------|------|-------------|------------------------|---|
| 東横線   | 渋谷   | 地下駅         | 非常に混雑する<br>ホーム幅が狭い     | 混雑で人の乗降が見えない  |
|       | 中目黒  | 地上駅（屋根有）    | 日比谷線乗り換え               | 乗り換え時に人の流動が大きく変化する<br>太陽光の反射  |
|       | 自由が丘 | 地上駅（屋根有）    |                        | 太陽光の反射  |
|       | 白楽   | 地上駅（一部屋根なし） | カーブがきつい<br>一部屋根がついていない | 気象条件で駅の状態が変化する（雪が積もる、水たまりができる等）<br>傘を差した人物の判定<br>太陽光の反射、直接光<br>カーブがきつくカメラで見えない箇所がある |
|       | 横浜   | 地下駅         | 非常に混雑する                | 混雑で人の乗降が見えない  |
| 田園都市線 | 渋谷   | 地下駅         | 非常に混雑する                | 混雑で人の乗降が見えない  |
|       | 梶ヶ谷  | 地上駅（屋根有）    | カーブがキツイ                | 太陽光の反射<br>カーブがきつくカメラで見えない箇所がある  |

図 4.4.1.3(6)-10)

| 課題                                   | 今後の対策                                     |
|--------------------------------------|---|
| 混雑で人の乗降が見えない                         | 混雑時のAI精度確認の実施                             |
| 乗り換え時に人の流動が大きく変化する                   | 乗り換え時の流動をAI学習                             |
| 太陽光の反射、直接光                           | ハード面での対策<br>1.高性能カメラへの交換<br>2.カメラフードの取り付け |
| 気象条件で駅の状態が変化する。<br>（雪が積もる、水たまりができる等） | 各気象条件下でのAI精度確認の実施                         |
| 傘を差した人物の判定                           | 傘を差した人物に対するAI精度確認の実施                      |
| カーブがきつくカメラで見えない箇所がある                 | ハード面での対策<br>1.カメラの増設<br>2.カメラ取付位置の変更      |

#### 【考察】

本課題実証にて使用した AI を他駅展開した場合、駅形状、気象条件による影響が懸念される。また、カメラの映像自体に影響を及ぼすような事象についてはハード面での対策が必要不可欠である。今後は各条件下での AI 精度確認を行う必要がある。

#### アンケート結果

設問：その他、ご意見やご感想がございましたらご自由にお書きください。

#### 回答

・非常に正確な判定をしていると感じました。

一方で、お子さまの駆け込みに対して、検知範囲外であれば問題はないですが、範囲内であるなら、お子さまの認識の精度が上がれば良いと思います。

また、先読み機能等で、このタイミングならOKだと判定し、緑状態を数秒（3～4秒くらい）キープしていただければ閉扉を確実に行えれば、非常に閉扉する側としては助かると思われました。

さらに、扉が閉まった際、判定をしないで、閉扉完了時に支障があった場合、知らせる機能があれば見落としがなくなるのではと思いました。

・精度が上がれば実用化できると思いますが、現段階の出来栄だと実用できないと思います。

駆け込みや降り遅れ等でも判断でき、ドア挟みや事故につながらないことが大前提だと考えます。

特に今回の映像では、ホームドアの高さぐらいのお子さまが乗車するときに判定していないことがありました。

たまたまなのか、身長に関係しているのか定かではありませんが、ベビーカーや車いすご利用のお客さま単独のときにはしっかりと判定できるのか確認した方がよいと思います。

あとは、降り遅れの検証もした方がよいかと思いました。

・バッテリー容量が問題になると思われる。充電しないでも使用できる様、車載やAC電源を繋いでの使用など。

車両形式が多いので運転台の何処に置くのかも課題と考える。既に iPad mini を携行して乗務しているので、2台携行は負担であると思われる。

・AIの進化をととても感じた。ITVと比較してタイムラグもほとんどないですし、何より閉扉タイミングの正確性があると思います。

・鉄道はどちらかというところ保守的であり、現状を変更することに抵抗がある人が多いと思います。

しっかりとした現業への説明と安全性がポイントになると感じました。

・閉扉の判断をするにあたり、従来の車掌が行っているポイントと相違している箇所があると感じた

車掌は、点ではなく面で判断している。点で判断する車掌はお客さまを挟んでしまうこともある。

「一点に集中しすぎるな」と教育しているがAI判定は、車掌がやってはならない操作をしていると感じる。

この能力は車掌の「センス」であるが、AI判定の「センス」はどこになるのか？

#### 【考察】

アンケート全体を通じた感想部分で乗務員経験者の率直な意見を抽出することができた。現状の判定精度では満足できないといった意見がある一方、既設システムとのタイムラグ、閉扉タイミングの正確性について高い評価をいただくような回答もあった。

AIの判定精度については今後のアルゴリズム検討、パラメータチューニングにより最適化を図る必要がある。

また、利用者へのしっかりとした説明と安全性の担保が今後の課題となると考えられる。

#### ④保守運用における課題検討

ハード・ソフト両面における保守運用の課題を抽出するとともに、運用支障が発生した場合の対応方、東急電鉄、ソリューションベンダーの体制について検討する。

#### 課題

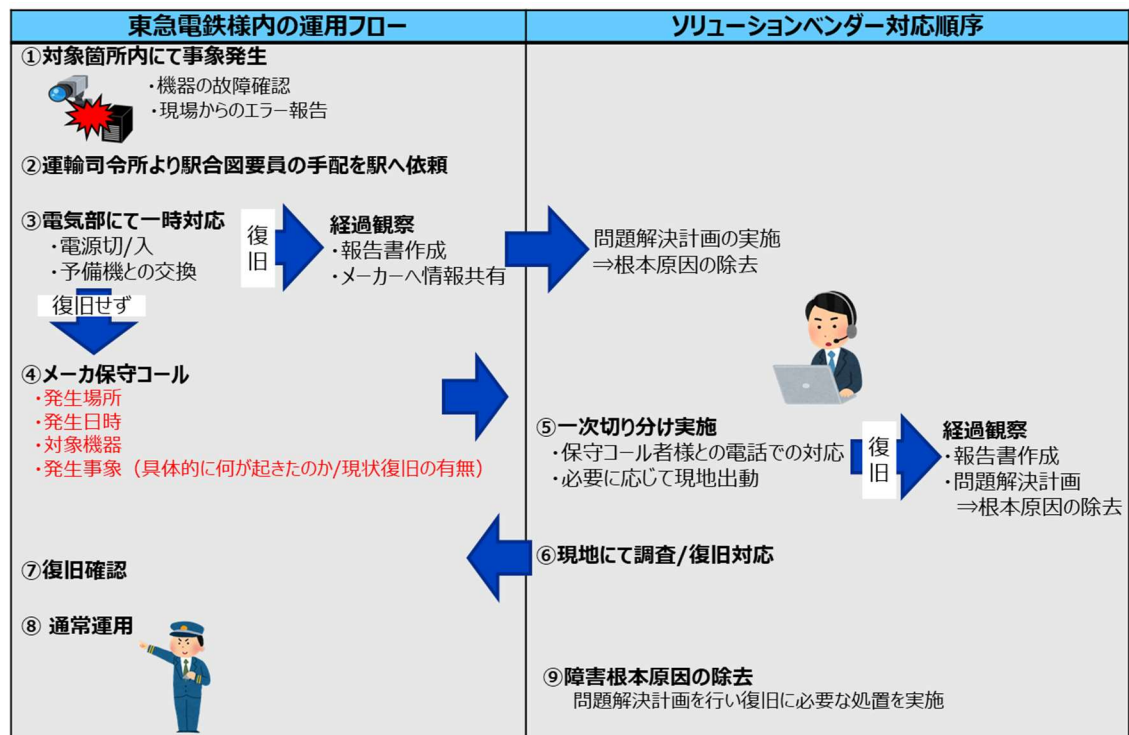
本システムを運用した場合を想定し、ハード・ソフト両面における保守運用時の課題、東急電鉄による対応を検討する。

図 4. 4. 1. 3 (6)-11)

| 分類   | 事象            | 東急電鉄による対応               | 課題  | 備考                             |
|------|---------------|-------------------------|---|--------------------------------|
| ハード面 | カメラ故障         | 電源切/入<br>機器交換           |   |                                |
|      | PoEインジェクタ故障   | 電源切/入<br>機器交換           |   |                                |
|      | サーバ不具合/故障     | 電源切/入                   | 復旧しない場合、メーカーによるログ解析、代替機への交換が必要<br>⇒24時間365日のメーカー対応とした場合<br>保守費用が大きい | サーバを冗長化することが望ましい<br>(ホットスタンバイ) |
|      | タブレット端末の故障    | 予備機への交換                 | 車内に予備機を常備する必要がある  |                                |
|      | LAN配線の断線      | 予備配線への切り替え              |   |                                |
| ソフト面 | 無線環境の不具合      | 駅係員による閉扉確認              | 駅係員が減らせない<br>⇒24時間365日のメーカー対応とした場合<br>保守費用が大きい                      |                                |
|      | AIが動かない       | 駅係員による閉扉確認              | 駅係員が減らせない<br>⇒24時間365日のメーカー対応とした場合<br>保守費用が大きい                      | AI判定部分の冗長化をすることが望ましい           |
|      | タブレットアプリが動かない | アプリケーションの再起動<br>予備機への交換 | 車内に予備機を常備する必要がある  |                                |
|      |               |                         |   |                                |

#### 運用支障時の対応フロー

図 4. 4. 1. 3 (6)-12)



#### 【考察】

ハード面での故障が発生した場合、東急電鉄での電源切入が一時対応と想定される。カメラ、PoE インジェクタ等の簡易な設備の場合、交換も可能と考えられる。しかし、サーバについてはキッティング作業が必要なためメーカー対応が不可欠である。また、影響範囲を縮小するためシステム本格運用時はサーバの冗長化を行うことが理想である。

AI 判定についても同様に冗長化を行うことが理想と考える。上記を考慮し故障時の運用フローは左記の運用を想定する。

故障発生時の一時対応は東急電鉄社内で実施し、ソリューションベンダーは 24 時間 365 日対応のコール受付を設けることを想定する。

ソリューションベンダーは必要に応じて緊急現地出動し、復旧作業に応じる。

#### 4.4.2 ローカル5G を用いたソリューションの実装性に関する検証

実証コンソーシアムは、本実証の終了後も構築したローカル5G を用いたソリューションの一部またはすべてを継続的に利用するべく、その方策を検討した。具体的な内容については、ユーザ企業である東急電鉄における継続的な実装計画に関する検討事項を4.4.2.1「ローカル5G 活用モデルの構築・検証」に記載し、他のユーザ企業等や他分野での課題解決に向けた検討事項を4.4.2.2「普及展開方策の検討」に記載した。

##### 4.4.2.1 ローカル5G 活用モデルの構築・検証

ローカル5G を用いたソリューションの確実な実装をめざし、実証コンソーシアムを構成する団体や企業（以下「実証コンソーシアム構成員」という。）の一部または全部が、以下4.4.2.1.1にて記載する観点から、ローカル5G を活用したソリューションを持続的に導入・利用するためのローカル5G 活用モデルの構築と検証を行った。具体的には、ユーザニーズやコスト等を踏まえた経済性、運用・管理等に係る仕組みや方法、機器の所有権や関係者間の契約の在り方、費用分担も含めた関係者間の役割分担等の体制、ビジネスモデル等、多面的な検討を行った。

継続利用する場合の運営体制や費用面（実証と異なる場合や変更する場合を含む）については、実証コンソーシアム内で実証期間中にも十分に協議・合意するとともに、ビジネスモデルの精緻化にあたっては実証コンソーシアム構成員以外の関連事業者や団体、潜在的ユーザ等への意見聴取や調査を実施した。

実装に至るまでの導入期において策定する資金計画については、資金確保に向けた具体的な方策、実装までの計画、取り組み内容を4.4.2.1.2に記載する。

また、想定される課題と対応策については4.4.2.1.3に記載する

##### (1) 4.4.2.1.1. 実証コンソーシアム構成員各社における検討

###### ① 東急電鉄及び住友商事における検討

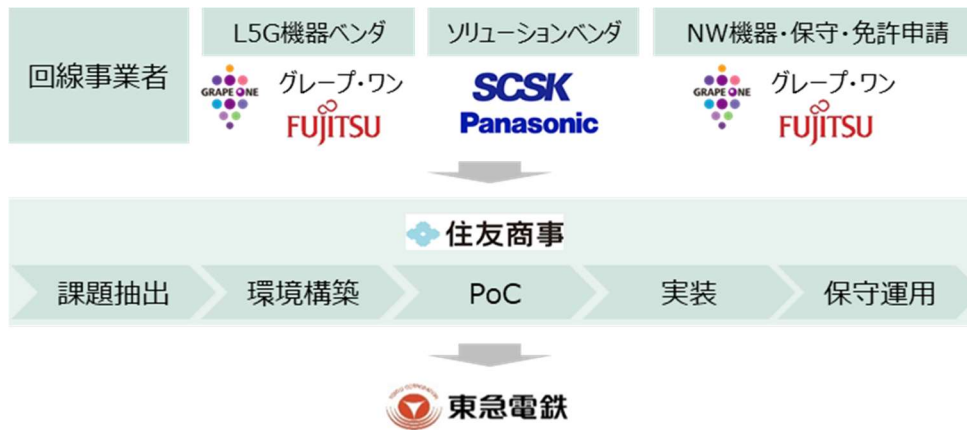
今回の開発実証において、東急電鉄と住友商事は共に東横線・大井町線自由が丘駅に構築する課題解決システムの持続可能な事業モデルを検討、将来的な実装計画に関する検討を実施。東横線・大井町線沿線の他駅や、別路線への将来的な展開を想定し、汎用性の高いモデルの構築を目指し、検討を進めた。

具体的な事業モデルとして、住友商事が東急電鉄に対するサービス提供者となり、各ベンダーの製品・サービスを一括提供することを前提に検討を進めた。

課題実証における成果をもとに、令和4年度以降も上記事業モデルを前提に継続実装・追加検証を進める予定。また、同スキームをモデルケースとして、ほか電鉄事業者への展開についても検討を進めており、詳細は4.4.2.2章を参照。

図4.4.2.1.1-1 ビジネススキーム イメージ





ー実装対象となるシステム及び、実装に足るビジネスモデル

(1) 実証対象となるシステム

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である高精細カメラとAIを活用した車両ドア閉扉判断ソリューションと、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に利用したシステムが実装対象となる。22年度も継続利用する自由が丘駅のローカル5Gにおいて、AI精度改善等の商用化に向けた検討を行う。本実証実験では夏場に撮影した学習データで構築したAIモデルを用い、冬場で実証実験を行った結果、AI精度が商用化には程遠い結果となってしまったが、その後当該学習データに対し、コントラスト調整等により200枚から5000枚まで水増し対応した事により、AI精度は商用化を目指せるレベルまで改善したことを確認している。来年度は季節性も加味した学習データの取得、AI堅牢性の確保に向けアルゴリズムの再構築を進める事を想定している。また、自由が丘駅他、全97駅への導入も見据えて検討を進めているが、①駅それぞれにホームの形状が異なるため、適切に5G電波を届かせることが出来るか、②停車時間が異なる為、短い時間内にデータアップロードが出来るか、が課題となるであろうとみており、翌年度にも継続的に検討を進めていく予定である。

また東急電鉄の他の駅にも順次展開、商用化検討を進めていくとともに、これまでの他の鉄道事業者へのヒアリングにより、各社にて同じ課題を持っていることが明らかになっている為、他の鉄道事業者も普及展開の候補先と成り得ると考えている。

(2) 他の鉄道事業者(東急電鉄以外)への普及展開

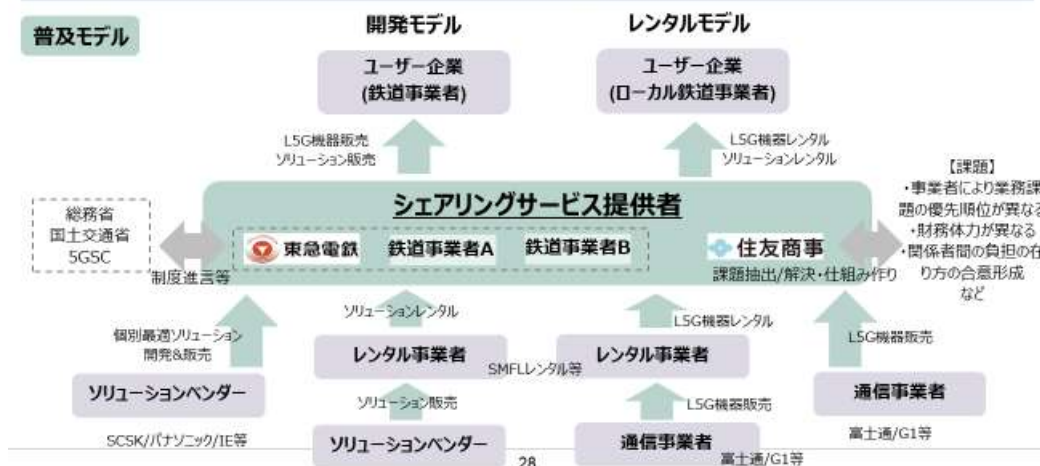
本開発実証事例をモデルケースとして、鉄道業界が抱える共通課題を解決する手立てとしてローカル5Gを活用したDX施策の展開を検討している。本仮設の裏付けの一環として実証実験中に実施した他の鉄道事業者へのヒアリングを行った。その結果、鉄道事業者間でのソリューションシェアリングは重要と捉えているという声も上がり、各鉄道会社でも同様の課題があることが確認できた。この課題を鉄道業界共通の課題であると仮説建てて、鉄道普及展開のビジネスモデルを構築していく。

図 4.4.2.1.1-2：普及展開の事業モデル

## 普及展開の事業モデル

■鉄道事業者へのヒアリングを通じて、コスト低減に向けて、ローカル5G共通コア(基幹制御システム)、課題解決ソリューションの共用化、それに向けた学習データ連携の仕組み作りを推進することの必要性を確認し、複数の事業者でアプリ/インフラを共用化するシェアリングサービス事業モデルの有用性を確認した。

■一方、鉄道事業者により財務体力が異なる点も踏まえ、レンタルモデルの組成による導入・運用費用の最適化等、会社の経営状況に応じた事業モデルを準備する事についても併せて検討する。



### ー課題と対応策

費用対効果 (ROI) が低い=コストが高いことが大きな課題となっているため、ソリューションをシェアリングモデルとすることで導入コストの低廉化を図り、リターン確保を可能とすることが重要である。一方で、ソリューションのシェアリングモデル開発、導入でトータルコストを抑えることができることは理解できるものの、関係社間での負担の在り方に関する課題や、各社によって業務課題やニーズの詳細、優先順位等は異なることが予想される、といった課題は存在すると認識したため、翌年度に該当課題解決に向けた仕組み作りやビジネスモデルの立案を進める。

### ー普及モデルに必要な機能・技術仕様

鉄道事業者へのヒアリングを通じ、コスト低減を目指すことでL5G共通コア(機関制御システム)、課題解決ソリューションの共用化、それに向けた学習データ連携の仕組みづくりを推進していくことが鉄道業界にとって非常に有用であることを確信した。一方、鉄道事業者により投資判断が異なる点も踏まえ、会社経営の状況に応じた事業モデルを準備することについても併せて検討を進める。例えば、投資体力はないが、一方でインフラ維持が必要な状況にあるローカルな鉄道事業者に対し、レンタルモデルの事業モデルを準備する事で普及展開の可能性を検討していく。レンタルモデルは、短期間で利用することが可能で、中途解約も可能。また、当該ユーザーはレンタル期間を通してソリューションの効果を検証、煩雑な手続きなくL5Gの導入を進めることが出来る。そのため、プロジェクトや期間に縛られず、素早くインフラからアプリケーションまで初期費用を抑える形で導入することを可能とするような事業モデルの準備を検討していく。

ーローカル鉄道への展開可能性

上田鉄道と伊豆急行鉄道にヒアリングを実施した。

上田電鉄の特徴としては、以下の事柄があげられる。

- ・ 地方鉄道は担い手不足により点検業務の効率化（省人化）は大きな課題
- ・ 一方で、自社で設備投資をする余力がない。
- ・ 路線にトンネル（地下区間）が無い（沿線にも高い建物が少ない）
- ・ ゲリラ豪雨で浸水しやすい箇所や民家、樹木が非常に近接した箇所がある路線
- ・ 路線延長が 10km ほどで比較的短い
- ・ 2 両編成のワンマン運転。全開扉するのは折り返し駅と中間駅の 3 駅のみ（朝ラッシュ時のみ上田駅からたしか 5 駅ほどは全開扉）
- ・ 車両編成数は 5 編成と少ない
- ・ 点検の頻度は都市鉄道に比べて多くない

伊豆急行の特徴としては、以下の事柄があげられる。

- ・ 地方鉄道は担い手不足により点検業務の効率化（省人化）は大きな課題
- ・ 一方で、自社で設備投資をする余力がない。
- ・ 点検の頻度は都市鉄道に比べて多くない

両社ともに、費用の持ち出しが無い前提となるが、車両の運転台に前方カメラを設置し沿線巡視業務の代替ができれば、保守性の向上につながる。社員の数、特に技術系は必要最小限の人数でまわしているのが現状となるため、どこまで業務効率化につながるのかがポイントになるが、現時点のレンタルサービスの料金設定では各社の経営体力と乖離がある状況。例えばレンタルサービスの一つのメニューとして、必要最低限の検査を行うような「地方電鉄向けソリューションパッケージ」のようなインフラとアプリケーションをレンタルするような事業モデルを準備する等の検討の必要性があると考えている。

## ②富士通（ローカル 5G ベンダー）としての検討

今回の本実証にあたり、ローカル 5G システムの提供及び技術実証責任者の役割を富士通が担っている。ベンダー視点での実装横展開の検討を実施した。

### (1) フィールドへの適応性

本実証においては、鉄道分野における駅構内のような狭小エリアの設計は、今後の多様なユースケースに対して、他者土地に影響を及ぼさないようサイトエンジニアリングを開発する必要がある。その点で高度なエリア設計に対し、無線システム及びアンテナ制御にて対応できる範囲等を検証し、実装・横展開モデルに必要な要素の整理を実施した。

本実証にて使用したアンテナ一体型 RU では v/h 偏波方向の判値角が広く、無線システム及びアンテナ制御手法にて事前シミュレーションを実施したが、現地測定の結果として他者土地に電波漏洩が発生している状況を確認した。3.3.2.5 章の(4)に記載の通り、それぞれ現状サイトエンジニアリングとして対応できる範囲として現地にて検証を行い、且つ本実証内で検証できない対応については、エリアシミュレーションにて効果検証を実施した。

## ア) 長手方向（ホーム・線路方向）の電波漏洩対策

長手方向は遮蔽物が少なく、線路に沿ってホーム外遠方まで伝搬することが実測で確認されているが、以下の制限下で長手方向の電波漏洩を抑制する必要がある。

### ①RUの複数ビームの内ホーム中央（長手方向）へ飛来するビームを制限する（現地対応）

図 4.4.2-②-1 ) ホーム中央方向へのビーム制限



### ②出力調整及びチルト角変更のシミュレーション（机上検討）

### ③狭小アンテナパターン（外部 RF 端子接続アンテナ）でのシミュレーション（机上検討）

### ④天井面への無指向性アンテナへの変更（机上検討）

## イ) 短手方向（狭幅方向）の電波漏洩対策

都市部の駅の特徴として、駅ホーム短手方向は周辺ビルや壁に囲まれている箇所が多いが、一部防音壁が低い箇所やロータリー方向へ壁がない箇所がみられるため、他者土地への漏洩影響が発生する。実装を見据えて、以下の現地対応及び机上検討を実施した。

### ①狭いビーム半値角方向への設置（90° 横向き設置）（現地対応）

### ②短手方向への漏洩影響抑制を目的とした RU 近傍に電波吸収体を設置（現地対応）

図 4.4.2-②-2 ) 電波吸収体による短手方向への電波漏洩抑制



- ③出力調整及びチルト角変更のシミュレーション（机上検討）
- ④狭小アンテナパターン（外部 RF 端子接続アンテナ）でのシミュレーション（机上検討）
- ⑤天井面への無指向性アンテナへの変更（机上検討）

上記検討より、次年度以降の実装に対し、鉄道駅特有の横長且つ狭小エリアに対し、フィールドへの適応をさらに検討を行う。

## (2) 事業モデルの検討

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及び付随するランニングコストが挙げられる。本実証を通し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たシステム要件の課題を整理し検討を実施した。本件に係る、東急電鉄及び住友商事と検討したニーズ調査及びコスト調査を踏まえ、システムの効率性やハード機器集約などの最適な構成を踏まえた低廉化モデル及び、複数鉄道事業者が利用可能な共用クラウドコア等の活用検討を実施した。

### ア) 低廉化ローカル5Gシステムの導入

本実証においては、他の鉄道駅ホームや大規模に線路への適応を見据えたモデルを想定し、可能な限り導入及び保守運用費用を抑えた低廉化モデルのローカル5Gの導入が必要になる。以下検討内容を示す。

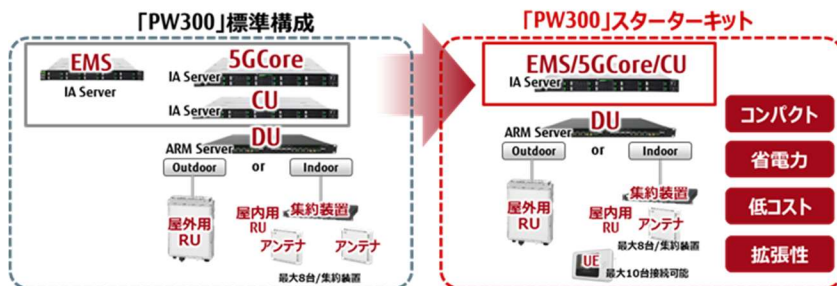
#### ◇ローカル5Gシステムハード集約モデル

手軽にスモールスタートから導入可能な小規模ローカル5Gシステムを提供開始。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台のサーバ上に実装したシンプルなオンプレミス構成（図4.4.2-②-1ハード集約構成）となり、将来的なシステム拡張にも対応が可能となる。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。

接続可能なRU及び端末数に制限はあるが、標準構成と比較するとスループットなどの

性能差はなく、小規模な環境への適用及び、検証・実証環境向けとして低廉化モデル提供を可能にした。

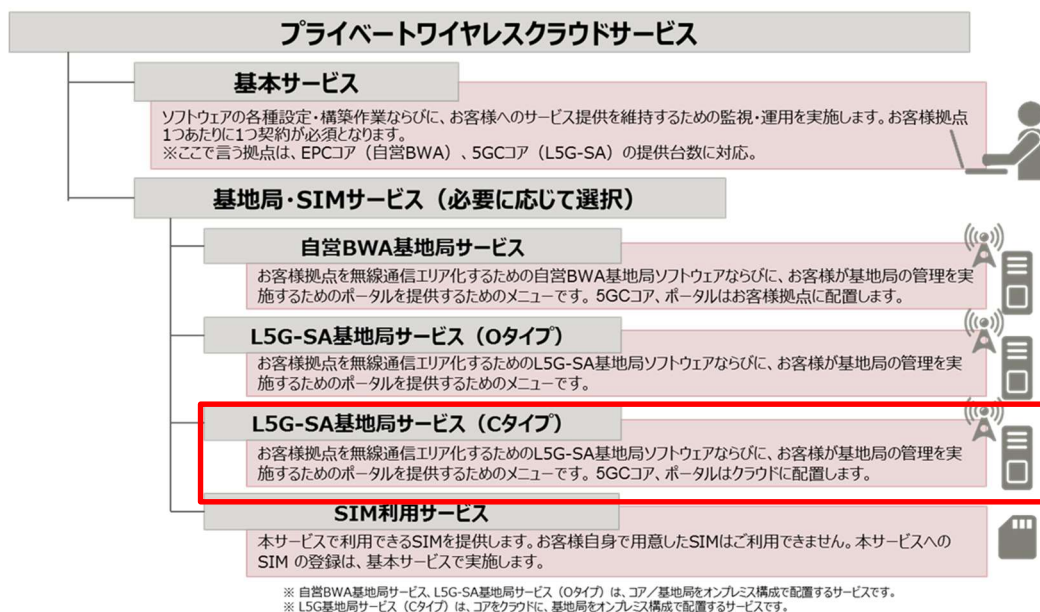
図 4. 4. 2-②-3 ) ハード集約構成



イ) ローカル 5 G システムの簡易運用

複数拠点のローカル 5 G 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（図 4. 4. 2-②-2 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 4. 4. 2-②-4 ) プライベートワイヤレスクラウドサービス (Cタイプ)



(メリット)

- ・ トータルコストの削減
    - 5G コア装置及び、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。
- (図 4. 4. 2-②-3 コア共用構成)

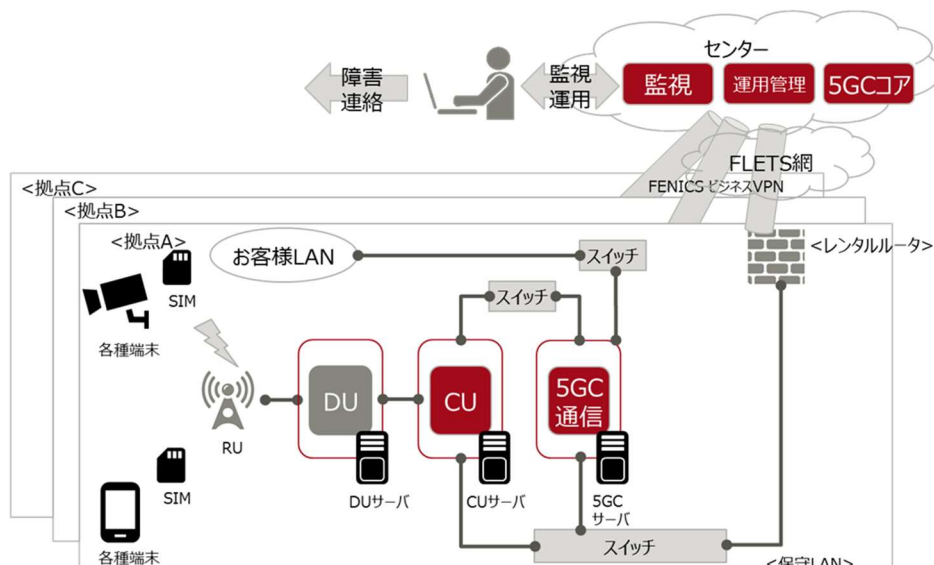
- ・ 可用性の向上

5G コア装置及び、管理ポータル装置をクラウドに設置、運用を当社にて行うためハード故障の影響を少なくすることが可能となる。

- ・ 複数拠点展開の導入性向上

拠点に設置される機器や機能が少なくなるため、設計、構築範囲を絞り拠点展開の導入性が向上します。また複数拠点で同一の SIM を利用することが可能となる。

図 4. 4. 2-②-5) コア共用構成



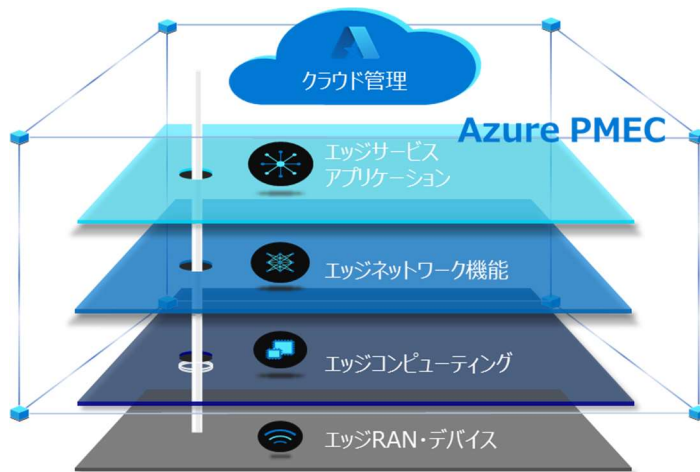
ウ) アプリケーションと共存したローカル 5 G システムの構成検討

Microsoft 社 Azure PMEC (Private MEC) (図 4. 4. 2-②-4 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 5 G 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可能とする。また Azure Network Function Manager から Azure Stack Edge 上に展開することが可能となり、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 5 G システムと統合して提供となるため、シンプルなサブスクリプション価格で提供可能となる。

◇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. 4. 2-②-6 ) PMEC\_MetaSwitch 構成イメージ



#### 4.4.2.2 普及展開方策の検討

ローカル5G活用モデルの普及展開の加速に向け、ローカル5G活用モデルを同様の課題を抱える他のユーザ企業等や他分野に普及するための方策等について検討を行った。

本開発実証事例をモデルケースとして、鉄道業界が抱える共通課題を解決する手立てとしてローカル5Gを活用したDX施策の展開を検討した。鉄道事業者へのヒアリングを通じ、コスト低減を目指すことでL5Gシステムの共用化(5GC、UC、DU、RU)、課題解決ソリューションの共用化、それに向けた学習データ連携の仕組みづくりを推進していくことが鉄道業界にとって非常に有用であることを確信した。ソリューションのシェアリングモデル開発、導入でトータルコストを抑えることができることは理解できるものの、一方で関係鉄道事業者間での負担の在り方に関する課題や、各社によって業務課題やニーズの詳細、取組内容の優先順位等は異なることが予想される、といった課題は存在すると認識したため、翌年度に住友商事が主体となり該当課題解決に向けた仕組み作りやビジネスモデルの立案を進める。一方、鉄道事業者により投資判断が異なる点も踏まえ、会社経営の状況に応じた事業モデルを準備することについても併せて検討を進める。例えば、投資体力はないが、一方でインフラ維持が必要な状況にあるローカルな鉄道事業者に対し、レンタルモデルの事業モデルを準備する事で普及展開の可能性を検討していく。レンタルモデルは、短期間で利用することが可能で、中途解約も可能。また、当該ユーザーはレンタル期間を通してソリューションの効果を検証、煩雑な手続きなくL5Gの導入を進めることが出来る。そのため、プロジェクトや期間に縛られず、素早くインフラからアプリケーションまで初期費用を抑える形で導入することを可能とするような事業モデルの準備を検討していく。

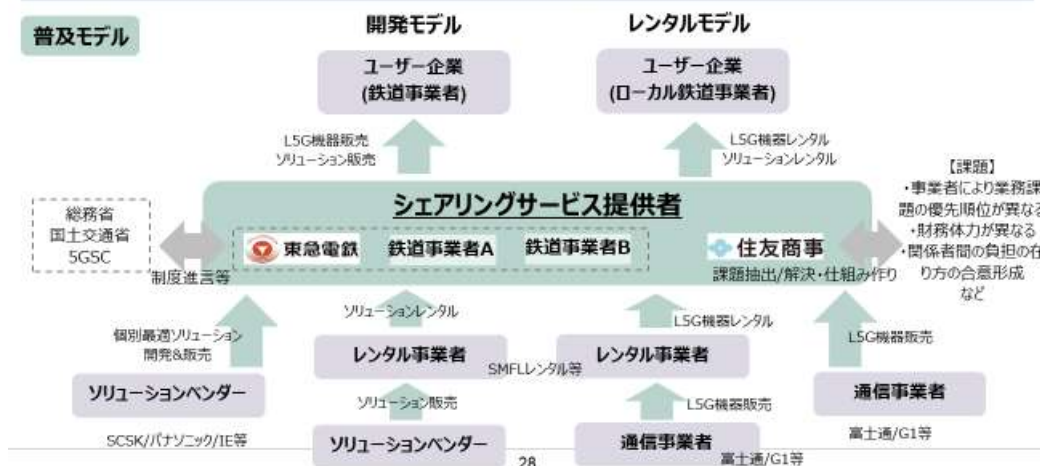
図 4.4.2.2.1：普及展開の事業モデル



## 普及展開の事業モデル

■鉄道事業者へのヒアリングを通じて、コスト低減に向けて、ローカル5G共通コア(基幹制御システム)、課題解決ソリューションの共用化、それに向けた学習データ連携の仕組み作りを推進することの必要性を確認し、複数の事業者でアプリ/インフラを共用化するシェアリングサービス事業モデルの有用性を確認した。

■一方、鉄道事業者により財務体力が異なる点も踏まえ、レンタルモデルの組成による導入・運用費用の最適化等、会社の経営状況に応じた事業モデルを準備する事についても併せて検討する。



### 4.4.3 ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

実証目標と実証結果を比較し、実証目標を達成できなかった場合は、達成できなかった要因の課題について整理を行った。また、抽出した課題については、それぞれ解決策、解決に資する条件、今後必要となる検証項目等について検討し、具体的に提示を行った。

#### 4.4.3.1 車載モニタリング

評価項目

- ① 停車時間中における映像データアップロード時間  
転送時点では容量を抑えるため圧縮率の高い動画(H.265)形式とすることで、35秒間の短い駅停車時間内に必要なデータのアップロード完了を確認
- ② モニタリング対象を検知するに必要な十分な映像の撮影頻度  
事前検証において5fpsで必要な画角及びAI精度の確保可能と判断。また、実証では1fps/5fps/15fpsで撮影し効果の比較検討を実施。結果として5fpsにて画角/AI精度/①データアップロードについて問題がないことを確認
- ③ 駅→クラウド伝送からAI解析・結果表示までの処理時間  
緊急性の高い検出対象は10分以内、その他は60分以内の目標に対し、前者は1分、後者は30分以内の結果を得た。事前にボトルネックを確認し、実装した処理方式で目標処理時間を達成した。
- ④ AI精度

## 砕石道床あおり検出の混合行列

|     |                 | AI推論結果         |                |
|-----|-----------------|----------------|----------------|
|     |                 | Positive(異常検知) | Negative(検知なし) |
| 真の値 | Positive (異常あり) | 正解 = 107       | 見落とし = 16      |
|     | Negative (異常なし) | 誤検知 = 63       | 正解 = 2250      |
| 正解率 | 全体の中で正しく分類した割合  | 0.967          |                |
| 適合率 | 異常検知の正解割合       | 0.629          |                |
| 再現率 | 見落としをしていない割合    | 0.869          |                |
| F値  | 適合率・再現率の調和平均    | 0.730          |                |

F 値 $\geq$ 0.9 の目標値に対し、0.73 と未達。主な要因は季節や時間帯による陰日向の差異などの環境変化に対する学習不足。以下の追加学習を実施した事により F 値は 0.9 まで改善したことを確認。

課題：季節差などによる日陰の影響

1. 学習データの一部を明るさ調整して増幅(200→2000 枚)。2000 枚で再学習してモデル作成
2. 実証時に撮影した画像をソフトウェア Windows 標準フォトアプリを使い画質改善
3. 既存モデルの推論で「見落とし」「誤検知」となった画像に対して、①と②の掛け合わせパターンで再度推論を行い、結果を比較

結果：適合率 0.849、再現率 0.959、F 値 **0.901**

来年度は季節性も加味した学習データの取得、明るさを調整して増幅したデータも学習に使用すること、また、商用化には、屋内外/曇/雨などの様々な環境条件への適応 (AI 堅牢性の確保) が必要となる為、アルゴリズムの再構築を進める事を想定している



## ⑤ 運用検証

結果表示機能・UI (画面構成・表示内容など) は、保守員の使い勝手を考慮したプロトタイプ画面を作成した。



本実証の結果も踏まえ、今後運用面で考慮・検討する必要がある事項を以下に示す

- ・業務プロセスに応じたシステム画面への更なる改良
  1. 地図表示ではなく、一覧表示をベースとした画面

| 検出範囲    |    | 検出結果          |   |     |
|---------|----|---------------|---|-----|
| 駅間      | 上下 | キロ区           | タイム   | 正解率 |
| 大岡山～緑が丘 | 下  | 5k 284～5k 288 |  | 95% |
|         |    |               |  | 85% |
| 大岡山～緑が丘 | 下  | 5k 316～5k 319 |   |     |

- 位置ベースと時刻（周回）ベースの結果情報を統合的に表示（位置起点→時系列表示など）
- 新規異常候補発生時アラート通知機能
- 検出対象ごとの優先順位の規定  
急ぐものとそうでないものの、実装方式を検討  
(急ぎは準リアルタイム処理、そうでないものはバッチ処理など)

また、巡視・検査周期は国の定めた技術(実施)基準をもとに行っているため、人から機械に置き換えていくソリューションの実用化が達成できても、巡視・検査には周期基準があり、実運用への妨げになるため技術(実施)基準の見直しを国に進言していく必要がある。

東急電鉄/住友商事が主体となり、現場ニーズの洗い出し、検討方向性の整理を行い、SCSK が AI モデルを開発する取り進めを想定。国への進言は東急電鉄が主体となり実施する。

#### 4.4.3.2 車両ドア閉扉

評価項目

##### ① リアルタイム性（AI 解析結果表示までの時間）

全時間帯を通し AI は人より閉扉判定が概ね早い結果だった。上りホームでは朝ラッシュ時間帯、下りホームでは夕ラッシュ時間帯になると AI 判定が人よりも遅れる場面が増えることが分かった。混雑時は旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため、閉扉することがあることが理由。今後の検討課題は AI の閉扉 NG 判定が継続している場合の運用方法となる。本検討課題の解決策案としては、乗務員がタブレット画面のズーム機能を用い、現場の様子を遠隔から詳細に見て判断することが候補として考えられる。本解決案が実際に有効かどうかは 2022 年度に検証を実施する。

##### ② 複数台カメラ同時運用時の必要スループットと伝送容量

スループット値として、UL、DL とも将来的に 1 ホームカメラ 4 台の伝送を実施した場合でも問題ないことを確認した。また遅延に関しても、結果は 254.1ms と目標の 800ms 以内を達成した。

必要スループット：

上りホーム UL：75.9Mbps、DL：279Mbps 下りホーム UL：71.5Mbps、DL：281Mbps

本システムのトータル処理速度：254.1msec（目標値：800msec）

### ③ 運用検証

・乗務員へのヒアリングにより、タブレットの画面レイアウト、表示情報については8割以上が分かりやすい、また、映像の遅延、画質は問題ないと評価を得ている。タブレット表示機能に関しては以下の改善要望があがっているため今後追加検討を行う。

1. タブレット画面上でのズーム機能
2. 「テロップ OFF/ON」 ボタンによる、駅名、番線、凡例表示の表示/非表示
3. 「出発可否確認」 判定結果表示（扉挟み、もたれかかり人物の検知）

・他駅への展開における有効性を検証した。

他駅の特徴を元に AI 判定に影響すると想定される課題・対策を検討する。

| 路線    | 駅名   | 駅形状             | 特徴                     | 想定される影響  |
|-------|------|-----------------|------------------------|--|
| 東横線   | 渋谷   | 地下駅             | 非常に混雑する<br>ホーム幅が狭い     | 混雑で人の乗降が見えない   |
|       | 中目黒  | 地上駅（屋根有）        | 日比谷線乗り換え               | 乗り換え時に人の流動が大きく変化する<br>太陽光の反射                                       |
|       | 自由が丘 | 地上駅（屋根有）        |                        | 太陽光の反射   |
|       | 白楽   | 地上駅<br>（一部屋根なし） | カーブがきつい<br>一部屋根がついていない | 気象条件で駅の状態が変化する<br>傘を差した人物の判定<br>太陽光の反射、直接光<br>カーブがきつくカメラで見えない箇所がある |
|       | 横浜   | 地下駅             | 非常に混雑する                | 混雑で人の乗降が見えない   |
| 田園都市線 | 渋谷   | 地下駅             | 非常に混雑する                | 混雑で人の乗降が見えない   |
|       | 梶が谷  | 地上駅（屋根有）        | カーブがきつい                | 太陽光の反射<br>カーブがきつくカメラで見えない箇所がある                                     |

本システムを他駅展開する場合、駅形状、気象条件による影響が懸念される。

また、カメラの映像自体に影響を及ぼすような事象については、カメラの増設や移設などのハード面での対策が必要である。今後は各条件下における AI 精度確認を行い、他駅への普及展開を検討する。

#### ・保守運用における課題検討

鉄道の安全・安定運行に直結するシステムであるため、故障時のダウンタイムは極力短くする必要がある。サーバは冗長化することが理想的であり、故障発生時の一時対応は東急電鉄で実施し、ソリューションベンダーは24時間365日対応のコール受付、必要に応じて緊急現地出動し、復旧作業に応じる体制とする。

東急電鉄が主体となり、検討方向性の整理を行い、パナソニックソリューションズジャパンが AI モデルを開発する取り組みを想定。

#### 4.4.3.3 駅ホームへのローカル5G エリア化

##### (1) フィールドへの適応性

###### 課題1. 長手方向（ホーム・線路方向）の電波漏洩

長手方向は遮蔽物が少なく、線路に沿ってホーム外遠方まで伝搬することが実測で確認されているが、以下の対策により長手方向の電波漏洩を抑制することが必要。

- ① RUの複数ビームの内ホーム中央（長手方向）へ飛来するビームを制限する
- ② 出力調整及びチルト角変更のシミュレーション
- ③ 狭小アンテナパターン（外部RF端子接続アンテナ）でのシミュレーション
- ④ 天井面への無指向性アンテナへの変更

###### 課題2. 短手方向（狭幅方向）の電波漏洩

都市部の駅の特徴として、駅ホーム短手方向は周辺ビルや壁に囲まれている箇所が多いが、一部防音壁が低い個所やロータリー方向へ壁がない個所がみられるため、他者土地への漏洩影響が発生する。以下の対策により短手方向の電波漏洩を抑制することが必要。

- ① 狭いビーム半値角方向への設置（90° 横向き設置）
- ② 短手方向への漏洩影響抑制を目的としたRU近傍に電波吸収体を設置
- ③ 出力調整及びチルト角変更のシミュレーション
- ④ 狭小アンテナパターン（外部RF端子接続アンテナ）でのシミュレーション
- ⑤ 天井面への無指向性アンテナへの変更

上記検討やミリ波の採用など、次年度以降の実装に対し、鉄道駅特有の横長且つ狭小エリアに対し、フィールドへの適応をさらに検討を行う。

#### 4.4.3.4 ローカル5G を用いたソリューションの実装性に関する検証

各鉄道事業者へのヒアリングにより、ソリューションニーズ、取組みの方向性、コストへの課題感などの類似性を確認した。コストの低廉化に向け、複数の事業者でインフラからソリューションまでを共用化するシェアリングサービス事業モデルの実現を図る。本事業モデルでトータルコストを抑えることを狙うが、一方で関係鉄道事業者間での負担の在り方や、各社によって業務課題やニーズの詳細、取組内容の優先順位等は異なる課題があるため、住友商事が、共通化の仕組み作り、ビジネスモデルの立案、各社との協議を推進し、東急電鉄が、課題の抽出や基準・制度の見直しに向けた国への進言等を進める。本事業モデルの実現に向けて、翌年度は東急電鉄の乗り入れ事業者から協議を開始する。また、コンソーシアムや住友商事取引先電鉄会社への働きかけも並行して行っていく。乗り入れ先とのL5Gシステム(5GC、CU、DU)の共用化に加え、ソリューションは、屋内外の環境差分や検査項目や基準の差異の洗い出しから、乗り入れ事業者と共同で開発し、東急電鉄と乗り入れ事業者と共同で効果確認を行う、といった、本構想の仕組み作りの足掛かりとなる活動を推進する。

一方、鉄道事業者により投資判断が異なる点も踏まえ、会社経営の状況に応じた事業モデ

ルを準備することも併せて検討を進める。例えば、投資体力がないローカルな鉄道事業者に対しては、レンタルモデルの事業モデルを準備する事で普及展開の可能性を検討していく。レンタルモデルは、短期間で利用することが可能で、中途解約も可能。また、当該ユーザーはレンタル期間を通してソリューションの効果を検証、煩雑な手続きなくL5Gの導入を進めることが出来る。そのため、プロジェクトや期間に縛られず、素早くインフラからアプリケーションまで初期費用を抑える形で導入することを可能とするような事業モデルの準備を住友商事が主体となり進めていく。

#### 4.4.4 継続利用の見通し・実装計画

2022年度も自由が丘駅において利用継続する。9月に商用局免許を取得予定。2022年度に商用化に向けた追加検証を実施し、2023年度からの商用化を目指す。具体的には、①車載モニタリングソリューションはAIの堅牢性の検証を進める。本年度の実証実験では夏場の学習データを元に、日中の晴れ条件においてAIのモデルを構築した。翌年度はそのAIモデルをベースに、環境面は、春夏秋冬、屋内や夜間、雨曇りの商用化シーンを全て対応できるような形へのAIモデルの改良を進める。また、モニタリング対象物は、法面のひび割れや架線のカラス巢など検知も可能とする検証を進める。②車両ドア閉扉ソリューションは複数駅への展開に向け学習作業を実行し、運用面への落とし込みも並行して検討を進める。ローカル5Gシステムは2022年の自由が丘駅の商用化を皮切りに2023年度から大井町線、東横線、田園都市線、目黒線の急行停車駅への展開を想定。その後2024年度から実装効果に応じて各駅停車駅への展開を図る。また、シェアリングサービス構想の実現に向け、ビジネスモデルの設計・仮説検証から、パートナーシップの合意形成を進め、2024年度からの商用展開を目指す。

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上記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などを想定する。

#### ■事業モデル構築の具体的な実装スケジュール

図 4.4.2.2.2 : 実装スケジュール

|                                | 追加検証期間              |                                 | 商用化                    |                                    |        |
|--------------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------------------|--------|
|                                | 2021年度              | 2022年度                          | 2023年度                 | 2024年度                             | 2025年度 |
| 車載モニタリング                       | ベースAI構築<br>屋外/日中/晴れ | 商用化AI構築<br>+屋内/夜間/雨曇<br>+検査項目拡充 | 大井町線<br>試運転            | 営業車による運用開始<br>他路線展開(東横線/田園都市線/目黒線) |        |
| 車両ドア閉扉                         | ベースAI構築<br>自由が丘駅    | 商用化AI構築<br>複数駅展開<br>運用検証        | 運用開始・導入計画に応じて他駅展開      |                                    |        |
| ローカル5Gシステム                     | 自由が丘駅<br>実験局免許      | 商用免許<br>取得                      | 急行駅への展開                | 各駅への展開<br>(実装効果に応じて判断)             |        |
|                                |                     | 商用プラン検討                         | 商用プラン開始                | 商用プラン都度更新(低廉化)                     |        |
|                                |                     | 基地局シェアリング：L5G共有化検討              | 基地局シェアリング：L5G共有化装置 商用化 |                                    |        |
| シェアリングサービス<br>(鉄道共通プラットフォーム構築) | 各社シェアリング<br>構想立案    | ビジネスモデル設計<br>仮説検証(PoC)          | パートナーシップ模索・合意形成        | 他の鉄道事業者への<br>商用プラン開始を目指す           |        |

### ー2023 年度の実行計画

**車載モニタリング**：東急電鉄/住友商事が主体となり、現場ニーズの洗い出し、検討方向性の整理を行い、SCSK が AI モデルを開発する。

1. AI 精度の改善
  - (ア) 季節差などの日陰への適応
    - ① 年中に学習データを取得し、AI モデルの改良を実施する
  - (イ) 屋内や屋外夜間などの暗所への適応
    - ① 画像鮮明化処理を施し、AI モデルの改良を実施する
  - (ウ) モニタリング対象物の拡張
    - ① 法面、沿線建築物、カラスの巢など運行支障の原因となる事象を AI モデルに追加する
2. 結果表示システムの使い勝手の追求
  - (ア) 業務プロセスに応じた結果表示画面の更なる改良
    - ① 位置ベースと時刻(周回)ベースの結果情報を統合的に表示
    - ② 地図表示ではなく、一覧表示をベースとした画面に修正
    - ③ 新規異常候補発生時アラート通知機能を追加
    - ④ 検出対象ごとの優先順位の規定および機能実証
3. 技術基準の見直しに向けた国交省への働きかけ
  - (ア) 意見交換を開始する

屋外環境においては、2021 年度の実証内容をモデルケースとし、他の屋外路線へ展開していく。また、屋内環境に関しては 2022 年度に東横線において追加実証を行うことを想定している。

**車両ドア閉扉**：東急電鉄が主体となり、現場ニーズの洗い出し、検討方向性の整理を行い、パナソニックシステムソリューションズジャパンが AI モデルを開発する

1. 他駅展開への検討

- (ア)AI モデルへの他駅の特徴の学習
  - ① 渋谷、中目黒、白楽、横浜、梶ヶ谷駅の常設カメラの映像を使用し、AI モデルを改良する
- 2. 結果表示システムの使い勝手の追求
  - (ア)タブレット表示機能の更なる改善
    - ① タブレット画面上でのズーム機能
    - ② 「テロップ OFF/ON」ボタンによる、駅名、番線、凡例表示の表示/非表示
    - ③ 「出発可否確認」判定結果表示（扉挟み、もたれかかり人物の検知）
- 3. 実運用への仕組み作り
  - (ア)AI の閉扉 NG 判定が継続している場合の運用方法の確立
    - ① 乗務員がタブレット上でズーム機能を使い、目で見てもドア閉扉を判断する仕組みが運用上問題ないかどうか自由が丘駅で検証する
  - (イ)システムがダウンした時の運用方法の確立
    - ① 自由が丘駅において長期的にシステムを稼働させることで、安全性の確認及び課題を抽出する
    - ② 上記の確認に応じて、予備機の必要性や、駅係員ではない別の駅員による対応をとれる体制を作るなどの運用方法を確立する
  - (ウ)保守・運用の課題解決
    - ① 故障時のダウンタイムを極力短くするために、システムを冗長化する
    - ② 故障発生時の一時対応は東急電鉄で実施し、ソリューションベンダは 24 時間 365 日対応のコール受付、必要に応じて緊急現地出動し、復旧作業に応じる体制とする

2022 年度は、2021 年度に開発した AI モデルをベースに、他駅の学習データを適応することで、全駅対応が可能な AI モデルに改良する。



## 5. 普及啓発活動の実施

### 5.1 映像制作への協力

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実施。具体的には、三菱総研様が別途指示する内容に従い、実証映像の素材提供や関係者へのインタビューの撮影等に協力を実施した。

### 5.2 実証視察会の実施

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、オンラインでの実証視察会を主催した。

### 5.3 その他普及啓発活動

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。

- 2021年8月31日 東急電鉄、富士通、住友商事のHPにてニュースリリース
- 2021年10月29日 Fujitsu Activate Now（オンラインイベント）富士通、東急電鉄、住友商事にて登壇し、「鉄道実証取り組み」紹介
- 2021年10月21日 CEATEC 住友商事より「鉄道実証含むL5G普及に向けた取り組み」紹介・パネルディスカッション
- 2022年1月13日 I:Engineer(Web媒体) 住友商事、東急電鉄、富士通より「鉄道実証取り組み」紹介
- 2022年1月25日 日本経済産業新聞にて、「鉄道実証取り組み」紹介
- 2022年1月28日 NHK WEB記事にて、「鉄道実証取り組み」紹介
- 2022年2月28日～3月3日 MWC2022における、富士通ブースにて「鉄道実証取り組み」パネル紹介
- 2022年3月4日配信 NewsPicks 住友商事のローカル5G活動紹介の中で「鉄道実証取り組み」紹介

実証コンソーシアムにて本契約に関する情報発信を行う場合、総務省「課題解決型ローカル5G等の実現に向けたローカル5Gの電波伝搬特性やローカル5G等の活用に関する技術的検討並びに調査検討の請負」の一環としての取組・成果である旨を明示するとともに、あらかじめ三菱総研様に対して情報提供を行った。

## 6. 実施体制

### 6.1 体制及び役割

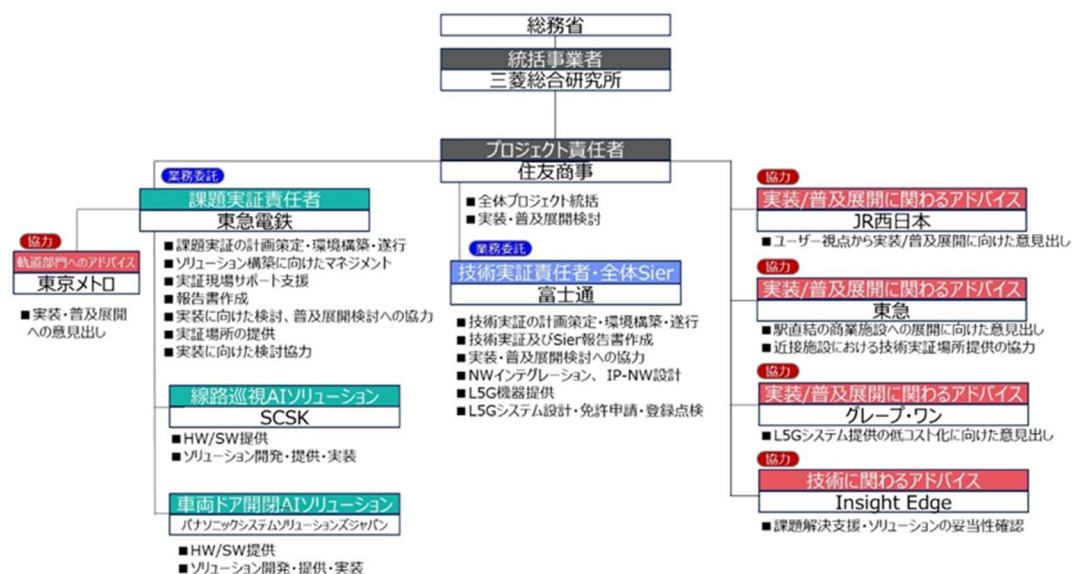
住友商事株式会社を代表機関とし、課題実証は東急電鉄株式会社を実証責任者とし、再委託等申請により、SCSK株式会社（線路巡視AIソリューション）とパナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社（車両ドア開閉AIソリューション）へ再委託をし本業務を実施した。また、富士通株式会社（技術実証担当）は、工事、技術実証業務を実施した。協力企業（アドバイス）として、東京メトロ株式会社、西日本旅客鉄道株式会社、東急株式会社、グレープ・ワン株式会社、Insight Edge 株式会社に参画頂き助言を得た。

各社の役割と実証体制を表 6.1 に、実施体制図を図 6.1 実施体制図に示す。

表 6.1 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   |
| 富士通                    | 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 |
| 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                |
| SCSK                   | 「線路巡視業務の高度化」ソリューション技術開発   |
| パナソニックシステムソリューションズジャパン | 「車両ドア開閉判断の高度化」ソリューション技術開発   |

図 6.1 実施体制図



## 7. スケジュール

免許申請手続きの所要時間、実証フィールドにおける実証可能時間といった制約事項を勘案し、2021 年内に実験試験局免許を取得、ローカル 5 G NW 機器構築を構築の上、試験電波発射を完了した。2022 年 1 月よりローカル 5 G 技術実証・課題実証を開始することで、実証フィールドの特性に関する知見を得た。スケジュール実績は、表 7.1 スケジュール（実績）に示す。

表 7.1 スケジュール（実績）

| 項目                  | 実績                 |
|---------------------|--------------------|
| 契約完了                | 2021/11/5          |
| L5G NW 環境構築完了@自由が丘駅 | 2021/12/25         |
| 課題実証システム構築完了@自由が丘駅  | 2021/12/25         |
| 技術実証@自由が丘駅          | 2022/1/4-2022/2/15 |
| 課題実証@自由が丘駅          | 2022/1/4-2022/2/15 |

実験試験局取得のスケジュールについては、実験試験局免許取得スケジュール（実績）に示す。

表 7.2 実験試験局免許取得スケジュール（実績）

| 項目        | 実績        |
|-----------|-----------|
| 実験試験局免許申請 | 2021/10/4 |
| 実験試験局免許取得 | 2021/11/8 |
| 免許期限      | 2022/9/30 |