

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

成果報告書概要版

令和4年3月25日

住友商事株式会社

目次

0. 本実証の概要	P2
1. 実証環境の構築	P5
2. 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）	P9
3. 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）	P17
4. 実装・普及展開に関する検討	P26
5. まとめ	P30

実証概要

実証概要

大項目	小項目	内容
ローカル5Gシステム	周波数	4.7GHz帯(4.8GHz~4.9GHz) SA(スタンドアロン)方式
	ネットワーク機器	EMS×1 5GC×1 CU×1 DU×3 RHUB×1 GPSアンテナ×1 屋内RU×3(1階:東急大井町線)屋外RU×2(2階:東急東横線)
免許	免許人	住友商事株式会社
	免許種別	実験局免許
ロケーション	実施場所	東急電鉄 自由が丘駅
	環境条件	①他者土地の建物が近接 ②半屋外構造であり、電波が漏洩しやすい条件であることから、ローカル5Gのエリア化を今後推進するうえで課題性・汎用性の高い環境と考える。

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

列車前方に搭載した高画質カメラで撮影したモニタリング映像を、ローカル5G伝送。AI画像解析により線路沿線異常を検知することで、線路内目視検査・巡視の負担軽減を実現することを目的とする。

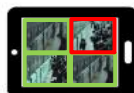


○高精細カメラとAIを活用した車両ドア閉扉判断の高度化

駅ホームに設置した列車乗降監視用カメラの画像をローカル5G伝送。AI画像解析により、車両ドア周辺の乗降客動向を検知し、列車の閉扉可否判断を自動化することで、運転支援業務の自動化・省力化を実現することを目的とする。

〈検証項目の一例〉

- ・従来のオペレーションと比較・有効性の検証
- ・東急電鉄における実装性およびほか鉄道事業者への普及展開方策に関する検証、実装に向けた課題抽出



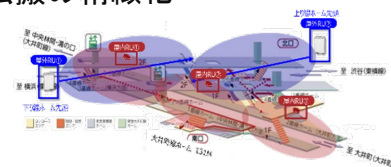
技術実証

○ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

- ・カバーエリア内のローカル5G性能評価
- ・エリア算出表の閾値の検証評価

○電波伝搬モデルの精緻化

- ・半屋外且つ横長・狭小エリア環境の電波伝搬の精緻化
- ・運用を見据えた列車運行時の電波伝搬



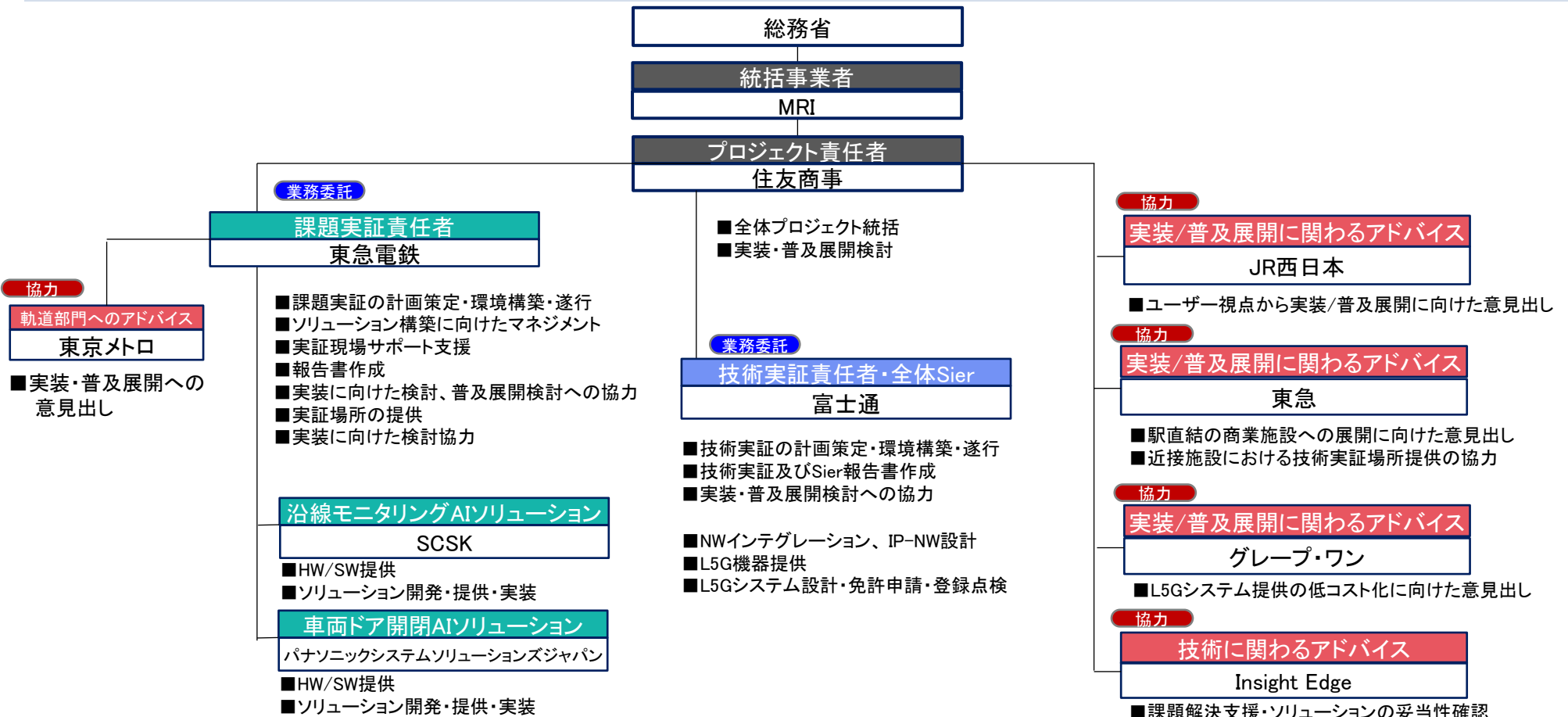
〈検証項目の一例〉

- ・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。
- ・鉄道運行時における、列車による反射での影響評価を検証。

コンソーシアム実施体制

コンソーシアム実施体制

鉄道会社の抱える課題を具体的に把握・解決するため、①他鉄道会社(東京メトロ・JR西日本)、②L5G通信事業者(グレープ・ワン)、③AIを活用したDX推進企業(Insight Edge)などのアドバイザーを交えた協力体制を組み、効果的な実装・普及展開の検討に協力頂いた。



実証環境の構築

実証環境の構築

実施環境

本実証は東急電鉄自由が丘駅にて実施した。

他者土地の建物が近接、且つ半屋外環境として他者土地に電波が漏洩しやすい当該環境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、検証意義のある環境。

【自由が丘駅の環境】

- ・屋根を有する半屋外の駅である
- ・立体的に2路線が交差する
- ・ホーム上や他者土地境界に看板などの障害物が多数混在する



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



RU配置(東横線)



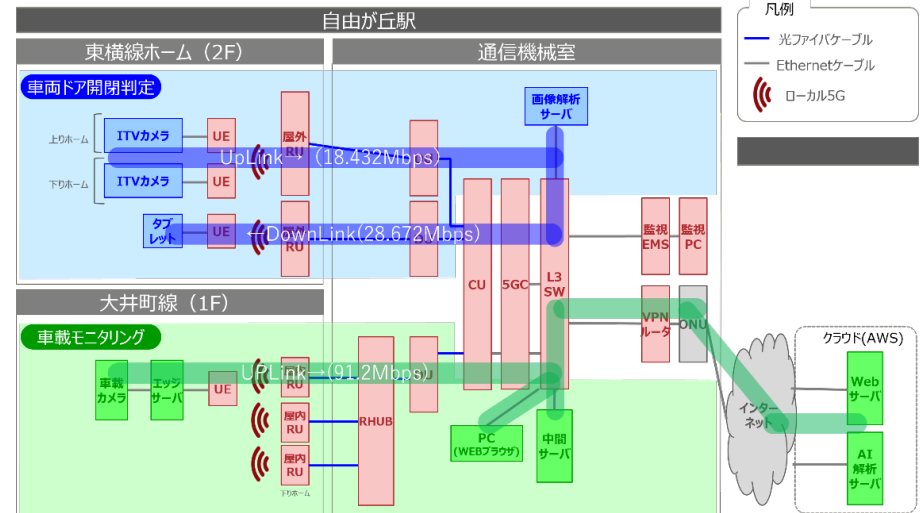
RU配置(大井町線)

本提案で使用する対象周波数帯

4.7GHz帯(4.8GHz~4.9GHz)SA方式で電波伝搬特性の解明及び同周波数帯を用いた実証実験を実施した。

ネットワーク・システム構成

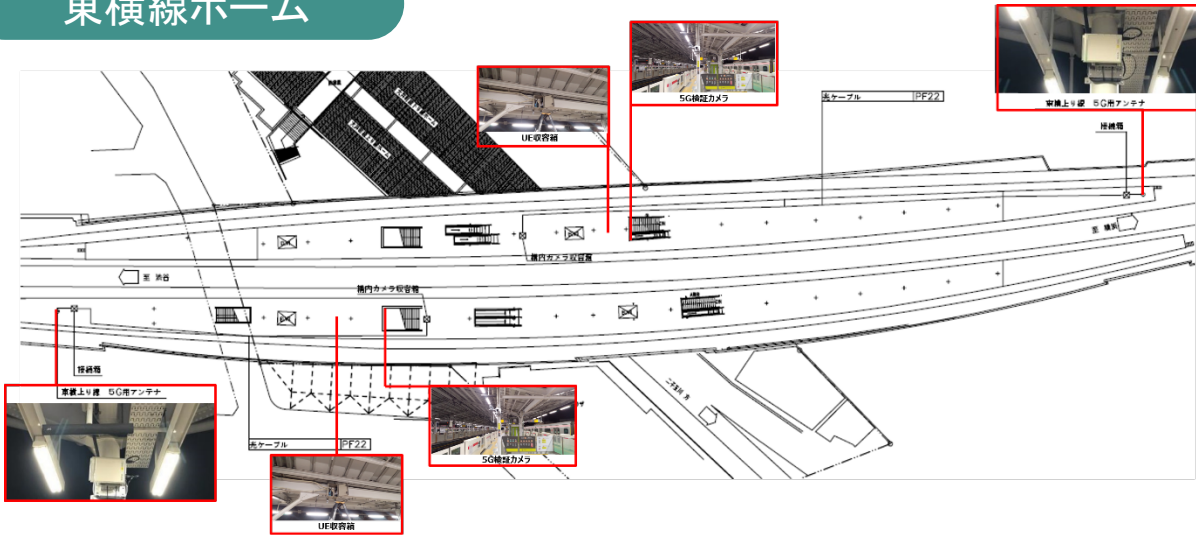
本実証で使用するローカル5Gネットワーク構成を以下に記載する。



No.	設置場所	使用機器	数量
1	通信機械室	EMS	1台
2		5GC	1台
3		CU	1台
4	東横線ホーム	DU	3台
5		RHUB	1台
6	東横線ホーム	屋外RU	2台
7		UE(ドア閉扉判断用)	2台
8	大井町線ホーム	屋内RU	3台
9	大井町線車両内	UE(線路巡視用)	1台
10	駅員室屋上	GPSアンテナ	1台

実証環境の構築

東横線ホーム

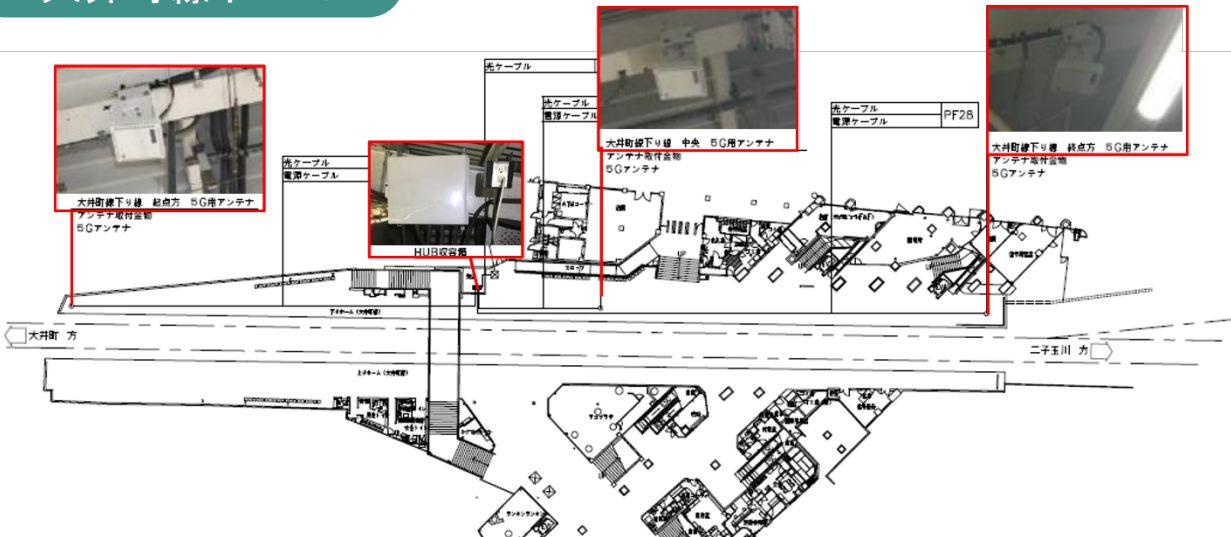


駅務室屋上



GPSアンテナ

大井町線ホーム



通信機器室



L5Gシステム

実証環境の構築

システム機能・性能・要件

■ 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

● スループット要件

- ・ 列車走行中に撮影した映像を駅停車時間内にサーバへアップロード
- ・ 下記項目より、ULスループットとして**91.4Mbps**が必要

画像データサイズ: 4K/H.2.65、圧縮方式/5fps、データ容量/0.4GB
最大撮影時間/2分5秒

列車停車時間: 約35秒

● 遅延時間要件

映像データの圧縮処理～結果表示の目標時間として、
緊急性の高い対象物は**10分**、その他の対象物は**60分**と設定



■ 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

● スループット要件

- ・ ホームドアの閉扉判断をするためにカメラ映像をサーバへアップロード
- ・ 映像は、H.265方式で圧縮されたデータで、カメラ2台で**18.432Mbps**の伝送帯域が必要

● 遅延時間要件

映像データの圧縮処理～結果表示の目標時間として**900ms**を設定



■ ローカル5Gシステムの性能

本実証で使用するローカル5Gシステムの理論値は以下である
[DLスループット]1.7Gbps [ULスループット]0.2Gbps

免許種別

- 住友商事を免許人として、総務省関東総合通信局より4.7GHz帯の実験局免許を取得
- 来年度以降の運用に向け、商用局免許への切替についても並行して検討を実施

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

その他要件

本実証におけるローカル5Gシステムは、3GPP(Relase15)に準拠しており、標準化された無線インタフェースを具備している。また、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年度法律第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る。

認定番号及び認定日を以下のとおりである。

認定開発供給事業者名
富士通株式会社
開発供給計画認定番号
2021開1総経第0002号-1
認定日
免許種令和3年3月15日別

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)

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討

実証の目的

- 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
- ②テーマ別: 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

実証環境

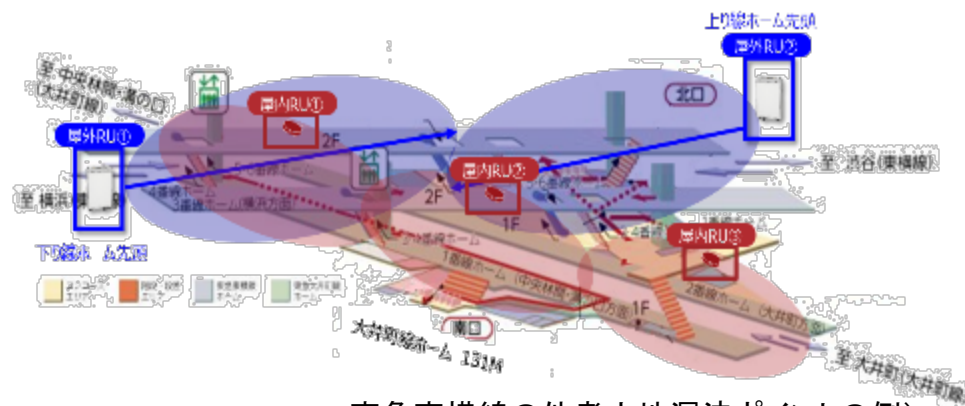
本実証環境は、(1)他者土地の建物が近接、(2)半屋外環境として他者土地に電波が漏洩しやすい特徴を有す。

東急東横線と東急大井町線の駅ホームの構造は共通した特徴を持ち、案内盤やモニタ、エレベーターなどの障害物が存在する。

2階部分の東急東横線は、防音壁(1.5m程度)や目隠しフェンスなどがあるが、上部から他者土地へ漏洩する可能性がある。

以上の条件から一般的な都市部の駅の環境であり、普及展開を検討するにあたり、電波伝搬調査・検討場所として好適であると考えた。

1階 東急大井町線	屋内RU×3台 (無指向性)	先頭、後方及び中央部に設置
2階 東急東横線	屋外RU×2台 (指向性)	上り線先頭、下り線先頭へ対向に設置



障害物の例)



東急東横線の他者土地漏洩ポイントの例)

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討

ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

■ エリア算出表の閾値の検証評価

カバーエリア端、調整対象区端の実測情報と机上計算などの地点の差分要因を考察



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

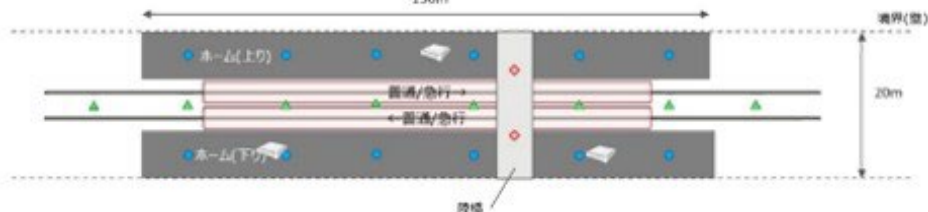
■ カバーエリア内のローカル5G性能評価

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、以下測定地点にて実施

2階: 東急東横線): 28ポイント



1階: 東急大井町線): 22ポイント



電波伝搬モデルの精緻化

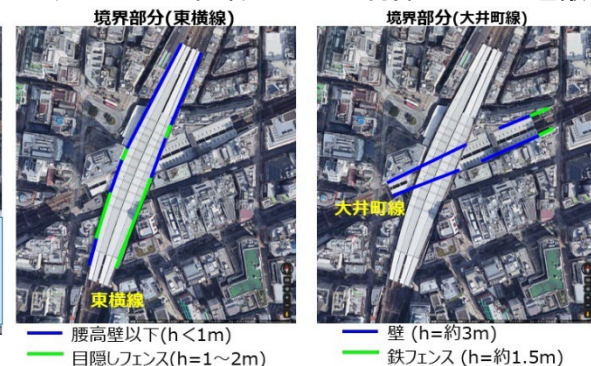
■ 半屋外且つ横長・狭小エリア環境の電波伝搬の精緻化

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値)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。

パラメータSの仮説検討)



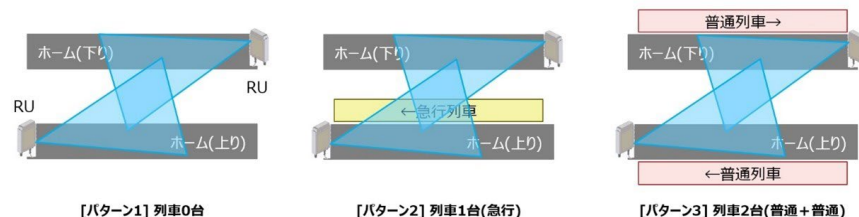
パラメータRの他者土地との境界における遮蔽度)



■ 運用を見据えた列車運行時の電波伝搬

鉄道会社への運用を見据えて、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
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

評価対象とした列車停車パターン



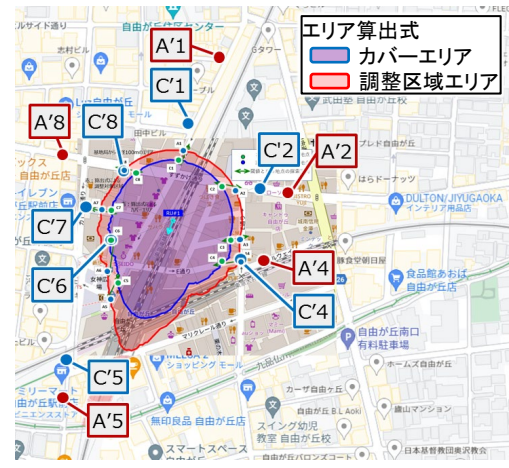
ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討

ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

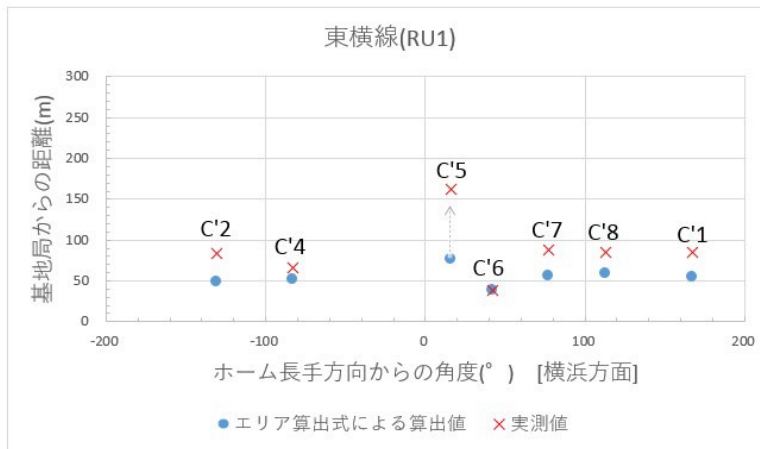
■ エリア算出法閾値の検証

東横線 <RU1 (屋外RU)>

エリア算出法の閾値実測地点



カバーエリア端までの距離/角度



考察

全体的に算出式結果よりも広く電波伝搬する結果を得た。両路線共に、開けた道路・線路沿いは、郊外地、開放地の条件に近いことから、市街地条件の算出結果よりも遠方まで電波伝搬したと考える。

<東横線>

屋外RUを正面方向、且つ長手方向(線路方向)に設置しており、特に線路沿いは障害物が少ないことや、電波の指向性の影響もあり、広く電波伝搬する傾向がある。

<大井町線>

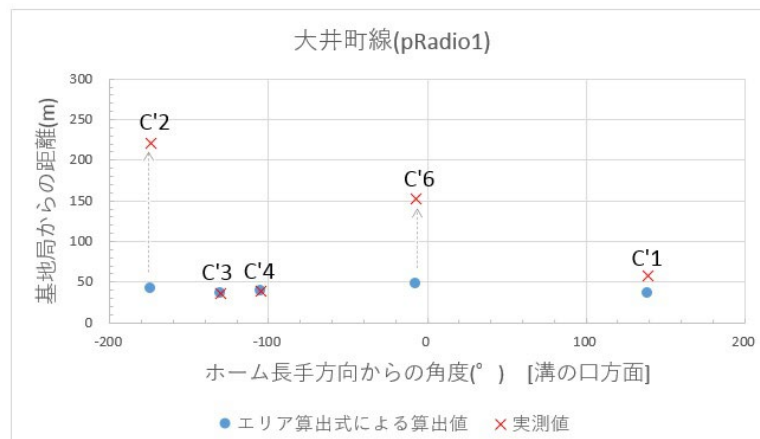
屋内RUの電波は無指向性であり、装置を起点に開放方向(線路沿いや改札口等)や、閉塞方向(壁面、建屋等)によって、電波伝搬が影響する傾向がある。東横線同様に線路沿いに広く電波伝搬する傾向がある。

大井町線 <pRadio1 (屋内RU)>

エリア算出法の閾値実測地点



カバーエリア端までの距離/角度

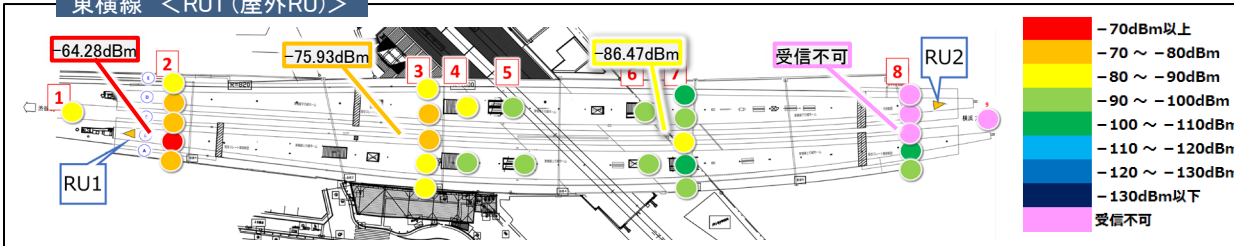


ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討

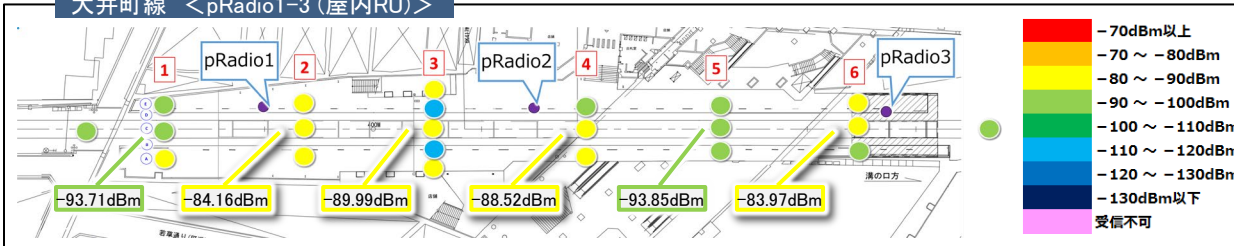
ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

■ カバーエリア内 電界強度(SS-RSRP) 測定結果

東横線 <RU1 (屋外RU)>

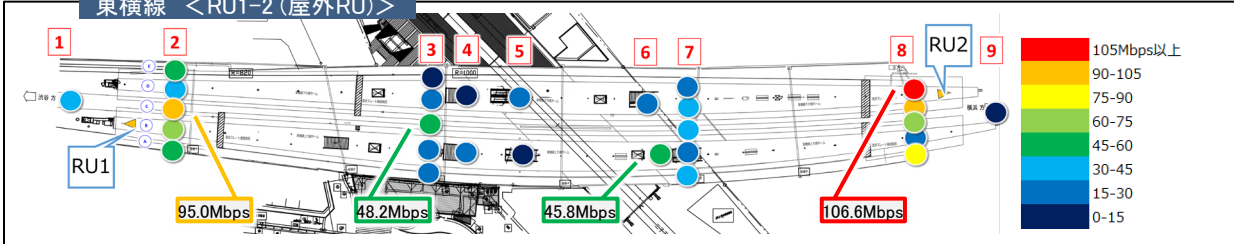


大井町線 <pRadio1-3 (屋内RU)>

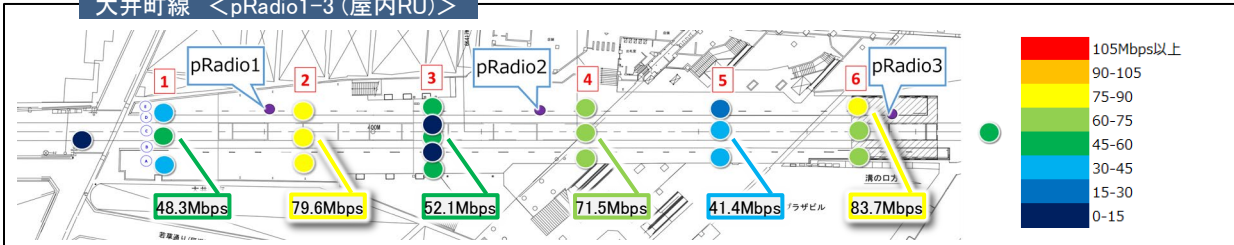


■ カバーエリア内 ULスループット測定結果

東横線 <RU1-2 (屋外RU)>



大井町線 <pRadio1-3 (屋内RU)>



考察

■ 電界強度(SS-RSRP)について

<東横線>

電界強度値が取得できた全ての測定地点でカバーエリア閾値-119.8 dBm以上の結果を確認。算出式上ではホーム中央付近で閾値を下回る想定だが、ホーム上は郊外地、開放地の条件に近いことから、遠方まで電波伝搬したと考える。

<大井町線>

全ての測定地点でカバーエリア閾値-119.8 dBm以上の結果を確認。測定ライン③上に電界強度が低いポイントがあるが、大井町線の上り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る。

■ ULスループットについて

<東横線>

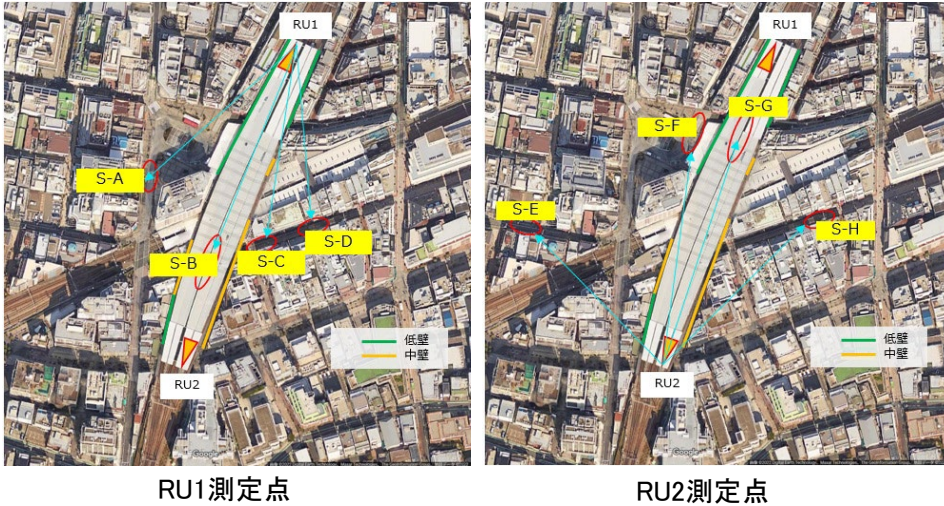
大方の測定地点で、ホームドア閉扉支援の所要性能9.216Mbps以上の結果を確認。但し、ホーム中央付近では落ち込む傾向があるのは、RU1とRU2が向かい合って送信しており、電波干渉が影響していると考えられる。

<大井町線>

大部分の測定地点で、車載モニタリングの所要性能91.4Mbps以下の結果を確認。特に測定ライン①、③上の測定ポイントでは低い傾向がある。本測定時に、東横線のUEより課題実証用カメラの映像データがUL送信されており、電波干渉した影響と考える。電波干渉を排除した場合に性能改善されることを確認している。

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討

電波伝搬モデルの精緻化(Sの精緻化)



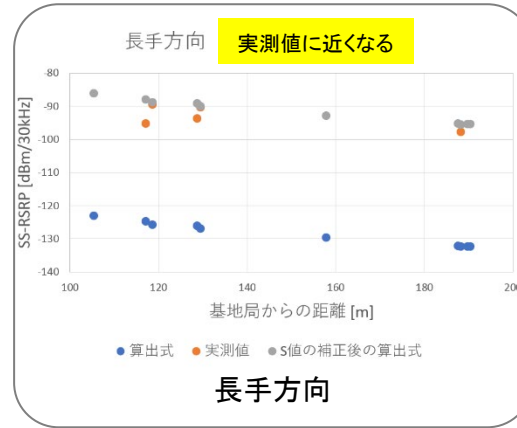
	測定結果より導出したSの値		
	パターン1※	パターン2※	パターン3※
ホーム長手方向	36.9	25.6	34.4
それ以外	23.0	22.7	16.7

※パターン1~3は列車停車パターン(P.11右下図参照)

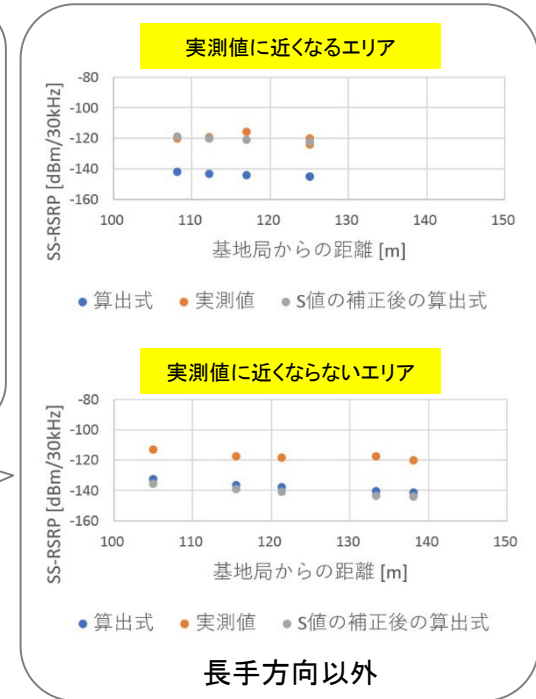
【列車停車パターンの影響】

下記影響あり

- ホーム長手方向: パターン2が10dB程度低い⇒ホーム上の測定地点が停車列車で遮蔽されたためと考えられる
- それ以外: パターン3が7dB程度低い⇒両外側の停車列車による遮蔽の影響と考えられる



長手方向以外では
実測値に近ならないエリアが
存在



導出したS値を算出式に適用した受信電力のグラフ

【仮説の検証】

- ホームの長手方向とそれ以外では異なるS値をとる ⇒ 成立
- 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 ⇒ 不成立

仮説が成立しない要因

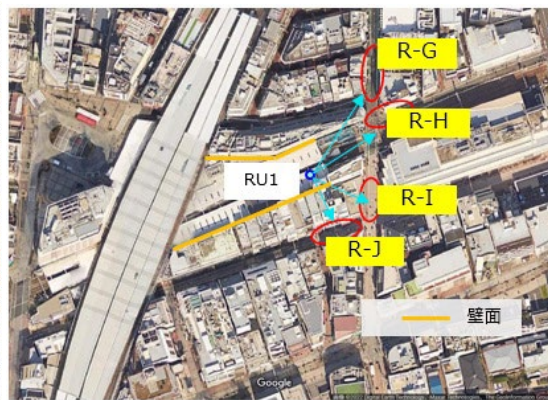
- S値の算出時に、基地局と測定エリアを結ぶ直線経路で境界条件に相当するR値の透過損失分を考慮したが、他の境界部分からの電波漏洩により、透過損失に相当する減衰が実際には小さくなったためと考えられる

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討

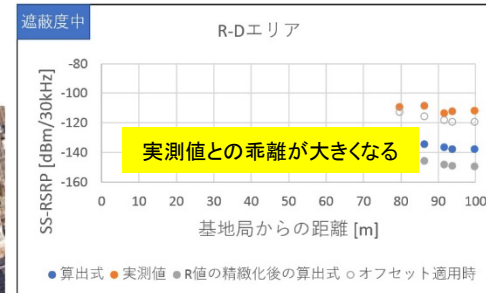
電波伝搬モデルの精緻化(Rの精緻化)



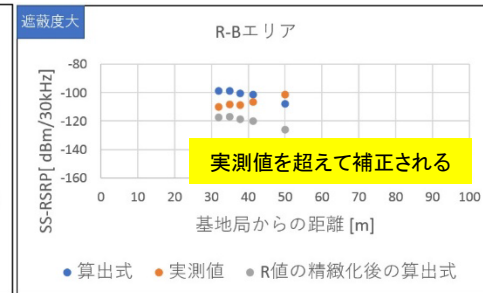
東横線測定エリア



大井町線測定エリア

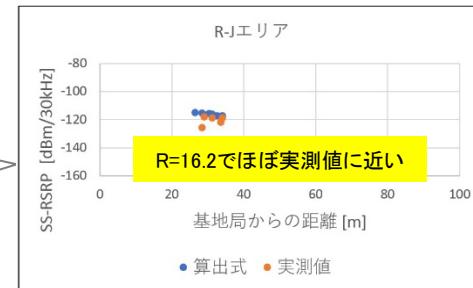


東横線(建物密度低いエリア)



東横線

隣接建物による透過損を考慮すると $R < 16.2$ と考えられる



大井町線(短手方向)

エリア算出式による受信電力

【仮説の検証】

- 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
⇒ 成立
- 東横線のRの推定値 R_1 と、大井町線のRの推定値 R_{2f} について
 $0 < R_1 < R_2 < 16.2$ の関係が成り立つ
⇒ $R_2 < 16.2$ は成立、 $R_1 < R_2$ は不成立

仮説は遮蔽度の大小関係とRの相関関係を確認する観点で設定したもので、一部不成立ではあるが、下記の知見が得られた。

東横線自由が丘駅のような都市部の半屋外駅: 狭小エリアの自己土地と他者都市との境界が近いため、自己土地からの電波漏洩の影響が生じ易い

⇒ Rの減衰影響を打ち消す作用が生じていると考えられる。
建物密度が低いエリアでは30dB程度、そうでないエリアは10dB程度のオフセットをR精緻化後の算出式に適用することで実測値に近い値が得られる

	測定結果より導出したRの値		
	パターン1※	パターン2※	パターン3※
遮蔽度小(壁面、隣接建物なし)	0.0	0.0	0.0
遮蔽度中(壁面のみあり)	11.4	16.7	18.1
遮蔽度大(壁面と隣接建物の両方あり)	20.4	22.5	18.9

※パターン1~3は列車停車パターン(P.11右下図参照)

【列車停車パターンの影響】

- ・遮蔽度中: 停車列車による遮蔽の影響からパターン1 < パターン2 < パターン3の傾向あり
- ・遮蔽度大: パターン3が低い値となっている
(要因)両外側の停車列車による反射波の漏洩の影響と考えられる

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討

ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決への取り組み

自己土地への干渉影響について

●UEの指向性制限

電波吸収体または金属筐体を用いて、UE收容筐体に覆われたUEを設置。
UE收容筐体に覆われたUEからそのUEが接続しているRU以外のRUへの通信電波を低減させることで他のUEの通信への干渉を低減可能かを検証した。

結果：ラボの暗室ではUE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、UE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は得られなかった。

電波吸収体を適用したUE收容筐体に覆われたUEを設置



他者土地への漏えい対策(エリア設計)について

●ホーム短手方向: RUへの電波吸収体適用

電波吸収シートを上下左右+背面に設置してでRUを囲うことにより、ホーム短手方向の漏洩電力が低減可能かを検証した。

結果：左右90度のLOSの地点においては5dB程度の効果がみられる場所も存在したが、全体的に効果は薄い。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により低減効果が得られにくくなったためと考えられる。

●ホーム長手方向: RU低出力化・チルト角変更による漏洩レベルを伝搬シミュレーションで評価

RU低出力化・チルト角変更によりどの程度の効果が期待できるかをシミュレーションで確認した。

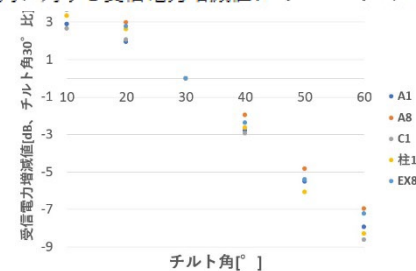
結果：反射波を考慮してチルト角を浅くした場合の送信出力の所要低減量を確認できた。チルト角を浅くすることによる他者土地への漏えい効果とRUの電波出力の低減に伴うスループットの低減影響を加味した最適化が今後の課題。

通常運用状態

電波吸収シート取付状態



チルト角に対する受信電力増減値シミュレーション結果



他者土地への漏えい対策(エリア設計)と自己土地内の干渉対策を両立しつつ必要な性能(スループット)を実現していくためには干渉影響の少ない端末位置の調査、基地局の送信電力パラメータの調整、基地局の1セル化(DAS化)等の対策、基地局-端末間の遮蔽回避策と併せてミリ波帯の利用も含む対策検討が必要。

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)

ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討

課題背景

労働力人口の減少が予見される中で、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「デジタルステーション構想」実現を目指す。

鉄道業界の課題

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

インフラの老朽化に伴う保守ボリュームの増加による
運行支障原因の増加

コロナ禍における働き方改革/急速なテレワーク普及に伴う
収益の悪化

課題解決の方向性

少ない稼働で保守・運用業務の維持・拡大を可能とする高効率な鉄道オペレーション

設備検査頻度の向上/設備異常の早期発見による運行リスクの低減

人が行う作業の機械への置き換えによる固定費の削減

安心安全な環境/そこでしか出来ない体験価値の提供による乗降者数の増加

課題解決方法 本実証の対象

省人化

線路巡視業務の高度化
 車両ドア閉扉判断の高度化
 画像解析による無人店舗

安心安全

駅構内の画像解析による不審者検知
 サービスロボットによる構内清掃
 ドローンによる難所点検

生産性向上

MRデバイスによる遠隔作業支援
 乗降者数集計によるダイヤ戦略の高度化

UX向上

駅顔認証によるゲートレス
 駅混雑可視化・スムーズな乗換誘導
 パーソナライズドデジタルサイネージ
 付加価値のある車両空間の提供

デジタルステーション構想の実現へ

ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討

実証の目的

将来的に労働力人口が減少していくことを踏まえ、鉄道運行の安全性向上や安定性を維持する業務の省人化または自動化を目的とする。本検証では「鉄道保守業務」と「ホーム案内業務」に関する実証を行い、他地域への横展開も含め多角的に検討を行った。

- 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
 - ・車両前方に高精細カメラを設置し、沿線設備の異常を検知する
 - ・異常を自動検知し、線路内目視検査・巡視の負担軽減を狙う
- 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
 - ・ホーム上のカメラ映像を用いて列車の閉扉可否判断を自動化し、運転支援業務の自動化・省力化を狙う

車載モニタリング概要図



車両ドア自動閉扉



ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討

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

車両前方の4Kカメラ映像をAI解析することで沿線設備の異常を自動検知し、設備状態の異常を現地に出向かずに保守員が確認可能なローカル5G活用モデルの構築を目指す。同システムの実装に向け効果面・機能面・運用面から以下の通り検証を行った。

■ 効果検証結果

【定量面】

① 巡視周期の短縮効果

周期短縮に向け必要としている他ソリューション



軌道材料、変位モニタリング



鉄道版インフラドクター

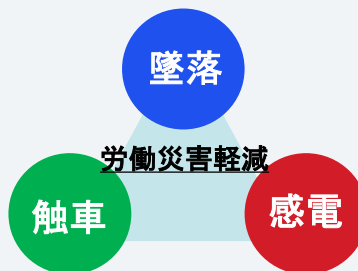
巡視周期の短縮検討(設備を所管する部署へのヒアリングを基に算出)

	列車添乗巡視	徒歩巡視
軌道担当	回/日 → 回/週	回/週 → 回/月
電気担当	回/月 → 回/3カ月	回/月 → 回/3カ月

上記の他ソリューションと組み合わせることで巡視周期短縮を実現

【定性面】

① 保守員の負担軽減



高度化の移行条件	
状態監視	対象設備の網羅的な監視
AI解析	AIモデルの精度向上
法令	巡視周期延長やAIへの置き換えが可能か
運用	高度化業務フローの確立

荒天や猛暑時期など外部環境での作業減少により、保守員の負担を軽減

② 列車運行の安全性向上

時間基準保全(TBM)から状態基準保全(CBM)へ



営業列車による監視



異常のリアルタイム通知



異常の予兆を検知

営業列車による巡視頻度の向上により、列車運行の安全・安定性に大きく寄与

ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討

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

機能検証結果

① 停車時間中における映像データアップロード時間

データの圧縮等で、目標値の駅停車中に必要分のアップロードを確認

主要パラメータ		撮影時間	データ容量	転送時間
コーデック	H.265	8分	233MB	34秒
撮像頻度	5fps	2分半	69MB	11秒

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

5fpsの撮影で、砕石道床あおり検出に必要十分な映像を確保



③ 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

対象	目標時間	評価
緊急性の高い検出対象	10分	処理順組換で対応可(最早数分)
上記以外	60分	達成(おおむね30分程度)

④ AI精度

全体的に精度が低く、自動化に向けては季節や時間帯による陰日向の差異など、環境変化に対する堅牢性の強化が必要



季節による日陰の違いの例

砕石道床あおりの混同行列

		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	

⑤ カメラ設置検証

安全も配慮し設置位置決定

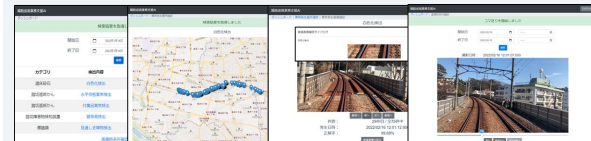


総合計測車

設置風景

⑥ 結果表示機能・UI(画面構成・表示内容など)

保守員の使い勝手を考慮したプロトタイプ画面を作成



ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討

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

■ 運用検証結果

① モニタリング対象設備の拡充



架線上、カラスの営巣



踏切全体をカバーし、異常検知
およびリアルタイム監視



柵垣等の倒れ・変状

前方カメラだけではなく、多角的な画角で設備を網羅的に監視していくかが課題(モニタリング以外にも振動や異音など人間の五感の代替が必要)

② 運用方法の検討

自動化までの段階的な運用を想定し、保守についてはAI(データ)利活用の技術力も強化していく必要がある



現状



リアルタイムの現地映像を事務所で確認

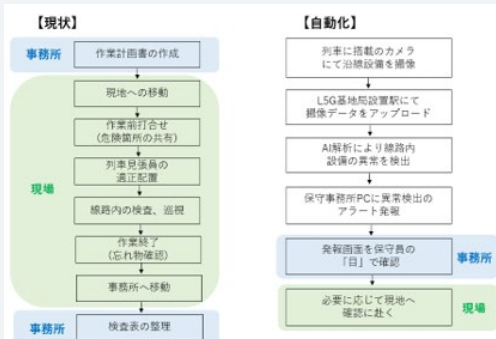


AI解析により設備異常を検出

将来的に異常時対応やデータ管理を「人」、検査の代替を「機械」にシフトしていくことを目指す

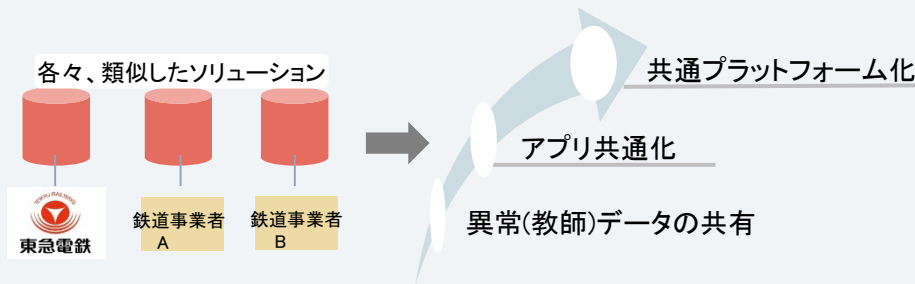
③ 業務オペレーションを通じた検討

自動化後の主な効果



	自動化
作業面	必要により現地へ赴くことで効率化を実現
労働衛生面	荒天、猛暑時の作業負荷を軽減
安全面	線路内作業減による触車事故の防止
安定輸送面	早期の異常検知による運行支障を低減

④ 普及展開の方針



人から機械に置き換えていくことを前提に、基準など規則見直しを鉄道事業者一体となり国に進言していく

ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討

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

駅ホーム上設置した4Kカメラで車両ドア周辺の映像撮影。同映像をAI解析し、車両ドアの閉扉判断を自動化することで、目視確認の支援及び駅係員の省力化を可能とするシステムの構築を目指す。同システムの実装に向け効果面・機能面・運用面の検証を実施

■ 効果検証結果

【定量面】

① 閉扉判断に係わる人員の省人化効果

自由が丘駅における終日のホーム案内勤務時間

(1) 上りホーム: 20時間15分 下りホーム: 20時間 合計: 40時間15分

(2) 1人あたりの実働時間 7時間55分(休憩時間含まず)

ホーム案内削減により約5人/日の省人化効果が期待できる。

② カメラ台数削減による設備投資費用の削減効果

東横線ホームの既設HDカメラ38台がシミュレーションツールによる試算から4Kカメラとした場合17台まで台数の削減が可能であるシミュレーション結果となった。

既設のHDカメラは20万円/台に対し、4Kカメラは32万円/台のため、

HD: 38台 × 20万円 = 760万円 4K: 17台 × 32万円 = 544万円

削減金額: 216万円/駅(カメラ機器費用のみ)

③ 無線化による施工費用の削減効果

既設乗降監視用ITVの施工費用はカメラ4台で690万円に対して、L5G ITV

とした場合、カメラケース、Webエンコーダ、LANケーブルなどの削減によりカメラ4

台で508万円、約185万円(27%)の削減効果が見込める試算となった。

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	

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

【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

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たか?

回答: 遅延していない: 6割 遅延している: 4割

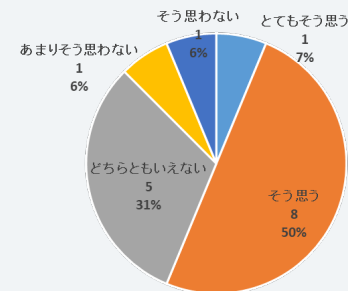
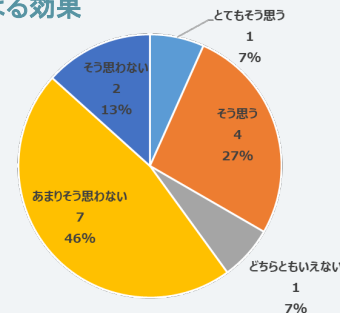
② 扉挟みリスクの軽減による安全性の向上効果

結果: 4K映像を使用してもタブレット端末に表示された映像では、視認性、扉挟みリスク軽減には効果が無い。ズーム機能があれば視認性向上の効果は期待できる。

③ 画像解析結果通知の有効性

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るか?

結果: 駅係員の代替となると回答した乗務員経験者は6割
判定精度、判定結果のちらつきが改善されれば実用可能となる。



ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討

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

機能検証結果

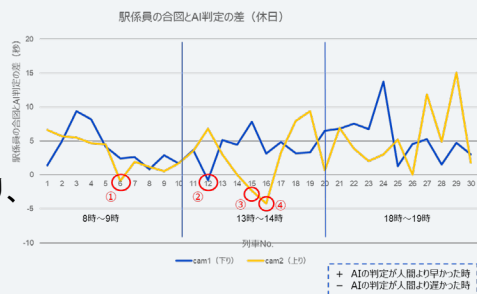
【定量面】

① リアルタイム性(AI解析結果表示までの時間)

AIが1度でも閉扉OKと判定したフレームと駅係員による合図までの時間を比較した。

AI精度、判定速度は人との比較、アンケートの結果からも概ね良好な結果が得られた。

人の場合、旅客の動きを見て乗車タイミングを予測し判断することがあり、AI判定よりも人の判断が早いケースが確認された。AIの閉扉NG判定が継続している場合など、運用方法も含め、今後の検討課題である。



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

上りホーム UL:75.9Mbps 下りホーム UL:71.5Mbps

DL:279Mbps DL:281Mbps

遅延時間(往復) 上りホーム:28ms 下りホーム:39ms

遅延時間(片道):16.75ms

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。

本システムのトータル処理速度:254.1ms(目標値:800ms)

③ カメラ1台あたりの撮像範囲

AIが人物を認識するために必要な70PPM※以上で撮像可能な距離を以下に示す。

HDカメラ:29.89m 4Kカメラ:55.58m(HDカメラの約2倍)

※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

【定性面】

① 判定結果表示機能

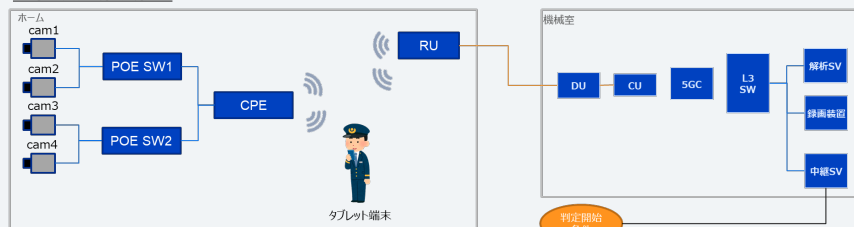
結果:タブレットの画面レイアウト、表示情報については8割以上が分かりやすいと回答。映像の遅延、画質は問題ないと評価

② 操作性などのシステムに係わる動作全般

結果: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。追加機能の要望として多かったのは、異常時の状況確認のためのズーム表示機能であった。

③ システム拡張性の検討

将来システム構成検討



- 乗務員はタブレット端末を使用し、4分割表示された判定結果および映像を見て車両ドア閉扉操作を行う。
- サーバは判定処理のリアルタイム性を考慮した場合オンプレ型が理想であるが、クラウド型のリアルタイム性とコスト両面で検討する必要がある。
- タブレット端末の今後の追加機能
 - タブレット画面上でのズーム機能
 - 「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
 - 「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)

ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討

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

■ 運用検証結果

① 駅業務における負担の軽減

自由が丘駅ホーム案内が削減されることで約5人/日の省人化が可能となる。東急線の他駅でも同程度の効果を見込んだ場合、東急線で35人/日の省人化が期待できる。本システム故障時は、一時的に駅合図要員による対応が必要となり、異常時における運用方、要員数など、今後検討が必要である。

駅運転支援業務の削減効果(東急線)

東横線		
渋谷駅	上り	7.5人/日
	下り	7.5人/日
中目黒駅	上り	2.5人/日
自由が丘駅	上り	2.5人/日
	下り	2.5人/日
白楽駅	上り	2.5人/日
横浜駅	上り	2.5人/日
	下り	2.5人/日
田園都市線		
渋谷駅	上り	2.5人/日
	下り	2.5人/日
合計		35人/日

② 乗務員業務の変化

- ・既設ITV(4台)+タブレット端末を確認する運用は安全面から不可。既設ITV廃止し、タブレット端末に置き換えることで画面が小さく、人が判断することは困難であるが、安定したAI判定機能を有することで運用可能となる。
- ・ヒアリングの結果より、本システム運用時の習熟期間としては3か月以内
- ・本システムの運用可能な時間帯については、半数以上が終日運用可能と回答
- ・故障時のフェールセーフの仕組み、ホームドア、発車ベルなど他システムとの連動を求める意見が多く、検討が必要。
- ・タブレット端末を持った状態では業務に支障をきたす可能性があり、車両内に固定する必要があるが、他社車両との調整は課題である。

【定性面】

③ 他駅への展開における有効性・実現性

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 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 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 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 傘を差した人物の判定 太陽光の反射、直接光 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)	カーブがキツイ	太陽光の反射 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。

④ 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勤し、復旧作業に応じる体制とする。

実装・普及展開に関する検討

【実装】

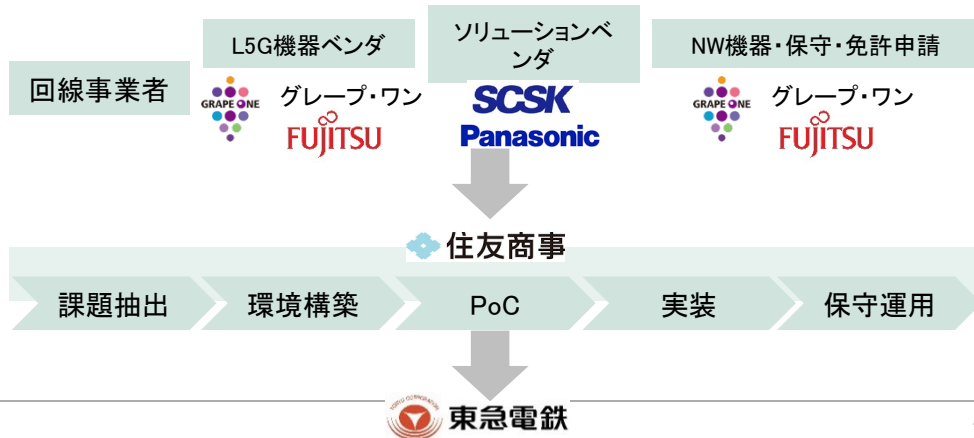
東急電鉄 自由が丘駅における継続利用

実装に向けた課題・改善すべき事項

- ①車載モニタリングはAI精度の堅牢性、検査対象物の拡充、運用課題が挙げられる。課題解消に向けて、2022年度以降は環境条件の拡充、季節性の検証、検査対象物の拡充を図る。
- ②車両ドア閉扉は、AIモデルへの他駅条件の学習、判定結果によらない運用方法の確立が課題のため、共に解消に向け検討を進める。
- ③狭小形状環境のローカル5Gエリア設計において、他セル間干渉や他者土地への反射による電波漏洩が課題となり、RU送信電力の低減や反射影響の少ないチルト角設定等を検討する

実装モデル

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実装モデルを想定



【普及展開】

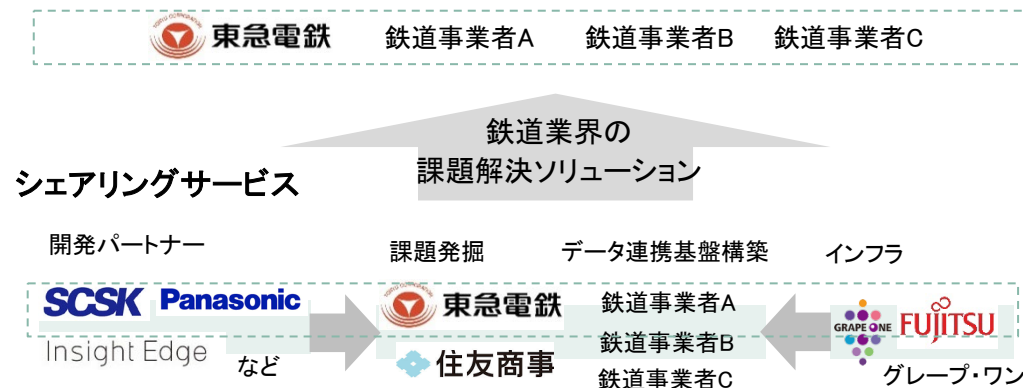
普及展開への道筋検討

着目すべき鉄道業界の課題特定

コンソーシアム参画企業取引先のうち5社の鉄道事業者に対して個社課題、ソリューションの導入可能性/興味度合い、導入に向けた課題などについてヒアリングを実施。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。コスト低廉化に向け、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。

普及展開モデル

住友商事と東急電鉄がシェアリングサービス提供主体者となり、複数の事業者でインフラ/ソリューションを共用化する実装モデルを想定

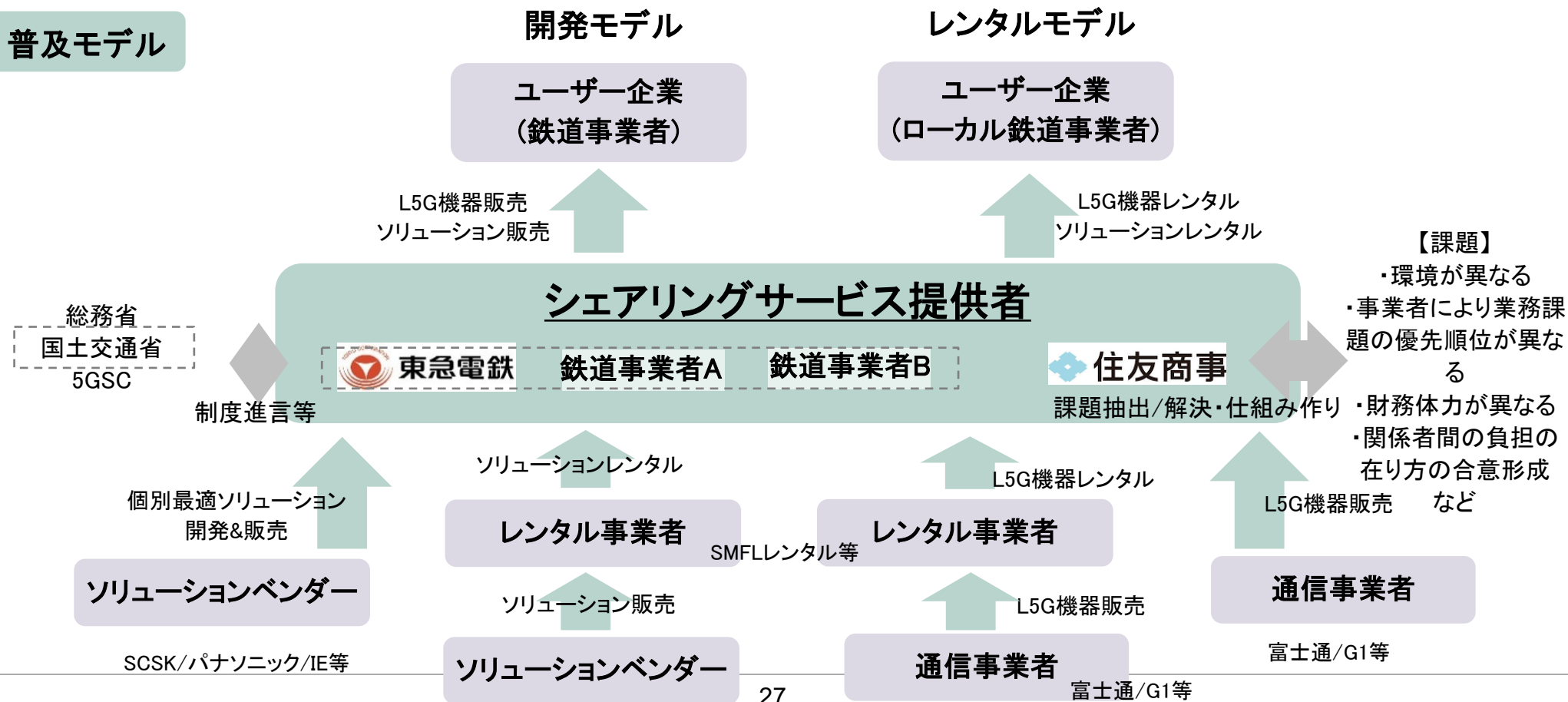


普及展開の事業モデル

■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。コスト低廉化に向け、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。

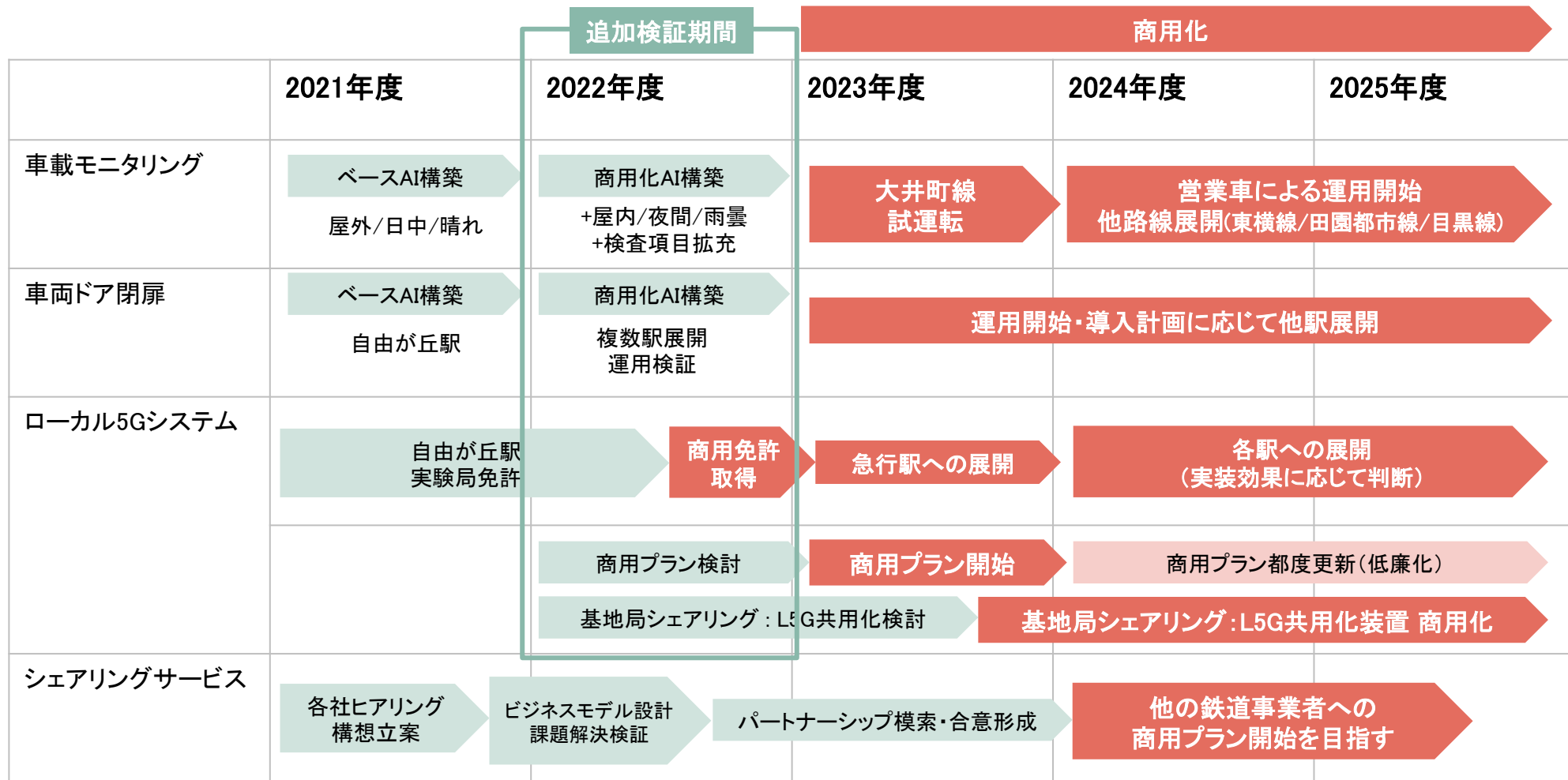
■一方、鉄道事業者により財務体力が異なる点も踏まえ、レンタルモデルの組成による導入・運用費用の最適化等、会社の経営状況に応じた事業モデルの準備も併せて検討する。

普及モデル



継続利用・実装計画

- 22年度も自由が丘駅において利用継続する(9月に商用局免許取得予定)
- 22年度に商用化に向けた追加検証(AI堅牢性/運用面等)を実施し、23年度から商用化を目指す



まとめ

まとめ

技術実証

■ 電波伝搬特性等の測定

- 線路や広い道路方向については郊外地・開放地の条件に近く、市街地条件の算出式より遠く伝搬する傾向が明らかとなった。
- 駅のホーム間のような狭小エリアの自己土地内の干渉によるスループット低下への対策が課題。
- 干渉影響の少ない端末位置の調査、基地局の送信電力パラメータの調整、基地局の1セル化(DAS化)、ミリ波帯の利用等の対策が考えられる。

■ I.電波伝搬モデルの精緻化

- S値についてはホーム長手方向は約30dB程度(開放地相当)、それ以外の方向は約20dB程度(郊外地~開放地相当)の値にて実測値と整合した。
- 都市部の狭小エリアの半屋外環境では他者土地との境界が近いことで、Rの減衰影響を打ち消す作用があることが明らかとなった。
- R値に関する上記作用は伝搬損失を下げるオフセット値と見えており、建物密度の観点での調査などにより、値を決める条件の明確化が課題。

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

- 短い駅停車時間内に4K映像伝送成功。WEB表示までの処理時間は駅到着後30分以内と目標の60分以内を上回る結果
- 日中環境においてAIモデルを構築したが、実用化に向けては、季節性や時間帯による陰日向の差異など、環境変化に対する堅牢性の強化が課題。対策として、年間を通じた学習データ収集及び画像鮮明化処理等の前処理実施を図る。

■ 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

- 駆け込み乗車、乗りそうで乗らない乗客などの人の様々な行動含めAIは正確に判定結果を示せることを確認。
- AI解析結果表示までのリアルタイム性は全時間帯を通しAIは人より早く閉扉判断を行えることを確認。
- 一方、混雑時は旅客乗降中でもダイヤ遅延を避けるため閉扉操作を行う事があり、AIの閉扉NG判定時の運用方法が課題。判定結果によらない運用方法の確立に向け各実地での検証を進める。

実装・普及展開

- **実装**: R4年度も自由が丘駅にて継続検証(9月にローカル5G商用免許取得予定)。AIの堅牢性/運用面を継続検討予定。

- **普及展開**: 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。コスト低廉化に向け、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。(住友商事→共用化仕組み作り/ビジネスモデル立案/事業性検証、東急電鉄→課題抽出、基準・制度見直しの国への進言等)