

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

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

成果報告書概要版

令和5年3月

住友商事株式会社

実証概要

実証概要

実施体制 <small>(下線: 代表機関)</small>	住友商事(株)、東急電鉄(株)、横浜高速鉄道(株)、SCSK(株)、西日本旅客鉄道(株)、沖電気工業(株)、富士通(株)、京セラコミュニケーションシステム(株)、サムスン電子ジャパン(株)、伊豆急行(株)、九州旅客鉄道(株)、名古屋市交通局、西日本鉄道(株)、首都高速道路(株)、東急(株)、イツ・コミュニケーションズ(株)、Sharing Design(株)、(株)グレープ・ワン、(株)Insight Edge	実施地域	神奈川県横浜市、東京都目黒区 (東急電鉄菊名駅~妙蓮寺駅間の線路区間、自由が丘駅、横浜駅、菊名駅、横浜高速鉄道横浜駅)
実証概要	鉄道インフラや車両のメンテナンス業務においては、少子高齢化等を原因とした就業者不足に直面。また、ホームドア整備によりホーム上の安全性は向上する一方、ホーム上以外での事故発生率は横ばい状態という課題が存在。 ▶ 鉄道駅及び沿線にローカル5G環境を構築し、車載カメラとAIを活用した沿線設備異常の自動検知及び沿線カメラとAIを活用した線路敷地内監視の実証を実施。 ▶ 鉄道設備の保守高度化や異常の自動検知を通じた列車運行の安全性向上、安定輸送の継続を実現。		
主な成果	▶ 季節影響によるAI検出率の差は最小限かつ、 データ処理時間20分以内 を達成。UI検証から業務効率化が見込める結果が得られた。 ▶ 日中時間帯(晴れ)の条件化における 検知可能距離は150~170m と良好な結果を確認。一方で天候や時間帯等(特に夜間)の環境変化に対する堅牢性の強化が課題。線路敷地内への侵入、退出経路が判明することで、 運転再開時間の短縮が期待でき、ソリューションの有効性を確認 した。		
技術実証	▶ 駅・線路における電波漏洩抑制を考慮した線状エリア構築手法の確立のため、鉄道駅における建物侵入損に着目した電波伝搬モデルの精緻化や、分散アンテナシステム、漏洩同軸ケーブルを用いたエリア構築の実証を実施。 ▶ 周波数:4.8-4.9GHz帯(100MHz)、28.2GHz-28.6GHz帯(400MHz) 構成:SA方式 利用環境:屋外、半屋外、屋内		
主な成果	▶ 漏洩同軸ケーブルの簡便なエリア算出式の導出を試み、 漏洩同軸ケーブルの減衰指数は正面、前方は1.2、後方は1.3 であることを確認。また、駅ホーム内外の遮蔽物により 実証環境における28GHz帯の建物侵入損は約25~31dB の値をとることを確認。 ▶ 漏洩同軸ケーブルの伝搬シミュレーション方法を導出するとともに、 指向性アンテナに比べカバーエリア端で5dBの電波漏洩抑制効果がある ことを確認。		
今後の展開	実装: 令和5年度に東横線全域にてソリューションの長期運用・AI改善・体制構築のもと、東横線にて実装 、令和6年度より東急他路線展開予定。 普及展開: 令和5年度に複数鉄道事業者とのソリューション共用化検証と外販向けの体制構築を進め、令和6~7年度に全国の鉄道事業者への展開を目指す。		

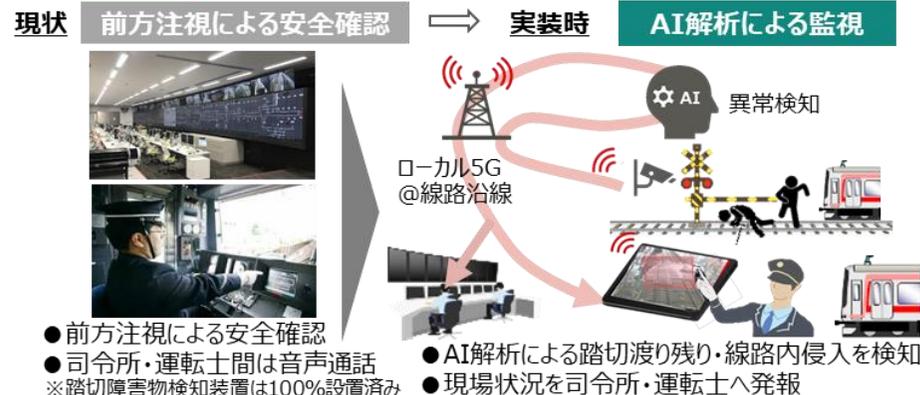
車載カメラとAIを活用した沿線設備異常の自動検知

駅ホーム 異常を自動検知し、線路内目視検査・巡視の負担軽減を実現



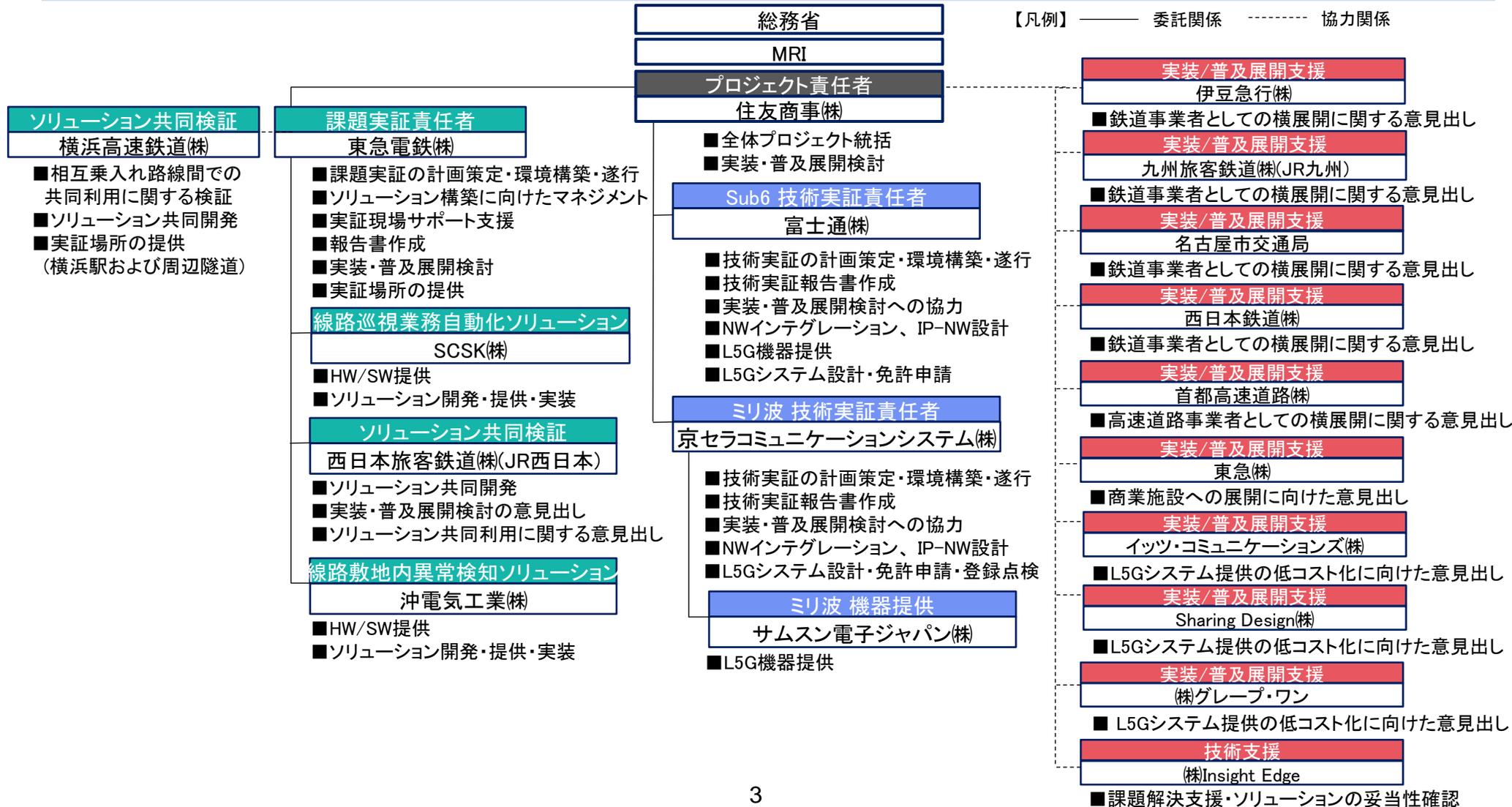
沿線カメラとAIを活用した線路敷地内監視

沿線踏切 AI解析による監視



実施体制

- 線状環境である鉄道駅・沿線敷地内におけるローカル5G活用を見据え、Sub6/ミリ波両方の技術実証が可能な体制を構築。
- 課題実証責任者である東急電鉄を中心に、複数の鉄道事業者による共同検証・意見交換が可能な体制を組むとともに、L5G通信事業者(グレイプ・ワン)、AIを活用したDX推進企業(Insight Edge)、5G基地局シェアリング事業者(Sharing Design)も交えて、効果的な実装普及展開の検討を行った。



実証環境

実証環境の構築 (Sub6) (1/2)

実証環境

対象周波数帯、構成、利用環境

実証環境フィールド		IN/OUT	構成	System	周波数	準同期
駅 (平地)	横浜駅	屋内	SA	Sub-6	4.85GHz (100MHz)	○
線路 (平地)	妙蓮寺駅～菊名駅	屋外	SA	Sub-6	4.85GHz (100MHz)	○
駅 (平地)	自由が丘駅	半屋外	SA	Sub-6	4.85GHz (100MHz)	○

実証ロケーション概要

横浜駅

- ・1プラットフォーム2線路のホーム(全長210m)をもつ空間密閉性の高い地下駅
- ・上階への開放部(階段・エスカレータ)は計4か所
- ・横浜高速鉄道(みなとみらい線)との相互乗入れ
- ・ホーム直近に曲率の大きいトンネルカーブ区間が存在



線路(妙蓮寺～菊名)

- ・菊名駅～妙蓮寺駅間、4か所踏切が存在
- ・区間は全長約1km、幅約10mの線状エリア
- ・線路周辺の両脇には、住宅地が密集している環境
- ・線路脇のフェンスは人がよじ登れる程度の高さ

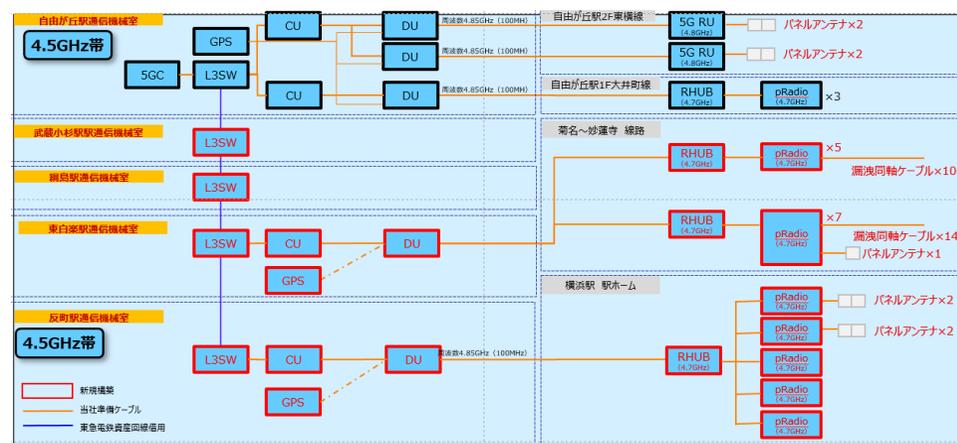


自由が丘駅

- ・他社土地の建物が近接、かつ半屋外環境として他社土地に電波が漏洩しやすい環境(一般的な都市部の駅でみられる構造的特徴を多数有する)
- ・昨年度、総務省実証においてローカル5Gを導入済み

ネットワーク・システム構成

ネットワーク・システム構成図



基地局エリアカバレッジ図

【線路】

約1km区間をDAS構成をベースとした屋内RUにLCXを取り付け、線路沿いに敷設(2セル構築)

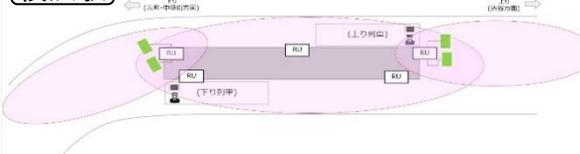
線路



【横浜駅】

ホーム全体をDAS構成をベースとした屋内RUで構成。データ送信可能時間を長く確保するためホーム上下線端にエリア拡張のための指向性アンテナを設置

横浜駅



実証環境の構築 (Sub6) (2/2)

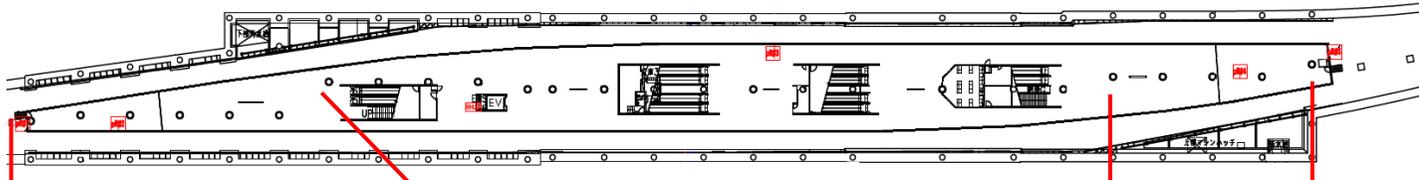
機器設置状況

横浜駅

【設置機器】

- ・屋内RU × 5
- ・パネルアンテナ × 2
- ・RU集約装置 × 1

- ・ホーム全体を1セル
5台のアンテナでカバー

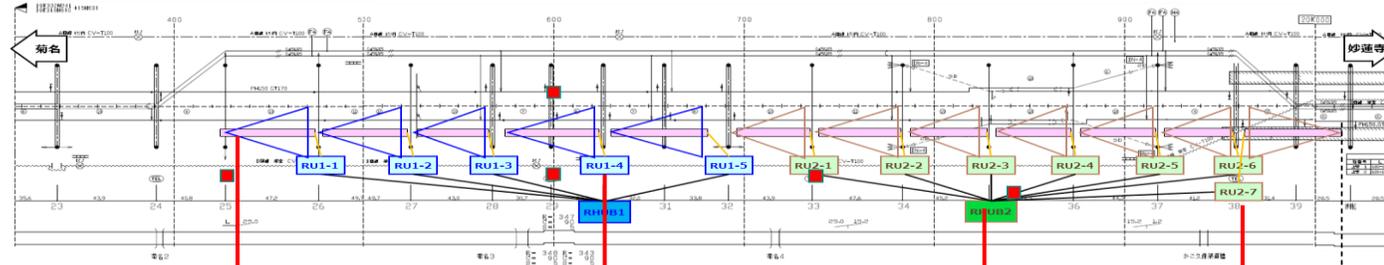


線路(妙蓮寺～菊名)

【設置機器】

- ・屋内RU × 12
- ・RU集約装置 × 2
- ・LCX × 24

- ・2セル, 12台のアンテナ
でカバー
- ・LCXは1本約50m
間隔で24本敷設



実証環境(ミリ波) (1/2)

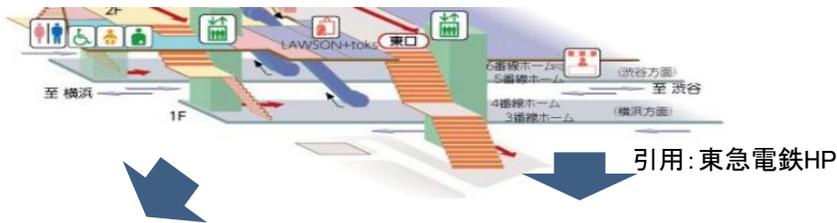
実証環境

- 対象周波数帯、構成、利用環境

実証環境フィールド		IN/OUT	構成	System	周波数	準同期
駅 (平地)	菊名駅	半屋外	SA (NR-DC)	ミリ波	28.2-28.6GHz (400MHz)	×

菊名駅

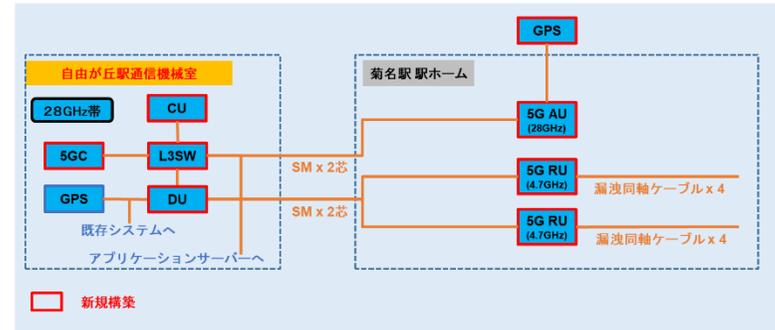
・JR横浜線との併設駅であり、横浜方面のホームは駅舎がある関係上 天井及びホームの側面においても建物により遮蔽されやすい造りとなっている一方で、渋谷方面は天井も簡素化され、ホームの側面も横浜方面と比較すると開かれた環境となっており、ホームの両端では遮蔽度が異なる環境である。



ネットワーク・システム構成

- ネットワーク・システム構成図

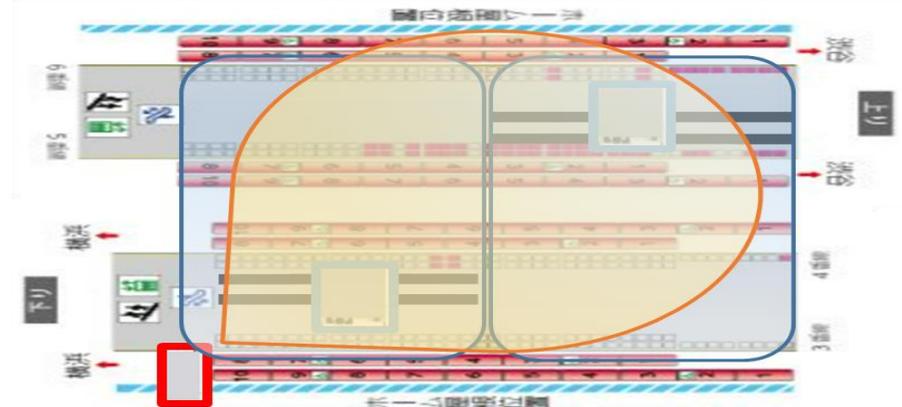
28GHz(NR-DC)機器構成



- 基地局エリアカバレッジ図



菊名駅ホーム



引用: 東急電鉄HP

実証環境(ミリ波) (2/2)

機器設置状況(ミリ波)

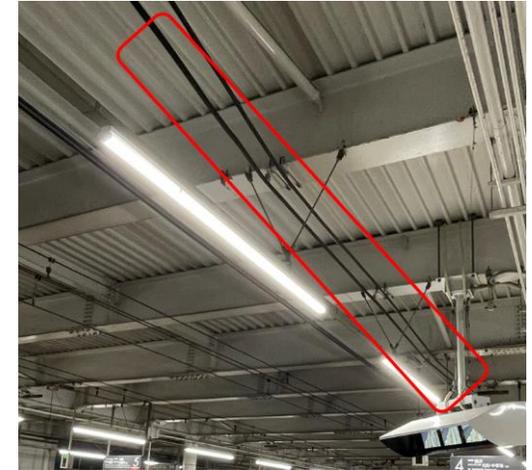
- ミリ波無線機



- ・水平方向の指向性を狭めるため、通常の設置状態(縦設置)から90度回転させ、横設置とした。
- ・駅ホーム内には通常看板等の構造物が設置されており、無線機の設置位置が限られるとともに、その構造物により見通しが遮られている。

機器設置状況(Sub6)

- Sub6無線機+漏洩同軸



- ・上り/下りの各ホームに無線機を1台ずつ設置し、分配器で2分配した漏洩同軸ケーブルを双方向に2本ずつ50m敷設した。
- ・上記により200m程度ある駅ホームを各無線機で100mずつカバーすることで、無線機の出力を極力抑えて駅ホーム全体を2MIMO構成とした。

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

技術実証テーマ I _線状の空間における電波伝搬モデルの精緻化(1/6)

実施場所: 自由が丘駅の大井町線ホームおよび駅周辺

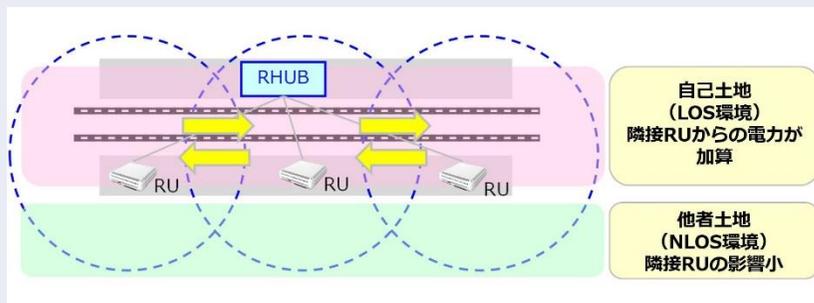
システム: 4.7GHz帯システム

技術的課題と実証目標

免許申請における現行の制度では単独のRUによる伝搬損失に基づくエリア算出式については規定されているが、複数のRUがDASを構成する場合のエリア算出式に関する指針は規定されていない。複数のRUからなるDASによりセルを構成する場合、カバーエリア、調整対象区域はDASを構成する各RU単独でのカバーエリア、調整対象区域を結合したものより大きくなる可能性があり、電波伝搬範囲の見積に影響を及ぼすと考えられる。本実証では複数RUによるDAS構成での電波伝搬の精緻化を通じて、**DAS構成におけるカバーエリア・干渉調整区域の作図方法の明確化**を目的とする。

実証前の仮説

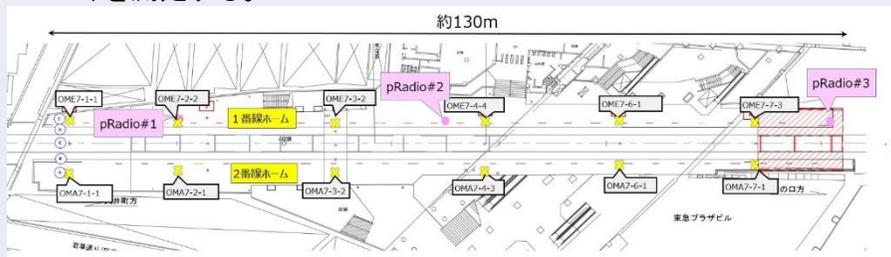
DAS構成時の受信電力は、駅ホーム内のような**LOS環境では各RUからの受信電力の和に近い値**をとり、反射・遮蔽の影響が大きい他者土地のような**NLOS環境ではUEの最寄りのRUからの受信電力が支配的**になると仮説する。



引用: © OpenStreetMap <https://www.openstreetmap.org/copyright>

実証内容

自己土地(大井町線ホーム)および他者土地(駅周辺)に設けた各測定点において、DASを構成する3つのRUのうち各RU単独での送信状態とした場合(3通り)と、3RU全てを送信状態とした場合(1通り)の合計4通りについて受信電力(SS-RSRP)を測定する。



自己土地での測定地点



他者土地での測定地点

引用: 国土地理院地図

技術実証テーマ I _線状の空間における電波伝搬モデルの精緻化(2/6)

実施場所: 自由が丘駅の大井町線ホームおよび駅周辺

システム: 4.7GHz帯システム

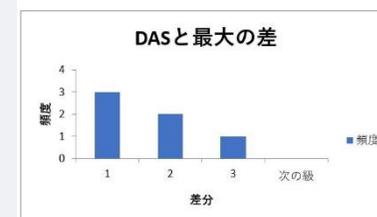
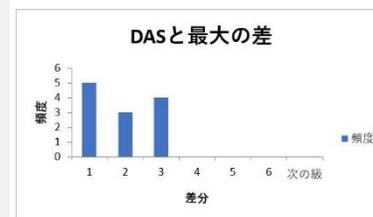
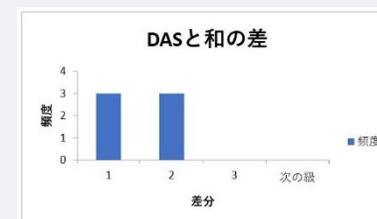
各地点の測定結果について、DAS時の値と、各RU単独送信時の和、最寄りRU、最大値を与えるRUとの差分をそれぞれ算出し、測定地点の度数分布を比較した。

比較結果

自己土地のようなLOS主体の環境
各RU単独時の和の受信レベル相当になる傾向がみられる

他者土地のようなNLOS主体の環境
最寄りの(受信レベル最大の)RU単独での受信レベル相当になる傾向がみられる

実証結果



自己土地での測定地点

他者土地での測定地点

◎エリア作図方法

- ・ホーム長手方向など駅の構造上LOSとなる地点: 各RU単独時の和の受信レベル相当としてプロット
- ・ホーム短手方向などのNLOSとなる地点: 最寄り位置のRU単独での受信レベル相当としてプロット

技術実証テーマ I _線状の空間における電波伝搬モデルの精緻化(3/6)

実施場所: 菊名～妙蓮寺駅間の線路区間

システム: 4.7GHz帯システム

技術的課題と実証目標

拡張秦式に基づく現行のエリア算出式は単一の送信源を想定しているため、**LCXのような電波の放射源に距離的な広がりがあるケースには適用困難**であり、LCXを用いた線状セル構築の際のカバーエリア・干渉調整区域を把握する手段が明確化されていない状態である。本実証では屋外の線路・踏切エリアに適用したLCXの伝搬モデルを解明し、**LCXに適したエリア算出式の導出を行うことを目的**とする。

実証前の仮説

エリア算出式では2乗減衰だが、LCXはより緩やかな減衰が予想されるため、単一のLCXに関して、LCXの正面の区間とLCXの前後の区間に分けて、減衰指数n(n乗減衰)に関して以下のような仮説を設定する。

仮説式: $P_r = P_t - (\alpha z + L_c) - 10n \log_{10} \left(\frac{r}{r_0} \right) + G_r - 8$

■LCX正面エリアでの伝搬

- ・自己土地: **n=1~1.5**
- ・他者土地: **n=1.5~2**

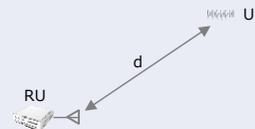
■LCX前方エリアでの伝搬

- ・自己土地: **n=1.5~2**
- ・他者土地: **n=2~2.5**

■LCX後方エリアでの伝搬

- ・自己土地: **n=2~2.5**
- ・他者土地: **n=2.5~3**

■受信電力(エリア算出式)



給電線損失

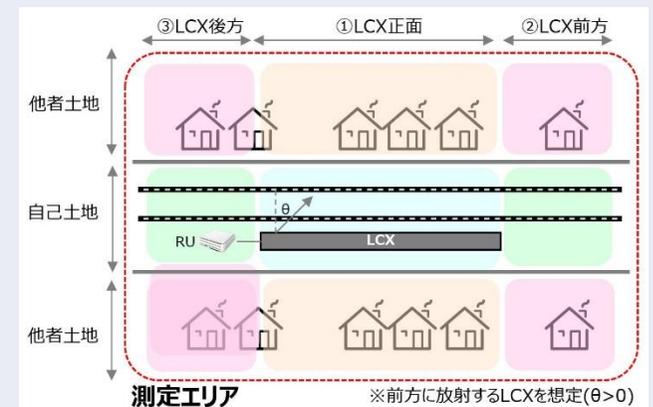
$$P_r = P_t + G_t - L_f + G_r - L - 8 \quad \text{式(2a)}$$

距離減衰

$$L = 10 \log_{10}(d^2) + A \quad \text{式(2b)}$$

実証内容

周辺環境(地形、遮蔽物等)の異なる複数のLCX区間として、LCX1-1, LCX1-3, LCX2-6の3つの区間を選択した。選択したそれぞれのLCX区間において、①LCX正面エリア、②LCX前方エリア、③LCX後方エリアの各区分において、自己土地および他者土地での受信電力(SS-RSRP)およびUE位置を測定する。LCXとの最短距離に対する受信電界の減衰の傾きから、減衰指数nの値を算出する。



技術実証テーマ I 線状の空間における電波伝搬モデルの精緻化(4/6)

実施場所：菊名～妙蓮寺駅間の線路区間

システム：4.7GHz帯システム

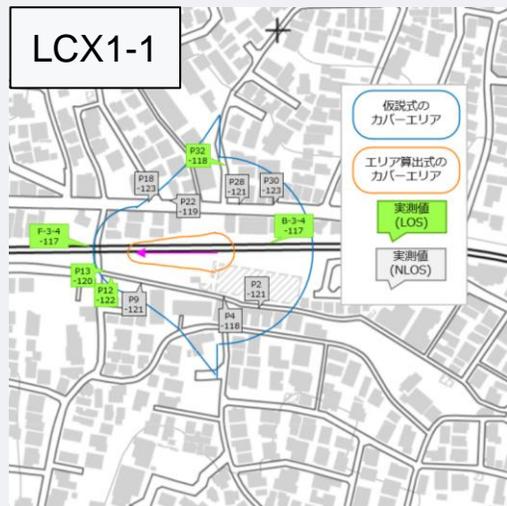
測定結果から減衰指数nは以下が算出された。

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

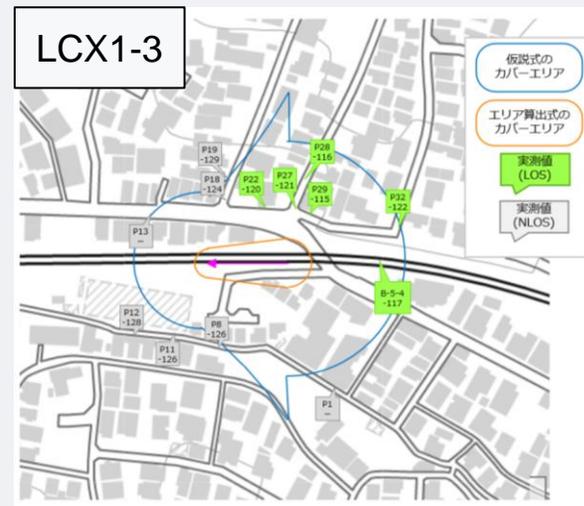
他者土地は建物の影響を極力少なくするため、NLOS地点での測定結果を除外した。このため自己土地と他者土地とで減衰指数に差がみられなかったと考える。

切片を調整した後、仮説式に実測により求めたnの値を適用した結果、全てのLCX区間で当初のエリア算出式よりも、**実測結果に近いエリア図を描くことができた。**

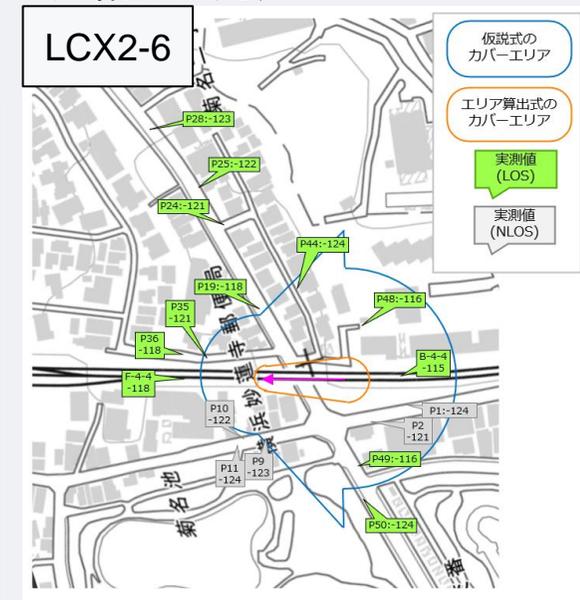
実証結果



引用：国土地理院地図



引用：国土地理院地図



引用：国土地理院地図

技術実証テーマ I _線状の空間における電波伝搬モデルの精緻化(5/6)

実施場所：菊名駅周辺

システム：28GHz帯システム

技術的課題と実証目標

半屋外環境である鉄道駅における28GHz帯の精緻化データは過年度の実証実験において十分に取得できておらず、**駅ホーム内外に設置されている遮蔽物に対する影響を考慮することができない。**
 本実証では、**駅ホーム内外に設置されている遮蔽物等により発生する遮蔽影響をR値として精緻化し**、今後のミリ波によるエリア設計や干渉検討に生かすことを目的とする。

実証前の仮説

R3年度開発実証における本コンソーシアムの駅ホームにおけるSub6のR値の精緻化結果の1つである11.4dBにエリア算出法で規定されるSub6/ミリ波のR値の周波数特性による損失の差分(3.9dB)を考慮し、ミリ波の駅ホームにおけるミリ波のR値を15.3dBと仮説を立てた。

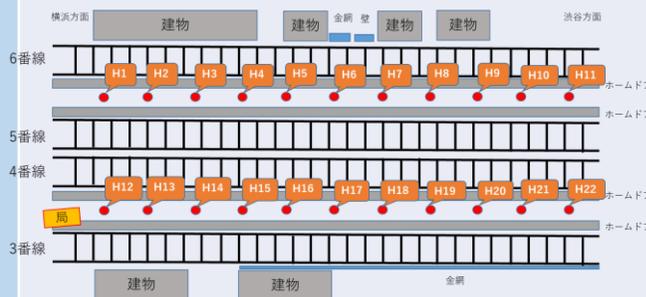
【駅ホームエリア内確認】

- 駅ホームのエリア内において列車の留置有無におけるエリアへの影響を確認。

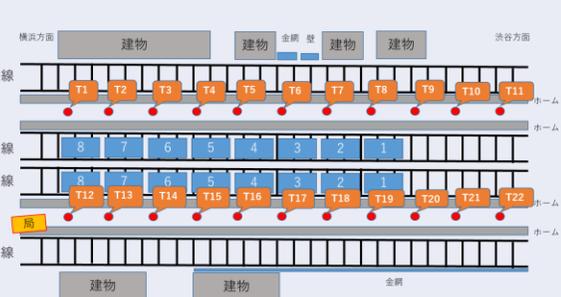
【Rの精緻化】

- 算出法エリア図及び仮説エリア図におけるカバーエリアおよび調整対象区域のエリア端を中心に受信電力を測定し、実測値との差分を測定。
- エリア算出法に定めるカバーエリア及び調整対象区域の閾値がそれぞれ実測される測定点を確認し、基地局と該当測定点との距離を確認。
- 遮蔽影響の異なる3つのグループ毎にRパラメータの精緻化を実施し、精緻化後のR値を用いて精緻化エリア図を作成。

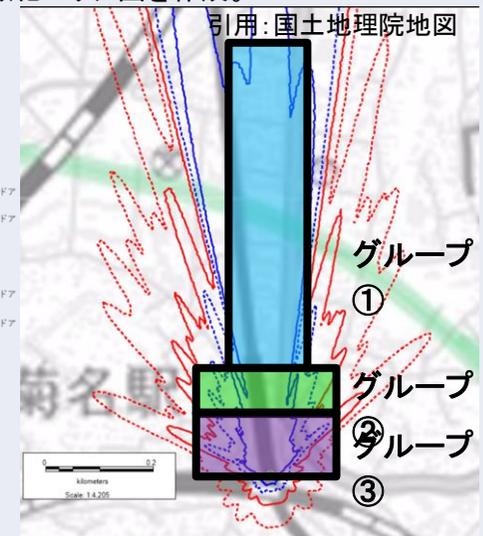
実証内容



列車留置無し測定点



列車留置あり測定点



R精緻化グループ

技術実証テーマ I _線状の空間における電波伝搬モデルの精緻化(6/6)

実施場所：菊名駅周辺

システム：28GHz帯システム

【駅ホームエリア内確認】

- ホームエリアにおいてはホーム上の遮蔽物による影響を大きく受けることが確認できた。
- 列車留置時、基地局設置側のホームは大きな変動はなかったが、基地局設置の反対側のホームで最大で27dB、平均で12dBの劣化がみられた。

【Rの精緻化】

- 3つのグループに分けて精緻化を実施した結果は以下。

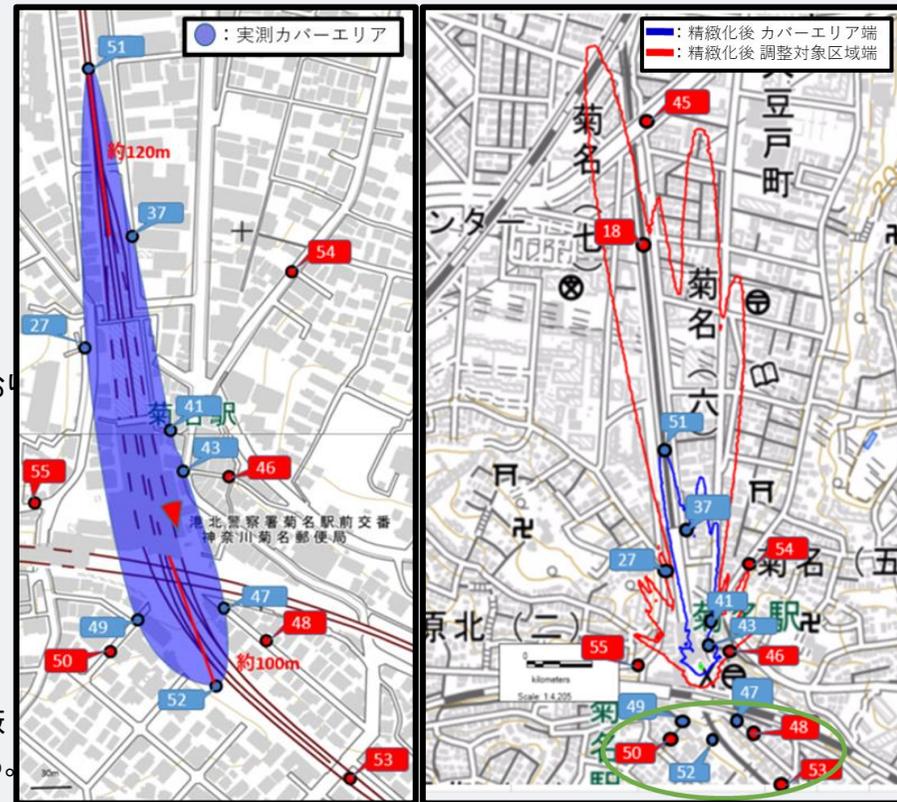
グループ①：指向方向上の線路及び道路上の地点

グループ②：ホーム側面の開放箇所から飛来する地点

グループ③：隣接建物によって隔てられた地点

	グループ①	グループ②	グループ③
R 値	29.4	30.8	25.6

- 短手方向については周辺他者土地への飛来は狙い通り抑制されており、長手方向(線路方向)については概ね自己土地(線路)内に収まっており、線状のエリア構築を実現できた。
- Rの精緻化により当初のエリア算出法よりも実測結果に近いエリア図を描くことができた。
- 駅ホーム内に基地局を設置する際は屋内と同様にR値を用いてホーム上の遮蔽物により発生する遮蔽影響を見込んでエリア図作成の必要があるが、駅ホームの構造や無線機の設置位置によって遮蔽影響が変わるため、他のケースについても精緻化していく必要がある。



引用：国土地理院地図

実証結果

技術実証テーマⅡ_線状の空間におけるエリア構築の柔軟化 (1/2)

柔軟化の対象：■不感地対策 □他者土地への電波漏洩軽減

解決方策 ■反射板 ■中継器 □DAS □LCX ■その他

エリア構築の課題
技術的課題

短手方向の幅が狭く他者土地との境界における遮蔽度の低い、鉄道軌道における業務区域をエリア化する場合に、**業務区域内の無線品質を確保しつつ、他者土地への漏洩を抑えること**。また、通貨列車による遮蔽の影響による業務区域内の無線品質劣化の影響についても考慮すること。

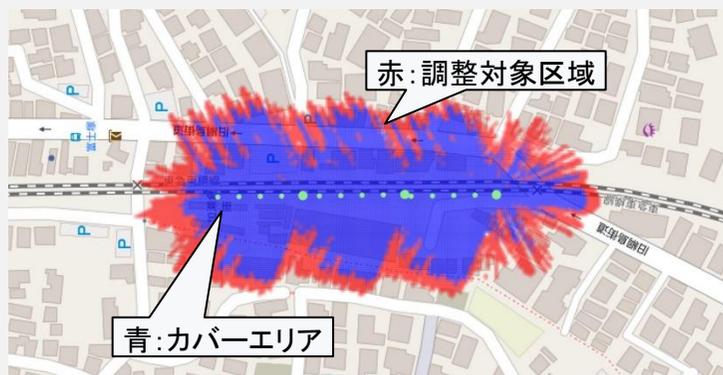
上記課題の
解決方策

課題解決前：ビーム幅の狭い指向性アンテナを使用する
課題解決後：送信出力を抑えるため比較的短いLCXを縦列に並べ、LCX間の干渉やハンドオーバー頻度を抑えるためDAS構成とする

業務区域、カバーエリア、調整対象区域、自己土地、他者土地



〔業務区域、自己土地、他者土地〕

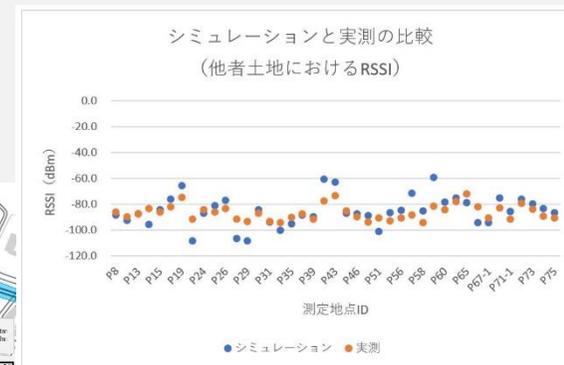
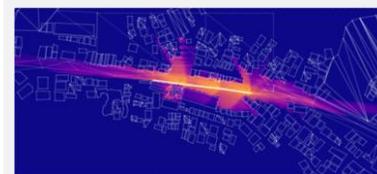


引用：© OpenStreetMap <https://www.openstreetmap.org/copyright>
〔カバーエリア、調整対象区域〕

エリア構築のシミュレーション

方法：レイトレース法による独自開発ツールを使用。長さ1mの単位LCXを縦列に並べ、各LCXの入力電力は前段LCXによる伝送損失を考慮。単位LCXの指向性パターンは別途測定のアナテナパターンによる点波源で模擬。スロット方向は下向き、周辺環境は建物のみ3Dモデル化(R=16.2)。

〔シミュレーション値/実測値を比較した図表〕



評価：〔実用性、優れる点、留意点等〕

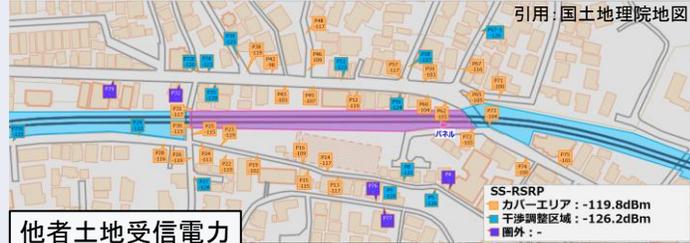
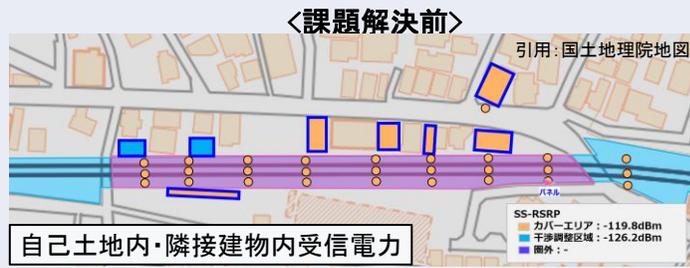
概ね実測に近い結果が得られた。一部LCXの前方端で実測との乖離がみられる。シミュレーション時間の制約から反射回数1回としているため、反射波で到達する前方端エリアは実測との乖離が大きくなったためと考えられる。

技術実証テーマⅡ_線状の空間におけるエリア構築の柔軟化(2/2)

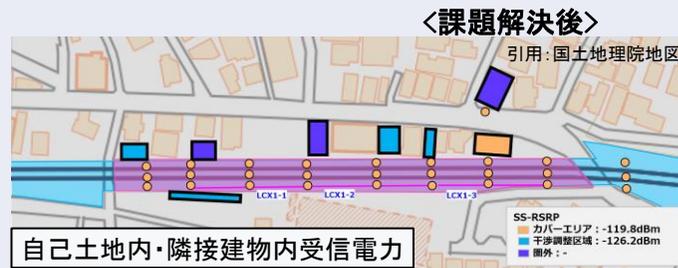
柔軟化の対象：■不感地対策 □他者土地への電波漏洩軽減

解決方策 ■反射板 ■中継器 □DAS □LCX ■その他

実証結果



	UL	DL	要求スループット
スループット(Mbps)	107~291	144~322	UL:120Mbps DL:80Mbps



	UL	DL	要求スループット
スループット(Mbps)	110~190	98~173	UL:120Mbps DL:80Mbps

自己土地内電力を確保しつつ、隣接建物内への漏洩電力が抑制された
改善量: 5dB以上

他者土地への漏洩電力が抑制された
改善量: 5dB以上

要求品質は概ね確保

実証の成果

〔課題解決への貢献〕

- ・他者土地への電力漏洩については、設けた測定地点のうち、カバーエリア端閾値以上となる地点が対策前後で6割程度から3割程度に減少、カバーエリア端閾値以下の同一測定地点比較で5dB以上の干渉抑制効果を得た
- ・自己土地隣接エリアに仮想的に設けた建物内の推定受信電力(透過損失R=16.2)は対策前後で平均5dB以上改善し、調整対象区域閾値以下に抑制
- ・自己土地内スループットは、課題実証に影響のない地点でわずかに目標未達があるものの、概ね目標値(UL120Mbps)を達成
- ・伝搬シミュレーションでは、単位LCXの縦配列により模擬できることが確認できた
- ・通過列車通過時は一時的な劣化はあるものの特筆すべき問題はみられなかった

〔さらなる課題の提案〕

- ・LCXは長手方向の放射もあるため、カーブ区間など長手方向に他者土地があるケースへの対策について検討が必要

写真



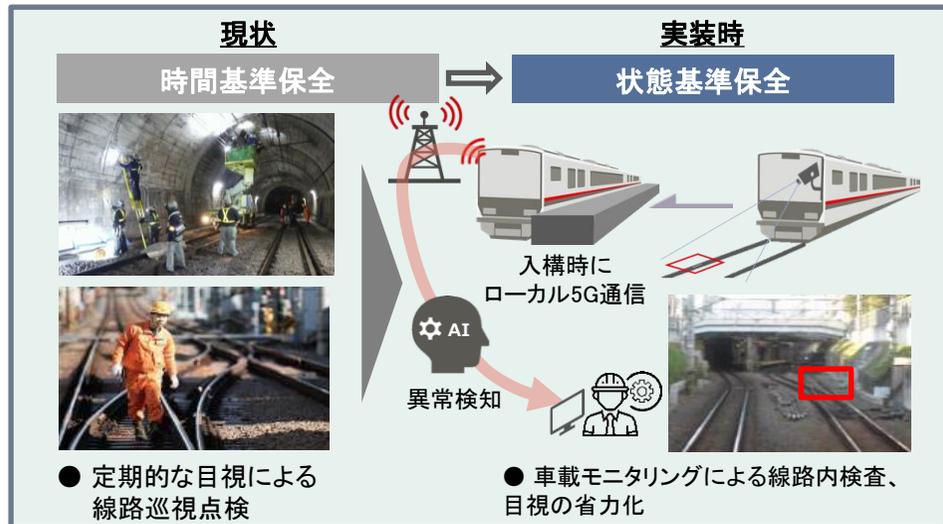
ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

実証概要・環境

■実証概要

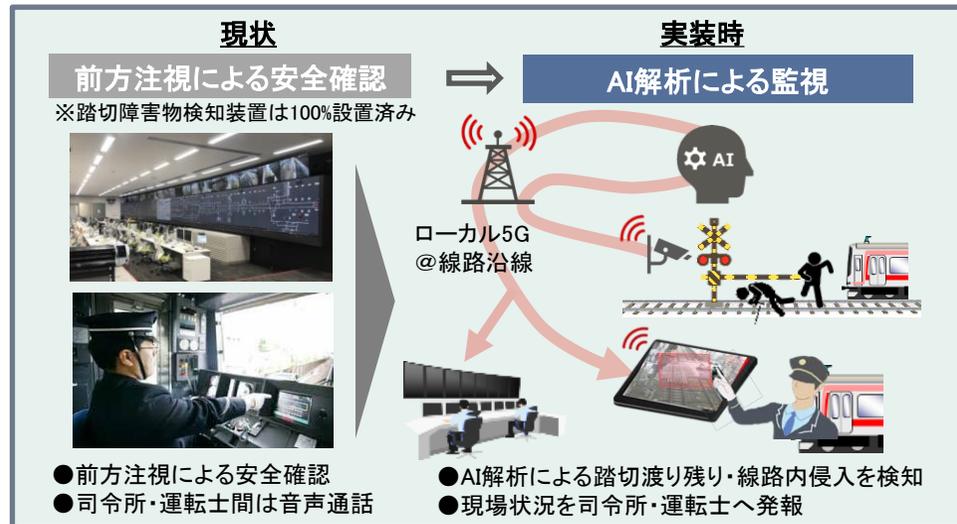
車載モニタリングカメラとAIを活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

目標：異常を自動検知し、線路内目視検査・巡視の負担軽減

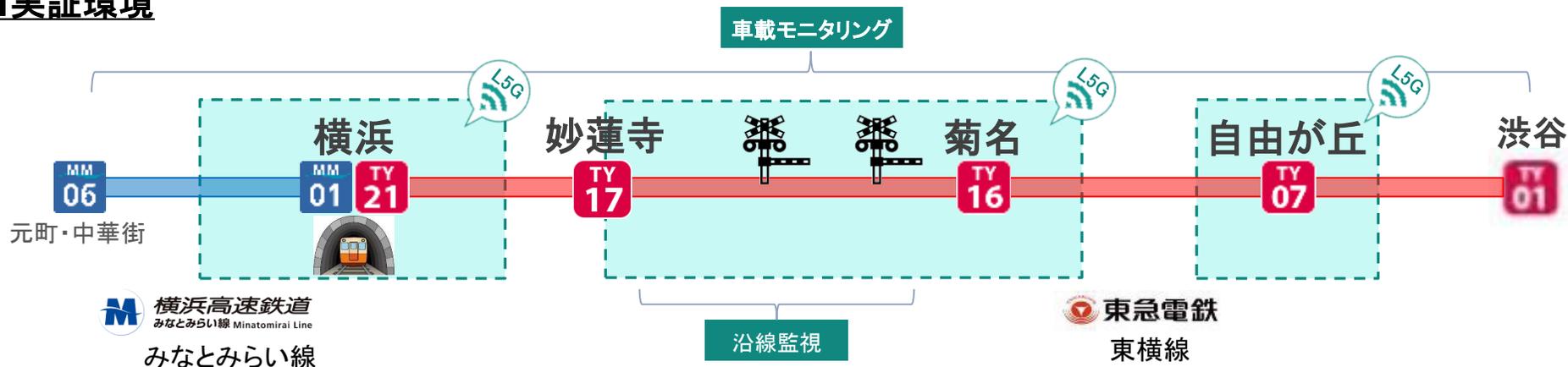


沿線カメラとAIを活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

目標：踏切・線路内異常を自動検知し、安全性向上を実現



■実証環境



実証内容 ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証

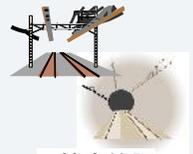
車載モニタリングカメラとAIを活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化

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。相互直通運転路線を一貫した実証エリアにおける環境適応型ソリューションに関し、同システムの実装、鉄道事業者各社への横展開を踏まえた効果面・機能面・運用面の検証を行う。

機能検証

- ① 【定量】停車時間中における映像データアップロード時間
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
駅→クラウド伝送からAI解析・結果表示までの処理時間
- ② 【定量】AI精度(モデル正解率・適合率、再現率)
- ③ 【定性】カメラ設置検証(適切なデータ取得手法の検証)
- ④ 【定性】結果表示機能・UI検証(画面構成・表示内容など)

環境適応検証



AI精度検証

運用検証

- ① モニタリング対象設備の拡充
- ② 運用方法の検証(現行業務フローとの変革・改善検証)
- ③ 業務オペレーションを通じた改善検討
- ④ ソリューション普及展開の方針
(相互直通運転企業との供用、他企業横展開)



結果表示検証

効果検証

- ① 【定量】AIを活用した高度化による
巡視・検査業務の周期短縮効果
費用削減効果を検証
- ② 【定性】保守員の負担軽減効果
- ③ 【定性】列車運行の安全性向上効果
- ④ 【定性】設備監視の周期の短縮効果



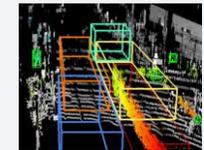
現場業務の変革検証

沿線カメラとAIを活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性の向上

線路敷地内や踏切を網羅的にカメラで監視して、渡り残りや第三者による線路内侵入を自動検知。異常映像を司令部や運転士に配信・通知することで事故の未然防止や、早期の運転再開が可能なローカル5G活用モデルの構築を目指す。

機能検証

- ① 【定量】複数カメラからの映像伝送⇒AI検知⇒通知までの時間
- ② 【定量】AI検知距離(昼夜条件でカメラからのAI検知範囲)
- ③ 【定性】カメラ設置位置(沿線設置間隔、撮影範囲)
- ④ 【定性】結果表示機能・UI検証(画面構成・表示内容など)



AI精度検証



UI検証

運用検証

- ① 検証後の業務フローの検討
- ② 本ソリューションの拡張性(人物以外にも幅広く流用可能か)
- ③ 地域連携の可能性(カメラ映像を鉄道以外に活用)
- ④ 他社への普及展開方針



地域連携の検証

効果検証

- ① 【定量】線路敷地内の安全性向上効果
- ② 【定量】カメラ撮影と既存の踏切障害検知装置との
機能、コスト面の比較検証
- ③ 【定性】乗務員の精神的負荷軽減効果
- ④ 【定性】お客様サービスの向上効果

列車運行のさらなる
安全性向上検証

実証内容 ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証

検証結果サマリ

ソリューション名	評価・検証項目	目標	検証結果	目標達成状況	考察及び対応策	
車載モニタリングソリューション	機能	<ol style="list-style-type: none"> 1. データ伝送時間 2. 季節変動・時間帯・天候候差によるAI検出率の差 3. データ処理時間 4. AI精度 5. カメラ設置検証 6. UI検証 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 9分の撮影で60秒以内 2. 環境差による影響小 3. 通常60分/緊急性高は10分以内の結果確認 4. 業務運用に必要な精度 5. カメラ2台、営業車でも利用可能 6. 業務利用想定画面 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 9分の撮影で約60秒 2. 季節影響は小、時間帯・天候の影響は大 3. 20分以内の結果確認 4. 環境条件により、現時点では精度不足 5. ポータブル電源駆動で営業車も対応 6. キロ程単位のわかりやすい結果表示 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ○ 2. △ 3. ○ 4. △ 5. ○ 6. ○ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 東横線沿線5駅エリア化で全量伝送可の計算。 2. 西日の反射や夜間、雨天の検出率が低下。撮像や学習の追加対策が必要。 3. 緊急性高の10分目標は机上評価で問題なし。 4. 対象や環境条件毎に目標精度を設定して、定常的データ収集と精度向上対策を進める 5. 実証としては必要十分。実運用に向けては、さらに小型かつ設置が容易な筐体開発が必要。 6. 利用者にも好評。キロ程精度向上が必要。
	運用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 対象設備の拡充 2. 運用方法の検証 3. オペレーションの改善検討 4. 普及展開の方針 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 自動化に向けた対象設備追加への課題抽出 2. 安全性維持に関する検証 3. 業務オペレーション検証 4. 同業他社への普及展望課題抽出 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 拡充に向け画角追加、センサ等連携、学習データの追加を要す 2. AI精度向上を要す 3. オペレーションの効率化が見込める 4. AI精度や導入に伴うコストの低減が必要 	<ol style="list-style-type: none"> 1. △ 2. △ 3. ○ 4. △ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 検知対象物の追加には、画角追加、センサ等追加・連動を行うことが必要。 2. AI正解率9割を目標にデータ収集、AI精度向上が必要。安全性確保のため現行業務との並行運用が望まれる。 3. デジタルを活用した業務に転換することで作業面や労働環境面等の改善に有効。 4. 設備の異常データ不足。データ収集・共有のため、共通基盤などの構築検討が必要。
	効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 保守員の負担削減効果 2. 列車運行の安定輸送への寄与 3. 労務削減効果 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 季節、天候、時間等を含めた成果検証 2. 業務置き換えによる安定輸送への課題抽出 3. 導入効果算出 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 夜間や雨天など撮像環境によりAI精度が低下。自動化には課題が残る 2. 知見を溜めることで、将来的に有用なシステムとなる。 3. AI精度の向上により巡視頻度の低減効果あり。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. △ 2. ○ 3. ○ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 車両前面ガラスへの光の反射や雨水付着等、外的要因により撮像データ品質が低下。カメラ搭載車両を追加運行させ取得データを補完するなどの運用が必要。 2. 現行業務との並行運用期間を経て、知見を溜めることで、最適要員数での運用が可能となる可能性がある。 3. 車載カメラによる撮像単独では代替できる完全業務は少ないが、他のセンサ情報等を活用することで、高度な業務変革が可能となる。

実証内容 ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証

検証結果サマリ

ソリューション名	評価・検証項目	目標	検証結果	目標達成状況	考察及び対応策	
沿線監視ソリューション	機能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 複数カメラからの映像伝送の品質を評価 2. 高解像度カメラで撮影した画像でのAI検知精度を評価 3. 踏切、線路敷地内のカメラの設置位置・画角を評価 4. 安定運行および、未然の事故防止に寄与するかを評価 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1UEにつき1台の4Kカメラのビットレートを10Mbpsとした場合に安定した伝送が可能 2. 日中帯(晴れ)の条件下で150mから170mの距離の人物を検知可能 3. 画角内の電力柱や他機器を考慮したカメラ設置が必要 4. 実務の視点の意見や改善点のヒアリングを実施 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ○ 2. ○ 3. ○ 4. ○ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 瞬間的な帯域は出るが、安定した映像伝送のためには帯域制御が必要であることが理解できた 2. 日中は十分な距離での検知を確認。夜間は日中と比べ検知距離が減少した。今後、夜間の検知距離改善の検討を引き続き行う 3. 死角をより少なくなる電力柱へのカメラ取り付け方法の検討を引き続き行う 4. 運輸司令部の運行監視システムとの連携や、映像の録画機能等の実装を検討する 	
	運用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 業務フローの検討 2. 本ソリューションの拡張性 3. 地域連携の可能性 4. 他社への普及展開方針 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 導入後の運用フローを作成 2. 人物以外を対象を増やすことが必要か 3. 踏切カメラ情報をもとに地域と連携が可能か 4. 他社と普及展開について、課題や対応策を検討 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 運用フローを運用者と作成し、有用性を確認 2. 人物以外にも拡張が必要 3. 地域連携を図ることで事故の未然防止が見込まれる 4. AI精度や、導入に伴うコストの低減が必要 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ○ 2. ○ 3. ○ 4. ○ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 導入STEPとして、第三者搜索の効率化を図り、将来的には保安装置との連動を図ることで、安全性向上による事故の未然防止に繋がる。 2. 人物以外にも飛来物や小動物の検知することでより線路敷地内の安全性向上が見込まれる。 3. 360度カメラで踏切周辺も監視することで、不審者保護や緊急自動車の通行妨げを防止する。 4. AIモデルの精緻化、導入コスト(開発費込)の低減が他社への普及展開に繋がる。
	効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 線路内の安全性向上 2. 既設設備との導入費比較 3. 乗務員の負荷軽減効果 4. お客様サービス向上効果 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 線路敷地内の安全性向上、運転再開の短縮化 2. 既設の踏切障検とカメラ式の導入費・機能面の比較 3. 乗務員の精神的負荷の低減 4. お客様サービスの向上 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 事故未然防止、運転再開の短縮化に寄与 2. 導入費は安価になるが、機能面の向上が課題 3. 精神的負担の低減に繋がる 4. お客様サービスの向上が見込める 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ○ 2. △ 3. ○ 4. ○ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 侵入退出経路が判明するため、搜索時間の短縮による運転再開時分の短縮に期待でき、ソリューションの有用性を確認した。 2. 置き換えにはAI精度が既設設備と同等以上の検知率であり、カメラの耐久性も求められる。 3. 事前に警報が上がるため、急をつく操作が減ることは精神的負担の軽減に繋がる。 4. 映像付きで情報を把握できるため、お客様にも正確な情報をアナウンス可能となる。

実装・普及展開シナリオ

目指すべき姿

- ・ 業務効率化(コスト削減)等の鉄道事業者共通の課題を解決するソリューションを開発・シェア・外販する仕組み作り
- ・ ローカル5G設備とAIアプリケーションを複数事業者で共有することによる固定費の削減
- ・ 対象事業者拡大、共通化要素拡大、ワリカン効果等による持続性の高いエコシステムの構築

現時点の課題(ミッシングピース)

【実装関連】

- ・ 車載モニタリングソリューションAI精度向上、モニタリング対象物拡充、実運用方法確立、段階的な巡視業務の頻度低減の試行

【普及展開関連】

- ・ 他社ニーズを踏まえた汎用的AIモデル開発、共用運用スキーム確立、ソリューション提供価格設定、運用費用の試算
- ・ 車載モニタリングソリューションAI精度向上に向けた利用者間での学習データ共有可能な体制の構築

【ルールメイキング関連】

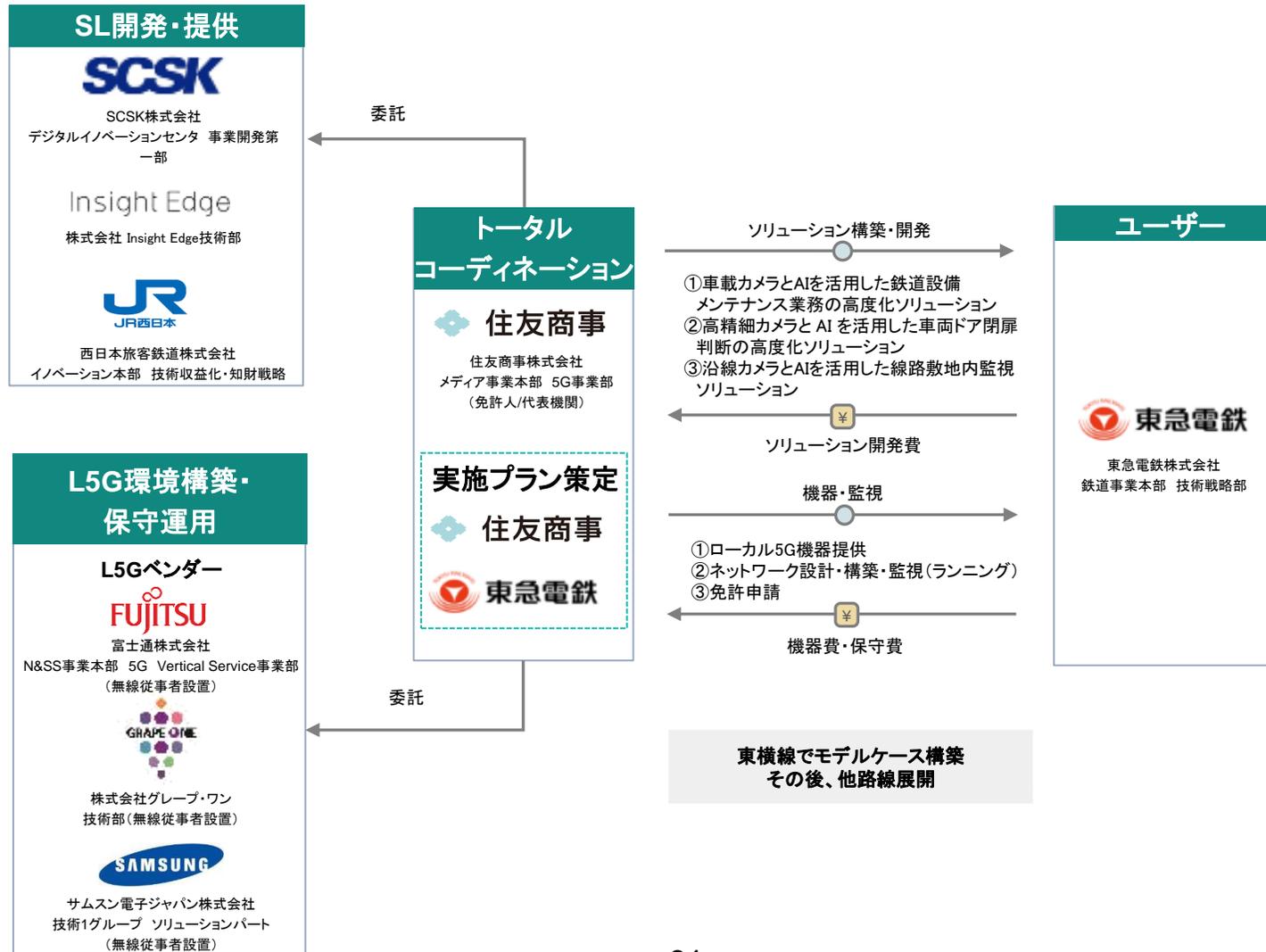
- ・ 実証の車載モニタリングによるメンテナンス実績をもって、鉄道局及び鉄道各社への情報共有を活発に継続して行うことで業界のIT化や新技術導入等の活性化に貢献をしながら実施基準の見直しを図る

将来像の実現に向けたシナリオ

- ・ 実証事業後の予定は実証環境である東急電鉄の東横線で利用継続し、実証時に抽出された課題への対応(ユーザーが希望するサービス水準レベルのAI異常検知率等)をはじめとする、本ソリューションのサービス開発/品質強化を行い、2023年度には東横線における(拠点駅規模 自由が丘駅、横浜駅2~4駅)でローカル5Gを継続利用をし、ソリューションは渋谷駅から元町・中華街駅の約30キロ区間において長期間の試運転を実施。
- ・ 2023年度開始の商用運用ではローカル5Gを4駅(自由が丘駅、横浜駅に加えて武蔵小杉駅、渋谷駅)まで拡張予定。
- ・ 本格実装を開始する2024年度までに東急電鉄の複数の他路線(田園都市線、大井町線、目黒線等)の特定駅において、本活用モデルを横展開することで実運用の実績をさらに蓄積。
- ・ 2024年度中に他鉄道事業者への展開を行うに辺り、2023年度に複数の鉄道事業者とソリューションの汎用化検証を実施すると同時に費用面の整理や運用時の責任分界点の明確化、運用形態の確立等を進め、2023年度中の事業モデルの確立を目指す。
- ・ 事業モデルの検討は、東急電鉄が主導で全国の鉄道事業者や関連企業が参加する、協議会やセミナーにて、鉄道事業者の声を集約。サブスクでの導入であれば検討する余地があるとの声が多く、サブスクの方向で検討を進めている。

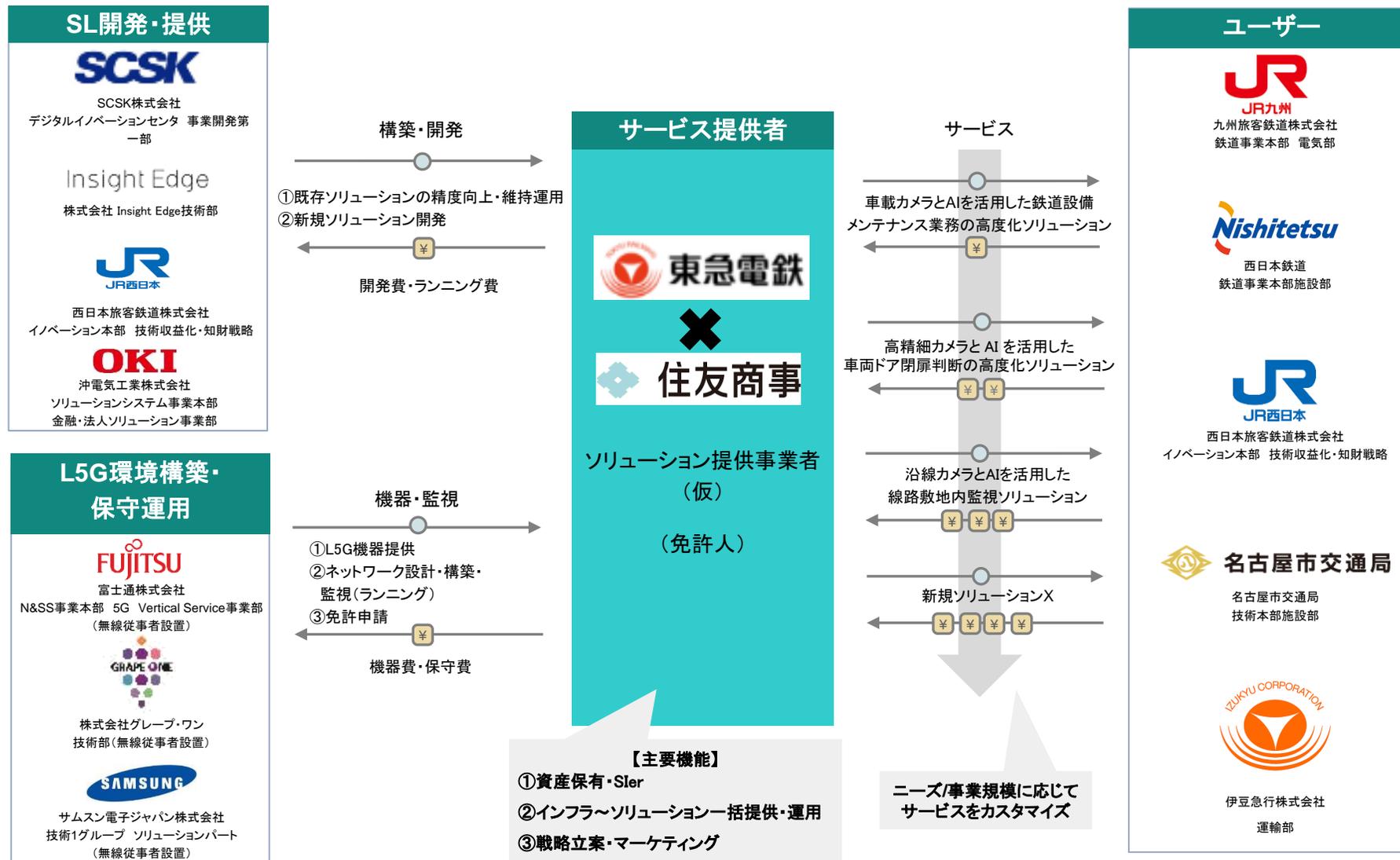
実装計画の実施にあたっての実施体制

フェーズ1：商用化（東急線）



実装計画の実施にあたっての実施体制

フェーズ2：事業化（他社展開）



実装計画・収支計画

		令和4年度 (2022)	令和5年度 (2023)	令和6年度 (2024)	令和7年度 (2025)	令和8年度 (2026)	令和9年度 (2027)
実装計画	①車載(前方)モニタリング	開発実証	課題対応 東急電鉄(東横線) 試運転・実装	コンソ内鉄道事業者 への横展開	他鉄道事業者への横展開		他分野への横展開
	②沿線モニタリング	開発実証	課題対応・実装検討	東急電鉄(東横線) 試運転・実装	コンソ内鉄道事業者への 横展開検討・実装	他鉄道事業者への横展開	
	⑤ローカル5Gシステム	開発実証	東急電鉄実装				
収支計画(千円)	(1)ユーザーから得る対価	0	16,000	137,000	360,000	490,000	1,042,000
	(2)補助金・交付金	400,000	0	0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))	400,000	16,000	137,000	360,000	490,000	1,042,000
	(4)L5G機器費	74,000	3,000	20,000	39,220	49,025	98,420
	(5)ネットワーク設置費(構築費)	211,000	0	39,000	112,830	141,788	285,630
	(6)ネットワーク運用費	2,000	2,000	8,000	1,060	1,325	2,660
	(7)ソリューション機器購入費	19,000	1,500	3,000	10,070	12,588	25,270
	(8)ソリューション開発費	91,500	0	0	48,494	60,617	121,690
	(9)ソリューション運用費	2,500	0	10,000	1,325	1,656	3,325
	(10)支出((4)・・・+(9))	400,000	6,500	78,000	212,000	265,000	532,000
	(11)収支((3)-(10))	0	9,500	57,000	148,000	225,000	510,000
収入、支出の算定根拠	駅ホーム及び一部周辺沿線をローカル5Gエリア化する前提で5か年採算計画を上記の通り試算。						

沿線踏切監視ソリューションは安全性をさらに高める位置づけの取り組みである。本ソリューションを東横線全域(全長約25km)へ導入する際の投資総額は約1,330百万円(機器購入費:約80百万円、工事費:約750百万円、労務費:約500百万円)の試算となった。沿線モニタリングの導入タイミングは2024年度の東急電鉄東横線への試運転を経て実装を目指す。

まとめ

まとめ

技術実証

Sub6/テーマ I : DAS状態での受信電力とDASを構成する各RU単独送信時の受信電力の関係を分析し、LOS主体の環境では各RU単独時の和の受信レベル、NLOS環境では最寄りのRU単独時の受信レベルでのプロットが妥当であると明らかにした。線路沿線LCXについては、減衰指数 n を精緻化対象に設定し、実証により1に近い値をもつことが明らかになった。実測結果に基づく減衰指数 n を適用した仮説式により、当初のエリア算出式より実測結果に近い結果が得られることを確認した。これによりLCX利用時の簡便なエリア算出方法を導出した。

Sub6/テーマ II :

菊名～妙蓮寺駅沿線区間という線形のエリアにおいて、従来手法であるRU+指向性アンテナに対し、提案手法としてRU+LCXの有効性を確認した。実測の結果、提案手法では、自己土地内の性能を維持しつつ、カバーエリア端以下の電界エリアにおいて5dB以上の抑制効果があった。本テーマの実施により、LCXの伝搬シミュレーション方法について確立することができた。

ミリ波Rの精緻化:

- 半屋外環境である駅ホームをミリ波で対策することで、短手方向については周辺他者土地への飛来は狙い通り抑制されており、長手方向(線路方向)については概ね自己土地(線路)内に収まっており、線状のエリア構築を実現でき、Rの精緻化によりエリア算出法と比較して実際のエリアに近いエリアをシミュレーションすることができた。
- 駅ホーム内に基地局を設置する際は屋内と同様にR値を用いてホーム上の遮蔽物により発生する遮蔽影響を見込んでエリア図を作成する必要があるが、駅ホームの構造や無線機の設置位置によってはその遮蔽影響が変わることが想定されるため、他のケースについても精緻化していく必要がある。

Sub6/ミリ波活用方針:

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

特性比較表

項目	Sub6	ミリ波
自己土地エリアカバー	○	
自己土地内干渉抑制	○	
鉄道施設における運用	○	
他社土地漏洩抑制		○
構築コスト	○	

課題実証

車載モニタリングカメラとAIを活用した鉄道設備メンテナンス業務の高度化:

- 営業列車での駅停車時間内に大容量映像データ伝送し、WEB表示までの処理時間は駅到着後20分以内(目標60分以内)を達成
- 季節性や時間帯、天候による環境変化へ対応。AI精度向上や運用方を含めた検討を深度化することでメンテナンス業務の高度化実現を見込む
- 業務の自動化や同業他社への展開に向けた、対象設備の拡充や学習データの共通化などの継続的な取り組みが必要。

沿線カメラとAIを活用した線路敷地内監視による列車運行の安全性向上:

- 日中時間帯(晴れ)の条件化において検知可能距離(170m)を達成。
- 線路敷地内への侵入、退出経路が判明することで、運転再開時間の短縮が期待でき、ソリューションの有効性を確認した。
- 夜間の検知距離改善および、運輸司令所の運行監視システムや、鉄道信号機との連動など実用化に向けて継続的検討を行う。

実装普及

事業モデル: 東急電鉄と住友商事がソリューション提供事業者となりローカル5G、ソリューション、保守運用等の必要要素をパッケージ化、ニーズに応じて、ソリューションを全て利用できるパターンと、部分利用するパターンなど複数プランを用意し、サブスク型を中心とした提供を想定。

実装:

- 令和5年度に東横線全域にてソリューションの長期運用・AI改善・体制構築のもと、東横線にて実装、令和6年度より東急他路線展開予定。

普及展開:

- 令和5年度に複数鉄道事業者とのソリューション共用化検証と外販向けの体制構築を進め、令和6～7年度に全国の鉄道事業者への展開を目指す。