

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

ローカル5Gを活用した車地上間通信及び AI画像認識等による鉄道事業の より安心安全かつ効率的な運営の実現

成果報告書概要版

令和5年3月

アイテック阪急阪神株式会社

実証概要

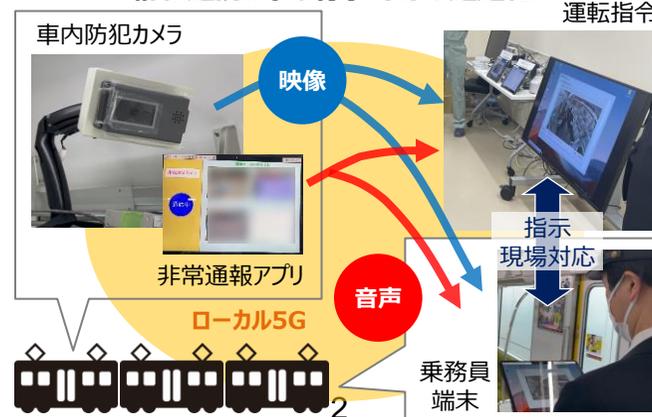
実証概要

実施体制 <small>(下線：代表機関)</small>	アイテック阪急阪神(株)、阪神電気鉄道(株)、阪神ケーブルエンジニアリング(株)、日本電気(株)	実施地域 兵庫県西宮市、芦屋市、神戸市（阪神本線芦屋駅～西宮駅区間、御影駅）
実証概要	鉄道事業においては、列車運行や各種設備の点検・保守に多くの人的リソースが必要である一方、生産年齢人口の減少による労働力不足に直面。加えて、輸送の安全確保という課題が存在。 ➤ 鉄道駅及び沿線にローカル5G環境を構築し、地上カメラとAI画像認識を用いた列車事故の未然防止、車地上間における車内映像等のリアルタイムな情報連携、車上カメラとAI画像認識を用いた日常巡視点検の省人化の実証を実施。 ➤ 列車運行の安全性向上とともに、業務効率化や生産性向上による鉄道事業のコンパクト運営を実現。	
主な成果	➤ 踏切における 車椅子(再現率100%)、白杖(再現率90%)を検出可能 であることを確認。また、日常巡視点検の対象のうち曲線引金具の正常性判定は 再現率約78% を達成。AIによる踏切の安全性向上および日常点検の省人化や安全確保のための対応時間短縮等の実現可能性を確認。 ➤ 車地上通信において、 UL6Mbps、遅延200msecを実現 。高速移動する電車におけるリアルタイムな映像伝送や危険通知が実現可能であることを確認。	
技術実証	➤ 線路外への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、市街地と開放地が入り混じる線路上における電波伝搬モデルの精緻化や、狭指向性アンテナ、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） 構成：SA方式 利用環境：屋外、半屋外	
主な成果	➤ 線路外はS値が12.6dBとなり、概ね郊外地相当のS値 となることを確認。 線路内はS値が概ね20dB程度 となることを確認。 ➤ 実測の結果、狭指向性アンテナとLCXともに他者土地への電波漏洩が発生しており、 LCXの方が電波漏洩が少ない ことを確認できた。 ➤ LCXは、エリア算出法を考察したがメーカ公開情報からは法線方向しか算出できず、 カバーエリア端などの推定に適用しづらい と考えている。	
今後の展開	本実証成果の実装に向けては、安定した通信エリアを確保するための手法やAI検知精度の向上の検討が必要。令和5年度は本実証事業フィールドと同一環境で追加検証を実施、 令和6年度以降、阪神電気鉄道(株)における部分実装を進め 、その後グループ内の鉄道事業者、グループ外の鉄道事業者への展開を図る。	

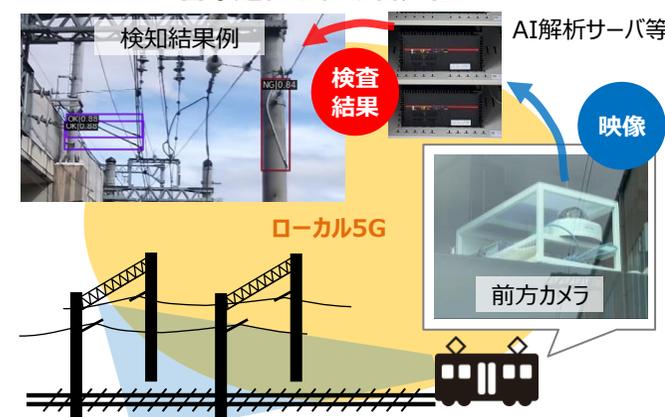
地上カメラとAI画像認識の活用による安全対策の高度化



車地上間における車内状況のリアルタイムな情報連携による有事対応の迅速化

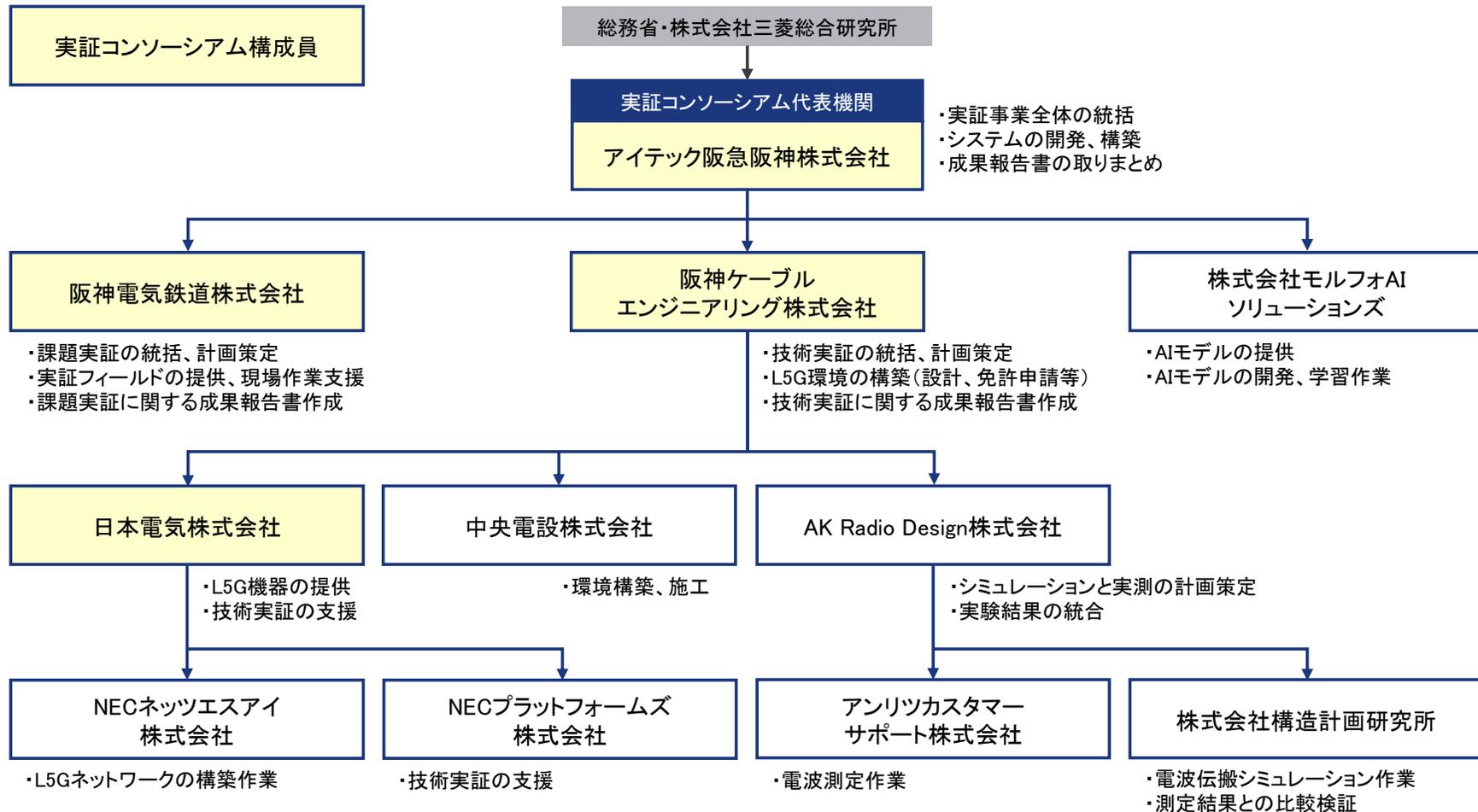


車上カメラとAI画像認識の活用による日常巡視点検の省人化



実施体制

鉄道事業者への横展開を見据え、鉄道事業者へのシステム導入実績が豊富なアイテック阪急阪神株式会社を代表機関とし、鉄道事業者でありユーザ目線での活用モデルの評価検討を行える阪神電気鉄道株式会社、地域BWA等の無線通信インフラの運用、構築ノウハウを有しローカル5Gにおいても実験試験局免許を取得し幅広く検討を進めている阪神ケーブルエンジニアリング株式会社及びローカル5Gに関する技術的な知見が豊富な日本電気株式会社で実証コンソーシアムを形成した。



実証環境

実証環境の構築

対象周波数

ローカル5Gを車地上間通信に活用するため、屋外利用であることと屋外に設置された基地局から列車内への電波の透過性を考慮し、4.8~4.9GHz帯を使用した。

実施環境

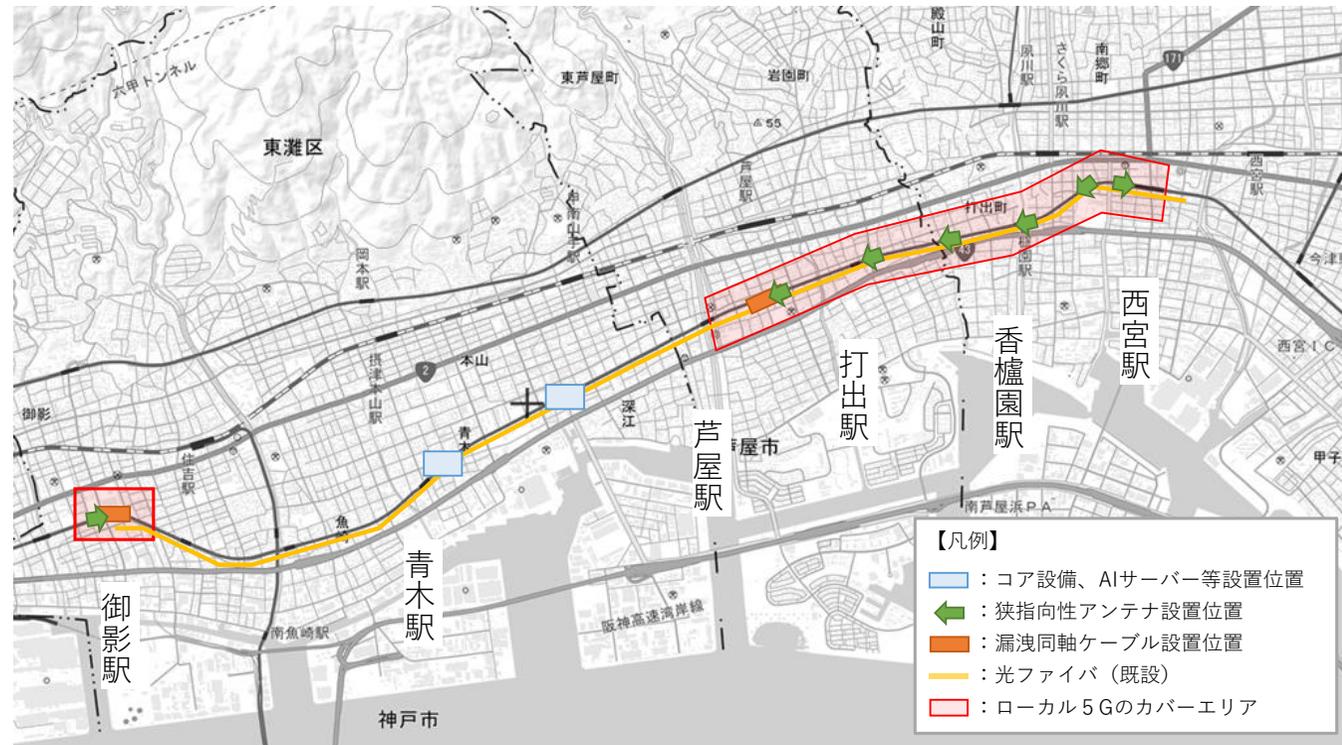
本実証事業は、阪神電車・本線の西宮駅から芦屋駅間、御影駅周辺にローカル5G環境を構築し、実施した。

【実施環境の選定理由】

- 高架/地上、直線/曲線など線路形状が多様で、技術実証を実施するうえでの環境条件が豊富であったため。
- 課題実証の実施フィールドとなる駅や踏切が集中している区間であるため

【課題実証の実施フィールド】

実施場所	備考
西宮駅	優等列車停車駅で利用者が多く、データ取得が行いやすい
芦屋駅	
打出駅踏切	駅に隣接しており歩行者が多い
打出南宮町踏切	幅員が広く、交通量が最も多い
打出東口踏切	歩行者専用



実証環境の構築

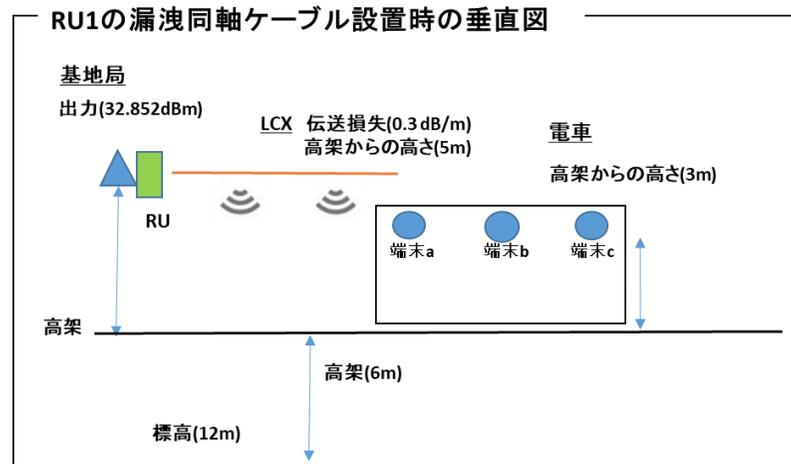
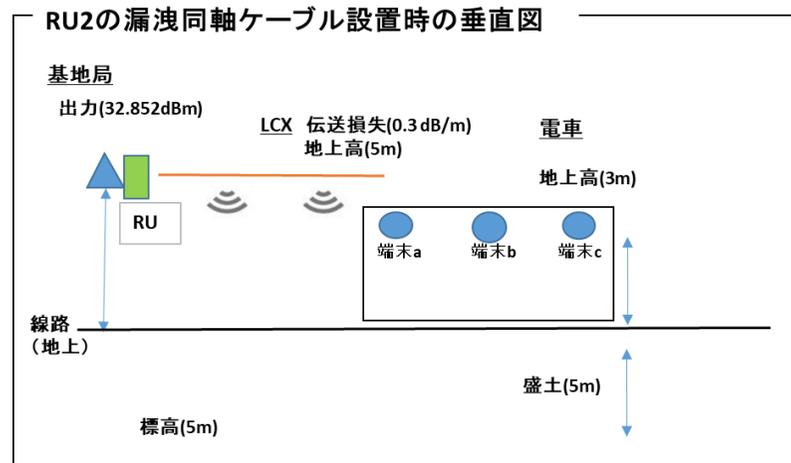
基地局の設置例

主に鉄道の架線柱上にRUやアンテナを取り付け、線路方向へ電波を発射した。



漏洩同軸ケーブルの敷設イメージ

列車内に設置された端末での電波の受信しやすさを考慮し、線路面から5m程度の高さに架空で敷設した。

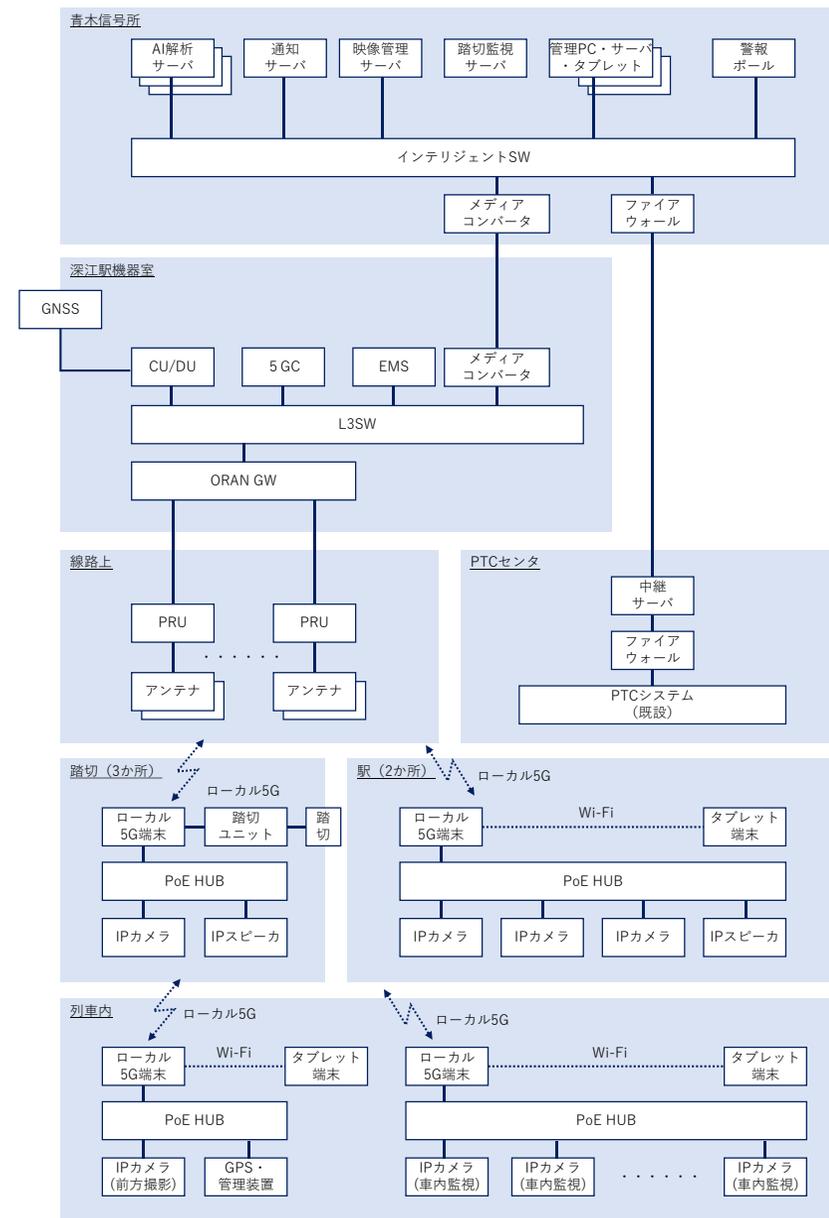


実証環境の構築

ネットワーク・システム構成

本実証事業で構築したネットワーク・システム構成は右図のとおり。インターネットは使用せず、全て閉域網内で完結する構成としている。使用したローカル5G機器の一覧は下表のとおり。

機器等名	機能・役割	数量
5GC	C-Planeのデータを制御・処理する。UPF機能(U-Planeのデータを制御・処理する機能)も一体となっている	1
EMS	5Gシステム全体の管理を行う	1
CU/DU	ローカル5G基地局の制御等を行う	1
ORAN GW	複数のローカル5G基地局を収容するための集約装置	1
PRU	屋外設置用のローカル5G基地局	7
アンテナ	ローカル5G基地局用の狭指向性アンテナ(2台1組)	14
漏洩同軸ケーブル	ローカル5G基地局用の漏洩同軸ケーブル(約300m)	—
GNSSアンテナ	基地局間の時刻同期をとる	1
5G端末	カメラ映像、AI検知結果等の伝送や通信品質の測定を行う	15
L3SW	5Gコアネットワークの収容装置	1



実証環境の構築

システム機能・諸元

使用したローカル5Gシステムの機能・諸元は以下のとおり。

【ローカル5G基地局の概要】

型番	PRU
製造ベンダ	HFR, Inc.
台数	7台
設置場所	屋外
同期/準同期	同期(PTPによる)
UL:DL比率	1:4
周波数帯	4.7GHz帯
SA/NSA	SA
UL/DL周波数	4.8~4.9GHz
UL/DL帯域幅	100MHz
UL/DL中心周波数	4.85GHz
UL変調方式	QPSK/16QAM/64QAM
DL変調方式	QPSK/16QAM/64QAM/256QAM
MIMO	4×4MIMO

【コアネットワークの性能】

機種	5GC	CU/DU	ORAN GW
接続ユーザ数	10,000	—	—
機器接続数	CU/DU:最大10台	ORAN GW:1台	PRU:最大24台

要件

各ソリューションにおける通信要件は以下のとおり。

①地上カメラとAI画像認識を用いた事故の未然防止

- スループット要件
 - ・ 踏切(各1台)、ホーム(各3台)に設置したカメラの映像をサーバへ常時アップロード
 - ・ カメラ1台あたり6Mbpsの伝送帯域が必要として、ホームでは、[UL伝送帯域として18Mbps必要](#)
- 通信遅延要件
 - ・ システム全体での遅延時間の目標値は1秒以内
 - ・ カメラ内部におけるエンコード処理に100ミリ秒、システムでのAI解析等の処理に700ミリ秒必要と想定しローカル5Gの通信遅延の要件は[200ミリ秒以下](#)

②車地上間における車内映像等のリアルタイムな情報連携

- スループット要件
 - ・ 指定した車内カメラのライブ映像をサーバを経由して映像閲覧用タブレットへ伝送
 - ・ 地上(運転指令等)においては、映像閲覧用タブレット1台につき[6MbpsのUL伝送帯域](#)が必要
 - ・ 乗務員用の映像閲覧用タブレットに対しては[DL6Mbps必要](#)

③車上カメラとAI画像認識を用いた日常巡視点検の省人化

- スループット要件
 - ・ 列車に設置した4Kカメラの映像をサーバへ常時アップロード
 - ・ [ULの伝送帯域として40Mbps](#)が必要

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 (1/2)

技術的課題・目標

従来の伝搬損失計算式におけるパラメータS値について、実証区間となる市街地を走る鉄道沿線上は、「市街地」と「開放地」が入り混じる特殊な環境であり、線路内と線路外では、適切な値が異なることが予想される。そこで、精緻化対象パラメータをS値とし、精緻化を行った。

仮説

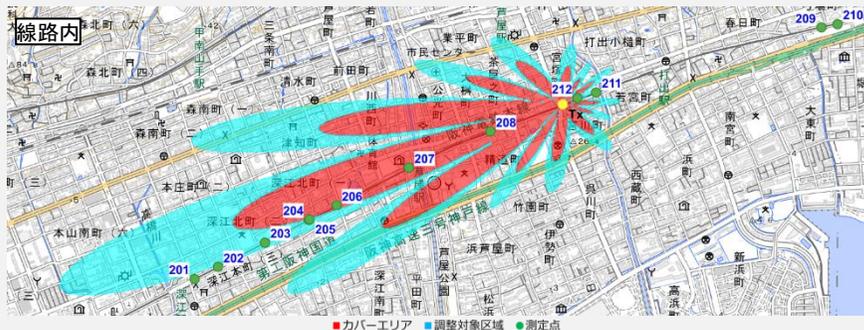
線路内は障害物が少なく見通しも確保できることから、S値は開放地の値(S=32.5)に近くなると想定する。
線路外においては、ホテルや商業ビル、商店などが沿線上に多くあるため市街地の値(S=0)に近くなると想定する。

エリア算出法によるカバーエリア・調整対象区域図、測定点

精緻化は、S値が線路内と線路外で異なる値になると想定したため、図も線路内と線路外に分けて作図した。

測定点をプロットした緑色点に加え、基地局座標(黄色点)、仮説値(線路外はS=0、線路内はS=32.5)におけるカバーエリア(赤色タイル)、調整対象区域(水色タイル)として、線路外の図を右図に、線路内の図を下図に示す。

測定点はエリア算出法による作図でのカバーエリア端、調整対象区域端に加えて、実測時に探索したカバーエリア端、調整対象区域端の地点や、その他の測定点をプロットしている。

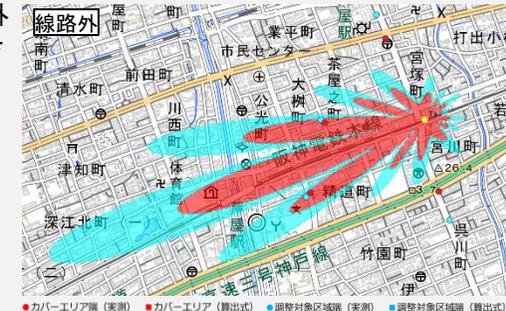


精緻化の結果(外れ値込みの場合)

精緻化の結果、推定したSの値と、精緻化前後の伝搬損失実測値とのRMSEを表に示す。また、精緻化後のS値を用いたカバーエリア及び調整対象区域のエリアと、実測により探索したカバーエリア端、調整対象区域端の結果を図に示す。

エリア算出式のプロットから大きな外れ値となっている実測値が、線路外と線路内の両方にあった。線路外は下右図の結果となり、外れ値は基地局から南北に沿った道沿いにあった。これらの測定点は、その他の線路外の測定点よりも見通し環境であるため、大きな外れ値となったと考える。線路内は下左図の結果となり、基地局の後方に外れ値があった。

箇所	影響要因	条件	精緻化後のS [dB]	精緻化前の実測値とのRMSE [dB]	精緻化後の実測値とのRMSE [dB]
RU2	市街地・線路外	主に2階建て程度の家が密集するエリア	17.54	20.55	13.57
	開放地・線路内	基地局から沿線に沿って建物が存在しないエリア	32.18	18.47	18.47

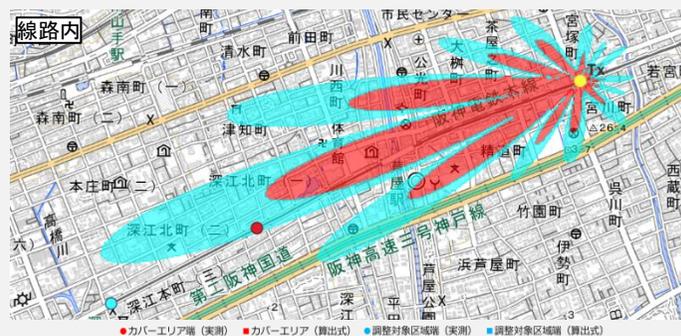


技術実証テーマ I 線状の空間における電波伝搬モデルの精緻化 (2/2)

精緻化の結果(外れ値を除く場合)

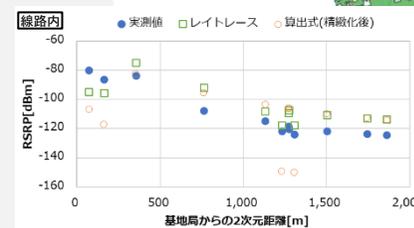
前ページにて外れ値となっていた測定点を除いて精緻化した結果を示す。
線路外は下右図の結果となり、**S値が12.59となり、概ね郊外地相当のS値となった**。その際の**精緻化後の実測値とのRMSEは11.39**となった。
線路内は下左図の結果となり、**S値が概ね20程度となり、精緻化後の実測値とのRMSEが3.72**となり、実測値と非常に傾向が一致することを確認した。

箇所	影響要因	条件	精緻化後の S [dB]	精緻化後の実測値との RMSE[dB]
RU2	市街地・線路外 測定点 ID: 113~117, 122 を除外して精緻化	主に2階建て程度の家屋が密集するエリア	12.59	11.39
	開放地・線路内 測定点 ID: 201~208	基地局から沿線に沿って建物が存在しないエリア ※アンテナのメインローブ方向(前方)のみの測定点で精緻化	21.63	3.72

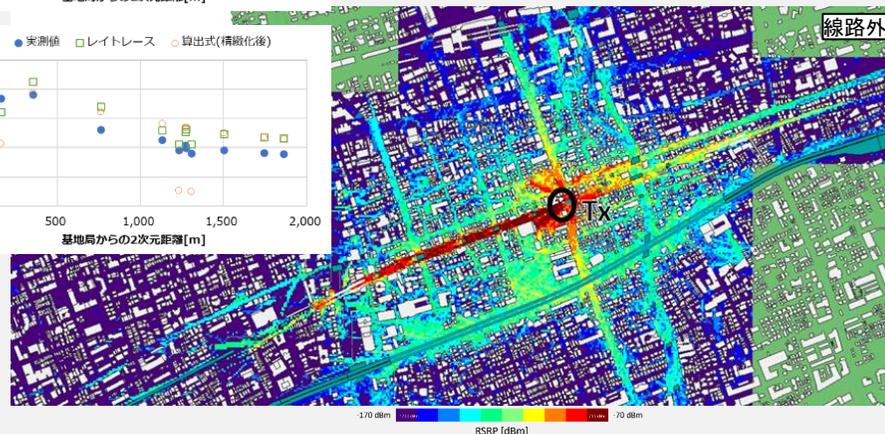


レイトレースシミュレーションによる推定

カバーエリア、調整対象区域のより精緻な推定のため、RU2においてはレイトレースシミュレーションとも比較した結果、線路外は下左上図、線路内は下左下図のとおりとなった。RMSEは下右上図のようになり、**レイトレースの方がより詳細なカバーエリアの推定ができることを確認した**。特に、アンテナ後方の測定点においては、アンテナメインローブから出た電波の跳ね返りをレイトレースがより正確に模擬できていることから、レイトレースの精度が高くなったと考えている。



箇所	影響要因	レイトレースの実測値との RMSE[dB]	精緻化後の実測値との RMSE[dB]
RU2	市街地・線路外	7.93	13.52
	開放地・線路内	10.56	18.47



まとめ

- ・エリア算出式のプロットから大きな外れ値となっている実測値を除いて精緻化した結果、**線路外はS値が12.59となり、概ね郊外地相当のS値となった**。線路内はS値が概ね20程度となった。
- ・線路外の外れ値は基地局から南北に沿った道沿いにあり、その他の線路外での測定点よりも見通し環境であるため、大きな外れ値となったと考える。線路内での外れ値は基地局の後方にあり、メインローブからの跳ね返りにより大きな外れ値になったと考える。
- ・これらの外れ値はエリア算出法ではシミュレーションが難しいが、**レイトレースシミュレーションでは精度よくシミュレーションできることを確認した**。

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

<p>エリア構築の課題 技術的課題</p>	<p>長い距離の鉄道線路上をローカル5Gで効率的にエリア構築する際、直線区間は狭指向性アンテナ、曲線区間は漏洩同軸ケーブルを用いる必要があると考えている。しかし、指向性アンテナを用いた際の他者土地への電波の漏れ度合い、LCXを用いた際のエリアカバー範囲等が不透明であるといった課題があった。</p>
<p>上記課題の 解決方策</p>	<p>課題解決前：指向性アンテナを用いた際の他者土地への電波の漏れ度合い、LCXを用いた際のエリアカバー範囲等が不透明。 課題解決後：狭指向性アンテナとLCXの電波漏洩を実測し、漏洩度合いを比較。LCXはエリア算出法自体を考察。</p>

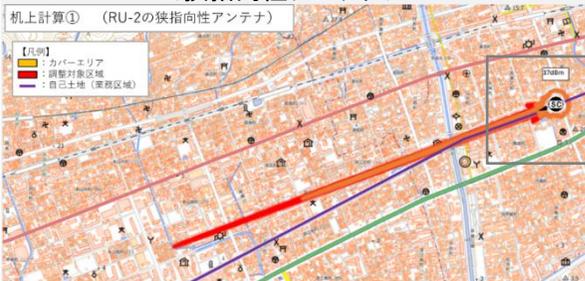
業務区域、カバーエリア、調整対象区域、自己土地、他者土地

狭指向性アンテナの連続配置によるエリア構築の電波伝搬の机上計算結果を下左図に示す。机上計算は電波の指向方向のうち**線路長手方向のみ開放地(S=32.5)**、**それ以外の角度については市街地(S=0)**として、エリア算出式にて計算した結果を地図上にプロットし作図した。作図の仕組み上、線路の形に沿ったS値の設定ができずアンテナ近傍の線路の長手方向は全て開放地という設定しかできないため、**線路が曲線に差し掛かった地点以降は線路外に大きく電波漏洩した図**となっている。

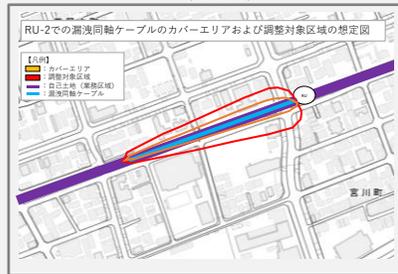
LCXに関しては、**エリア算出法自体が確立されていない**ため、アンテナパターン図、伝送損失、今回の設置位置をもとにカバーエリア及び調整対象区域を下右図に**想像で作図した**。

なお、グレーの枠は右図のレイトレースシミュレーションで示した範囲である。

<狭指向性アンテナ>



<LCX>

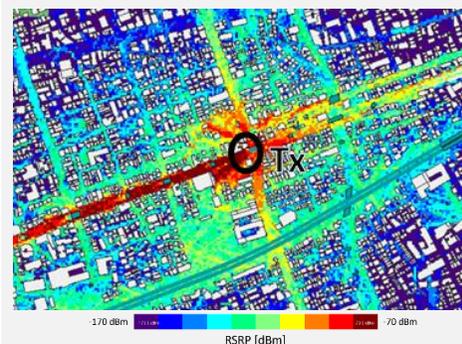


エリア構築のシミュレーション

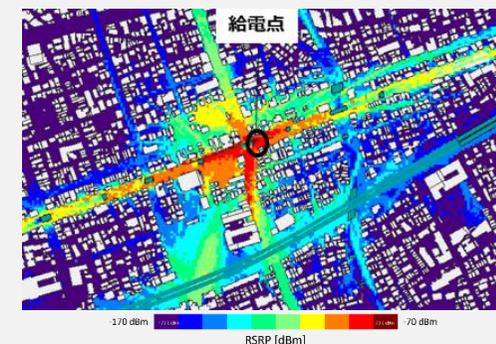
方法：[使用ツール:Wireless InSite 方法:3Dの建物データと地形データを利用
主要なパラメーター:反射(R)、透過(T)、回折(D)の最大回数はR3T0D1]

レイトレースシミュレーション結果のエリア図を下図に示す。**狭指向性アンテナとLCXともに、基地局近傍の南北道路に沿って数百mの電波漏洩が発生している**。エリア算出法では線路外は市街地相当としていたが、レイトレースシミュレーションではそれ以上に電波漏洩が推定される結果となった。

<狭指向性アンテナ>



<LCX>



評価：[実用性、優れる点、留意点等]

レイトレースシミュレーション結果、狭指向性アンテナとLCXともに基地局周辺の他者土地への電波漏洩が顕著となった。特に**基地局近傍の道路沿い(図の上下方向)に沿って伝搬しており、これは道路の両サイドの建物に反射した結果と推測している**。

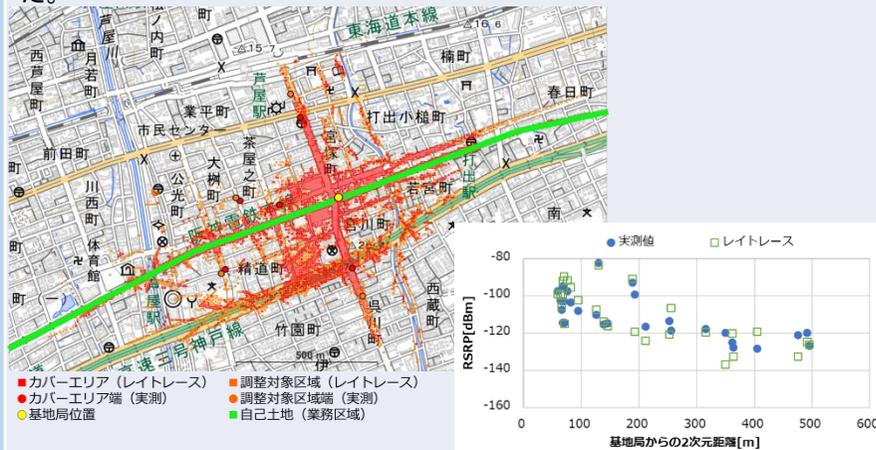
技術実証テーマ II _線状の空間におけるエリア構築の柔軟化 (2/2)

柔軟化の対象: ■不感地対策 □他者土地への電波漏洩軽減

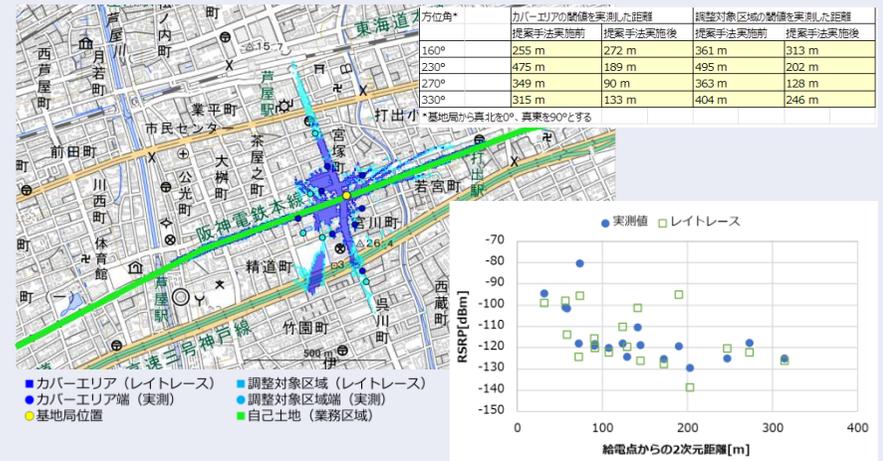
解決方策 ■反射板 ■中継器 ■DAS □LCX ■その他

実証結果

＜課題解決前＞
狭指向性アンテナでのカバーエリア端・調整対象区域端の実測結果をレイトレースシミュレーション結果図にプロットした。その他の測定点とともにレイトレースシミュレーションとRSRPの差を比較したところ、ほぼ同一の結果となった。



＜課題解決後＞
LCXも実測値はレイトレースシミュレーションと似た結果となったが、調整対象区域の閾値を実測した基地局からの距離はLCXの方が50~300m程度短く、LCXの方が他者土地への電波漏洩が少ないことを確認した。



実証の成果

- ・得られた知見
- ・課題解決への貢献
- ・シミュレーション精度向上への貢献
- ・さらなる課題の提案

・狭指向性アンテナとLCXともに他者土地への電波漏洩が発生していたが、調整対象区域の閾値を実測した基地局からの距離はLCXの方が50~300m狭く、LCXの方が電波漏洩が少ないことを確認できた。ただし、現行製品では漏洩を軽減するのは難しいため、今後の製品開発に期待したい。

・LCXはメーカーの公開情報からエリア算出法自体を考察し、下図の結果となった。LCXの法線方向にしかエリア推定ができない点と、LCXの法線距離方向の距離減衰特性が実態の法線方向の電波強度減衰傾向と一致しない点から、今回検討したLCXのエリア算出式ではカバーエリア端や調整対象区域端の推定に適用しづらいと考えている。

・前ページの結果から、狭指向性アンテナにおいて、エリア算出法では基地局近傍の他者土地への電波漏洩を過小評価する可能性がある。一方、狭指向性アンテナとLCXともにレイトレースシミュレーションを用いることで、精度の高いシミュレーションが実現できた。



写真

線路脇の鉄柱上部に狭指向性アンテナ及びLCXを設置した。



ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

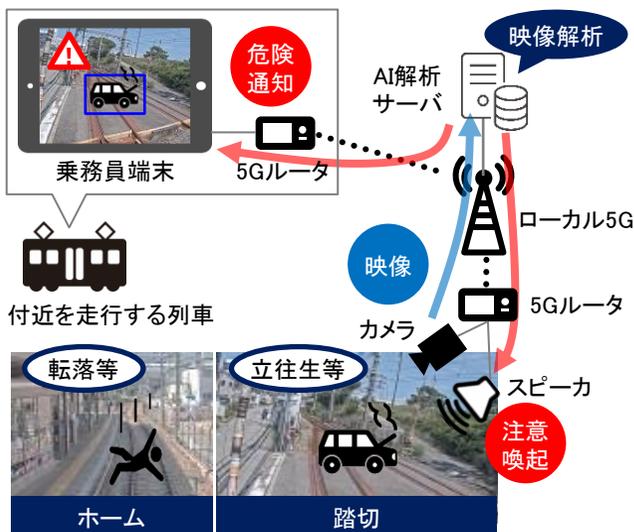
ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

実証概要

生産年齢人口の減少による労働力不足、輸送のさらなる安全性向上といった鉄道事業の抱える課題を解決すべく以下3つのソリューションについて、検証を実施した。

ソリューション①

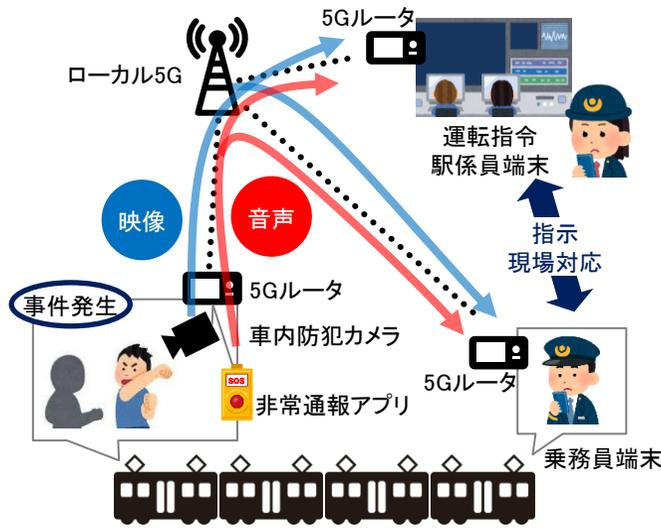
地上カメラとAI画像認識の活用による安全対策の高度化



地上の危険をいち早く乗務員に伝え
事故の防止を実現する

ソリューション②

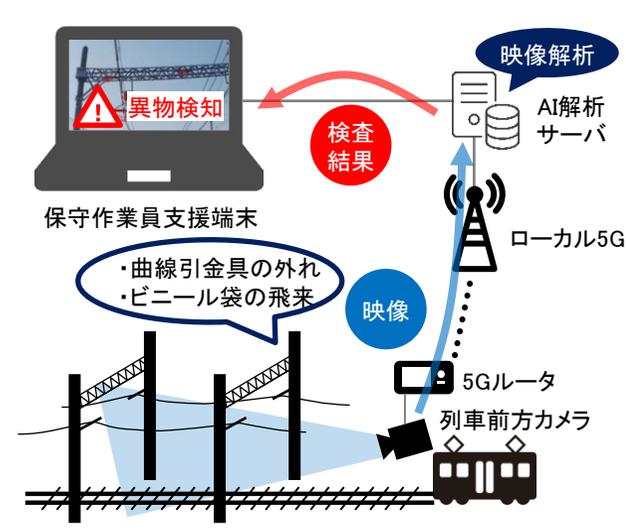
車地上間における車内状況のリアルタイムな情報連携による有事対応の迅速化



地上係員との情報連携強化により
有事対応の迅速化を図る

ソリューション③

車上カメラとAI画像認識の活用による日常巡視点検の省人化



地点検業務を自動化し、作業員の負荷
軽減・省人化を目指す

ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

実証環境

課題実証を実施した駅、踏切の様子や特徴は写真のとおり。
 なお、御影駅については技術実証用にローカル5Gの環境を構築しており、課題実証では対象外とした。

○ : カメラ設置位置



西宮駅

- ・優等列車停車駅で利用者数が多い
- ・ホーム全体が囲われており半屋外環境



芦屋駅

- ・優等列車停車駅で利用者数が多い
- ・ホームや簡易な屋根のみで完全屋外環境



打出駅踏切

- ・駅に隣接しており人通りが多い



打出南宮町踏切

- ・近くに幹線道路があり通行量が最も多い
- ・踏切の幅員が広い(17.8m)



打出東口踏切

- ・歩行者専用踏切
- ・障害物検知装置未設置

ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

検証結果サマリ(1/3)

実装にあたっては、最適なローカル5G環境の整備をはじめ課題は多くあるものの、阪神電気鉄道(株)における試験や職員へのアンケート調査を通じて、各ソリューションに対する期待や効果を示すことができた。

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	
地上カメラとAI画像認識の活用による安全対策の高度化	機能	<ol style="list-style-type: none"> スループット 通信遅延 安定性(パケットロス率、ジッタ) システムにかかる処理時間 AI検知精度 	<ol style="list-style-type: none"> 踏切UL6Mbps以上、ホーム19Mbps以上、列車内UL6Mbps以上 200ミリ秒以下 パケットロス率1%以下、ジッタ10ミリ秒以下 700ミリ秒以下 再現率100%(検知漏れゼロ)、誤検知率1%未満 	<ol style="list-style-type: none"> 打出東口踏切18Mbps以上、西宮駅70Mbps以上、他5Mbps前後、列車内(最後尾)においては通信が途切れる区間あり 踏切、ホームに50ミリ秒以下、列車内(最後尾)200ミリ秒以下 踏切、ホームパケットロス率1%以下、ジッタ5ミリ秒以下、列車内(最後尾)は50%前後、ジッタ200ミリ秒以下 94%の処理が700ミリ秒以下 検知対象により検知漏れや誤検知が発生 	<ol style="list-style-type: none"> △ ○ △ △ △ 	<ol style="list-style-type: none"> 目標未達の箇所においては、ローカル5Gの電波強度が弱くスループットが低下している、もしくは通信が途切れることがあった。最適なインフラ設計を行うことで改善の見込み。 本実証の環境においては、目標値を上回った。 踏切、ホームでは目標値を上回ったものの、列車内においては通信が途切れる区間があった影響により、目標値を大きく下回った。1と同様、インフラ設計の最適化が必要。 サーバが高負荷状態になる等により例外的に処理に時間がかかっていたことがあった。ハードウェアの性能向上やプログラムの改良により残り6%についても目標値を達成可能な見込み。 カメラの画角により検知漏れが発生している事例や本実証実験で採用した汎用のAIモデルでは検知することが難しい事例がみられた。最適なカメラの配置や台数、条件に合わせたAIモデルの追加学習等により、精度向上を図る。
	運用	<ol style="list-style-type: none"> 有効性 効率性 満足度 	<ol style="list-style-type: none"> 全てのアンケート項目に対し評価点4以上 アンケートによる評価点3.5以上 全てのアンケート項目に対し評価点4以上 	<ol style="list-style-type: none"> 即時性、応答性4.54点、通知される情報の妥当性3.5点 操作性4.38点 通知頻度の妥当性3.3点、通知方法の妥当性4.15点 	<ol style="list-style-type: none"> △ ○ △ 	<ol style="list-style-type: none"> 即時性や応答性については、ローカル5Gの低遅延性もあり目標値を達成した。一方で複数箇所と同時に危険が発生した場合の通知方法等について配慮が足りておらず目標値を下回った。実装においては、ユーザの意見を取り入れたUIの改良を行う。 アプリの操作性については、目標値を上回った。上記のUIの改良等により、さらに使いやすいアプリを目指す。 現状、誤検知が多いことから通知頻度については目標値を下回った。AI検知精度の性能向上により改善を図る。
	効果	<ol style="list-style-type: none"> 有事を把握するまでにかかる時間 踏切、ホームの安全性が向上すると思うか 	<ol style="list-style-type: none"> 踏切での異常5秒以内、ホームからの転落5秒以内、駆込み乗車1秒以内 アンケートにより同意を得る 	<ol style="list-style-type: none"> 全ての検知対象について、概ね1秒以内に通知を受信 安全性の向上、導入意向について評価点4.5点以上、導入による業務負荷の増加への懸念については評価点3点前後 	<ol style="list-style-type: none"> △ △ 	<ol style="list-style-type: none"> 機能検証No.4のとおり、6%の処理が目標値を下回ること、駆込み乗車の一部の通知がユーザへ届くまでに1秒を上回ることがあるが、概ね目標を達成した。 本ソリューションの効果や導入に対して好意的な評価が多かった一方で、新しいシステムを導入することにより現状より業務負荷が増えることに対する懸念が挙げられた。手間なく操作できるUIへの改良や鉄道事業者との運用方法の整理によって解決を図る。

ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

検証結果サマリ(2/3)

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	
車地上間における車内状況のリアルタイムな情報連携による有事対応の迅速化	機能	<ol style="list-style-type: none"> 1. ハンドオーバー性能 2. スループット 3. 通信遅延 4. 安定性 5. 車内映像及び音声の品質 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ハンドオーバー時に通信が途切れないこと 2. UL6Mbps以上 3. 200ミリ秒以内 4. パケットロス率1%以内、ジッタ10ミリ秒以内 5. アンケートにより80%以上のユーザから高評価/同意を得ること 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 途切れないことを確認 2. 列車中央部において通信が途切れる区間を除き6Mbps以上 3. 列車中央部において通信が途切れる区間を除き200ミリ秒以内 4. 列車中央部においてパケットロス率40~60%、ジッタ30~40ミリ秒 5. 高評価/同意の割合79% 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ○ 2. △ 3. ○ 4. × 5. △ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ハンドオーバー時の通信断はみられず、目標を達成できた。 2. 通信が途切れる区間があり、一部で目標未達。電波環境に依存するものであるためインフラ設計の最適化により改善の見込み。 3. 目標値は達成したものの、地上での測定結果と比較し数値は悪化。車体による電波の減衰の影響を受けたとみられ、端末の設置位置等に考慮が必要。 4. 通信が途切れる区間があった影響により、目標値を大きく下回った。1と同様、インフラ設計の最適化が必要。 5. 僅かに目標未達。通信が途切れる区間があるために十分に電波環境が整備された条件で利用できる時間が限られていたことが要因として考えられる。電波環境が良好な条件下では、高評価であった。
	運用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有効性 2. 効率性 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全てのアンケート項目に対し評価点4以上 2. アンケートによる評価点3.5以上 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 映像品質3.65点、非常通報との連携4.26点 2. 操作性4.13点 	<ol style="list-style-type: none"> 1. △ 2. ○ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 複数拠点で映像・音声を共有できる点については高評価であったが、映像品質については通信の途切れの影響により意見が分かれた。この他、不審物の確認時などは映像がズームできる方がよい等の意見もあり、実装時には改良を検討する。 2. 目標値を上回ったものの、UI上のボタン配置などより使いやすくなるための改善点が挙げられた。実装時にはユーザ意見を踏まえた改良を検討する。
	効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有事の際の初動対応時間 2. 車内の安全性が向上すると思うか 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 110秒以内 2. アンケートにより同意を得る 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 75秒程度 2. 安全性の向上、導入意向について非常に高い評価を得た 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ○ 2. ○ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目標値を大きく上回り、現行の列車無線による口頭の情報伝達と比較すると4分程度短縮できた。映像と音声を複数拠点で共有することの有効性を示せたといえる。 2. 非常に高い評価を受け目標達成。一方で、現行の運用方法と大きく異なるため実装に向けては運用方法の整理や現場係員の教育等が今後必要となる。

ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

検証結果サマリ(3/3)

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	
車上カメラとAI画像認識の活用による日常巡視点検の省人化	機能	<ol style="list-style-type: none"> 1. スループット 2. 通信遅延 3. 安定性 4. AI検知精度 	<ol style="list-style-type: none"> 1. UL40Mbps以上 2. 200ミリ秒以内 3. パケットロス率1%以内、ジッタ10ミリ秒以内 4. 再現率95%前後で安定すること 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 列車先頭部において車内の端末が基地局の直近で見通しがある場合のみ40Mbps以上 2. 列車先頭部において通信が途切れる区間を除き200ミリ秒以内 3. 列車先頭部においてパケットロス率10～45%、ジッタ20～30ミリ秒 4. 曲線引金具の異常検知約78%、架線へのビニール袋の引掛かり検知約48% 	<ol style="list-style-type: none"> 1. △ 2. ○ 3. × 4. × 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 極めて良好な電波条件下でなければ目標値の達成が難しい結果となった。上りMIMOが利用できる高性能端末の採用や基地局の準同期運用など、上り方向のスループット性能を向上させる対策が必要である。 2. 目標値は達成したものの、地上での測定結果と比較し数値は悪化。車体による電波の減衰の影響を受けたとみられ、端末の設置位置等に考慮が必要。 3. 通信が途切れる区間があった影響により、目標値を大きく下回った。インフラ設計の最適化が必要。 4. 本実証期間では、AIモデルの学習用データの量が十分ではなく再現率は目標値を下回った。中長期的にデータ収集を行い、AIモデルの追加学習を行うことで再現率の向上を図るとともに、学習データに依存しない検知アルゴリズムの検討を進める。
	運用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有効性 2. 効率性 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全てのアンケート項目に対し評価点3以上 2. アンケートによる評価点3以上 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 業務量低減への寄与3.82点、検知映像の品質3.12点 2. 操作性4.00点 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ○ 2. ○ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ソリューションが実現した場合には業務負荷の低減に期待できるという評価を得た。一方で、現状の検知精度では運用が難しいという意見も多く、機能検証No.4の対策が求められる。 2. 直感的に操作しやすいという意見が多かった。ただし、所管部門の異なる設備は表示を分けたいなどの要望も挙がり、実装時にはユーザの意見を踏まえたUIの改良を検討する。
	効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 点検作業の人工削減工数 2. 保守作業員の業務負荷軽減が見込めるか 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 現行より人工を削減できること 2. アンケートにより同意を得る 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 曲線引金具だけであれば点検間隔を毎日から2日に1回へ削減可能であるが、ビニール袋は現状の検知精度では目視点検の代替は難しい 2. 目視点検の代替が可能か2.92点、導入意向3.79点 	<ol style="list-style-type: none"> 1. × 2. ○ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 機能検証No.4のとおり、検知精度に課題があるため現状では目視による点検作業の代替として利用することは難しい。検知精度の向上対策の他、検知対象物の拡充のためのAIモデルの追加開発も継続して進める。 2. 上記のとおり現状精度においては、目視点検を代替することは難しいという意見が多かった。一方で精度が向上すれば、点検作業の省人化が期待できるため導入したいという評価を得た。

ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証(1/2)

◆ ローカル5G活用モデルの全体像

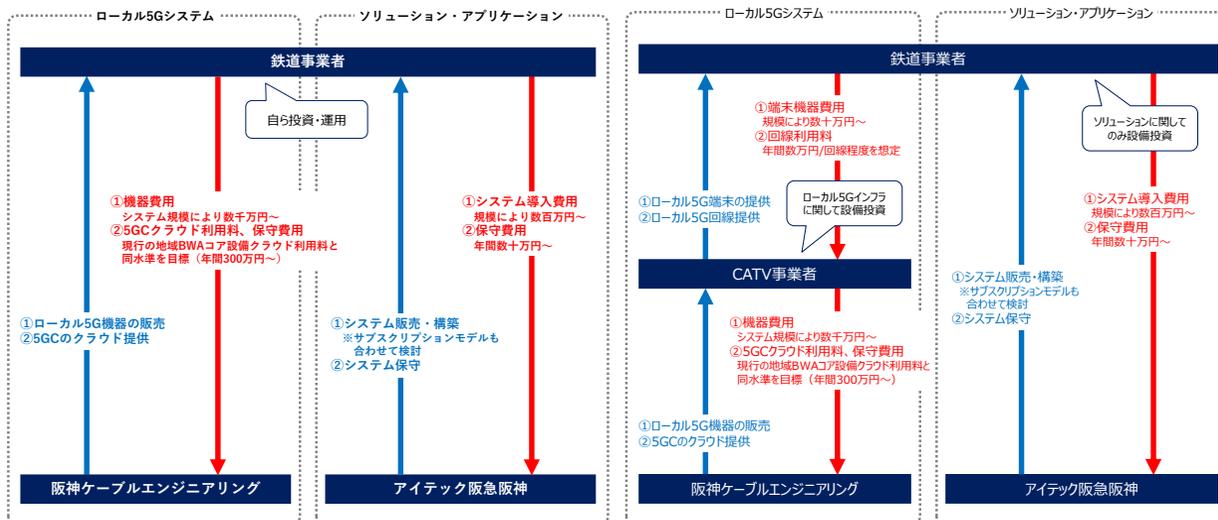
【実装ターゲット】

本実証コンソーシアムの構成員でもあり実証環境を提供している阪神電気鉄道株式会社をユーザとし、同社路線内での導入検討を進める。

ユーザ名	阪神電気鉄道株
導入候補地域	<ul style="list-style-type: none"> ・阪神本線(大阪府大阪市、兵庫県神戸市、芦屋市、西宮市、尼崎市) ・阪神武庫川線(兵庫県西宮市) ・阪神なんば線(大阪府大阪市、兵庫県尼崎市)

【普及展開時のビジネスモデル】

ユーザとなる鉄道事業者は、現状ローカル5Gインフラの構築運用ノウハウや体制をもたないことが予想されることから、インフラ運用の担い手として各地のケーブルテレビ事業者と連携し、ケーブルテレビ事業者が運用するローカル5Gを鉄道事業者が利用するモデルを検討した。しかし、各社へのヒアリング結果から鉄道事業者においても社内の技術力の低下防止などの理由で自らインフラ運用を行う意向があることが分かったため、鉄道事業者自らが運用するモデルを加え、鉄道事業者の意向に合わせて適切なビジネスモデルで提案し、適宜ケーブルテレビ事業者とのマッチングを実施する。



案① 鉄道事業者単独モデル

案② CATV事業者投資モデル

ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証(2/2)

◆ 実装性を高める手法の検討

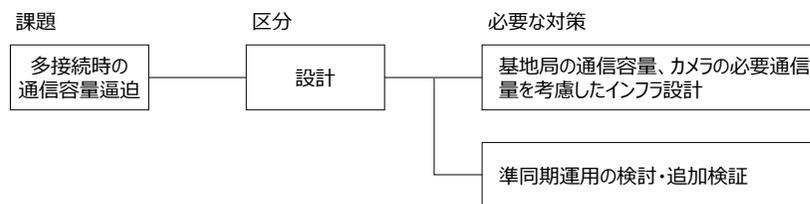
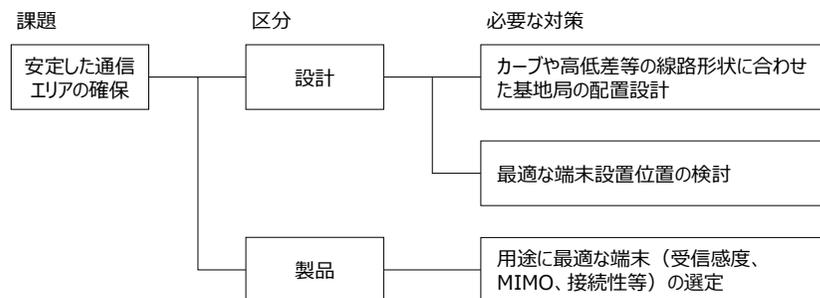
活用モデルの基盤となるローカル5Gの通信性能に対する課題として想定される項目を検証し、実装性を高めるための対応策を検討した。

想定される障壁	実証結果及び考察・対応策
ローカル5Gのカバーエリアが活用したいエリアを十分に網羅できるか	走行列車内において通信が途切れる区間があった。また、地上においても環境によって電波強度に差が大きく通信性能にばらつきがみられた。狭指向性アンテナの利用にあたっては、線路形状の影響を受けやすく、僅かなカーブや高低差でも電波強度が大きく変動するため、これまでの平面的なエリア予測だけでなく三次元的な配慮が必要である。
帯域輻輳による通信遅延が許容範囲外とならないか	環境によって電波強度が大きく変化しスループットが要件を下回る場所もあった。スループットが要件を下回るような電波状況が弱い場所においては、通信帯域が限られるため、利用が進むと輻輳による通信遅延の増大等が発生するおそれがある。よって、業務区域内を強電界でカバーできる基地局の配置設計が重要となる。また、本実証事業で検証したソリューションは主に上りの通信を利用することから、ローカル5G端末について送信アンテナが複数搭載されMIMOが利用できるものの選定や基地局の準同期運用など、上りスループットを向上させる対策も追加で検証が必要である。
環境要因による通信遅延が許容範囲外とならないか	本実証環境においては、いずれの測定場所においても、通信遅延は要件としている200ミリ秒より短く、許容値に収まる結果であった。ただし、走行列車内におけるジッタの値は目標値を下回る結果であった。これは車体による電波の減衰の影響を受けたとみられるため、基地局の配置設計の際には、車体による電波の減衰や劣化の考慮も必要となる。また、基地局の配置設計による解決だけでは、構築コストの大幅な増加をもたらすおそれもあるため、受信性能の高いローカル5G端末を選定、開発するまたは、屋外設置可能なローカル5G端末を車体外に設置する等の対策も検討する。
自己土地外への電波漏洩が許容範囲外とならないか	本実証事業の環境においては狭指向性アンテナ及び漏洩同軸ケーブルいずれを使用した場合においても、線路外(自己土地外)への電波漏洩を完全には防ぐには至らなかった。さらなる電波漏洩抑制の対策として、ビームフォーミング対応基地局の検証や電波の漏洩方向を指定できる漏洩同軸ケーブルの開発等、機器ベンダ、メーカーとも協議を行い、引き続き検討を進めていく。

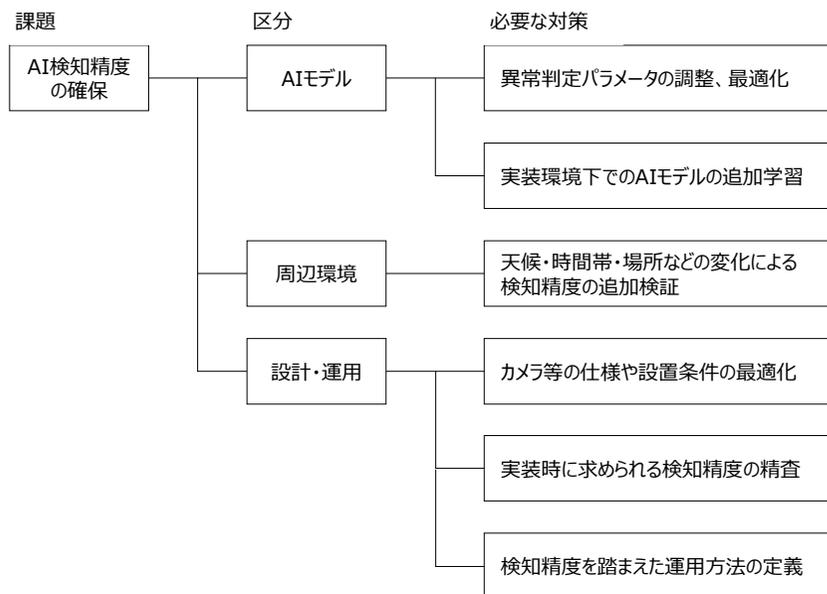
ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

ローカル5G活用モデルの実装にかかる課題の抽出及び解決策の検討(1/2)

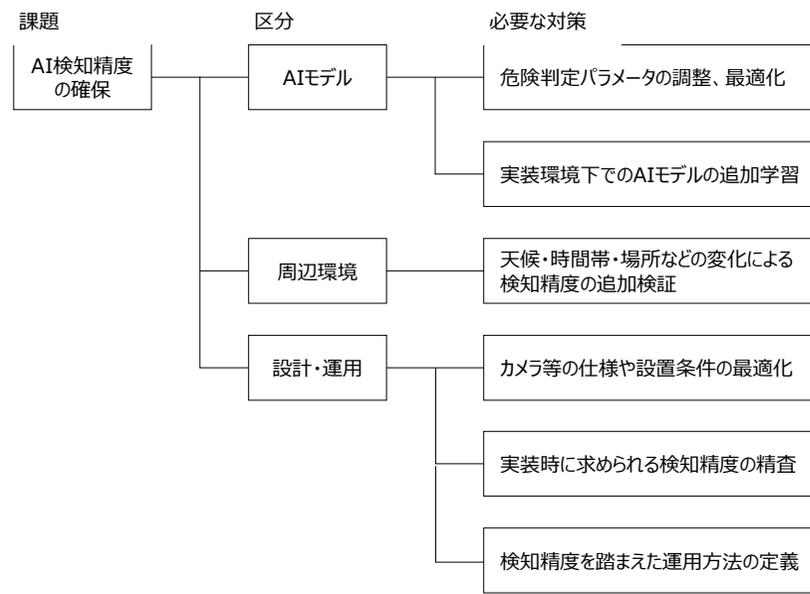
本実証事業によって明らかになった課題及び対策は図のとおり。



各ソリューションに共通の課題



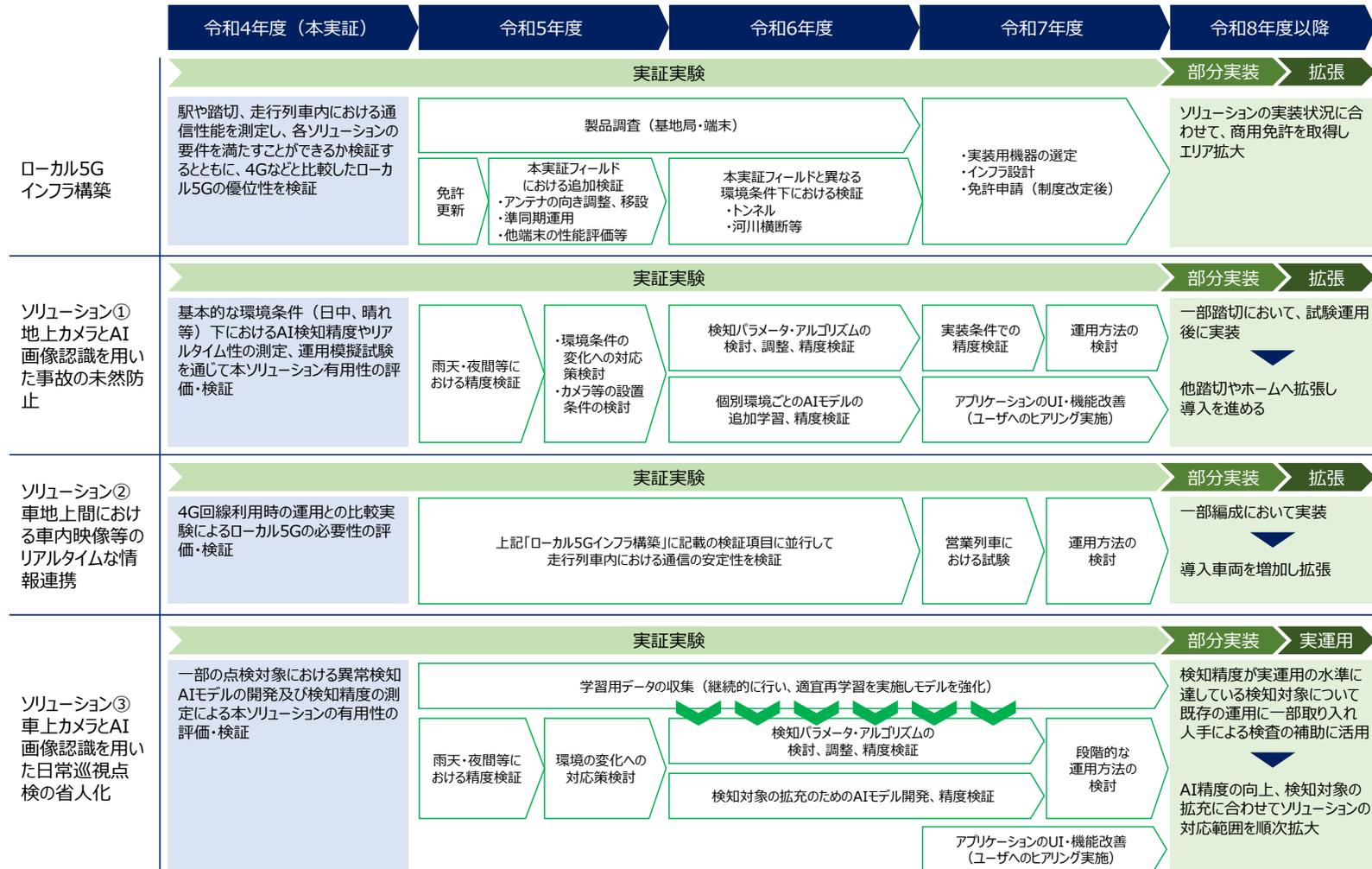
ソリューション②に関する課題



ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

ローカル5G活用モデルの実装にかかる課題の抽出及び解決策の検討(2/2)

各課題の解決及び実装に向けたロードマップは下図のとおり。ローカル5Gインフラ構築に関する検証・調査については阪神ケールエンジニアリング(株)、各ソリューションに関する検証はアイテック阪急阪神(株)、実装に向けた運用方法の検討は阪神電気鉄道(株)がそれぞれ中心となって担当し、各社協力のうえ実証実験を進める。



ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

ローカル5G活用モデルの実装・普及展開(1/4)

◆ 実装・普及展開シナリオ

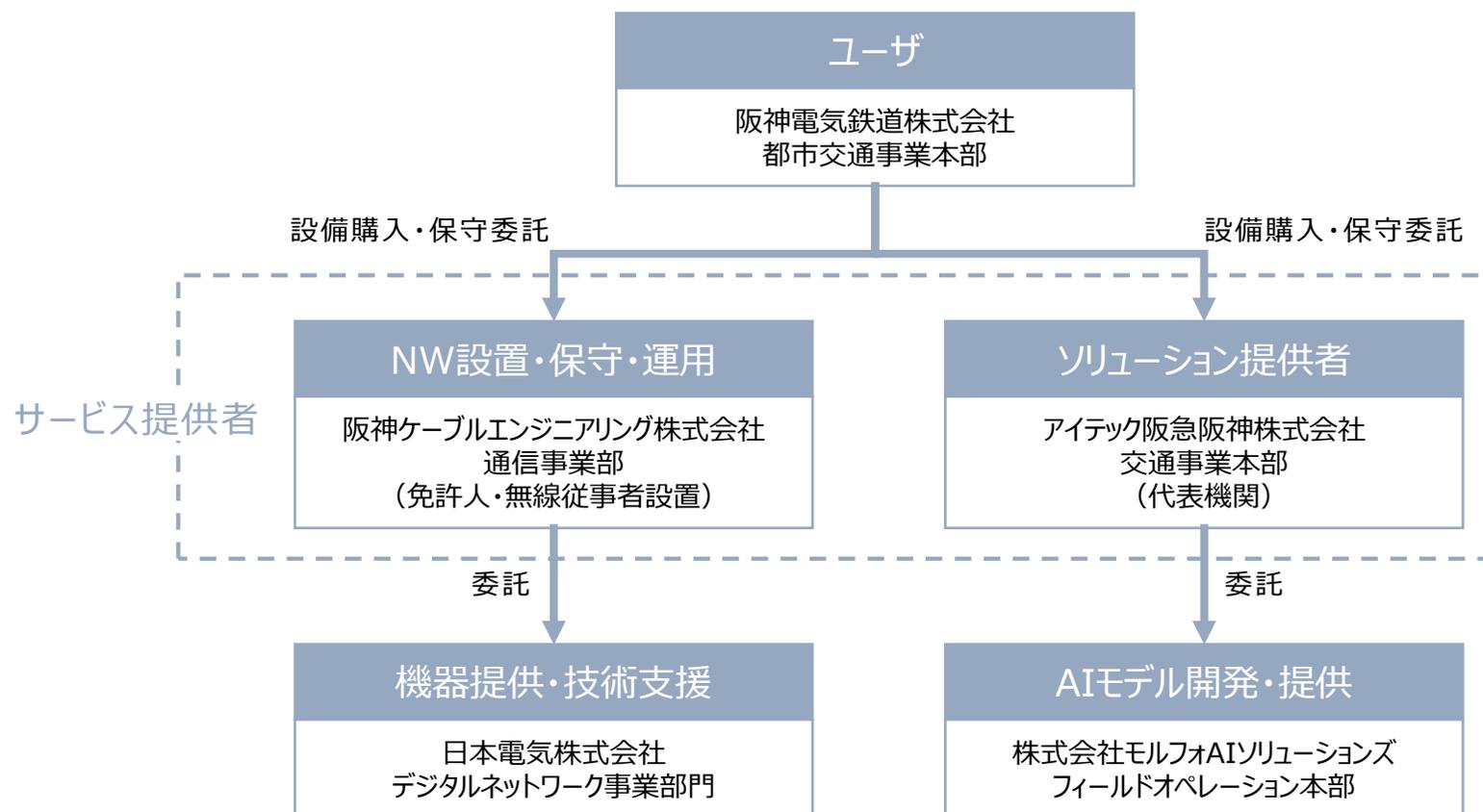
項目	実装・普及展開シナリオ
目指すべき姿	<p>全国の鉄道事業者をユーザとして普及展開を行う。普及展開に向けては、阪神電気鉄道(株)での実装を踏まえ、まずは同じく阪急阪神ホールディングスグループに属する鉄道事業者への普及展開を目指す。その後、各社での実績をもって、類似した事業環境下で鉄道運営を行っており、共通の課題を抱え、一定の経営体力を有すると予想される都市部の民営鉄道を注力ターゲットとして提案活動を行う。</p>
現時点の課題 (ミッシングピース)	<p>【ルールメイキング】</p> <ul style="list-style-type: none"> ローカル5Gが鉄道線路上で広域的に実運用可能となることが、ソリューションの実現、今後の普及展開に不可欠 <p>【ソリューションの性能改善】</p> <ul style="list-style-type: none"> AI検知精度において、ユーザのサービス要求水準達成のため、AIモデルのさらなる学習等による精度向上が必要 AIによる設備点検において、ユーザが現行点検している設備の一部にしか対応できていないことから、精度向上と並行して検知対象拡充のためのAIモデルの追加開発が必要 <p>【運用面の精査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 既存業務をシステムへ移行する、もしくは並行運用するにあたって、業務フローや運用マニュアルなどの再整備が不可欠 <p>【インフラ設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> 三次元的な線路形状の変化に合わせた基地局や端末の配置設計が必要 ソリューションにおいては、多数のカメラを使用し、映像伝送のために通信量が大きくなることから、通信容量の逼迫が発生しない適切インフラ設計、使用量管理、通信性能の向上対策(高性能な端末の選定、基地局の準同期運用)などが必要
将来像の実現に向けたシナリオ	<ul style="list-style-type: none"> 実証事業後は実証環境である阪神電気鉄道(株)の路線で利用を継続し、実証時に抽出された課題(AI検知精度の向上)への対応をはじめとする、本ソリューションの品質強化により、令和8年度以降での各ソリューションの実装を進める。 実装の実績を踏まえ、阪神電気鉄道(株)と同じく阪急阪神ホールディングスグループの属する鉄道事業者への展開を図るとともに、グループ外の民営鉄道事業者への提案活動を進める。

ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

ローカル5G活用モデルの実装・普及展開(2/4)

◆ 実装計画実施にあたっての実施体制

本実装計画の主体は実証環境を提供している阪神電気鉄道(株)、ローカル5Gシステムの構築・運用サービス提供者である阪神ケーブルエンジニアリング(株)、AIシステム等の構築・運用サービス提供者であるアイテック阪急阪神(株)の3社である。また、本実証事業に引き続きローカル5G機器の提供は日本電気(株)、AIモデルの提供はモルフォAIソリューションズ(株)を想定している。



ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

ローカル5G活用モデルの実装・普及展開(3/4)

◆ 阪神ケーブルエンジニアリング(株)の実装計画・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)	令和10年度 (2028)
実装計画	ソリューション① 地上カメラとAI画像認識を用いた事故の未然防止	開発実証	コンソ内投資による実証実験(課題対応)			コンソ内実装による試験運用	コンソ内実運用 グループ内横展開	路線拡大 グループ外展開
	ソリューション② 車地上間における車内映像等のリアルタイムな情報連携	開発実証	コンソ内投資による実証実験(課題対応)			コンソ内実装による試験運用	コンソ内実運用 グループ内横展開	路線拡大 グループ外展開
	ソリューション③ 車上カメラとAI画像を用いた日常巡視点検の省人化	開発実証	コンソ内投資による実証実験(課題対応)			コンソ内実装による試験運用	コンソ内実運用 グループ内横展開	路線拡大 グループ外展開
	ローカル5Gシステム	開発実証	実装(実証事業実施区間)			コンソ内実装による試験運用	コンソ内実運用 グループ内横展開	路線拡大 グループ外展開
収支計画(千円)	(1)ユーザから得る対価	-	-	-	-	-	149,490	840,542
	(2)補助金・交付金	-	-	-	-	-	-	-
	(3)収入((1)+(2))	-	-	-	-	-	149,490	840,542
	(4)ネットワーク設置費	-	-	-	-	-	117,025	687,050
	(5)ネットワーク運用費	-	7,550	7,550	7,550	7,550	7,550	13,401
	(6)ソリューション購入費	-	-	-	-	-	-	-
	(7)ソリューション開発費	-	2,450	2,450	2,450	12,450	-	-
	(8)支出 ((4)+(5)+(6)+(7))	-	10,000	10,000	10,000	20,000	124,575	700,451
	(9)収支((3)-(8))	-	△10,000	△10,000	△10,000	△20,000	24,915	140,090

ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

ローカル5G活用モデルの実装・普及展開(4/4)

◆ アイテック阪急阪神(株)の実装計画・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)	令和10年度 (2028)
実装計画	ソリューション① 地上カメラとAI画像認識を用いた事故の未然防止	開発実証	コンソ内投資による実証実験(課題対応)			コンソ内実装による試験運用	コンソ内実運用 グループ内横展開	路線拡大 グループ外展開
	ソリューション② 車地上間における車内映像等のリアルタイムな情報連携	開発実証	コンソ内投資による実証実験(課題対応)			コンソ内実装による試験運用	コンソ内実運用 グループ内横展開	路線拡大 グループ外展開
	ソリューション③ 車上カメラとAI画像を用いた日常巡視点検の省人化	開発実証	コンソ内投資による実証実験(課題対応)			コンソ内実装による試験運用	コンソ内実運用 グループ内横展開	路線拡大 グループ外展開
	ローカル5Gシステム	開発実証	実装(実証事業実施区間)			コンソ内実装による試験運用	コンソ内実運用 グループ内横展開	路線拡大 グループ外展開
収支計画(千円)	(1)ユーザから得る対価	-	10,000	10,000	10,000	20,000	225,600	451,200
	(2)補助金・交付金	-	-	-	-	-	-	-
	(3)収入((1)+(2))	-	10,000	10,000	10,000	20,000	225,600	451,200
	(4)ネットワーク設置費	-	-	-	-	-	-	-
	(5)ネットワーク運用費	-	-	-	-	-	-	-
	(6)ソリューション購入費	-	-	-	-	-	-	-
	(7)ソリューション開発費	-	20,000	20,000	20,000	40,000	188,000	376,000
	(8)支出 ((4)+(5)+(6)+(7))	-	20,000	20,000	20,000	40,000	188,000	376,000
	(9)収支((3)-(8))	-	△10,000	△10,000	△10,000	△20,000	37,600	75,200

まとめ

まとめ

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
 - ・ エリア算出式のプロットから大きな外れ値となっている実測値を除いて精緻化した結果、線路外はS値が12.59となり、概ね郊外地相当のS値となった。線路内はS値が概ね20程度となった。
- ◆ テーマⅡ：線状の空間におけるエリア構築の柔軟化
 - ・ 実測の結果、狭指向性アンテナとLCXともに他者土地への電波漏洩が発生していたが、調整対象区域の閾値を実測した基地局からの距離はLCXの方が50～300m程度短く、LCXの方が電波漏洩が少ないことを確認できた。
 - ・ LCXのエリア算出法を考察したが、メーカー公開情報からは法線方向しか算出できず、カバーエリア端などの推定に適用しづらいと考えている。

課題実証

- ◆ 共通
 - ・ ソリューションの基盤となるローカル5Gの通信環境について、三次元的な線路形状の変化に合わせたインフラ設計に課題が明らかになった。実証を継続するなかで、インフラ設計に関するノウハウを蓄積し、効率的な環境構築を目指す。
- ◆ ソリューション①：地上カメラとAI画像認識の活用による安全対策の高度化
 - ・ リアルタイム性については、目標値である1秒を概ね達成し、ユーザへのアンケート調査による評価も高かった。
 - ・ AI検知精度においては、検知対象物によっては目標値である検知漏れゼロ、誤検知率1%未満を達成できないものがあつた。検知対象物が多岐にわたるため、AIモデルの追加学習やカメラの配置方法の検討等、それぞれの対象物に合わせた対策が今後必要。
 - ・ UIについては、複数箇所でも異常が発生した場合の表示方法などに課題が挙げられた。実装時にはユーザの意見を踏まえた改良を行う。
- ◆ ソリューション②：車地上間における車内状況のリアルタイムな情報連携による有事対応の迅速化
 - ・ 有事の際の初動対応について、現行の列車無線による情報伝達と比較して4分程度時間短縮できることが確認できた。
- ◆ ソリューション③：車上カメラとAI画像認識の活用による日常巡視点検の省人化
 - ・ ソリューションのコンセプトとしては、ユーザの期待が大きいことがアンケート調査により分かった。
 - ・ AI検知精度はまだまだ低いため、中長期的にAIモデルの学習用データを収集し、AIモデルの強化を行う必要がある。

実装・普及計画

R4年度～R7年度	R5年6月に実験試験局免許を再取得し、実証実験を継続する(上記課題への対策を実施予定)。
R8年度	ローカル5Gの免許制度改定に合わせて商用免許を取得し、阪神電気鉄道(株)において試験運用、部分実装を行う。
R9年度	阪神電気鉄道(株)における実装を本格化し、合わせてグループ内の他鉄道事業者への横展開を進める。
R10年度	グループ外の鉄道事業者への横展開を図る。