

地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた
開発実証に係るインフラ分野におけるローカル5G等の
技術的条件等に関する調査検討の請負
(遠隔・リアルタイムでの列車検査、線路巡視等の実現)

報告書

概要版

令和3年3月25日

中央復建コンサルタンツ株式会社

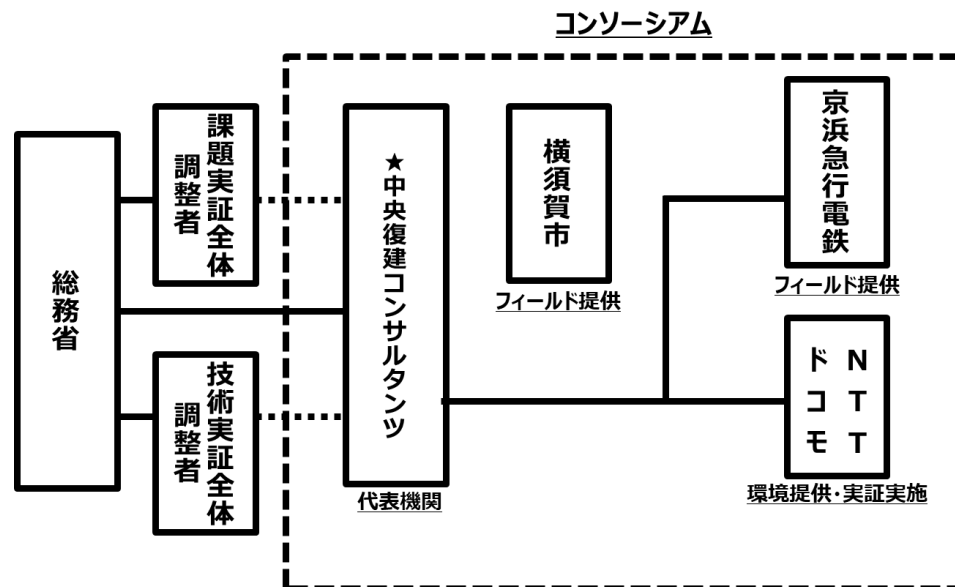
実証概要

実証概要

■ 実証概要

鉄道施設の検査のうち、「鉄道車両検査」や「線路巡視業務」にフォーカスし、ローカル5G等を活用した具体的なアプリケーション（鉄道車両の傷等、線路の障害等を自動検知）を想定した実証を実施。

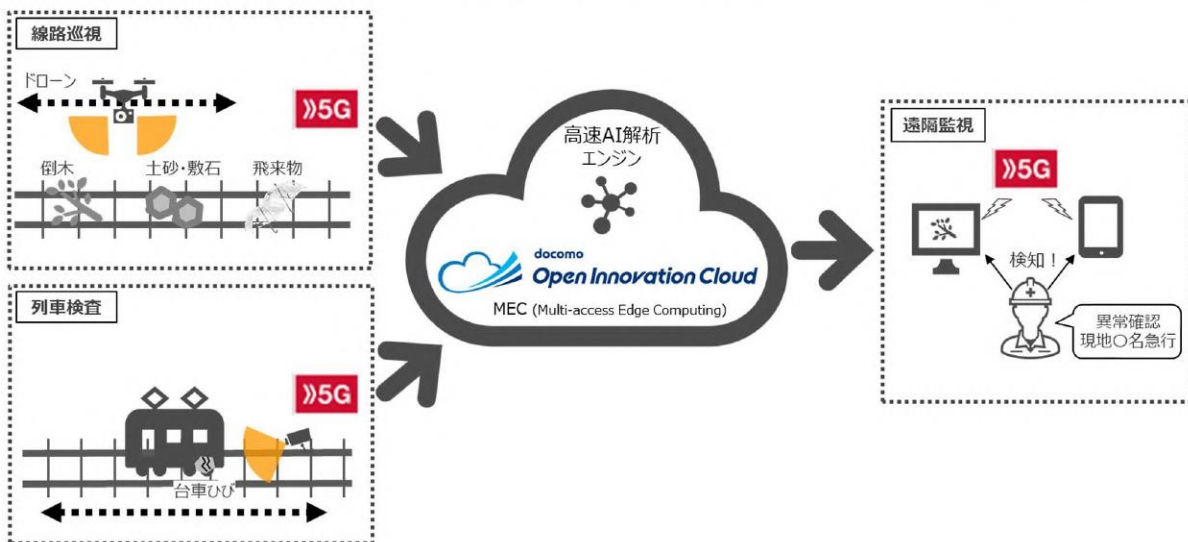
鉄道車両検査や線路巡視業務へのローカル5G等の導入を促進し、遠隔・リアルタイムな異常検知を機械的に実施することで、鉄道インフラの維持・管理における将来的な人手不足や熟練作業員不足等の課題解決へ寄与することを期待。



高精細映像 撮影・伝送

AI解析・リアルタイム配信

遠隔監視



● 本実証におけるローカル5Gの適用性

利点1	事業者が管理する任意の場所に5G環境を構築できる。
利点2	目的に応じて適切な帯域制御ができる。
利点3	外的要因の輻輳やリソース不足（通信品質の劣化）が起こりにくく、事業者のニーズに則してセキュリティ機能の追加等も可能である。

実証地域

■ 実施環境

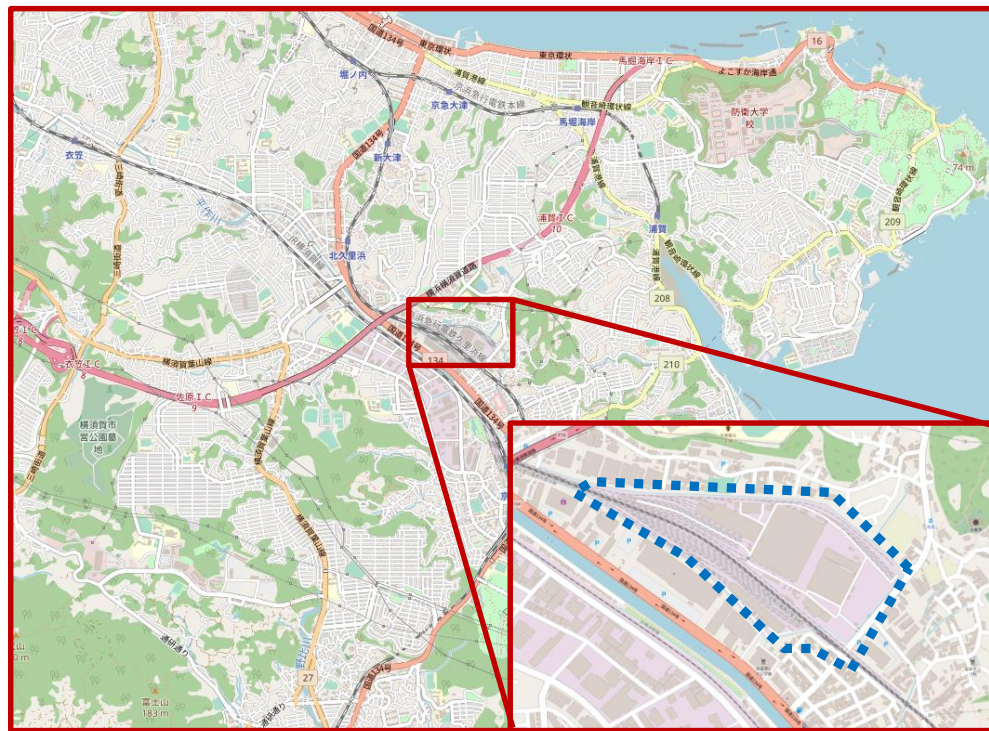
横須賀市がスマートモビリティの開発・実証を通じた地域課題の解決、新規ビジネスの創出を目的として「ヨコスカ×スマートモビリティ・チャレンジ推進協議会」を立ち上げ、2019年1月には横須賀市と京浜急行電鉄（株）と（株）NTTドコモで「スマートモビリティ等を活用したまちづくりに関する連携協定」を締結。これらの背景から、横須賀市内の京浜急行電鉄をフィールドとし、列車の運行に支障をきたすことなく安全性が確保された「久里浜工場」にて実証を実施。

【選別区間距離】

線名	区間	区間距離
本線	泉岳寺～浦賀	56.7km
空港線	京急蒲田～羽田空港第1・第2ターミナル	6.5km
大師線	京急川崎～小島新田	4.5km
逗子線	金沢八景～逗子・葉山	5.9km
久里浜線	堀ノ内～三崎口	13.4km
計		87.0km

【土木設備】

まくら木の敷設延長		186,065m
道床砂利の敷設延長		157,722m
橋梁	328か所	7,791m
高架橋	163か所	40,899m
こう橋	5か所	21.2m
構内地下道	21か所	101.9m
トンネル	36か所	14,624m
停車場	72か所	
踏切道	86か所	



実証地域

■ 鉄道インフラ分野の維持・管理における課題(列車検査)

列車検査に関して、運行中の列車の装置故障は重大事故の引き金になるため、高精度・高頻度の車両の監視・検査が重要となる。検査の高頻度化のスキームとして、将来的な車両の常時監視システムを提案し、その実現に向けた取り組みを推進する。

列車検査の現状

【現状】

- 列車の運行中に重要な装置の故障が見されると、**重大事故につながりかねない**
※2017年12月新幹線のぞみ台車き裂など
- 日常検査といえども、6日に1度の頻度であるため、異常が最大5日間把握できない可能性がある

【課題】

- 日常検査の高頻度化が求められる

京浜急行電鉄の現行オペレーション

列車検査

☞実施頻度：6日に1度

京浜急行電鉄保有の約800両の列車を、3つの検車区（久里浜検車区、新町検車区、金沢検車区）にてローテーションで検査

☞点検方法：近接目視

床下、車体、台車（車輪、車軸、モーター）、屋根上、客室の装置外観を目視により確認（≒異常がないことを確認）

☞点検時間：1編成（5人体制）あたり概ね30分

許容できない疲労き裂
（「のぞみ」のトラブル）



これを起こしてはいけない

出典：東洋経済オンライン
<https://toyokeizai.net/articles/-/211007>

課題の解決策とローカル5G技術の導入効果

【課題】列車検査の間隔を埋める“日常検査の高頻度化スキーム”が必要（新たに人を増やすことはできない）

【解決策】5G技術を活用した、4Kカメラ画像のAI解析による
日常定点観測＋異常検知システムの導入

【導入効果】

① 効率性の観点

リアルタイムで人の目や判断を補う機能（常時観測＋異常のアラート）により、**人員の増強なしに検査の高頻度化**が実現（通常のオペレーションの省人化にも寄与する可能性）

② 安全性の観点

目視検査は欠かせないものの、日常定点観測・異常検知（≒危険予知）による**安全性の向上（早期発見・早期復旧に貢献）**

目視検査とのクロスチェックによる**検査精度の向上**

実証地域

■ 鉄道インフラ分野の維持・管理における課題（線路巡視）

線路巡視に関して、線路上の障害物も重大事故の引き金となる。特に、災害等の警戒時の運行再開に向けた確認・復旧作業では、徒歩巡視の効率化と安全確保が求められる。本事業では、将来的な遠隔・リアルタイムでの線路周辺状況のモニタリングを見据え、その実現に向けた取組みを推進する。

京浜急行電鉄の緊急時の出動・警戒状況

出動回数（全線）

- ・異常発見による出動：100件程度/年
- ・悪天候等による警戒：20件程度/年

出動・警戒時の対応

- ①2～4名程度で出動し、周辺設備の状況確認
- ②確認のみで終わるものは現地時間で数十分程度
- ③応急復旧が必要なものは、8名程度の応援を呼んだ上で数時間かかる事例が多い
- ④警戒時は、**運行再開前に全線徒歩巡視を実施**

保線業務における現状と課題（現場の課題）

【現状】

- ・警戒実施時の体制を構築しているものの、**運行再開前の徒歩巡視には多くの人員が必要**である

【課題】

- ・警戒時の運行再開前の線路巡視の効率化の観点から、詰所等からリアルタイムで線路の周辺状況が把握できる仕組みが求められる

課題の解決策とローカル5G技術の導入効果

【課題】警戒時の運行再開前の線路巡視の効率化の観点から、詰所等からリアルタイムで線路の周辺状況が把握できる仕組みが求められる

【解決策】5G技術を活用した、ドローン等に搭載した4Kカメラ画像のAI解析による**線路周辺状況把握＋異常検知システム**の導入

【導入効果】

効率性の観点（サービス水準向上）

- ・リアルタイムで人の目や判断を補う機能（運行再開前の線路周辺状況把握＋異常のアラート）により、**将来の省人化に貢献**する
- ・遠隔観測により、運行再開前の確認作業および復旧作業などの**業務フローの効率化**により、早期復旧が実現し、顧客にとっての**サービス水準の維持**にもつながる

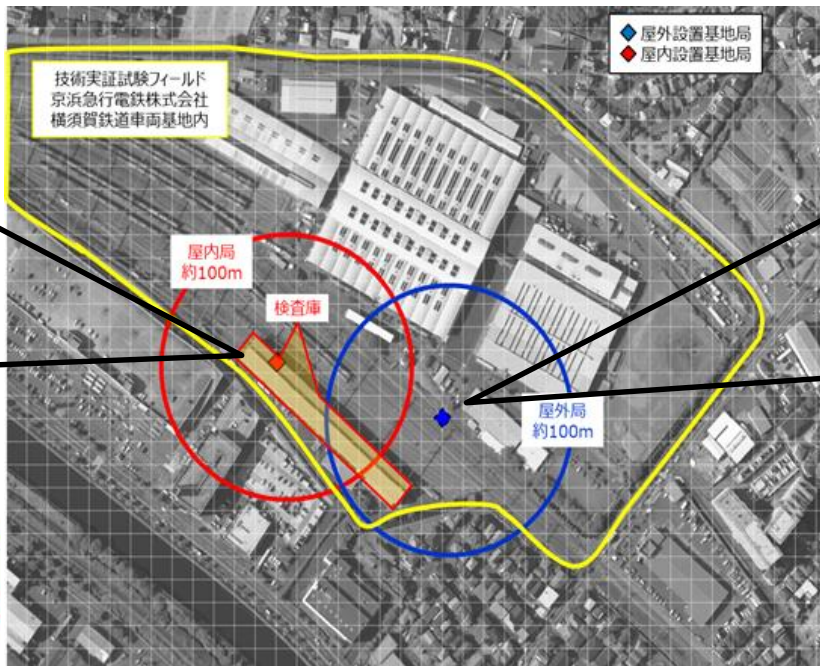
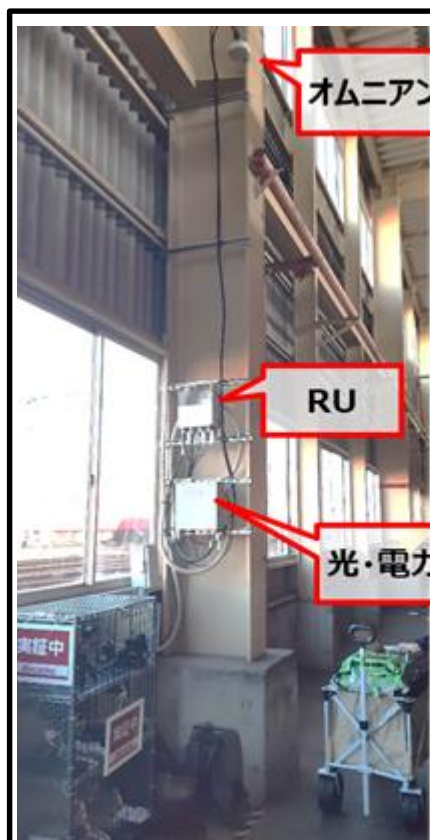
安全性の観点

- ・無人のモニタリングにより、作業員の安全確保が可能

実証環境

■ 設置場所

屋内での列車検査業務用として線路南側の検査庫内に4.5GHz帯キャリア5Gの基地局を1局（屋内局）、また、屋外での線路巡視業務用として線路北側の18番試走線沿いの信号柱に4.5GHz帯のキャリア5Gの基地局を1局（屋外局）、合計2局構築した。

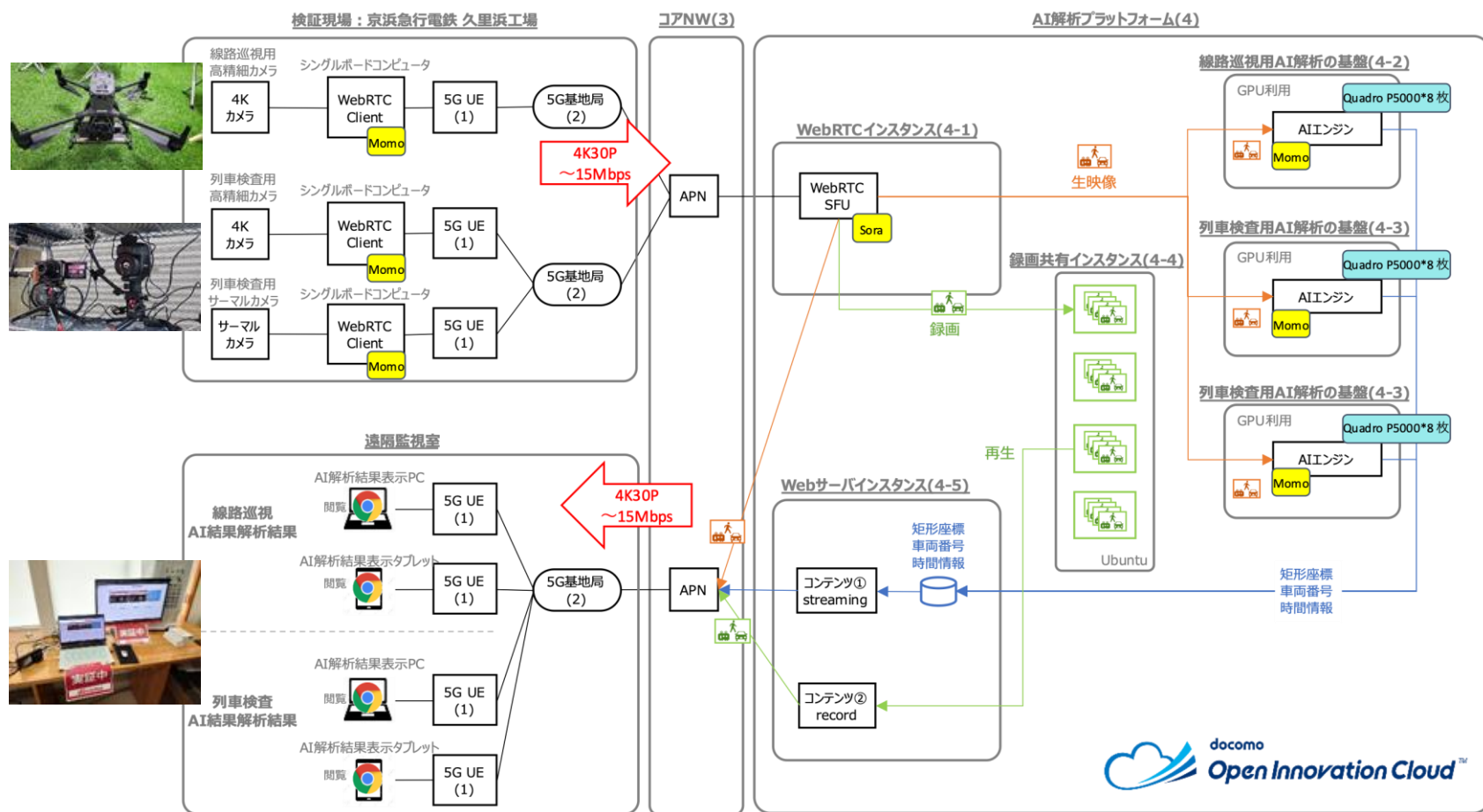


	屋外基地局	屋内基地局
周波数	4,550MHz	
帯域幅	100MHz	
許容干渉電力 (対域内干渉)	-115dBm/MHz	-110dBm/MHz

実証環境

■ 設置場所

高精細4kカメラ及びサーマルカメラ、線路巡視業務においてはドローン搭載の高精細4kカメラで撮影した映像をキャリア5G経由でdOICに送信し、dOIC上に構築されたAI解析基盤によって異常箇所を解析し、その解析結果を遠隔監視拠点に設置されるPC端末等にキャリア5G経由で送信して表示させるシステムを構築した。



課題解決システムの実証

実証目標と基本通信性能評価

■ 実証目標

人手不足や安全性の向上を目的として、ローカル5G無線通信システムを用いたリアルタイムでの遠隔からの列車検査、線路巡視等により、人員の増強なしに検査の高頻度化や効率化が実現できることにより、安全性の向上や顧客にとってのサービス水準の確保に寄与することを目指す。

■ 映像受配信システムの基本通信性能評価

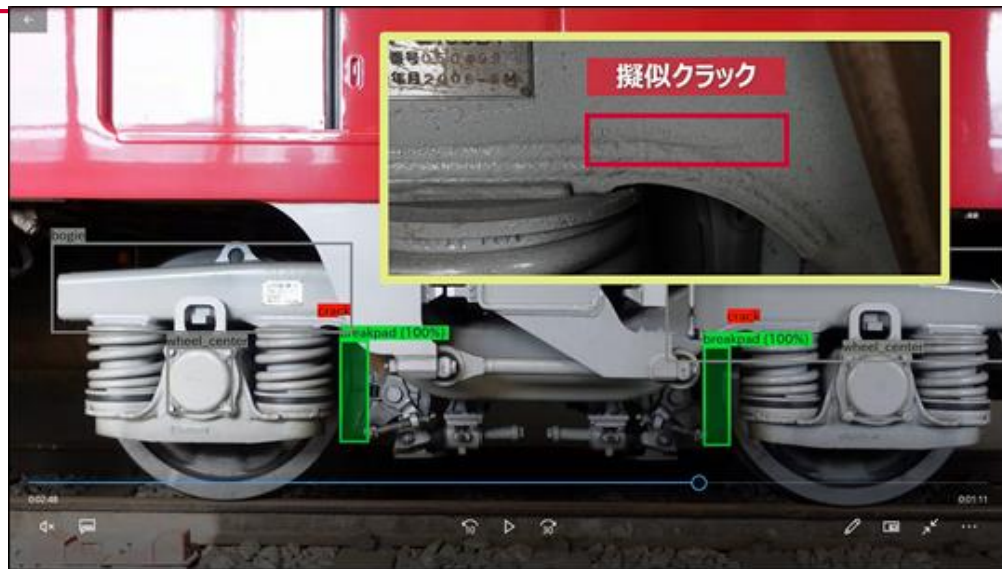
列車検査及び線路巡視において共通に使用するために構築した映像受配信システムの検証及び評価・分析を行った。

検証項目	検証結果
インターネット接続との比較におけるdOICの有効性	アップリンクのスループット、ダウンリンクのスループットはクラウドダイレクト接続（dOIC）とインターネット経由（AWS）の間で顕著な違いはなかったが、遅延量に関しては、クラウドダイレクト接続の方がインターネット経由の4分の1以下となった。 ⇒本課題解決システムはリアルタイム性が必要となるサービスであることから、MECクラウド環境（dOIC等）を活用する利点が示された。
測定区間ごとのスループット、遅延	高精細映像（4k映像）の送受信に関する送信端末～dOIC上のインスタンス、同インスタンス～解析結果表示PCを模擬した受信端末の区間における伝送品質と遅延等を計測した。 送信パケットを30Mbpsと100Mbpsに設定 ⇒【スループット】上り：29.78Mbps、93.16Mbps 下り：29.94Mbps、95.05Mbps ⇒本課題解決システムの上りパケット（30Mbps）の送信、下りパケットの送信に十分な帯域を確保できていることが確認された。
コーデックごとの基本性能評価	4k映像伝送において、VP8においてはどのパラメータの組み合わせでも4k解像度に達することは無かった。VP9においては、解像度が4kに達することがあったもののフレームレート数が上がり30fpsに達することは無かった。 ⇒H.264に限り解像度及びフレームレート数が目的の4k30fpsに達することが確認できた為、本実証においてはH.264を使用することとした。
映像インプットから画面表示までの遅延量推移評価	カメラ映像の伝送における、一定時間経過後の遅延量推移を計測するため、送受信された映像へ映る時計の時間差を比較した。 遅延量：0.33～0.41ms ⇒時間の経過による遅延量の増加傾向は見られず、安定した低遅延の映像配信が可能であることが確認できた。
背景トラフィック印加時の映像インプットから画面表示までの遅延量推移評価（並列処理の可能性を考慮）	送信端末が複数あって並列処理を行うユースケースを想定し、背景トラフィックを印加した状態での映像伝送における、一定時間経過後の遅延量推移を計測した。背景トラフィックが無い状態と30Mbpsのトラフィックを印加した場合とでは平均値を取った場合に差は現れなかった。2倍にあたる60Mbpsのトラフィックを印加した場合においても遅延時間は+60msecと今回は遅延が上乗せされるもののストリーミング映像の伝送が確認できたため、問題ないと判断した。ユースケースとして、列車を両面から監視する場合においても、ストリーミング映像伝送が実現できることが確認できた。

課題解決システム(列車検査 - 台車き裂の検知)

■ 4kカメラの列車検査映像のAI解析システム

ダミーのクラックシールについては、クラック幅4パターン、長さ3パターン、貼付け方向2パターンの合計24パターンで検出。映像伝送の上りスループット、遅延量、検出率、網羅率は下記の通り。



対象物：ダミークラックシール
 幅：0.1 / 0.2 / 1.0 / 2.0 mm
 長さ：20 / 60 / 80 mm
 方向：接合面に対し、垂直 / 水平

手法：対象物の識別

結果：
 ・上りスループット：最大 **98.06 Mbps**
 ・End-End遅延量：**940 ms** (解析込)

課題：
 ・照度→映像品質が低下し、検出困難
 ・台車の色合い→着色により、検出困難

検出率：1回の試行あたりにシステムが出した結果を積み上げ、「システムが検出したもののうち、真に正しい結果の割合」
 網羅率：1回の試行あたりにシステムが出した結果を積み上げ、「システムが検出すべきと定めた事物のうち、それを少なくとも1回、システムが検出した割合」

★検出精度 (速度とクラック進展方向 垂直/水平)

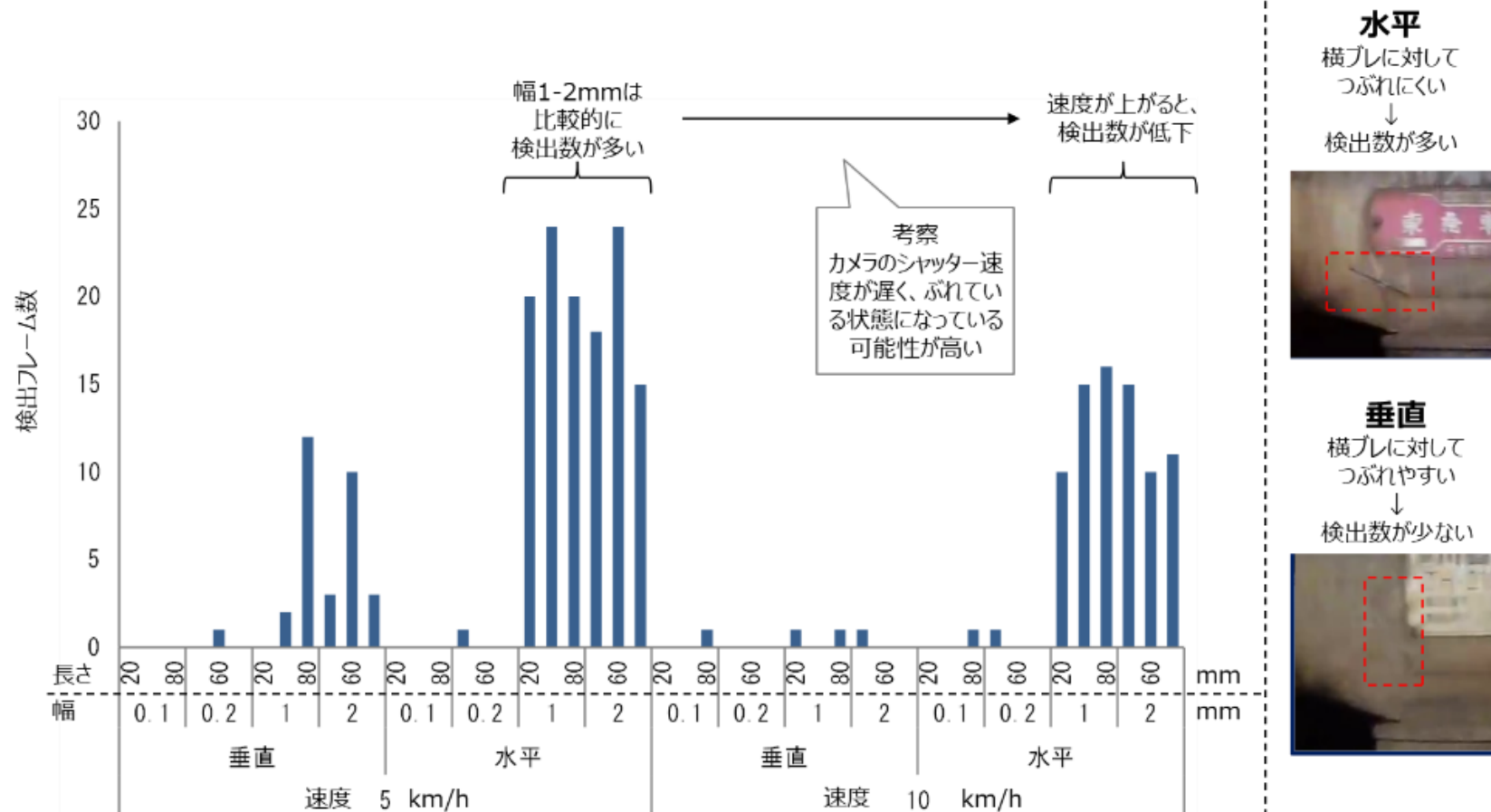
試験情報		集計結果				性能評価	
走行速度 (km)	向き	AIが検出した対象数		AIが検出なかった対象数		検出率	網羅率
		True_positive	False_positive	True_negative	False_negative		
5	垂直	14	0		22	100%	39%
5	水平	19	0		17	100%	53%
5 集計		33	0		39	100%	46%
10	垂直	4	0		32	100%	11%
10	水平	20	0		16	100%	56%
10 集計		24	0		48	100%	33%
総計		57	0		87	100%	40%

網羅率のバラつきが大きいいため、より詳細の比較分析を行いました。

課題解決システム(列車検査 - 台車き裂の検知)

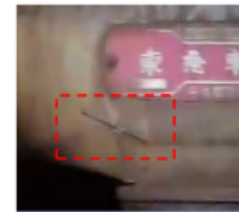
■ 4kカメラの列車検査映像のAI解析システム

検出フレーム数は、クラック幅1～2mmでは安定して検出できることを確認。
また、クラック幅0.1～0.2mmも検出できる可能性はあるものの、現時点では精度が高くないことを確認。
速度に応じた横ブレによって映像劣化が発生することで、垂直方向と水平方向で精度の差が出現。



水平

横ブレに対して
つぶれにくい
↓
検出数が多い



垂直

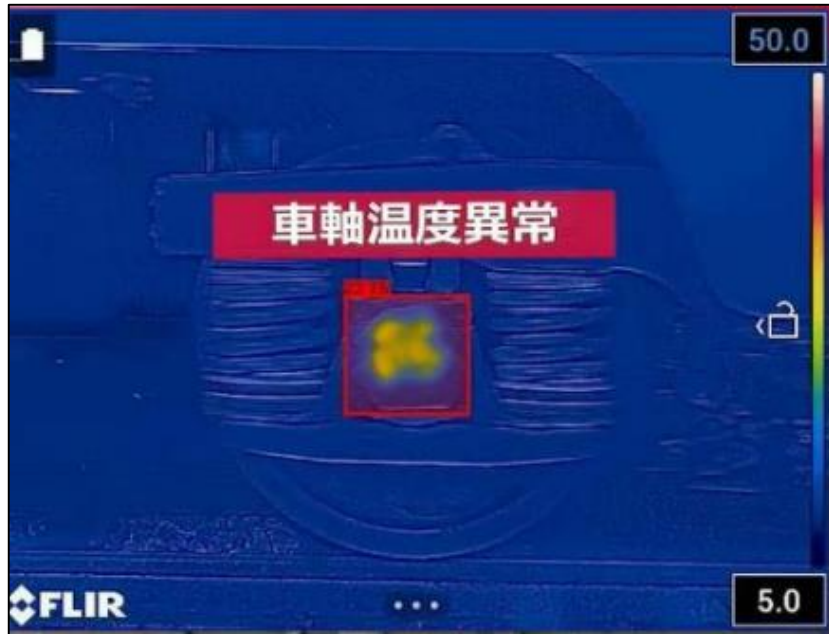
横ブレに対して
つぶれやすい
↓
検出数が少ない



課題解決システム(列車検査 - 車軸温度の検知)

■ サーマルカメラの列車検査映像のAI解析システム

サーマル映像については、車軸の温度上昇（模擬的な環境としてカイロを利用）を地表面温度との差分により検出。



対象物：車軸の温度

手法：車軸識別、温度計算

結果：

- ・上りスループット：最大 **98.06 Mbps**
- ・End-End遅延量：**940 ms**（解析込）

課題：

- ・照度→映像品質が低下し、検出困難

★検出精度

検出対象		AIが検出した対象数		AIが検出しなかった対象数		検出率	網羅率
走行速度	閾値	True_positive	False_positive	True_negative	False_negative		
5	10	42	0	0	0	100%	100%
5	30	38	0	4	0	100%	100%
10	10	42	0	0	0	100%	100%
10	30	40	0	2	0	100%	100%

課題解決システム（線路巡視 - 異常物の識別・検知）

■ 4kカメラの線路巡視映像のAI解析システム

線路巡視システムでは、5mおきに検出対象となるダミー障害物を設置し、距離と大きさを変えながら、AI検出。



検出対象物：木材（10x10cm/20x20cm）
ペットボトル（260/500/2000ml）
かさ、ハンガー

手法：線路の識別と異常検知

結果：

- ・上りスループット：最大 94.90 Mbps
- ・End2End遅延量：1330 ms
- ・検出精度：木の枝などの微細な物体に反応していたため、検出率が低下しました。

課題：

- ・PCの磁場等の影響により、ドローンRTK位置捕捉不可、自動航行ができませんでした。
→別の機体で追加検証等を実施しました。

★検出精度

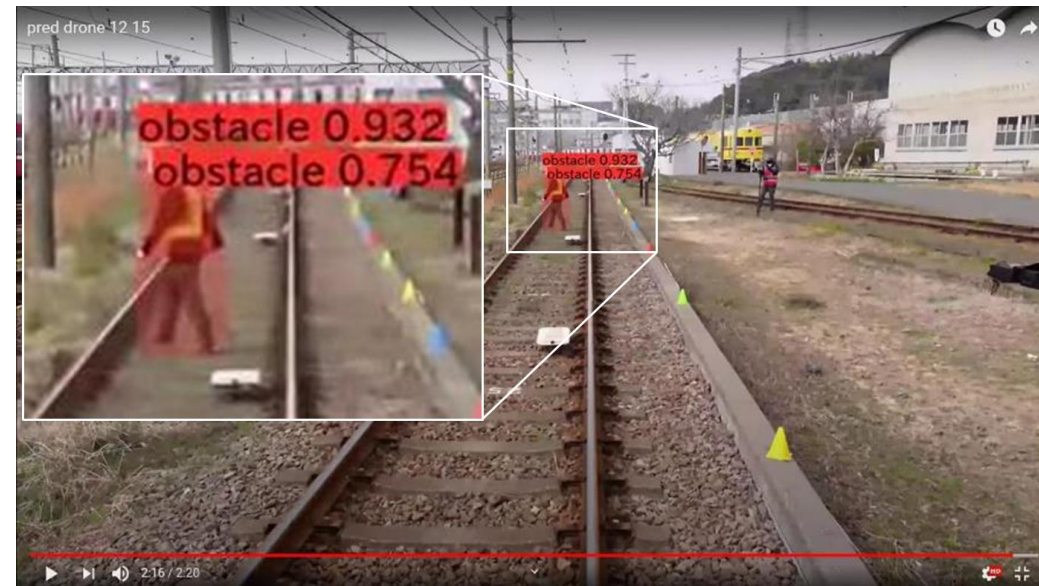
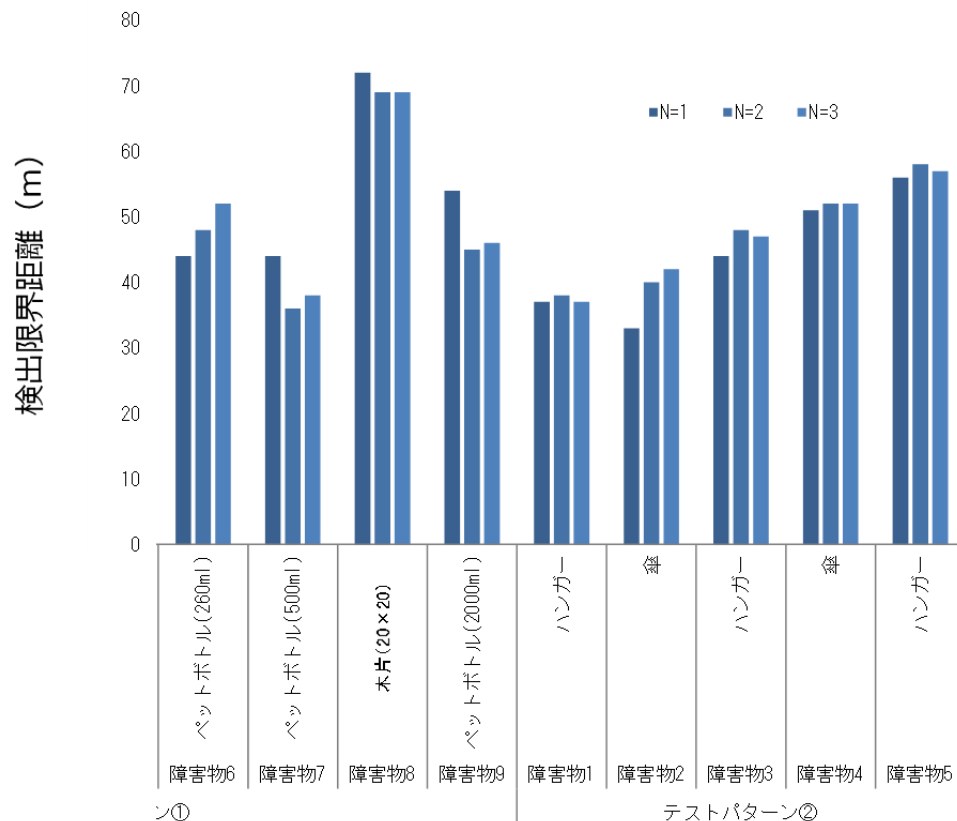
検出対象		AIが検出した対象数		AIが検出なかった対象数		検出率	網羅率
検証区分	シナリオ	True_positive	False_positive	True_negative	False_negative		
4.5局+Wi-Fi	テストパターン①	27	2	0	0	93%	100%
4.5局+Wi-Fi	テストパターン②	15	1	0	0	94%	100%
28G局	テストパターン①	24	5	0	0	83%	100%

課題解決システム(線路巡視 - 異常物の識別・検知)

■ 4kカメラの線路巡視映像のAI解析システム

ドローン4Kカメラからの検出限界距離は、平均して約50m程度、最大距離では70m程度となった。
より大きな障害物(人間)についても、検出性能を発揮することを確認。

⇒これにより、本システムは、検出対象物に対してある程度の汎用性能を有すると考えられる。



ユーザーインターフェース

■ AI解析結果表示ユーザインターフェースの機能

列車検査のAI解析結果表示ユーザ画面では、「リアルタイムの映像」と、「振り返りの映像」を確認することが可能。振り返りの映像に関しては、①通知から確認 ②日時から確認の他に③車両番号から確認も可能。



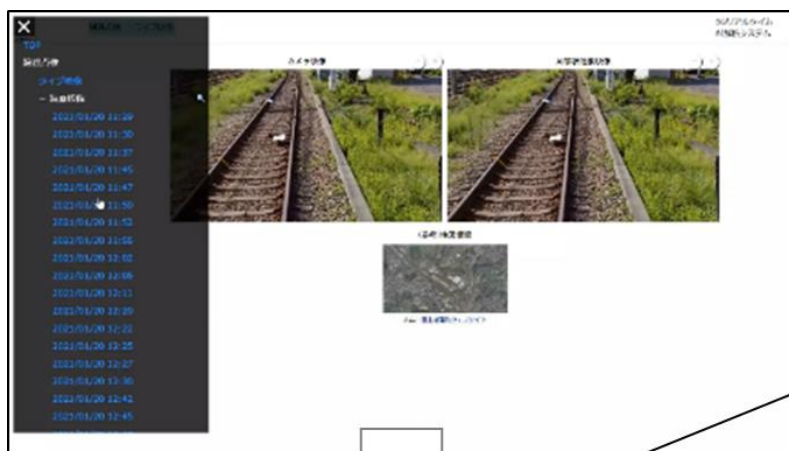
列車検査システムのリアルタイム映像

列車検査システムの振り返りの映像

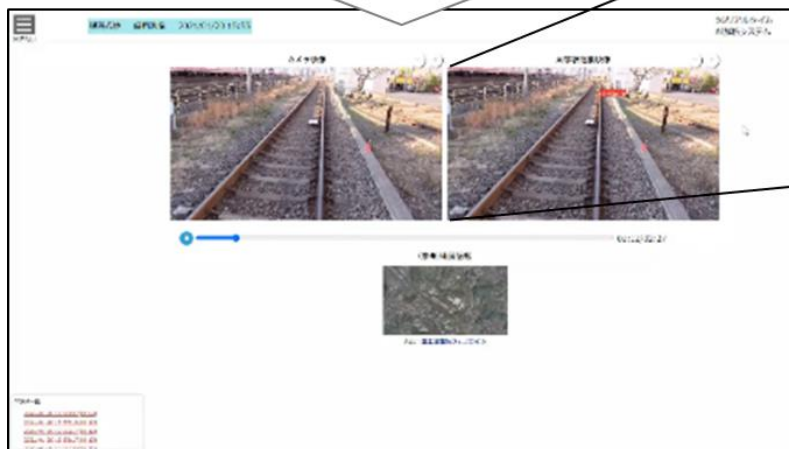
ユーザーインターフェース

■ AI解析結果表示ユーザインターフェースの機能

線路巡視のAI解析結果表示ユーザ画面では、「リアルタイムの映像」と、「振り返りの映像」を確認することが可能。振り返りの映像に関しては、①通知から確認 ②日時から確認が可能。



列車検査システムの振り返りの映像：日時指定



列車検査システムの振り返りの映像：拡大画面

課題解決システムの機能検証

■ 機能検証

「課題解決システム」に関する「機能検証」を、課題解決システムを構成するシステムのジャンル（伝送メディア、映像取得、映像蓄積、映像解析、映像配信、結果表示）ごとに実施。

⇒機能検証の結果、「伝送メディア」では「ローカル5G」、「映像取得」では「4kカメラ」及び「サーマルカメラ」、「映像蓄積用基盤サービス」では「dOIC」、「映像解析手法」では「ディープラーニング」、「映像配信規格」では「WebRTC」及び「H264」、「UI設計」では「PC」及び「ブラウザ」を採用することが適切であることを把握。

伝送メディア	性能・スペック	拡張性	運用保守性	コスト・汎用性	評点	コメント
キャリア5G	3	2	5	4	16	場所を選べない、下り通信優位、保守性が高い
ローカル5G	4	4	5	2	17	場所を選べる、上りスロット増加可能、コストが高い
Wi-Fi	1	2	3	4	10	小規模・複数でのエリア設計が難しい、有線ポートが複数必要
光ケーブル	4	3	3	4	15	場所を選べる、上り・下りとも帯域良好、保守性が悪い
総合的な評価	例えば、鉄道の車両監視においては、有線敷設が最小限となる無線通信エリアで、事業者が設置しやすい場所に設置でき、上り帯域を増加可能なローカル5Gが適している。一方、広域をカバーする必要がある道路インフラや橋梁点検等のユースケースについては、キャリア5Gの活用が、イベント・エンタメ施設など特定機材からの安定通信には光ケーブルが適している。					

映像解析	性能・スペック	拡張性	運用保守性	コスト・汎用性	評点	コメント
単純画像解析	2	2	4	5	13	精度が低く移動体にも活用可能、特定物体の検知のみで拡張性が少ない。シンプルで、保守性とコスト面では高評価である。
ディープラーニング	5	4	4	4	17	精度が高く移動体にも活用可能、判断材料を学習させ同様の物体の検知要否を判断可能。保守性が高く低コストに運用可能。
人の目	3	5	3	2	13	精度が高いが移動体の検知が困難、経験的に幅広い判断軸をもつが、維持する人件費や稼働時間の制約が発生する。
総合的な評価	リアルタイム遠隔・自動監視システムを構築にあたっては、移動体に対する検知を複数同時かつ高精度に実施する必要がある。このとき、単純画像解析では精度が上がらず、人の目では運用コストが莫大になってしまう。そのため、ディープラーニングのAIエンジンを導入し、同様の映像を常時検知し続け、異常状態を発見した時のみ、専門の技術者が確認した上で、対処するのが理想である。					

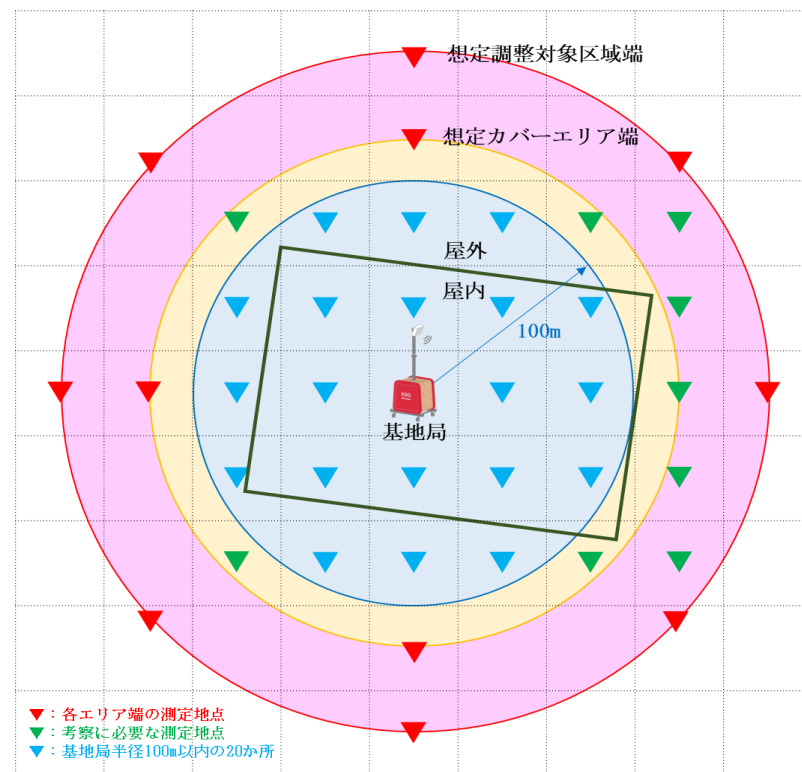
ローカル5Gの性能評価等の技術実証

技術実証の概要

■ 実証目標

課題ア：適切な電波伝搬モデルの選定とともに、ローカル5G性能向上のための課題抽出と解決策を検討
課題イ：エリア算定式の適切性を評価するとともに、エリア構築等の側面からの課題抽出と解決策を検討
課題ウ：隣接周波数帯において、キャリア5G（同期運用）ローカル5G（準同期運用）の共用検討と、互いに干渉なく運用可能となるために必要な所要改善量、所要離隔距離等を評価

測定項目	概要	関連する課題
受信電力	技術実証試験フィールドにおける下り受信電力の測定	課題(ア)、(イ)
伝送スループット及びRTT	技術実証試験フィールドにおける伝送スループット、RTTの測定	課題(ア)
送信電力等	技術実証試験、基地局送信スペクトラム、移動局送信電力値の測定	課題(ウ)



ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等

■ 計測指標

電波伝搬環境について、実測した下り受信電力値を用いて評価する。

- ・実測値と測定環境から山間地等におけるエリア形成について評価

ローカル5Gの性能評価として、エリア形成の観点とユーザーへのサービス提供品質の観点からの評価を行う。

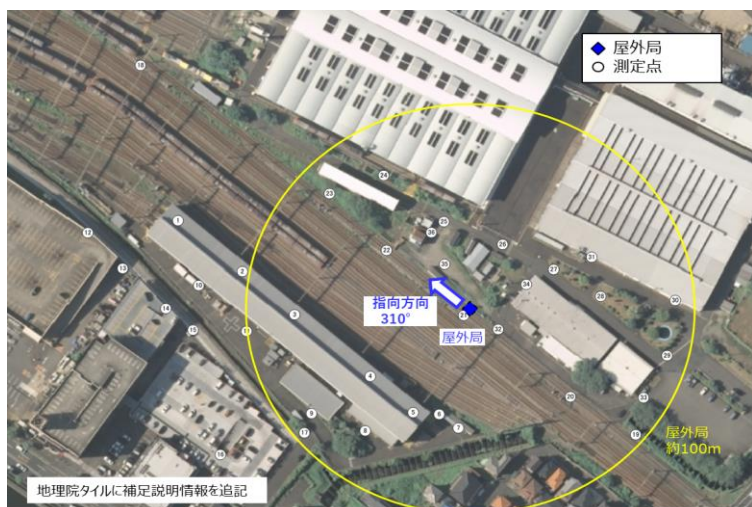
- ・エリア形成は、総務省審査基準で定められているカバーエリア端レベル（-84.6dBm）で評価
- ・サービス提供品質は、課題実証と同じ目標値（UL伝送スループット30Mbps）を達成できているかの観点で評価

■ 測定地点

基地局周辺にある屋内外、20箇所程度の測定地点において測定※した。

※一般的に5G NRのエリア指標として用いられているSS-RSRP及びSS-RSRQについて実測。

伝送スループット及びRTTについては、受信電力と合わせた評価を実施するため同じ測定点で実測。



屋外局周辺での測定場所(合計36地点で測定)



屋内局周辺での測定場所(合計36地点で測定)

ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等

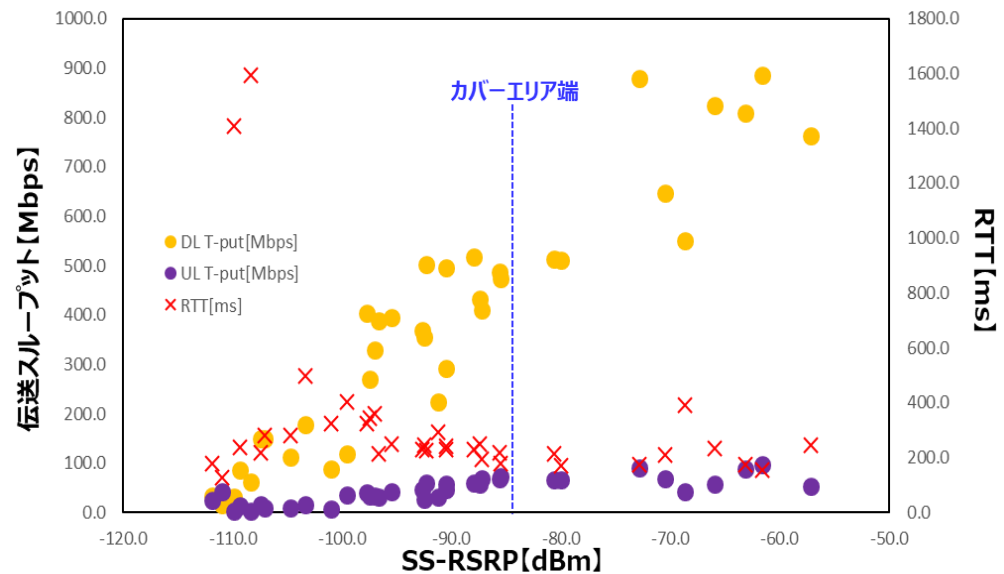
■ 屋外局におけるローカル5Gの性能評価(市街地における鉄道車両基地等の環境下)

ローカル5Gの性能評価をエリア形成、ユーザーへのサービス提供品質の観点で実施した。

- ・屋外局のターゲットエリアは、試走線上の北西方向約150mである。
- ・エリア形成の観点では、想定通りにエリア形成できていると考えられる。
- ・ユーザーへのサービス提供品質の観点では、ターゲットエリア内では、良好な性能(総合平均：778.9Mbps/DL 平均708.9Mbps/UL平均70.1Mbps)を達成できていることがわかる。
- ・伝送スループットは、概ね下り受信電力に比例していることが確認できており、ローカル5G性能を最大限に発揮するにはエリア最適化が必要である。



下り受信電力(SS-RSRP)から評価した想定エリア(屋外局)



屋外局周辺における下り受信電力に対する伝送スループット、RTT

ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等

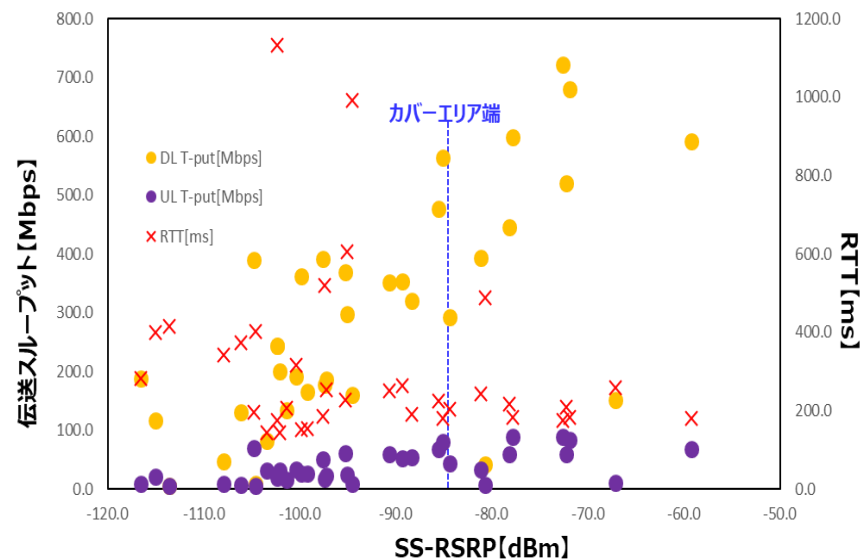
■ 屋内局におけるローカル5Gの性能評価(市街地における鉄道車両基地等の環境下)

ローカル5Gの性能評価をエリア形成、ユーザーへのサービス提供品質の観点で実施した。

- ・屋内局のターゲットエリアは、屋内基地局周辺10m以内である。
- ・エリア形成の観点では、ターゲットエリアは想定通りにエリア形成できていると考えられるが、
- ・検査庫南西方向においては、自己土地境界線(赤線)を超えて、高めの電波が漏洩していることがわかる。
- ・ユーザーへのサービス提供品質の観点では、ターゲットエリア内では、良好な性能(総合平均667.6Mbps/DL平均592.9Mbps/UL平均74.8Mbps)を達成できていることがわかる。
- ・伝送スループットは、概ね下り受信電力に比例していることが確認できており、ローカル5G性能を最大限に発揮するにはエリア最適化が必要である。



下り受信電力(SS-RSRP)から評価した想定エリア(屋内局)



屋外局周辺における下り受信電力に対する伝送スループット、RTT

ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等

■ 計測指標/評価・検証方法

総務省提供エリア算定式でカバーエリア、調整対象区域図を作成し、下り受信電力実測値との比較検証を実施。エリア構築等の検証のため、レイトレーシング法によるエリア設計値と、下り受信電力実測値との比較検証を実施。下り受信電力測定方法は、調査検討項目（ア）のローカル5G性能評価と同様。測定地点は、総務省が提供するエリア図における基地局カバーエリア端、調整対象区域端付近。

■ カバーエリア、調整対象区域の作成

基地局毎に作成したカバーエリア、調整対象区域図は以下の通り。



屋外基地局のカバーエリア、調整対象区域図
(中小都市・郊外地モデルの場合)



建物侵入損を考慮した屋内基地局の
カバーエリア、調整対象区域図

ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等

■ カバーエリア及び調整対象区域図の作成及び受信レベルとの比較検証

屋外局においては、エリア算定式によるエリア端距離は、カバーエリア端67m、調整対象区域端80mである。
アンテナ指向方向で比較すると、エリア算定式の計算結果よりも、実測値から推定したレベル端の方が距離が長い。
⇒アンテナ指向方向は、開放地となっており、自由空間伝搬と考えられるため※
レイトレース法によるエリア設計値と、実測値はよく一致しており、ターゲットエリアにおいては、想定通りのエリアが構築できていることがわかる。

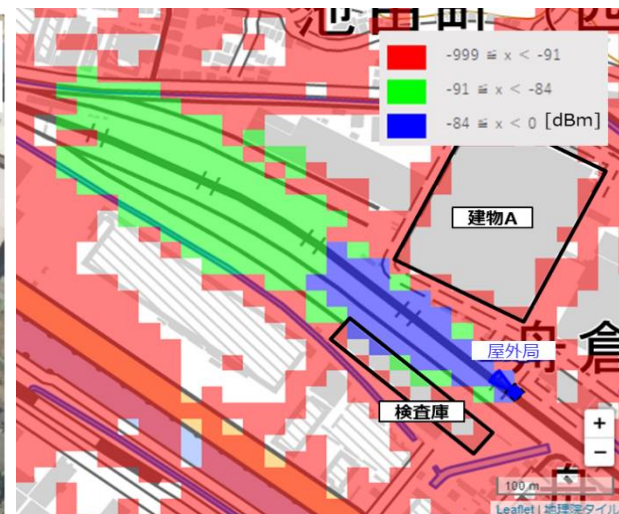
※ 屋外基地局の送信EIRP = 19dBm、人体吸収損8dB込みで計算すると、エリア端レベル = -84.6dBmになる距離は、317m、調整対象エリア端レベル = -91.0dBmになる距離は、660mとなり、実測結果とも矛盾がないものとする。



屋外局のカバーエリア、
調整対象区域図



下り受信電力(SS-RSRP)から評価した
想定エリア(屋外局)



屋外エリア設計図

ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等

■ カバーエリア及び調整対象区域図の作成及び受信レベルとの比較検証

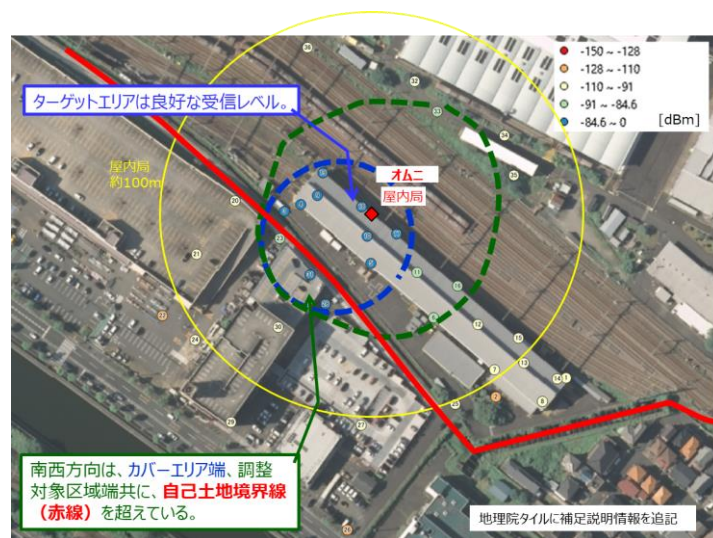
総務省提供のエリア算定式では、屋内局のカバーエリア端、調整対象区域端は、南方向は検査庫内に収まっているように見える。

実測値から推定したエリアと計算式によるエリアは、概ね一致しているが、南方向については、実測値の方が、より広範囲のエリアとなっており、カバーエリア端レベルも、調整対象区域端レベルも、自己土地の境界線（赤線）を超えている。これは、検査庫における建物侵入損失値が、エリア算定式で定義されている16.2dBよりも小さい、というような要因が想定される※。

※ 検査庫内外で実測した下り受信電力値から推定した建物侵入損の推定値は、約11dBだった。



屋内局の
カバーエリア、調整対象区域図



下り受信電力(SS-RSRP)から
評価した想定エリア(屋内局)

下り受信電力(SS-RSRP)から
評価した想定建物侵入損

	下り受信電力実測値 [dBm]
屋内平均	-69.8
屋外平均	-81.0
推定建物侵入損	11.2[dB]

その他ローカル5Gに関する技術実証

■ 評価・検証項目

ローカル5G事業者が設置するローカル5G基地局の周辺には、隣接帯域で運用している携帯電話事業者によるキャリア5G基地局が存在する可能性がある。

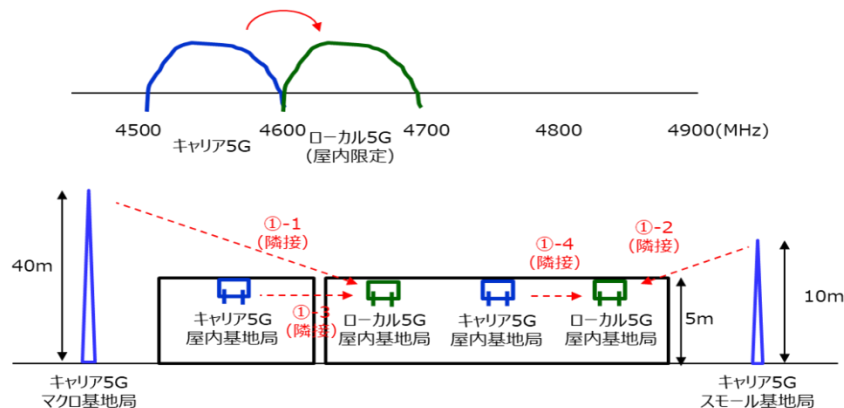
4.7GHz帯における5GシステムはTDDシステムであるため、隣接周波数であれば、近接した状況においても、同期運用の場合には、有害な混信が発生することはないと考えられるが、準同期運用を行う場合には、一定の割合で干渉が発生すると考えられる。

⇒従って、接周波数帯において、同期運用するキャリア5Gと準同期運用するローカル5Gの共用検討（机上検討）を行い、所要改善量、所要離隔距離等を評価する。

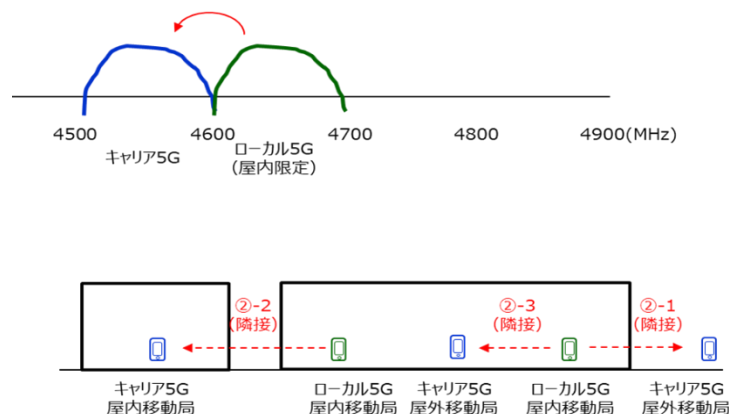
■ 評価・検証方法

隣接周波数帯において、準同期運用するローカル5Gと、同期運用するキャリア5Gとの共用検討（机上検討）を行い、所要改善量、所要離隔距離等を評価する。

検証する干渉シナリオは、基地局-基地局間干渉と、移動局-移動局干渉。



基地局間干渉における干渉シナリオ



移動局間干渉における干渉シナリオ

その他ローカル5Gに関する技術実証

■ ローカル5G(準同期)とキャリア5G(同期)との共用検討結果

«キャリア5G屋外基地局との共用検討結果»

- ・屋内運用場所の屋外、周囲約170m以内に、キャリア5G基地局（マクロ局）が存在する場合、キャリア5G基地局のアンテナパターンによっては、ローカル5G基地局（屋内）への干渉影響が発生する可能性がある（①-1）。
- ・さらに、周囲約30m以内に、キャリア5G基地局（スモール局）が存在する場合も、キャリア5G基地局のアンテナパターンによっては、ローカル5G基地局（屋内）への干渉影響が発生する可能性がある（①-2）。

«キャリア5G屋内基地局との共用検討結果»

- ・ローカル5G基地局（屋内）と同一屋内に設置されていても、大きな問題は発生しないと考えられる（①-3&4）。

基地局間干渉シナリオにおける共用計算結果(1対1対向モデル)

#	ANTパターン	不要輻射レベル	帯域内干渉			帯域外干渉		
			与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要離隔距離 [m]	与干渉量[dBm]	所要改善量 [dB]	所要離隔距離 [m]
①-1	平均	情通審	-110.1	-0.1	-	-58.1	-11.3	-
		実測値	-117.8	-7.8	-	-58.1	-11.3	-
	最大	情通審	-94.0	16.0	173.0	-42.0	5.0	119.0
		実測値	-101.7	8.3	129.0	-42.0	5.0	119.0
①-2	平均	情通審	-110.7	-0.7	-	-69.6	-22.6	-
		実測値	-129.4	-19.4	-	-69.6	-22.6	-
	最大	情通審	-98.2	11.8	30.0	-57.2	-10.2	-
		実測値	-116.9	-6.9	-	-57.2	-10.2	-
①-3	無指向	情通審	-149.5	-39.5	-	-108.5	-61.5	-
		実測値	-166.7	-56.7	-	-108.5	-61.5	-
①-4	無指向	情通審	-117.5	-7.5	-	-76.5	-29.5	-
		実測値	-134.7	-24.8	-	-76.5	-29.5	-

その他ローカル5Gに関する技術実証

■ ローカル5G(準同期)とキャリア5G(同期)との共用検討結果

《キャリア5G屋外移動局との共用検討結果》

- ・屋内において準同期で運用する場合、ローカル5G移動局が運用している建物の屋外近隣においてキャリア5G移動局が運用している時には1.5mの離隔距離が必要となるが、建物の屋内外の状況であれば、特段の対策をしなくても確保できる程度である (②-1)。
- ・確率計算においては、現実的にあり得ない移動局台数にならないと影響が出ず、実質的には問題ないことがわかる。

《キャリア5G屋内基地局との共用検討結果》

- ・ローカル5G移動局が運用している建物とは異なる建物内においてキャリア5G移動局が運用している時には、1対1対向、確率計算モデル共に全く問題が無いレベルと考えられる (②-2)。
- ・一方、ローカル5G移動局が運用している場所と同一の屋内でキャリア5G移動局が運用している時には、1対1対向モデルでは、約9mの離隔距離が必要となる。また、確率計算モデルでは、ローカル5G移動局数が10台になると、干渉影響が出る可能性がある (②-3)。

移動局間干渉シナリオにおける共用計算結果
(1対1対向モデル)

#	帯域内干渉			帯域外干渉		
	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要離隔距離 [m]	与干渉量 [dBm]	所要改善量 [dB]	所要離隔距離 [m]
②-1	-107.8	3.2	1.5	-54.8	-14.8	-
②-2	-124.0	-13.0	-	-71.0	-31.0	-
②-3	-91.8	19.2	9.1	-38.8	1.2	1.2

移動局間干渉シナリオにおける
モンテカルロシミュレーション結果

#	移動局1台の時の所要改善量[dB](97%値)	所要改善量がプラスになる(影響が出る)移動局台数
②-1	-26.6	350
②-2	-43.1	15,000
②-3	-10.3	10

技術的課題の解決方策・更なる技術的課題等

【ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等】

- ローカル5G性能向上には、ターゲットエリア内で良好な下り受信電力を得られるようにエリア形成することが重要。

【ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等】

- 鉄道車両基地の屋外環境は、見通し環境であり、安全性に配慮した上で、線路脇等に基地局を設置できれば、比較的容易に良好なエリア構築ができる。
- しかし、検査庫内の様な、様々な什器等が遮蔽物となる屋内環境に対応するには、柔軟に基地局の設置位置を変えたり、電波の到来方向を変えたりできる技術的方策が必要である。
- このような場合の対策としては以下の方策が考えられる。
 - ・1つの基地局に複数のアンテナユニットを接続して、屋内での電波の届きにくい環境を減らしていく方策
 - ・小電力レピータや陸上中継移動局のような、基地局からの電波を中継する装置を使う方策、反射板を使う方策
 - ・さらに、このような手法を選択する場合、毎回免許変更手続きなどをしなくても済むような柔軟な制度を確立することが重要

【その他ローカル5Gに関する技術実証】

- ローカル5Gを準同期モードで運用する場合は、キャリア5Gとの間で以下に示す共存方策を実施することが必要である。
 - ・屋外キャリア5Gと共存する場合は、ローカル5G基地局の周囲数百m以内の屋外に、キャリア5G基地局が存在するかどうかを確認し、可能な限り周囲のキャリア5G基地局との離隔距離を確保しておくことが有効。一方、移動局に関しては特段の共存方策は不要。
 - ・屋内キャリア5Gと共存する場合は、基地局間干渉については、特段の共存方策は不要であるが、移動局間干渉については、同一空間において共存する場合は、1対1対向モデルでは、約9mの離隔距離が必要となる他、確率計算モデルでは、ローカル5G移動局数の運用数の制限が必要である（10台程度）。
 - ・検討対象としている4600-4700MHz帯においては、ローカル5Gは自己土地内の屋内でしか運用できず、鉄道インフラ分野という限られた分野においては、キャリア5Gと同一空間内で同時運用する状況は生じないと考えられ、大きな問題とはならない。
 - ・しかし、仮に、鉄道会社が運用している屋内のローカル5Gエリア内に、一般人が立ち入れる環境があるとすれば、例えば、一般人の立ち入り可能エリアを制限して、離隔距離9m以上を確保する、ローカル5G移動局の運用台数を10台以下に制限する等の対策が考えられる。

実装・横展開に関する検討

持続可能な事業モデル等の構築・計画策定(列車検査)

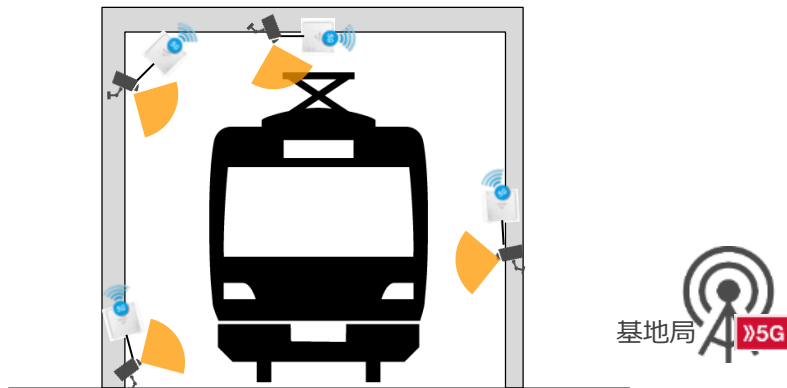
■ 列車検査: 状態監視

■ システムのイメージ

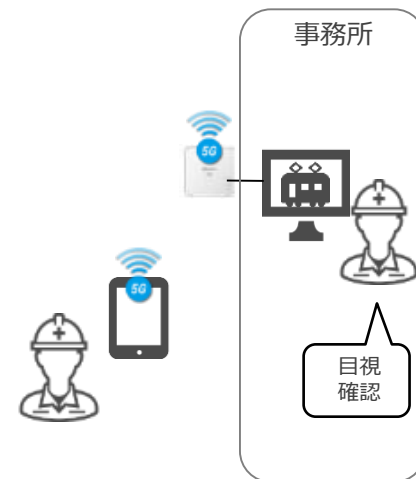
- 複数のカメラで車両の外回りを一通り撮影し、列車状態（現在の列車検査項目）について目視確認を行えるシステム（列車検査への活用）
- 高精細画像とAIにより、状態監視を行うことによる安全性の向上、メンテナンス業務の効率化
- 面（点）におけるローカル5Gインフラの構築

目視確認項目に関するカメラ撮影、AI認識

- ・集電装置(スリ板の摩耗、損傷等)
- ・制御装置外箱・カバー
- ・台車(台車枠、車輪踏面状況、軸箱)
- ・制輪子 etc...



車両基地、駅等
(図は車両基地のイメージ)



- ・遠隔での確認、列車検査(定期検査)の実施
- ・AIによる状態監視

持続可能な事業モデル等の構築・計画策定(線路巡視)

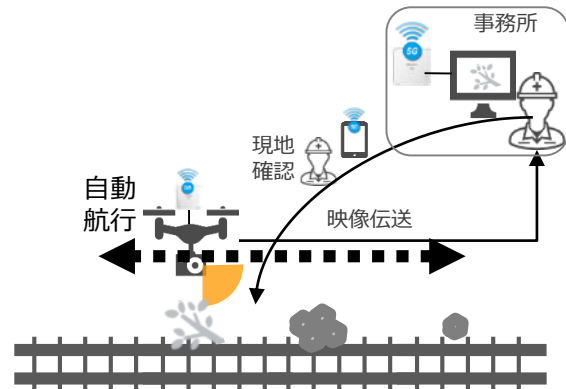
■ 軌道巡視:異常時、インフラメンテナンス

■ システムのイメージ

- 軌道は線状構造物であり、保線も線的な活動である。線状の軌道を中心とした沿線の一定区間もしくは一部においてローカル5G等インフラを構築し、保線(他の土木インフラ含む)に有効活用する。
- 作業員の安全の確保や効率性(省力化、迅速化等)を考慮してロボット技術(ドローン)を活用した点検等を行う。

線状の軌道を中心とした沿線の一定区間もしくは一部でローカル5G等インフラを構築

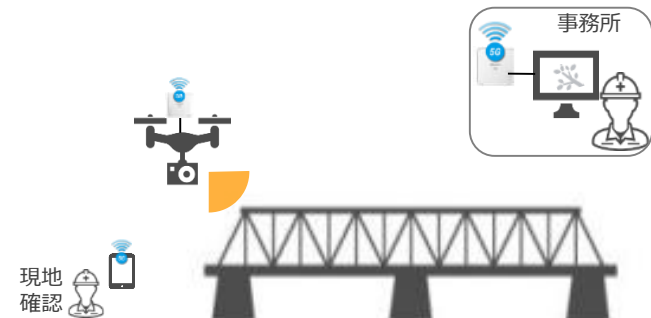
内容：警戒時の係員徒歩巡視を
ドローン等により無人で実施



係員の稼働効率化と安全性向上

→ドローン自動航行と映像配信、AIによる自動検知

内容：人が近づくことが容易ではない
橋梁等のインフラ点検にドローンを活用



人による点検が困難な箇所の点検の効率化

→ドローン自動航行や自動画像撮影、AIによる自動検知

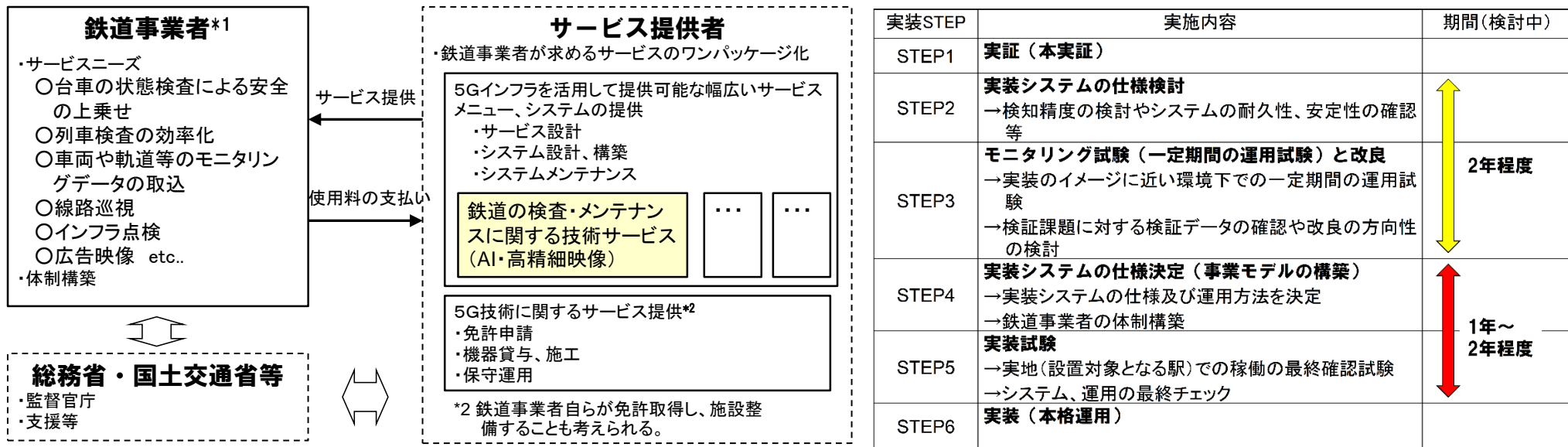
持続可能な事業モデル等の構築・計画策定(実施計画)

■ 実装スキームと実施計画

実装の実現にあたっては、今後前述のSTEP2以降の段階的検討が必要になるが、基礎的な実装システム構築までは、各鉄道事業者の積極的な投資が難しいと考えられる。

一方、鉄道インフラの維持・管理の効率化・高度化は、各社の抱える共通課題と考えられ、全国の鉄道事業者が導入ターゲットとなり得る。

⇒今回実証フィールドとした京浜急行電鉄において、“課題解決システムの実装に向けた”課題の明確化とその解決策の検討を進めるものの、複数の事業者による共同開発を行う体制を構築するなどの検討体制を構築し、実装と横展開を両にらみで推進していくことが効果的と考えられる。



実装スキーム(案)

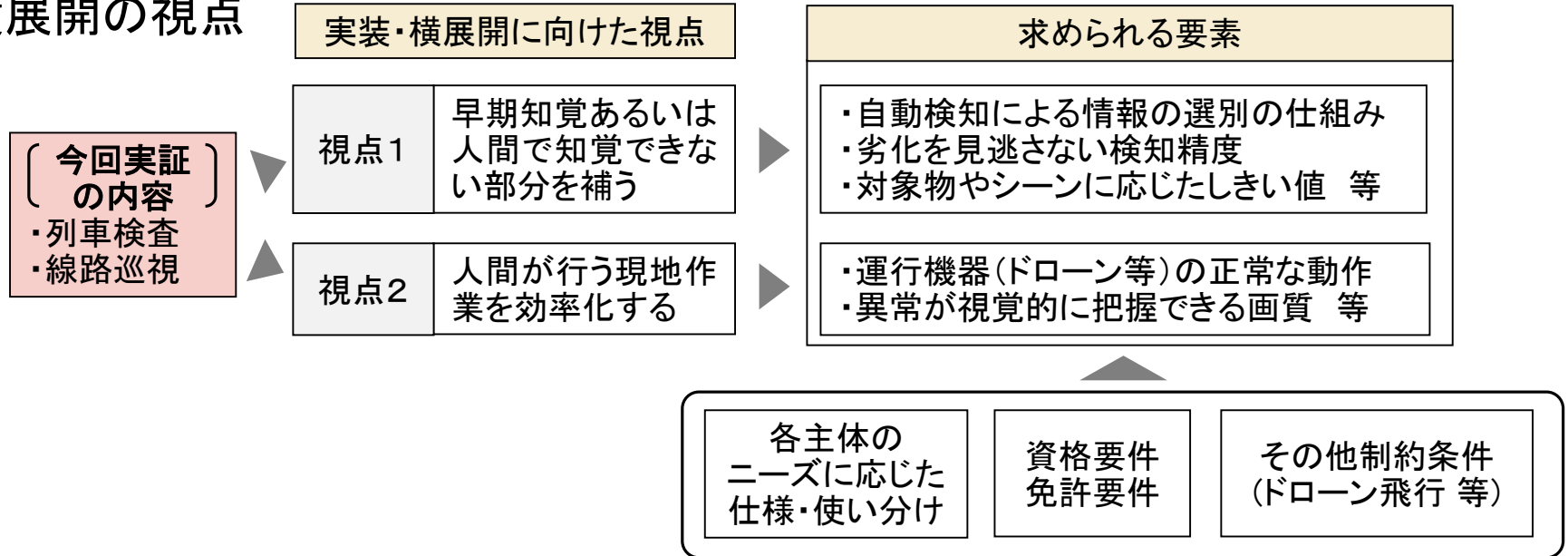
実施計画(案)

*1 基礎的なシステム構築までは、各鉄道事業者の積極的な投資が難しいと考えられる。よって、複数の事業者による共同開発のような体制とすること等も考えられる。

横展開に資する普及モデルに関する検討(基本的な考え方)

■ 他の鉄道事業者への横展開

■ 横展開の視点



■ 他鉄道事業者の5G・AIの活用ニーズ

※京阪電気鉄道(株)による協議会説明資料より

5G+AIの活用ケース	
今回実証との類似ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ画像を活用した列車検査、状態・機能検査 ・架線・軌道の常時監視による保守の省力化
別の視点からの活用ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼索線の車両無人化 ・運転状況記録装置&各種モニタのデータを地上側で遠隔監視 ・列車の自動運転化 ・列車無線のテレビカメラ化 ・改札機の顔認証決済化 等

各事業者のニーズに応じたシステムの見極めが必要

横展開に資する普及モデルに関する検討(他インフラ分野)

■ 他のインフラ(道路の維持管理)分野への横展開

他のインフラ分野への横展開として、道路管理者である横須賀市に道路の維持管理分野におけるL5Gの活用についてヒアリングを実施。

道路の維持管理における課題とニーズから、道路の維持管理分野におけるL5Gを活用した課題の解決案として4つの活用場面を想定。

【道路の維持管理分野におけるL5Gを活用した課題解決案】

- ①公共交通(バス、タクシー等)を活用した道路パトロールの効率化
- ②ドローンによる道路施設(橋、トンネル等)定期点検の効率化
- ③ドローンによる道路区域外の災害危険箇所把握の効率化
- ④監督員による遠隔立会や遠隔監視による道路工事の効率化

<解決案①のイメージ>

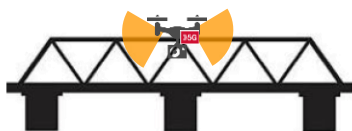
カメラ搭載バス



バス路線の日常パトロールをバスやタクシーに搭載したカメラで代行。

<解決案②のイメージ>

映像伝送ドローン



道路施設の近接目視点検をドローンのカメラ映像で代行。

<解決案③のイメージ>

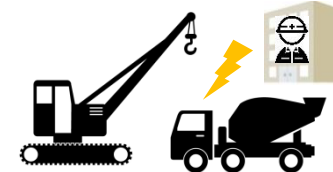
映像伝送ドローン



道路区域外の災害危険箇所をドローンで把握。

<解決案④のイメージ>

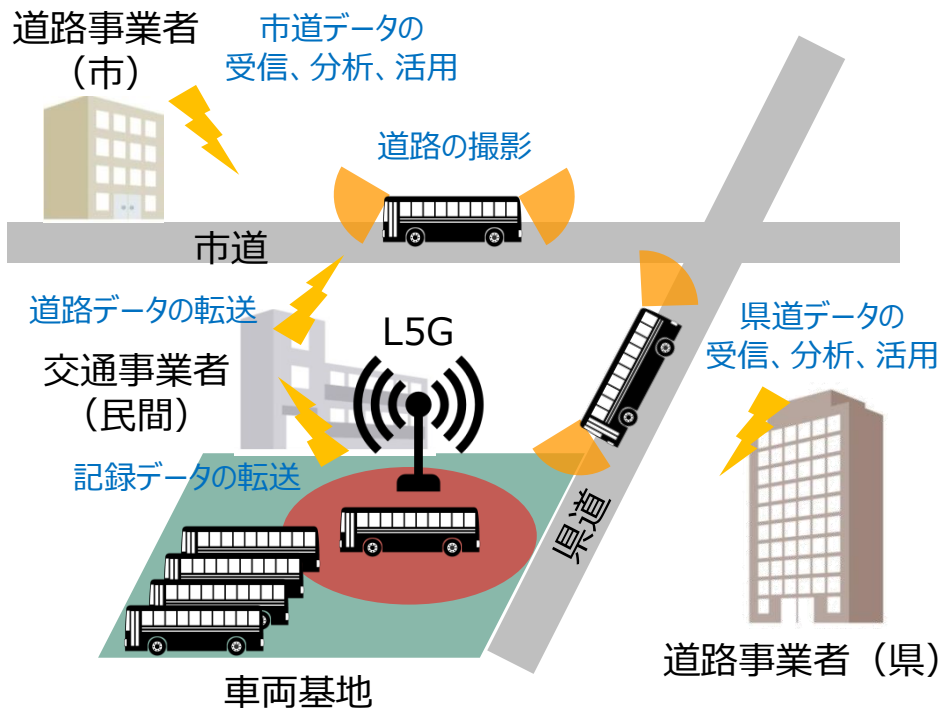
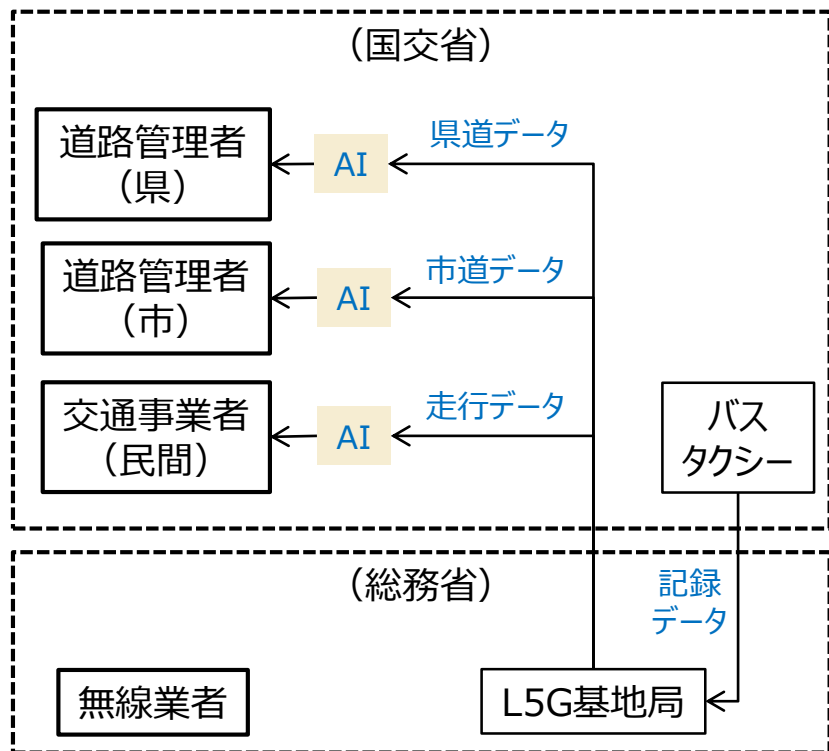
遠隔立会・監視



工事現場を映像にて遠隔立会、遠隔監視。

横展開に資する普及モデルに関する検討(他インフラ分野)

■ 公共交通を活用した道路パトロールの効率化のスキーム



[L5G導入上の課題]

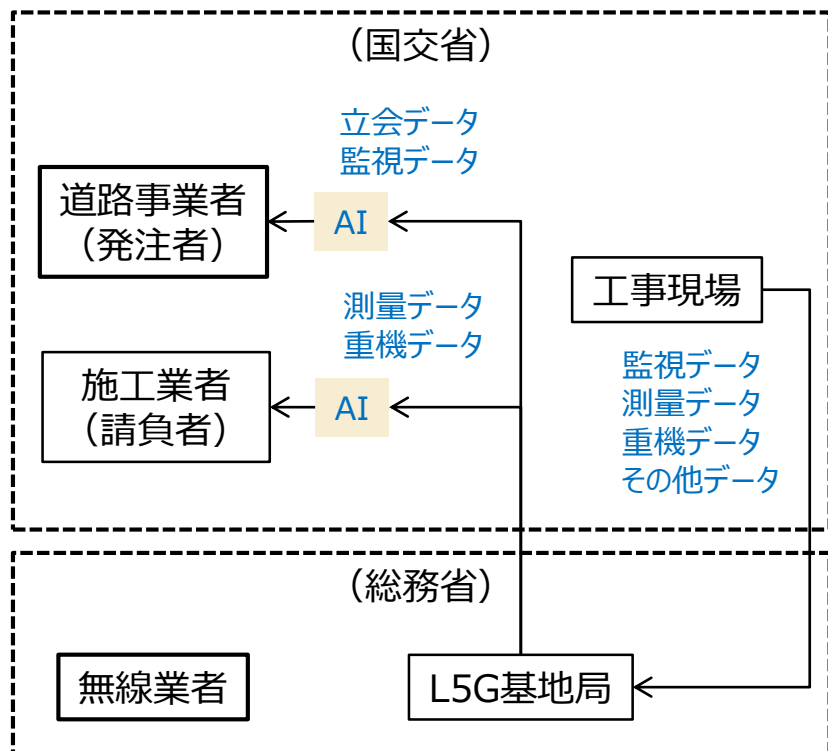
- 通信するデータの種類、容量。
- 利用者の負担を軽減するためのAI設計。
- 記録データの蓄積。
- 費用分担を含む事業スキームの構築。

[L5Gを導入するための対応案]

- 道路データと走行データの容量等の確認 (試行)
- AIによる負担軽減効果の確認 (試行+ヒアリング)
- L5Gによるデータの転送、蓄積 (試行)
- 利害関係者への費用分担等の調整 (ヒアリング)

横展開に資する普及モデルに関する検討(他インフラ分野)

■ 遠隔立会や遠隔監視による道路工事の効率化



[L5G導入上の課題]

- 通信するデータの種類、容量。
- 利用者の負担を軽減するためのAI設計。
- データの蓄積。
- 費用対効果の確認。

[L5Gを導入するための対応案]

- 工事データの容量等の確認 (試行)
- AIによる負担軽減効果の確認 (試行+ヒアリング)
- L5Gによるデータの転送、蓄積 (試行)
- 費用対効果の確認 (ヒアリング)

まとめ

留意事項＜まとめ＞

【課題解決システムの実証検証】

・課題解決システムは異常検知に資することが確認できたものの、現時点で列車検査・線路巡視を即座に「代替」することは難しいとの意見も受けており、「客観性のあるデータの継続的な蓄積」と「さらなる応用可能性の検討」が必要。

【ローカル5Gの性能評価の技術実証】

- ・ローカル5G性能向上には、ターゲットエリア内で良好な下り受信電力を得られるようにエリア形成することが重要。
- ・屋内環境では、柔軟に基地局の設置位置を変えたり、電波の到来方向を変えたりできる技術的方策に加え、毎回免許変更手続きなどをしなくても済むような柔軟な制度の確立が必要。
- ・ローカル5Gを準同期モードで運用する場合は、状況に応じてキャリア5Gとの間で共存方策（離隔の確保道）の検討が必要。

【実装及び横展開に関する検討】

・従来の検知内容・列車検査体系の見直しや効率的かつ効果的な追加機能の検討等、ドローン自律航行の技術開発等をさらに深化していく必要。

【横展開に資する普及モデル】

- ・「他の鉄道事業者」に対しては、事業者ごとに問題認識や現状の課題等のバックグラウンドが異なることに配慮しながら、多様なニーズの掘り起こしとともに、サービス側から提供可能な個々のシーズ（技術）で実現可能な性能を整理し、ニーズ側に提示するようなアプローチも必要。
- ・「他のインフラ事業者」については、市場の大きい道路インフラを対象とした場合、「公共交通を活用した道路パトロールの効率化」および「遠隔立会や遠隔監視による道路工事の効率化」が、ローカル5Gの適用性が高いと考えられる。
- ・いずれの横展開においても、費用対効果を勘案しながら、効率的な記録データの蓄積方法や費用分担を含む事業スキームの構築が課題となる。他方で、ローカル5Gは技術開発段階にあり、コスト面で変動要因が多く存在することにも配慮が必要。

留意事項＜今後の実装・横展開に向けたポイント＞

【実装・横展開に向けたアクション】

・「他の鉄道事業者」に対しては、事業者ごとに問題認識や現状の課題等のバックグラウンドが異なることに配慮しながら、多様なニーズの掘り起こしとともに、サービサー側から提供可能な個々のシーズ（技術）で実現可能な性能を整理し、ニーズ側に提示するようなアプローチも必要と考えられる。

【マネタイズの観点】

・ローカル5Gは現在、技術開発のフェーズにあり、導入・運用コストについては公知の情報が少なく、マネタイズや事業採算性の検討が困難であることにも配慮しながら、事業性の検討をさらに深化することが必要である。

【運用方法や免許申請上の制約条件の観点】

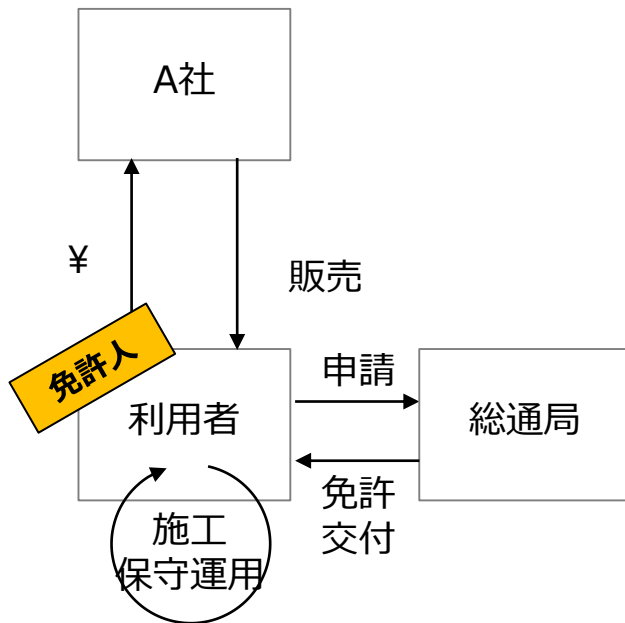
・ローカル5Gの利用形態は、「1. 利用者が免許人」「2. 免許人から貸与」の2パターンが存在し、1の場合は臨機応変・迅速なチューニングが可能であり、2の場合は省稼働・安心できる保守サービスを利用可能というメリットがある。実装・横展開の前段階で、運用方法の検討も必要となる。

【コンソーシアム視点での、国からの理想的な支援のあり方】

- ・5Gを活用した鉄道事業の安全性の向上や効率化に資する技術開発に対する助成
- ・L5Gによる効率化事例（ベストプラクティス）の公開と活用実績の積み上げ
- ・ドローンの目視外飛行および5G上空利用の実用試験局免許制度の整備 等

参考：運用方法や免許申請上の制約条件

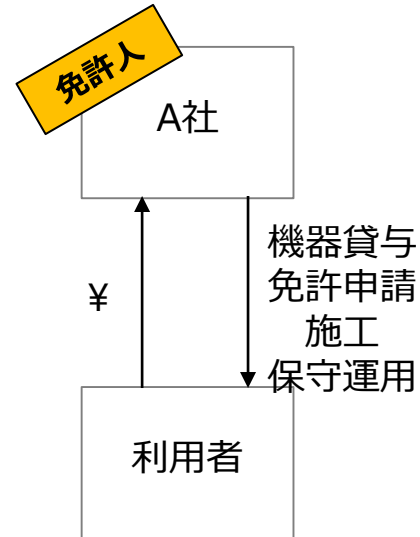
1. 利用者が免許人



長所：現場のニーズに応じた、柔軟なエリア設計変更が可能

短所：稼働の増加、施工の外注費など

2. 免許人からのリース



長所：プロによる適切なエリア設計・免許申請
プロによる安心の保守・セキュリティ対応

短所：柔軟なエリア設計変更が困難
(利用者がアンテナ等を移動させられない)