

地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた
開発実証に係る防犯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
(遠隔巡回・遠隔監視等による警備力向上に資する
新たなモデルの構築)

報告書
概要版

令和3年3月25日

総合警備保障株式会社

実証概要

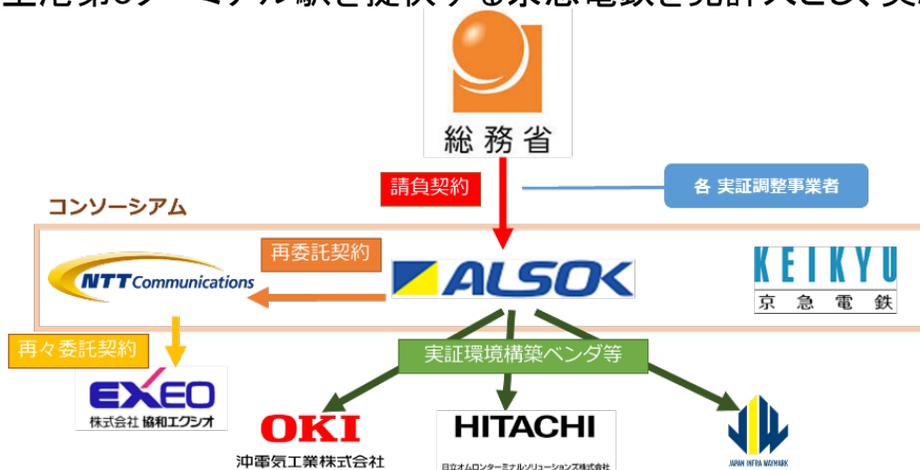
実証体制

■ コンソーシアムを組成し実証体制を構築

- ALSOKが実証を請負い、NTT Comへ主として技術実証の実施を再委託した。
- 京急電鉄が免許人となり、羽田空港第3ターミナル駅にて実証を行った。

構成事業者	備考
総合警備保障(ALSOK)	実証請負者、課題認識事業者、総務省・各実証調整事業者等との窓口、プロジェクト管理、課題実証実施・とりまとめ、ヘルプデスク設置、実証成果の取りまとめ及び成果の周知
京浜急行電鉄(京急電鉄)	課題認識事業者、実証フィールド提供、免許人
NTTコミュニケーションズ(NTT Com)	ローカル5Gネットワーク環境構築、技術実証の実施(再委託)・とりまとめ

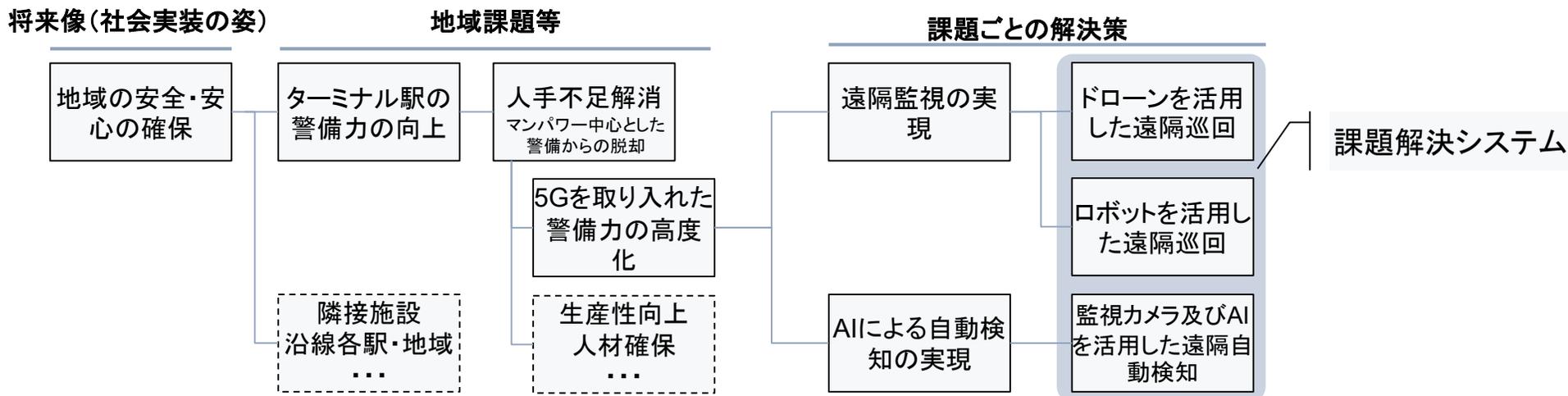
※協和エクシオへ、ローカル5Gの性能評価等の技術実証、当該報告書作成をNTT Comより再委託した。
 ※実証施設である羽田空港第3ターミナル駅を提供する京急電鉄を免許人とし、実験試験局免許を取得した。



地域等課題と課題解決システム

■ 地域等課題及び課題解決策として設定した課題解決システム

- 地域等課題の解決策として、ローカル5Gを取り入れた課題解決システム構築した。



■ 課題解決システムの全体像

● 課題解決に必要な実証システムを構築

- 評価・検証用に実証システムを構築
- ①ドローン、②ロボット、③AIカメラ

● 評価・検証環境の構築

- 遠隔統制席(CPT)を構築
- ①遠隔画像巡回に必要な映像表示・遠隔操作
- ②監視カメラ映像のAI解析・検知結果表示
- ③スタッフ等連携システム* による警備員指示

* 警備員の屋内位置情報やステータス等を把握し、最適な警備員へ指示を行うための情報連携システム



実証環境(ネットワーク構成)

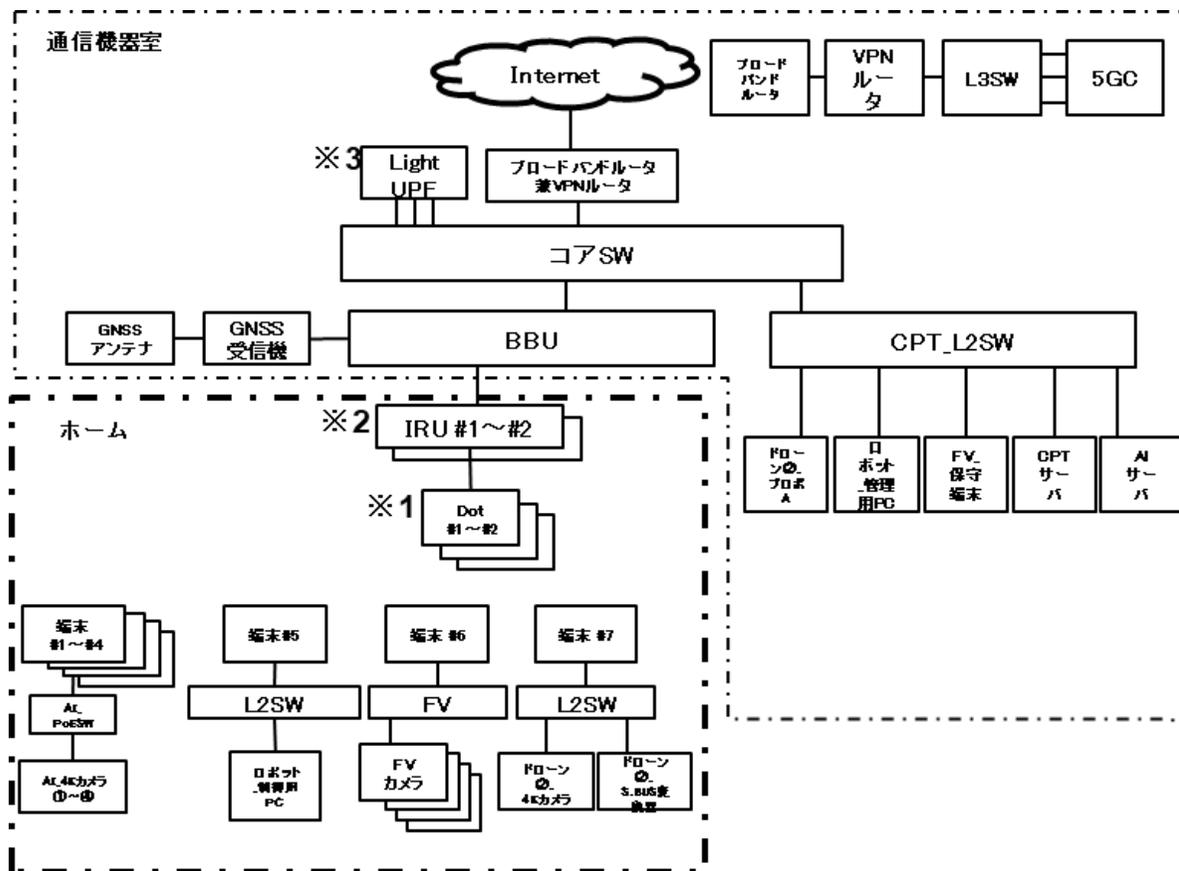
■ 実証環境の構築

- ローカル5Gシステムを構築した。技術的な諸元およびネットワーク構成図を示す。

周波数帯: 4.8GHz~4.9GHz SA方式

帯域幅: 100MHz幅

同期/非同期: 同期運用



NWシステム構成図

※1無線ドット(Radio Dot:Dot) :

無線アンテナと無線周波数 (RF) 部とを含む無線フロントエンド装置

※2屋内無線ユニット (Indoor Radio Unit:IRU) :

Dotからの信号のアグリゲータとして機能し、ベースバンド装置(Baseband Unit:BBU)へのデジタルインターフェイス機能を持ち、Dotに電力を供給する装置

※3ユーザプレーン機能を具備した装置 (Light User Plane Function:Light UPF)

実証環境(カバレッジエリア)

■ 実証環境の構築

- ローカル5Gシステムの物理的な配置や基地局カバレッジエリアを示す。

物理的配置

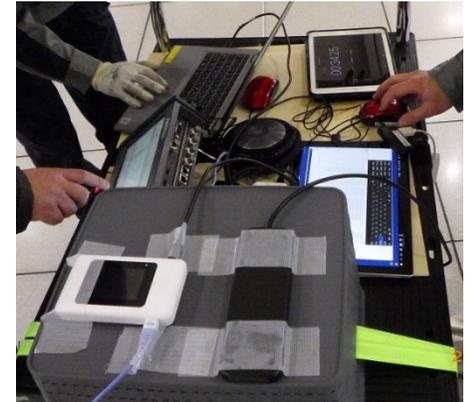
- ローカル5Gシステムは羽田空港第3ターミナル駅のB1Fに常設した。
- 5Gコアネットワークは遠隔地に設置した。
- 基地局及び端末は同駅B2F品川方面プラットフォーム上で可変で設置した。



ローカル5Gシステム常設位置



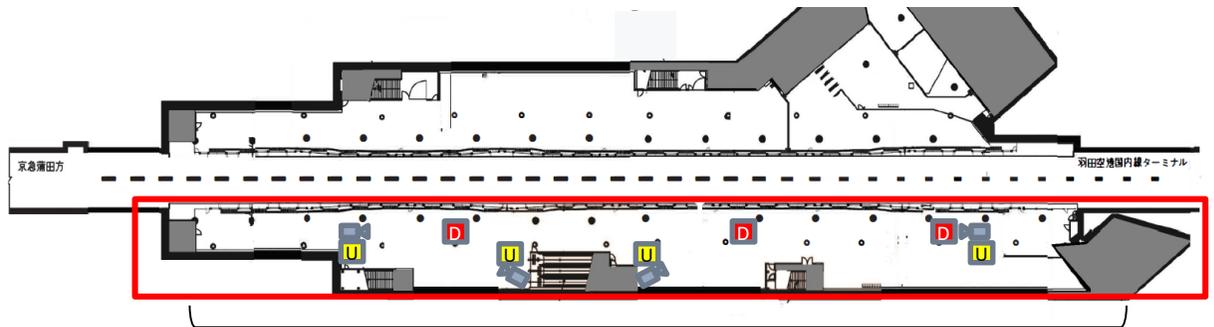
基地局設置位置※可変



端末設置位置※可変

基地局カバレッジエリア

- 基地局カバレッジエリアは、羽田空港第3ターミナル駅B2F品川方面プラットフォーム上全体である(エスカレータ含む)。
- 一例として、AIカメラ実証におけるカバレッジエリアを右図に示す。



ホーム全長: 155m

基地局カバレッジエリア

凡例:  カバレッジエリア  AIカメラ
 Dot  端末

課題解決システムの実証

課題解決システムの実証

■ 実証目標の設定

- 各実証においては、施設警備業務における実運用において想定されるシナリオを通じ有用性を確認するとともに、各目標値(KPI)を設定し検証及び評価・分析を行った。

● ドローンを活用した遠隔巡回(アー1)

4Kカメラ及び遠隔制御機能を搭載したドローンによる施設内の遠隔巡回に関する実証

- 警備員による巡回業務と比較し、遠隔での操作、監視及び人物検知に有用性があること
- 自律・自動制御機能により無人での運用が可能となること
- 安全性確保の観点から安全機構性能が十分であること



ドローン①

ドローン②

● ロボットを活用した遠隔巡回(アー2)

4Kカメラ、360度俯瞰映像及び遠隔制御機能を搭載したロボットによる施設内の遠隔巡回に関する実証

- 警備員による巡回業務と比較し、遠隔での操作及び監視に有用性があること
- 自律・自動制御機能により無人での運用が可能となること
- 安全性の確保から安全機構性能が十分であること



ロボット

● 監視カメラ及びAIを活用した遠隔自動検知(アー3)

4KカメラのAI画像解析により検知対象の早期発見に関する実証

- AI画像解析の自動検知により不審者及び歩行弱者の早期発見に資すること
- 遠隔での自動検知による監視に有用性があること



監視カメラ及びAI

ドローンを活用した遠隔巡回(アー1)

■ 各検証方法及び結果

- 施設警備における巡回業務の代替が可能か否かを分析するため各検証項目を設定した。
- 主なKPI: ①遠隔画像巡回性能、②遠隔制御性能、③自律自動制御・安全性機能を設定した。

	主なKPI			評価・検証項目	評価・検証方法
	①	②	③		
1	✓		✓	自動巡回時の監視映像	映像伝送、自動離発着、視認性(主観)
2	✓		✓	人の自動検知	人検出性能
3	✓		✓	自動巡回時の安全機構及び自律・自動制御機能	障害物回避距離計測
4	✓		✓	人の検知可能条件	人検知距離計測
5	✓			遠隔監視時の使用性	視認性・視認環境(主観)
6		✓		遠隔操作機能	操作性(主観)
7	✓			遠隔監視時の映像による人物表示	視認性(主観)
8	✓			監視映像品質	フレーム数測定
9	✓	✓		映像伝送遅延	遅延時間測定
10	✓	✓		制御伝送遅延	遅延時間測定
11	✓	✓	✓	インシデント発見から対応(巡回中の不審人物)	シナリオ検証



ドローン①: 自動飛行・自動給電離発着



ドローン②: ローカル5G通信による4K映像伝送・遠隔制御

※すべての評価・検証を行うために必要な機能を1台に実装したドローンの開発を期間内に行うことは困難であったため、2台の異なる機能を有するドローンを用いた。

評価・分析結果

※主観評価は、施設警備業務の経験を有する警備員2名により評価を行った。

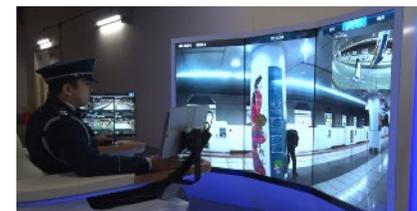
- ①遠隔画像巡回性能 : 遠隔監視映像からの視覚情報の効果的な受容が可能となった。
(課題) CPTのユニバーサルデザイン性向上による視認性の改善が必要。
- ②遠隔制御性能 : 簡易操作的な遠隔制御(直線移動、旋回)が可能となった。
(課題) 機体搭載4Kカメラのコーデック性能向上(映像伝送遅延軽減)による操作性改善が必要。
- ③自律自動制御・安全性機能 : 障害物回避・人検知機能の搭載により高い安全性の下で自律飛行が可能となった。
(課題) 特になし

ロボットを活用した遠隔巡回(アー2)

■ 各検証方法及び結果

- 施設警備における巡回業務の代替が可能か否かを分析するため各検証項目を設定した。
- 主なKPI: ①遠隔画像巡回性能、②遠隔制御性能、③自律自動制御・安全性機能を設定した。

	主なKPI			評価・検証項目	評価・検証方法
	①	②	③		
1	✓		✓	自動巡回時の監視映像	映像伝送、視認性(主観)
2			✓	自動巡回時の安全機構及び自立・自動制御機能	障害物停止距離計測
3	✓			遠隔監視時の使用性	視認性・視認環境(主観)
4		✓		遠隔操作機能	操作性(主観)
5	✓			遠隔監視時の映像による人物表示	視認性(主観)
6	✓			監視映像品質	フレーム数測定
7	✓	✓		映像伝送遅延	遅延時間測定
7	✓	✓		制御伝送遅延	遅延時間測定
9	✓	✓	✓	インシデント発見から対応(巡回中の傷病者)	シナリオ検証



ローカル5G通信による4K映像伝送・遠隔制御



シナリオ検証

評価・分析結果

※主観評価は、施設警備業務の経験を有する警備員2名により評価を行った。

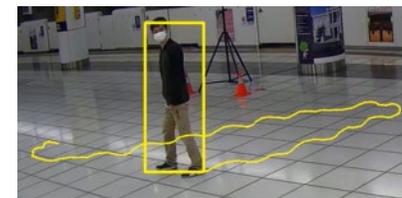
- ①遠隔画像巡回性能 : 遠隔監視映像からの視覚情報の効果的な受容が可能となった。
(課題) CPTのユニバーサルデザイン性向上による視認性の改善が必要。
- ②遠隔制御性能 : 従来の手動操作と比較して遜色ない遠隔操作が実現可能となった。
(課題) 特になし
- ③自律自動制御・安全性機能 : 障害物検知機能の搭載により高い安全性の下で自律走行が可能となった。
(課題) 特になし

監視カメラ及びAIを活用した遠隔自動検知(ア-3)

■ 各検証方法及び結果

- 施設警備における巡回業務の代替が可能か否かを分析するため各検証項目を設定した。
- 主なKPI: ①自動検知性能、②遠隔自動監視性能を設定した。

	主なKPI		評価・検証項目	評価・検証方法
	①	②		
1		✓	統制席における不審者検知結果	視認性・視認環境(主観)
2		✓	統制席における歩行弱者検知結果	視認性・視認環境(主観)
3	✓		不審者検知の性能確認	人検出率
4	✓		歩行弱者検知の性能確認	白杖検出率
5	✓	✓	インシデント発見から対応(AI不審行動検知)	シナリオ検証
6	✓	✓	インシデント発見から対応(AI歩行弱者検知)	シナリオ検証



不審者検知



歩行弱者検知

評価・分析結果

※主観評価は、施設警備業務の経験を有する警備員2名により評価を行った。

- ①自動検知性能 : カメラ映像の高解像度化／高フレームレート化によって検知性能および検知範囲が向上した。
(課題)照明や床面の反射光などの環境影響を受けないAI検知性能の実現が望ましい。
- ②遠隔自動監視性能 : 高解像度で詳細な視覚情報の受容が可能となった。
(課題)CPTのユーザーインターフェースの改善が必要。

課題解決システムに関する効果検証(イ)

■ 各検証項目及び結果

- 課題解決システムの実証を通じ、以下の評価・検証項目を設定し効果検証を実施した。

	評価・検証項目	評価・検証方法
1	業務効率化に資する効果	課題解決システムにおける検証結果をもとに、主に機能面から業務代替性を検証、業務効率化(業務負担軽減、労働環境改善などを含む)に資する効果を考察
2	従来の方法と比較した場合の警備力の向上	警備業務における代表的な要素を抽出した簡易的なモデルを設定し「警備力」を定義することにより定量評価を試みる
3	その他課題解決に資する導入効果(人員の最適配置等)	その他課題解決に資する効果として、施設警備員配置をテーマとして取り上げ考察
4	施設内における安心・安全の確保	抽象度の高い概念である「安心・安全」に対する実証システムの寄与とその限界について定性的な観点から考察する
5	費用対効果	項目①-④での検証内容を踏まえ、実証システムの費用対効果について考察

● 警備力の数値化について

- ・ 従来の施設警備モデルとの比較のため「警備力」を数値化し比較検証
- ・ 警備力を構成する要素として「発見力」「抑止力」「対処力」を定義
- ・ 今回は、実証システムへの具備状況から、特に「発見力」「抑止力」の数値化を試み
- ・ 「従来の巡回業務」「遠隔画像巡回(ドローン・ロボット)」「AI自動検知」それぞれについて「発見力」、「抑止力」を算出し、「警備力」として定量的に比較



$$F = Di + De + Co$$

- F : 警備力
- Di : 発見力 (異常を発見する能力)
- De : 抑止力 (異常発生を抑止する能力)
- Co : 対処力 (異常に対処する能力)

評価・検証結果

- ・ 遠隔巡回業務に必要な機能を概ね実現、巡回業務の負担軽減が期待できることを確認
- ・ 「警備力」指標を用いた比較において、実証システムは従来の巡回警備より約60%のスコアアップを確認
- ・ 実証システムの本格的導入にはローカル5Gシステムを含めた機器コストの低減が必要

課題解決システムに関する機能検証(ウ)

■ 各検証項目及び結果

・ 課題解決システムの実証を通じ、以下の評価・検証項目を設定し機能検証を実施した。

評価・検証項目	評価・検証方法
1 実証フィールドで警備業務として実施されている各種業務に対し、実証システムの機能充足度を評価検証	ドローン巡回、ロボット巡回、AIカメラは「発見力」、スタッフ連携は「対処力」の観点から評価検証 機能充足度は「代替可」「条件付き代替可」「代替不可」「未実装」の4段階で評価評価

評価・検証結果

【凡例】 ◎:従来手法より優れる △:従来手法に劣る、もしくは一定の条件を満たすことにより従来手法と同等
○:従来手法と同等 -:適用対象外

			実証フィールドにおける代表的な業務				
			不審者発見	お客様補助	設備破損確認	施錠確認	カート回収
実証システム機能	ドローン巡回	自律運行	◎(自動化)	- (無人前提)	○(遠隔目視)	○(遠隔目視)	○(遠隔目視)
		遠隔操作(ローカル5G)	△(要習熟)	- (無人前提)	△(要習熟)	△(要習熟)	△(要習熟)
	ロボット巡回	自律運行	○(遠隔目視)	△(案内業務)	○(遠隔目視)	○(遠隔目視)	○(遠隔目視)
		遠隔操作(ローカル5G)	○(遠隔目視)	△(案内業務)	○(遠隔目視)	○(遠隔目視)	○(遠隔目視)
	AIカメラ	白杖検知	-	◎(自動化)	-	-	-
		ウロウロ検知	◎(自動化)	◎(自動化)	-	-	-
	スタッフ等連携システム*		-	○(現地対応)	○(現地対応)	○(現地対応)	○(現地対応)
	判定		代替可	条件付き代替可	条件付き代替可	条件付き代替可	条件付き代替可

* 警備員の屋内位置情報やステータス等を把握し、最適な警備員へ指示を行うための情報連携システム

- ・ 本件実証により遠隔巡回に必要な機能は概ね実装され、業務代替が可能であることを確認
- ・ 業務代替が可能であるものの、現地対応業務は従来と同じく警備員の人的対応が必要
- ・ 「条件付き代替可」の業務は、実運用に向けてはより一層の効率化と現地対応力の強化が必要

課題解決システムに関する運用検証(エ)

■ 各検証項目及び結果

- 実運用を想定し、運用作業を洗い出し運用検証を実施した。

	運用作業の洗い出し	運用検証
1	現状の警備運用について京急電鉄の警備運用担当部門へヒアリング	ヒアリング結果に基づき、ALSOKが各運用作業を「運用可」「条件付き運用可」「運用不可」の3段階で評価 ALSOKの施設警備運用会社への聞き取りも行うことで結果を検証

評価・検証結果

運用項目		評価	条件等	
警備運用	ドローン	遠隔監視	運用可	
		遠隔操作(ローカル5G)	条件付き運用可	自律飛行ドローンへの5G通信機能搭載 システム全体の伝送遅延短縮
	ロボット	遠隔監視	運用可	
		遠隔操作(ローカル5G)	運用可	
	AIカメラ	白杖検知	条件付き運用可	カメラ設置環境(照明、遮蔽物、混雑度等)に 合わせたAIのチューニングが必要
		ウロウロ検知	条件付き運用可	
スタッフ連携		運用可		
システム運用	ドローン	条件付き運用可	安全性、信頼性の向上 運用ノウハウ・実績の蓄積	
	ロボット	運用可		
	スタッフ等連携システム	運用可		

- ロボット、ドローンを活用した遠隔巡回オペレーションは、警備運用上において概ね実現可能と評価
(ただし、鉄道駅における運用においては、安全性のほか信頼性を高めつつ、運用ノウハウを蓄積し実装判断が必要)
- 実証システムの展開においては、「ドローンの安全運航技術」等、システム運用面でのノウハウと実績の蓄積が重要

ローカル5Gの性能評価等の技術実証

技術実証全体の技術的課題と技術基準の見直し等に資する新たな知見

■ 各技術実証における技術的課題と実証目標

- ・ユースケースとして、カメラ・ドローン・ロボットを活用した高度な警備システムを想定した。

技術実証	技術的課題	実証目標(技術基準の見直し等に資する新たな知見)
ア	<p>・遮蔽物の多い屋内環境の場合、電波が遮蔽物によって反射、回折、透過の影響で受信電力が減衰し、不感エリアが存在すると考えられる。</p> <p>本ユースケースにおいて、不感エリアを解消する必要があり、<u>実測値に基づいた電波伝搬特性の解明</u>が必要がある。</p>	<p>・ユースケースにおける<u>サブ6GHz帯の電波伝搬特性及び、移動体通信の通信品質の特性</u>に関する知見を得る。</p> <p>・マルチパス環境のエリア設計において、<u>既存の電波伝搬モデルにおける最適な係数・補正項</u>の提案をする。</p>
イ	<p>・<u>遮蔽物の影響によるマルチパスを考慮したパケットロスが起こらないエリアの構築</u>が必要であり、それに対する<u>他のローカル5Gシステムへの干渉量</u>を解明する必要がある。</p>	<p>・地下空間を含む遮蔽物の多い屋内環境における<u>効率的なエリア構築</u>をするための知見を得る。</p> <p>・複数のローカル5G同士を共用する際に電波干渉を起こさない<u>最適な離隔距離</u>の知見を得る。</p>
ウ	<p>・ユースケースを想定した際に複数の基地局を配置し、不感エリアの少ないエリア構築を行う必要がある。</p> <p>よって複数の基地局を利用した<u>映像伝送の品質に影響がない最適な基地局設計</u>の方法を解明する必要がある。</p>	<p>・同一セクタ内の基地局でカバーする方法(セクタ内移動)と、異なるセクタでカバーする方法(ハンドオーバ)を検証し、<u>映像伝送に必要なスループットが維持できる最適な基地局配置</u>を目標に、エリアカバーの最適な方法を提案する。</p>

● ウ(その他ローカル5Gに関する技術実証)を提案した理由

ドローン等の移動体においては複数の基地局をまたがる移動を行い、高度な警備を提供することが必要である。一方でコストの観点から基地局を極力少なくし、映像伝送の品質を維持できるエリアを構築することが非常に重要である。よって異なるセクタへの移動と同一セクタ内移動の2種類のエリア構築方法を検証し、最適な設計方法を解明することが必要なため。

ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等実証(ア)

■ 評価検証方法・測定方法・要求性能・実証結果・考察

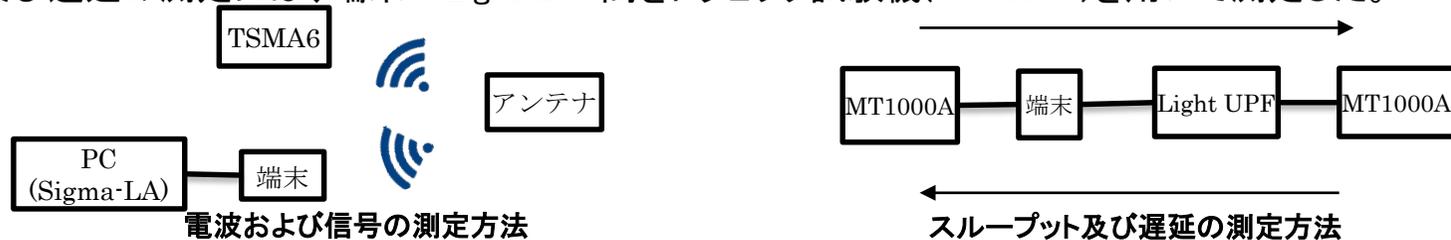
● 評価検証方法

評価検証方法は以下の通りである。

- ・ マルチパスを考慮した測定地点20か所を設定し、またアンテナ高を1mと3mに可変して各種データを取得した。
- ・ ドローンの追尾特性を想定し、端末を直線移動させ、各種データを取得した。
- ・ ドローンやロボット等の移動体の異なるセル間の移動を想定したハンドオーバー特性のデータを取得した。
- ・ 類似調査の同一測定環境における28GHz帯の電波伝搬特性との違いを比較し、性能評価結果を考察した。

● 測定方法

- ・ 電波及び信号の測定には、無線ネットワーク測定アプリケーション(Sigma-LA)とモバイルネットワークスキャナ(TSMA6)を使用した。
- ・ スループット及び遅延の測定には、端末 - Light UPF間をトラヒック試験機(MT1000A)を用いて測定した。



● 要求性能(KPI)

測定指標における要求性能

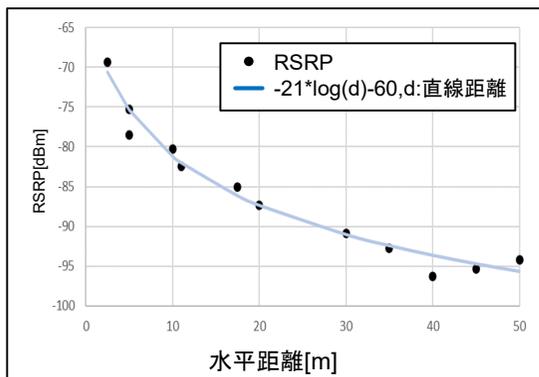
測定指標	要求性能
受信電力	-119.8 dBm+フェードマージン
伝送スループット (上りリンク(UL) /下りリンク(DL))	80Mbps
伝送遅延時間	可能な限り低遅延
ハンドオーバー	RRC Reconfigurationによりハンドオーバーが正しく成立したことを確認

ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等実証(ア)

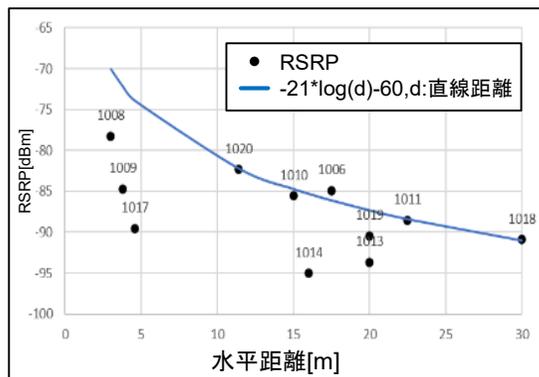
実証結果

要求性能に対する実測値の結果

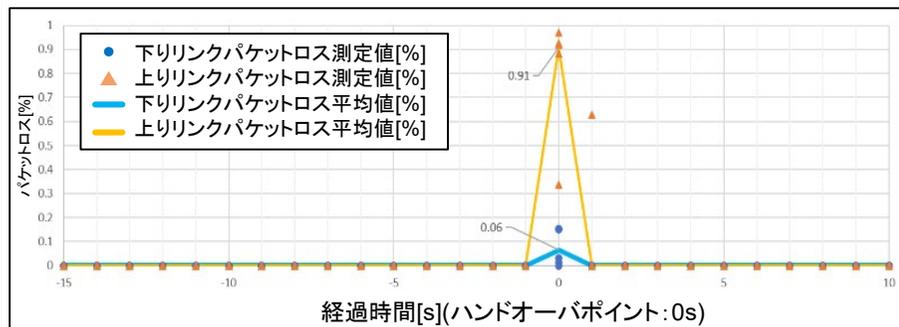
測定指標	要求性能	結果
受信電力	-119.8 dBm+フェードマージン	スループットを維持できる地点において、45m地点(LOS)は-91dBm、17.5m地点(NLOS)は-85dBmを確認した。LOS環境は距離の2乗則に従い減衰する傾向、NLOS環境は遮蔽物・反射物の影響が確認できた。
伝送スループット(UL/DL)	80Mbps	ULにおいて、アンテナから45m地点(LOS)/17.5m地点(NLOS)まで要求性能である80Mbpsを満たせることを確認できた。
伝送遅延時間	可能な限り低遅延	平均30ms程度の遅延を確認できた。
ハンドオーバ	RRC Reconfigurationによりハンドオーバが正しく成立したことを確認	ハンドオーバが正しく成立していることを確認したが、パケットロスが発生した。



LOS測定点における距離特性



NLOS測定点におけるLOS環境の回帰直線(曲線)との比較



LOS環境におけるハンドオーバ時のパケットロス率[%]

ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等実証(ア)

考察

【技術的課題の解決策】

電波伝搬特性と電波伝搬モデルにおける最適な係数・補正項

- ・ LOS環境 : 距離の2乗則に従い減衰する傾向を考慮して、基地局配置を実施する。
- ・ NLOS環境 : 基地局・端末と遮蔽物の位置関係や遮蔽物の内容によって基地局配置を実施する必要があるため、NLOS環境におけるさらなる調査・検討が必要である。

スループット・遅延

- ・ スループットは、アンテナ1台においてLOS環境でアンテナから45mの距離まで要求性能を満たせることが分かった。また映像伝送を行う操作者が影響なく操作可能な遅延時間を100ms程度とした場合、ローカル5Gシステムとして要求性能を満たしていることと考えられる。

ハンドオーバ

- ・ 基地局が対応しているハンドオーバの方式が3GPP仕様で定義されるFull Configuration方式であるため、ハンドオーバは成功しているが、処理待ちの packets が失われることにより、ユーザトラヒックを保持することができずパケットロスが発生した。パケットロスが発生しないようにするためには、IRU1台に複数のアンテナを接続して、ハンドオーバをさせずにエリアをカバーすることが解決策として考えられる。

【更なる技術的課題】

- ・ ユースケースにおける最も大きな遮蔽物として列車がある。列車停止時はNLOS環境となり、より閉所なマルチパス空間が形成されると考えられる。基地局・端末と遮蔽物の位置関係がどのように電波伝搬特性に影響するのかを解明し、NLOS環境において遮蔽物に焦点を合わせて、様々なパターンで実測値を得て、検討を実施することが今後の課題である。
- ・ パケットロスが発生させないようにハンドオーバするためには、本実証で使用した製品にユーザトラヒックを保持したままハンドオーバを実施できる機能を実装する必要がある。

ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等(イ)

- 評価検証方法・実証結果・考察については以下の通りである。

● 評価検証方法

- ・ エリアスキャナによるウォークテストにて電波伝搬特性の調査を行い、効率的なエリア設計に関する考察を行った。
- ・ エリア算出法により計算された値と実測値について比較し、カバーエリアの図を作成した。

実証結果

【フェージングおよびシャドウイングの考慮とカバーエリア】

- ・ 実用的な用途で必要とされるマージンは最大で以下を考慮する必要があることが分かった。

①フェードマージン:10[dB]、②人体遮蔽:8[dB]、③建物侵入損:6[dB]

よって、実用的なエリアカバレッジの受信電力範囲は、 $-96[\text{dBm}] = -120[\text{dBm}] + 10[\text{dB}] + 8[\text{dB}] + 6[\text{dB}]$ となる。

【要求性能(スループット)を考慮したエリア構築】

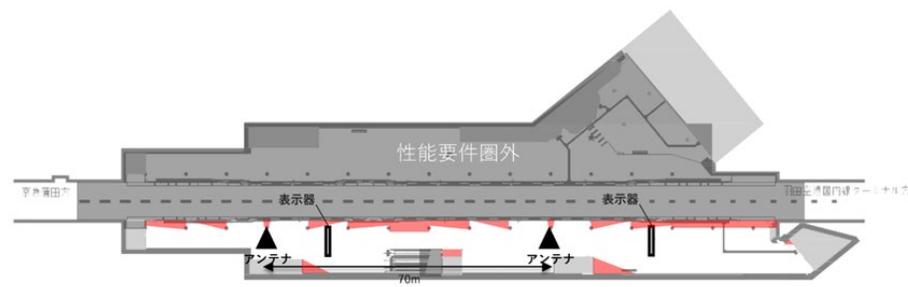
- ・ アンテナ1台をホーム上中央に設置した場合には、ユースケースを満たすDLは維持できるが、ULは維持が出来ず、要求性能を満たすエリアカバーができないことが分かった。よって、ここからは解決策を机上にて検証した。

①アンテナを2台設置(極力NLOSをなくす)した場合、ULを維持できるエリアカバーが可能だと分かった。

②アンテナ1台でTDD比変更(68:64(現行は104:32))にした場合、DLも維持し、ULの要求性能を満たすことが可能だと分かった。

要求性能の充足可否とエリア設計方法の関係

スループット	アンテナ1台	解決策①	解決策②
UL	×	○	○
DL	○	○	○



アンテナ2台配置した場合の配置イメージ(赤色はNLOS)

ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等(イ)

実証結果

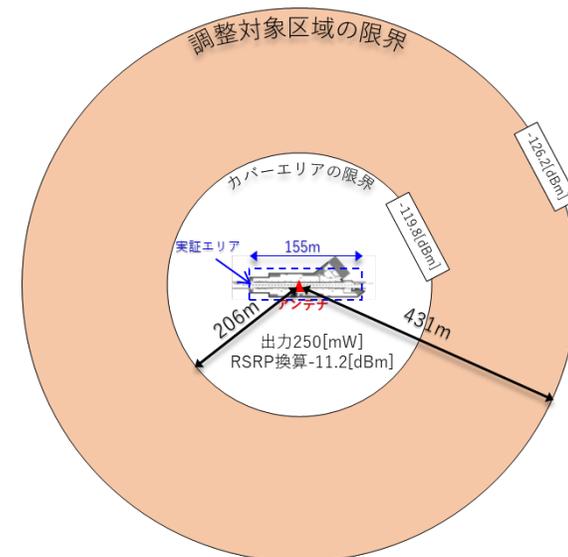
・ 総務省様提供のカバーエリア算出方法より、**カバーエリア半径は206m、調整対象区域は半径431m**であることが分かった。各エリア端の測定は立ち入りが出来ず、仕様書要件Aの結果を利用し推定値を求めた結果、上記と同じ結果であることが分かった。よって他のローカル5G基地局との離隔距離 R を考えた場合、以下の離隔距離を取る必要がある。

①他のローカル5G基地局のカバーエリアの限界半径が206m以下の場合

$$R = \text{他のカバーエリアの限界半径} + 431\text{m}$$

②他のローカル5G基地局のカバーエリア限界が206m以上の場合は、

$$R = \text{他の調整対象区域の限界半径} + 206\text{m}$$



カバーエリアと調整対象区域のプロット

考察

【技術的課題の解決策】

エリア構築

・ アンテナ1台でユースケースを満たす要求性能を維持することが難しいことが分かった。解決策として**TDD比率を準同期方式に変更することで、UL/DLの要求性能を満たしたエリア構築が可能**だと分かった。

離隔距離

・ 通信品質を満たしつつ、他のローカル5Gシステムへの干渉を抑えるためにカバーエリアを狭くすることには限界があるため、周波数帯域幅の100MHzを分割し、**自システムと他システム及びガードバンドに各々割り当てて共用する方法**が考えられる。

【更なる技術的課題】

エリア構築

・ 駅構内のエリア設計をする際に、エスカレータやエレベータなどエリア設計が困難な環境が存在するため、より**様々な測定ポイントでの実測結果を取得し、最適なエリア設計の方法について検討**する必要がある。

離隔距離

・ 周波数帯域幅を分割して自システムと他システムを共用する場合、ガードバンドを設けたとしても、それぞれの電波が干渉する可能性がある。**干渉により発生するノイズのパフォーマンスへの影響**について調査し、基地局同士の最適な離隔について検討する等、干渉対策を検討することが今後の課題である。

その他ローカル5Gに関する技術実証(ウ)

■ 評価検証方法・実証結果・考察については以下の通りである。

● 評価検証方法

- ・ アンテナ間の距離を変化させながら、ドローンの映像伝送に最低限必要なスループットが維持できるアンテナ間の距離について検証を行った。
- ・ セクタを跨ぐハンドオーバ(異なるIRU)、同一セクタ内のアンテナ間(同一IRU)を推移する場合について検証・評価を行った。

実証結果

エリア設計パターンと要求性能の関係

項目(アンテナ間距離)	UL パケットロス	UL遅延
異なるIRU間(70m)	発生	ハンドオーバ時に増加
異なるIRU間(80m)	発生	大きく遅延増加
同一IRU間(80m)	なし	安定
同一IRU間(90m)	発生	大きく遅延が増加

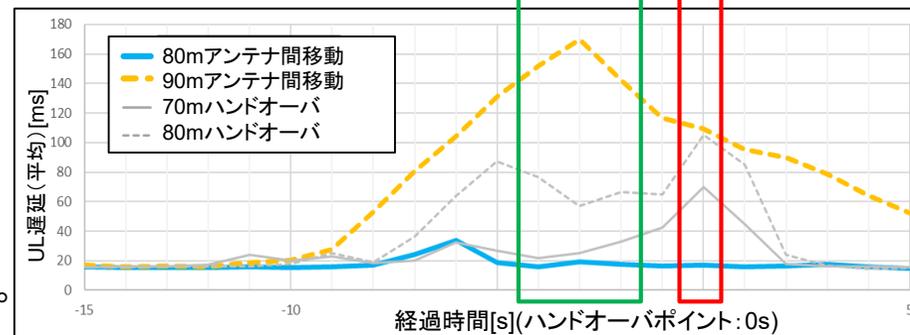
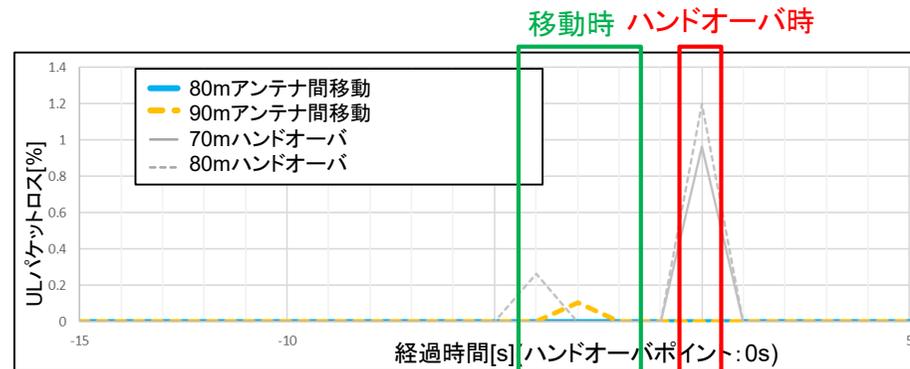
考察

【技術的課題の解決策】

- ・ IRU1台に複数のアンテナを接続することで、ハンドオーバをさせず(同一セクタ)にエリアをカバーすることが考えられる。

【更なる技術的課題】

- ・ **ユーザトラヒックを保持したままハンドオーバできる機能を実装**することで、複数のIRUによるエリア構築を行うことが今後の課題である。
- ・ また**複数のBBUを使用した(本実証では1台)ハンドオーバの試験**を実施し、性能評価を実施することも今後の課題として考えられる。



UL遅延(平均)の時間推移

実装・横展開に関する検討

前提条件

■ 実装・横展開における制約条件等

- ・ 本実証を行った羽田空港第3ターミナル駅への実装を想定し検討を行った。
- ・ 実装・横展開における制約条件等、及びその他実用に向け考慮すべき事項を整理した。

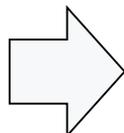
● 実装・横展開における制約条件等

カテゴリ	制約事項	警備モデル※	
		警備モデル① (従来警備モデル)	警備モデル② (新たな警備モデル)
警備モデル	警備業法等関係法令	○:制約なし	×:要調整
技術的制約事項	ドローン機能の一体化	×:要開発	×:要開発
	人的警備業務の代替性	△:部分的に可能	△:部分的に可能
	NWシステム構成	△:低廉化・設計	△:低廉化・設計
	無線局免許取得	△:都度干渉調整	△:都度干渉調整

※ 警備モデルの種別については後述する。

● その他実用に向け考慮すべき事項

- ・ 遠隔巡回時の遠隔操縦などに関する担当者の教育と習熟度の向上
- ・ 鉄道事業者の特性を考慮した安全面の担保(列車運行時の安全対策や無人時以外の運用)
- ・ 民間事業者としての投資対効果判断(費用対効果、CS向上、周辺施設・地域への影響など)



各制約条件の整理を進め、実用へ向けた工程において追加実証などのプロセスを通じて検証を継続。
各実証システム、ローカル5G機器についても、同工程において継続利用を想定する。

持続可能な事業モデル等の構築・計画

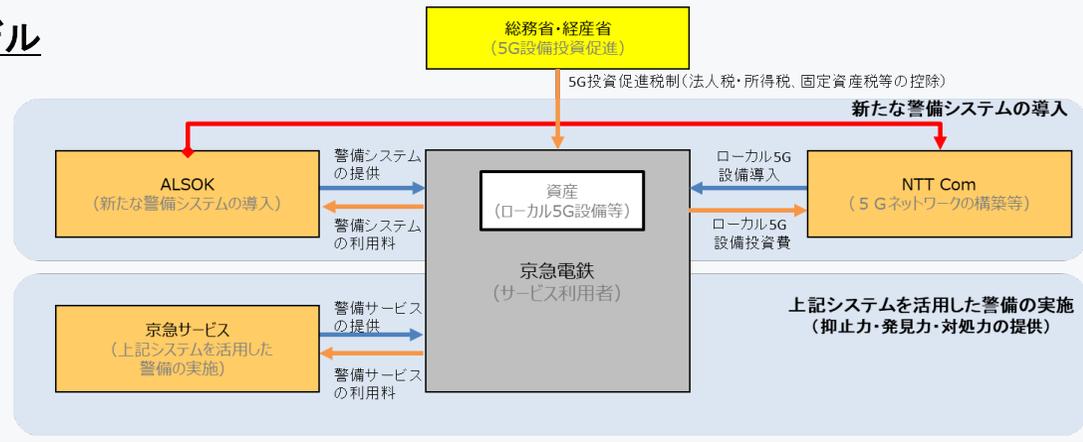
■ 事業モデル

- 2つの事業モデルを検討。事業モデル①は従来型、②は新たな警備モデルとなる。
- 警備モデル②では、「抑止力+発見力」(遠隔)と「対処力」(現地)を分離提供する。

警備モデル①

システム提供(販売)+従来警備モデル

「新たな警備システムの導入」 ALSOK
(システムの提供)
+
「従来型人的警備」 京急サービス
(抑止力・発見力・対処力の提供)



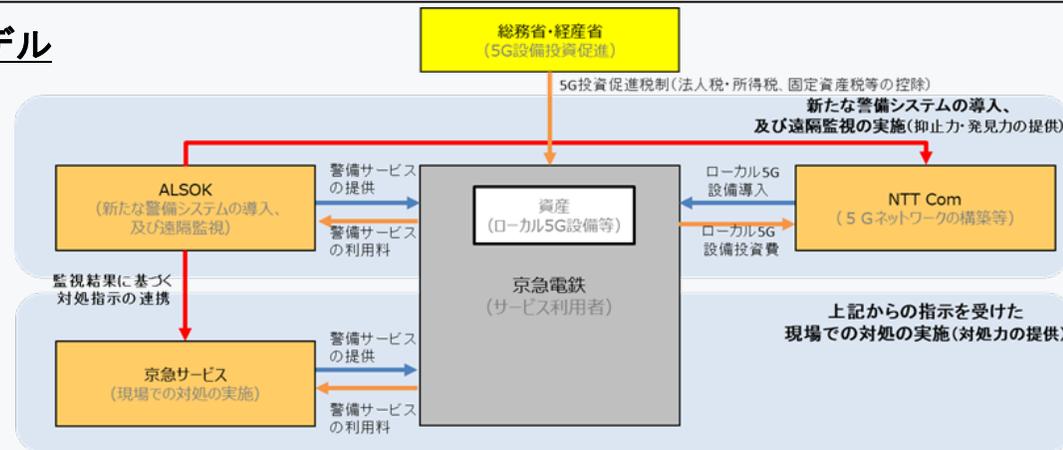
警備モデル②

システム提供(販売)+新たな警備モデル

分業モデル

「新たな警備システムの導入」ALSOK
(システムの提供)
+
「遠隔監視」ALSOK
(抑止力・発見力の提供)
+
「従来型人的警備」京急サービス
(対処力のみ提供)

対処指示
の連携



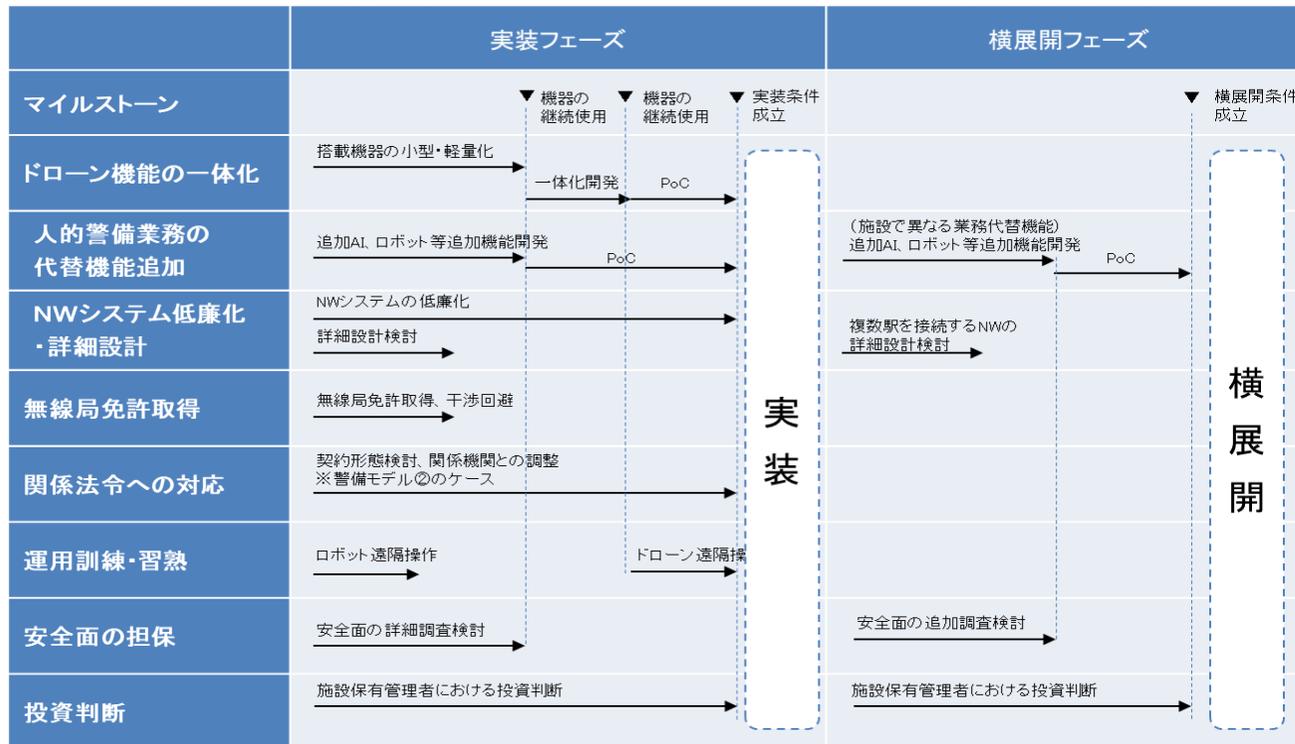
実装・横展開に資する普及モデル

■ 実装～横展開に向けた工程

- 実装は羽田空港第3ターミナル駅を、横展開はその他駅施設をターゲットとして検討した。
- 横展開を普及型モデルと捉え、実装時の制約事項のほか駅ごとに異なる特性に応じたソリューション強化と複数駅をネットワーク化するステップを経て横展開条件が整う。

● 本事業の実用に向けた工程(実装～横展開)

実装～横展開では、各開発工程においてローカル5Gシステム機器を継続的に使用したPoCを想定する。

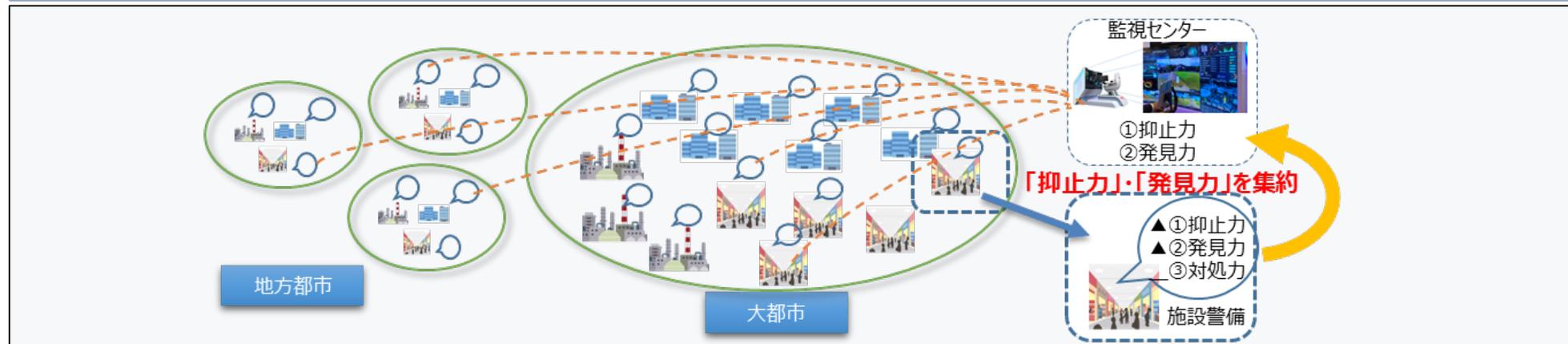


注) 矢印の向きは時間の方向を示す。本表は各要素間の相関関係を示したものの、各矢印の長さとは時間関係なし。

実装・横展開に関する検討

■ 推進対策方策

- 新たなモデルを他の事業者へ広く普及させ、遠隔での「抑止力」・「発見力」を地理的・時間的制約を排除し提供することで警備力向上と人手不足解消を目指していく。



● 横展開のゴール

- ・遠隔監視・制御と最終的な人による対応といった、いわば監視と対処が一体となったサービスモデルを警備以外の他の事業領域においても幅広く展開。
- ・更なる警備サービスの浸透といった好循環を生み、施設単体から延いては地域の安全・安心へとつなげる。

■ 共同利用型プラットフォームに関する検討

● PFに具備・汎用化等可能な領域やI/F等の考え方など

- ・各実証システムの提供と、遠隔監視・制御＋現地対応により成立するサービスである点に留意が必要。
- ・「実証システム＋監視センタ機能」をトライアルキットとして提供可。本格導入には個別診断(ノウハウ)が必要。
- ・共同利用PFにマーケットプレイス機能(利用・決済)を具備することで、AI検知サービスの単体提供が可能に。

まとめ

本開発実証のまとめ

■ 実証成果と今後の課題

● 課題実証

- 4K高精細映像と遠隔制御を用いたドローン・ロボットによる遠隔巡回、4K高精細映像のAI解析により、不審行動・歩行弱者の遠隔での自動検知、監視センターからの警備員指示と組み合わせによる、発見から対処に至る警備の一連のプロセスにおける人手不足への対応が可能となることを確認できた。
- 本実証システムの効果を定量評価するため「警備力」の定量化を試みた。また、課題解決システムは機能面、運用面からも従来型の人手による巡回警備業務の一部を代替し得る「警備力」の向上を有することを確認できた。

● 技術実証

- 電波反射等の影響が起こりやすい屋内環境にて、見通しがある/見通しが無い場合の4.7GHz帯の電波伝搬の特性・ハンドオーバーの影響を検証、ハンドオーバー時間が短く、伝送遅延も少ないことから、映像伝送のユースケースにおいてはローカル5Gを用いた本課題解決システムが有用であることを確認できた。
- 新しい警備モデルを提供するためにサービス品質(映像伝送)を維持できる効率的なエリア構築方法を確認できた。

■ 今後の課題と取り組み

- 本格的導入に向けてローカル5Gシステムを含めた機器コストの低減が必要、採算性の観点から多数の拠点の統合監視する仕組み、監視支援機能及び現地対処機能(支援システム/無人化、自動化)の充実が今後の課題である。
- 干渉により発生するノイズのパフォーマンスへの影響の調査、基地局同士の最適な離隔の検討等の干渉対策の検討が今後の課題である。
- 実用に向けた制約事項等と各ステップを経た実装を足掛かりとし、さらなる横展開に向けたサービスモデルの確立に向け継続的に取り組んで参りたい。