

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)

成果報告書

令和3年3月25日

総合警備保障株式会社

目次

1. 全体概要	5
1.1 背景・目的	5
1.1.1 防犯分野の概況	5
1.2 実施事項及び実証目標	6
1.2.1 実施概要	6
1.2.2 実施目標（概要）	7
1.3 実施体制	8
1.4 実証のスケジュール	9
1.4.1 計画の考え方	9
1.4.2 スケジュール（実績）	9
1.5 免許申請の概要	10
1.5.1 免許申請の目的	10
1.5.2 実験内容の記載	10
1.5.3 スケジュール	10
1.5.4 システム構成図	11
1.5.5 諸元	13
1.5.6 希望する移動範囲	15
1.5.7 送信電力の希望理由	20
1.5.8 周波数と周波数帯幅の希望理由	21
1.5.9 付帯条件	21
1.5.10 その他	22
1.5.11 次年度以降の申請対応	22
2. 実証地域	23
2.1 実証地域	23
2.1.1 実証地域の概要	23
2.1.2 実証エリア俯瞰図	23
2.1.3 実証場所	23
2.1.4 実証エリア	23
2.2 実証環境	24
2.3 地域課題等	24
2.3.1 実証場所の選定経緯	24
2.3.2 警備業務への課題	24
2.3.3 地域課題と課題解決システムの関係	25
3. 実証環境	26
3.1 ネットワーク構成	26

3.1.1 構築スケジュール	26
3.1.2 ネットワーク構成図/配置図	26
3.1.3 基地局エリアカバレッジ	26
3.1.4 設置環境	27
3.1.5 コアネットワーク性能	30
3.1.6 基地局無線部特性	30
3.1.7 端末概要	31
3.2 システム機能・性能・要件	31
3.2.1 通信性能	31
3.2.2 機器一覧	31
3.2.3 機器諸元	34
3.2.4 セキュリティ対策	59
3.3 実証環境の運用	59
3.3.1 実証関係者へのレクチャ	59
3.3.2 ヘルプデスク体制	60
3.4 関連事業	63
4. 課題解決システムの実証	64
4.1 前提条件	64
4.1.1 施設警備業務における業務プロセス	64
4.2 実証目標	67
4.2.1 目標値	67
4.2.2 実証目標に対する初期仮説	68
4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析	69
4.3.1 課題解決システムの概要	69
4.3.2 ドローンを活用した遠隔巡回（アー１）	94
4.3.3 ロボットを活用した遠隔巡回（アー２）	127
4.3.4 監視用カメラ及び AI を活用した遠隔監視（アー３）	152
4.4 課題解決システムに関する効果検証	180
4.4.1 検証項目	180
4.4.2 検証方法	180
4.4.3 検証結果・考察	183
4.5 課題解決システムに関する機能検証	187
4.5.1 機能一覧・機能説明	187
4.5.2 検証項目	187
4.5.3 検証結果	187
4.5.4 技術調査	189
4.5.5 考察	191
4.6 課題解決システムに関する運用検証	192
4.6.1 運用作業一覧	192
4.6.2 検証項目	192

4.6.3 検証結果.....	192
4.6.4 運用面に関する課題と解決策.....	193
4.6.5 考察.....	193
4.7 まとめ.....	194
5. ローカル5Gの性能評価の技術実証.....	195
5.1 前提条件.....	195
5.1.1 対象とするユースケース.....	195
5.1.2 ユースケースに基づく性能要件.....	195
5.1.3 実証環境.....	196
5.1.4 基本的な諸元.....	210
5.2 実証目標.....	214
5.2.1 技術的課題.....	214
5.2.2 技術基準の見直し等に資する新たな知見.....	217
5.2.3 ア～ウの実施事項.....	218
5.3 ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等(調査検討事項ア).....	220
5.3.1 対象とするユースケースの主要な測定指標毎の性能要件.....	220
5.3.2 技術実証1(カバーエリア).....	220
5.3.3 技術実証2(回折と反射).....	249
5.3.4 技術実証3(直線移動).....	261
5.3.5 技術実証4(ハンドオーバー).....	272
5.3.6 技術実証5(ドップラー効果).....	288
5.4 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等(調査検討事項イ).....	290
5.4.1 技術実証6(屋内環境におけるエリア設計).....	290
5.4.2 技術実証7(エリア算出).....	302
5.5 その他ローカル5Gに関する技術実証(調査検討事項ウ).....	306
5.5.1 技術実証8(ハンドオーバー限界).....	306
5.6 5章を通じた考察・まとめ.....	321
5.7 参考文献.....	324
6. 実装及び横展開に関する検討.....	325
6.1 前提条件.....	325
6.1.1 実装・横展開の定義.....	325
6.1.2 実装・横展開に係る制約条件.....	325
6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定.....	332
6.2.1 実証終了後の継続利用.....	332
6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討.....	341
6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討.....	346
6.4.1 導入ユースケースの概要.....	346
6.4.2 システム全体構成図.....	346
6.4.3 システム基本設計ドキュメント群.....	346

6.4.4 システム詳細設計ドキュメント群	347
6.4.5 試験計画、試験結果ドキュメント群	347
6.4.6 実装されたソフトウェア	348
6.4.7 5Gソリューション提供センター（仮称）が具備すべき機能	348
6.4.8 5Gソリューション提供センター（仮称）を通じた横展開のあり方.....	349
6.5 まとめ	350
7. 会合等の開催（該当する活動がある場合）	351
8. まとめ	352
9. 参考資料	354

1. 全体概要

1.1 背景・目的

第5世代移動通信システム（5G）は、超高速・超低遅延・多数同時接続といった特長を有しており、我が国の経済成長に不可欠な Society5.0 を支える基幹インフラとして、様々な産業分野での活用が期待されている。

総務省では、2019年6月18日、情報通信審議会から、「新世代モバイル通信システムの技術的条件」のうち、地域の様々な主体が自らの建物や敷地内でスポット的に柔軟にネットワーク（以下「NW」という。）を構築できる第5世代移動通信システム（以下「ローカル5G」という。）の技術的条件について答申を受け、2019年12月24日、一部制度化を実施したところである。

5Gの技術的条件等については、今後も、周波数の拡張が予定されており、更なる技術的条件等の検討を行うため、引き続き、実際のユースケースの利用環境における性能評価試験や既存無線局との共用可能性に関する試験等を行う必要がある。

このため、令和2年度から、様々な分野におけるローカル5Gのユースケースについて、多種多様なローカル5G基地局の設置・利用環境下でローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討を実施するとともに、ローカル5G等を活用した課題解決モデルの構築に取り組み、様々な分野でのローカル5G等の活用策とその導入効果等を明らかにし、ローカル5G等の導入の促進を図ることとしている。

本調査検討では、「地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」の一環として、防犯分野において、特に警備力の高度化、人手不足解消等の課題の解決に向けて対象施設の監視業務にローカル5Gの導入を促進するため、コンクリート柱やエスカレータ等の遮蔽物の多い屋内施設等におけるローカル5Gの電波伝搬特性の解明及び課題解決システムによる具体的なアプリケーション（ドローン、ロボット等による遠隔巡回・監視）を想定した複数の端末等からの映像伝送等に基づくローカル5Gの性能評価を実施することを目的とする。

1.1.1 防犯分野の概況

刑法犯認知件数は平成16年度（約58.1万件）をピークに、令和元年度（約23.5万件）には約40%に減少している（図1.1.1-1）。しかしながら、高齢者をターゲットとした特殊詐欺、女性や子どもが被害に遭う犯罪やサイバー犯罪、テロに対する脅威などへの国民の不安、安全安心へのニーズはますます高まっている（図1.1.1-2）。また、振り込め詐欺、DV、ストーカー、いじめ、児童連れ去り、強盗、侵入盗、万引き、通り魔等の「身近な犯罪」に加え、テロの脅威、サイバー空間の脅威、経済事犯、来日外国人犯罪、薬物（危険ドラッグ）、組織犯罪等の「新たな脅威」が市民生活のすぐそばまで迫っている状況と言える。

このように、犯罪の多様化、体感治安の悪化といった警備業に求められているニーズは変化しつつあり、益々警備業に対する社会的需要が高まってきており、労働集約型の施設警備業務の人員を確保することは困難になりつつあるといえる。施設警備業務（施設等における巡回、管理、施設管理業務等）においては、警備員の巡回や監視カメラの設置によ

る犯罪の抑止、巡回や遠隔監視による異常の発見と速やかな対処により被害拡大を防止し、施設や施設利用者の生命・財産が守られている。しかしながら、生産年齢人口の減少や労務費の高騰によりマンパワーを中心とした警備モデルは変革を求められている。

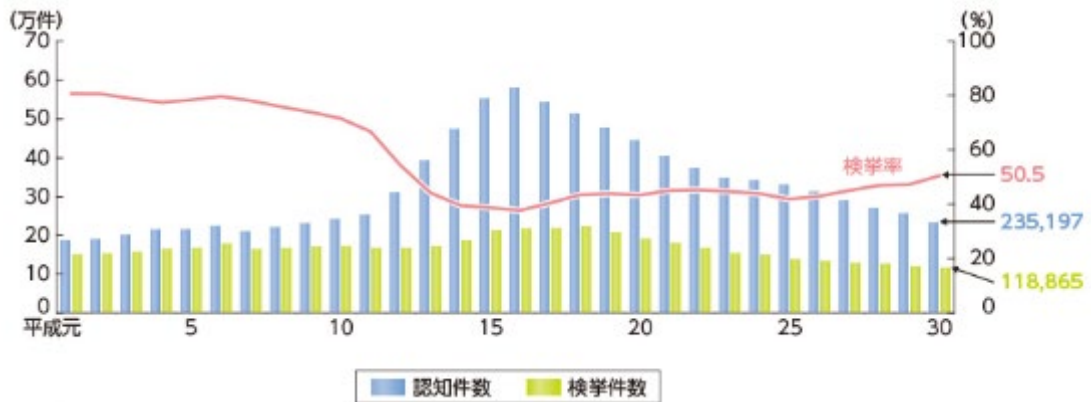


図 1.1.1-1 刑法犯認知件数（窃盗犯を除く）の推移図

出所) 令和元年版警察白書



図 1.1.1-2 身近な場所で多発する犯罪による体感治安の悪化

出所) 平成 29 年版警察白書をもとに ALSOK 作成

1.2 実施事項及び実証目標

1.2.1 実施概要

本調査検討では、新たな警備モデルを実証するため、カメラ、ドローンやロボットを活用した高度な警備実証システムと、ローカル 5 G (4.7GHz 帯) 無線通信システムを組み合わせた遠隔巡回や遠隔監視に関する実証を行う。また、ローカル 5 Gに関する電波伝搬特性や性能評価といった技術検討を実施し、技術面・制度面・運用面から課題の抽出及び解決方策について検討するとともに、施設警備業務における、警備力(いわば警備品質)を紐解くとともに、システム面・運用面・コスト面と、横展開の観点などについて多角的に検討する。

各実証項目は表 1.2.1-1 のとおり

表 1.2.1-1 実証項目一覧

実証項目	各実証システムの実証
課題解決システムの実証	
課題解決システムに関する検証及び評価・分析（ア）	ドローンを活用した遠隔巡回（ア-1）
	ロボットを活用した遠隔巡回（ア-2）
	監視用カメラ及び AI を活用した遠隔監視自動検知（ア-3）
課題解決システムに関する機能検証（イ）	
課題解決システムに関する効果検証（ウ）	
課題解決システムに関する運用検証（エ）	
ローカル 5 G の性能評価等の技術実証	
ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価（ア）	
ローカル 5 G のエリア構築やシステム構成の検証（イ）	
ローカル 5 G に関する独自の技術実証（ウ）	

1.2.2 実施目標（概要）

詳細については各章において記載する。実証目標は表 1.2.2-1 のとおりである。

表 1.2.2-1 実施目標（概要）

実証項目	目標（概要）
課題解決システムの実証	警備力の高度化、人出不足解消等を目的として、ローカル 5 G 無線通信システムを用いたドローンやロボットによる遠隔巡回・遠隔監視を実現し、人手に依存しない警備力向上に資する新たなモデルを構築する。
ローカル 5 G の性能評価等の技術実証	ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価等のために必要な各種データを取得し、課題解決システムを実現する上で求められるローカル 5 G の技術基準等を整備するために必要な知見を得る。

1.3 実施体制

総合警備保障株式会社（以下、ALSOK）、京浜急行電鉄株式会社（以下、京急電鉄）及びエヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社（以下、NTT Com）の3社にてコンソーシアムを組成し実施した。ALSOK は再委託等申請により、一部の業務を NTT Com へ再委託、また NTT Com を通じ株式会社協和エクシオへ再々委託し本業務を実施した。

各社の役割と実証体制を表 1.3-1 に、課題実証環境構築ベンダを表 1.3-2、実施体制図を図 1.3-1 実施体制図に示す。

表 1.3-1 各社の役割

企業名	役割
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
京急電鉄	課題認識事業者、実証フィールド提供、免許人
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	ローカル5Gの性能評価等の技術実証、当該報告書作成（NTT Com より再委託）

表 1.3-2 課題実証環境構築ベンダ

企業名	役割
沖電気工業	統制席構築
ジャパン・インフラ・ウェイマーク	ローカル5Gドローン（ドローン②）構築
日立オムロンターミナルソリューションズ	警備ロボット改修

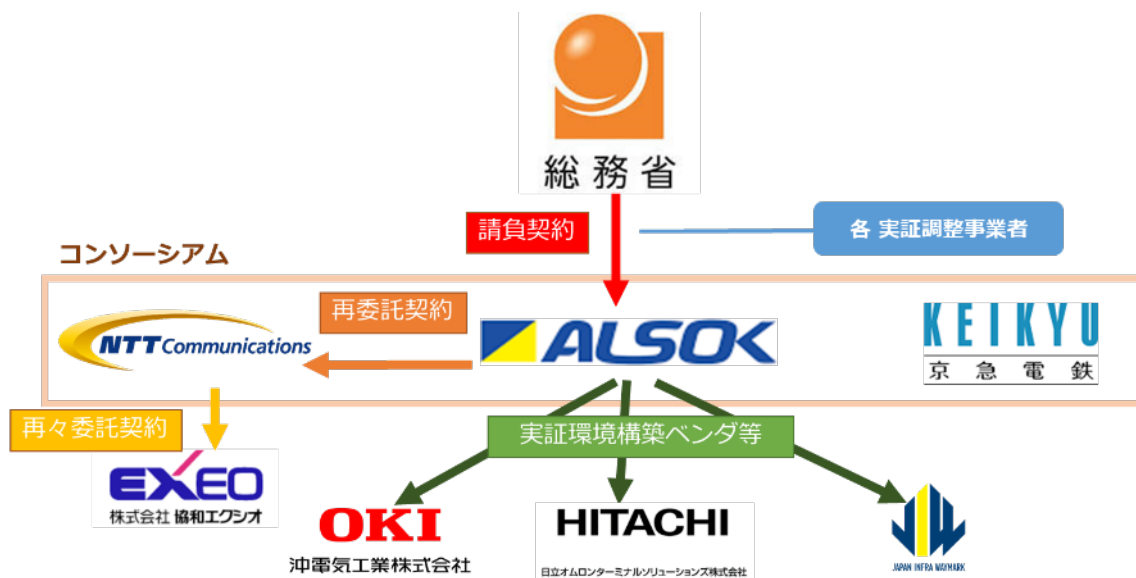


図 1.3-1 実施体制図

1.4 実証のスケジュール

1.4.1 計画の考え方

免許申請手続きの所要時間、実証フィールドにおける実証可能時間といった制約事項を勘案し、2020年内に実験試験局免許を取得、NW機器構築を構築の上、試験電波発射を完了させることとした。

2021年1月よりローカル5G技術実証を先行着手することで、実証フィールドの特性に関する知見を得ることとした。その後2月より、技術実証で得た知見をもとに、検証方法等への影響を考慮し課題解決システムの実証を行うことが可能となった。

1.4.2 スケジュール（実績）

表 1.4.2-1 スケジュール

2020/9/18	受託
2020/10/20	免許申請
2020/11/6	予備免許取得
2020/12/7	落成届提出
2020/12/21	実験試験局免許取得
2020/12/25	NW環境構築完了 @羽田空港第3ターミナル駅
2021/1/6 – 2021/1/22	技術実証 @羽田空港第3ターミナル駅
2021/2/2	課題実証システム構築完了 @羽田空港第3ターミナル駅
2021/2/5 – 2021/2/15	課題実証 @羽田空港第3ターミナル駅
2021/2/18	撤去

1.5 免許申請の概要

1.5.1 免許申請の目的

本実証は、ALSOK が受託した防犯分野におけるローカル 5 G等の技術的条件等に関する調査（電波伝搬の調査を含む）・検討を行うものである。なお、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。実験試験局を選定した理由は、実証実験であること並びに免許取得時期が本実証で利用する4.7GHz帯において制度化されていなかったためである。

1.5.2 実験内容の記載

実験内容としては、ローカル 5 Gを利用した防犯分野における実用性を評価し、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の検討を行うためとし、以下の項目を記載した。

表 1.5.2-1 実証項目

実験項目	実験内容
電波伝搬実験	4.7GHz帯の5G無線を使用し通信の安定性、遅延時間、伝搬距離の測定を行い、その実用性を検証する。カバーエリア内外での受信電力の強度を測定する。
通信品質実験	鉄道駅内の壁やエスカレータ等による見通し外エリア、閉空間によるマルチパスエリアが存在しうる、無線環境下での通信品質についての検証・評価
アプリケーション実験	実験エリアの電波環境における本無線方式での以下アプリケーションの実現可能性の評価 ・警備ロボット、警備ドローン、監視カメラと本無線通信方式での安定した通信可否の評価 ・警備ロボット、警備ドローン、監視カメラの動作状況 稼働状況の見える化

1.5.3 スケジュール

実験試験局取得のスケジュールについては、以下のスケジュールにて取得した。

表 1.5.3-1 実験試験局免許取得スケジュール

スケジュール	
2020/10/20	免許申請
2020/11/6	予備免許取得
2020/12/7	落成届提出
2020/12/21	実験試験局免許取得
2021/3/31	免許期限

1.5.4 システム構成図

1.5.4.1 本実証実験の構成

本実験試験局の構成を図 1.5.4.1-1 にて記載する。5Gcore (以下、5GC) を遠隔地に設置し、UPF 機能を具備した Light UPF を現地に設置することで、ユーザデータ通信の保護と処理速度の向上、将来的な他拠点展開 (5GC の共用化) を見据えた構成とした。

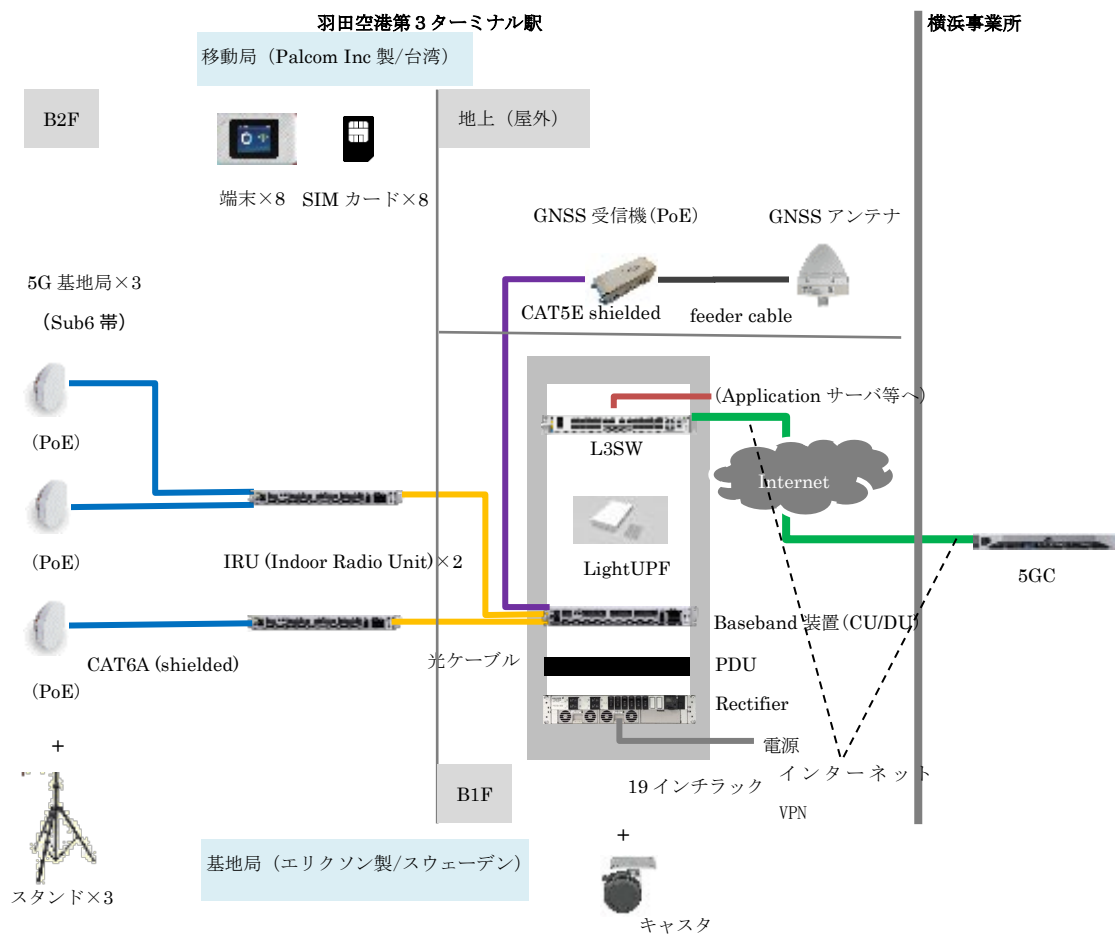


図 1.5.4.1-1 本実験試験局の構成図

1.5.4.2 セキュリティ対策

本実験試験局におけるセキュリティ対策は以下の通り実施した。

- (ア) 5GC への接続はインターネットを介するため、VPN ルータを使用した。各 VPN ルータは横浜事業所と羽田空港第3ターミナル駅 B1F に設置した。
- (イ) 基地局側での陸上移動局の認証は UDM 認証を実施した。
- (ウ) 全てのケーブルを新規に調達した。
- (エ) 機器の不正操作を防ぐため、毎実証実験後に電源を落とした。
- (オ) スタンドアロン環境のため、機器への不正ログインは想定し得ないが、不正ログインを防止する目的で、機器へのログインは Secure Shell ログインに限定した。

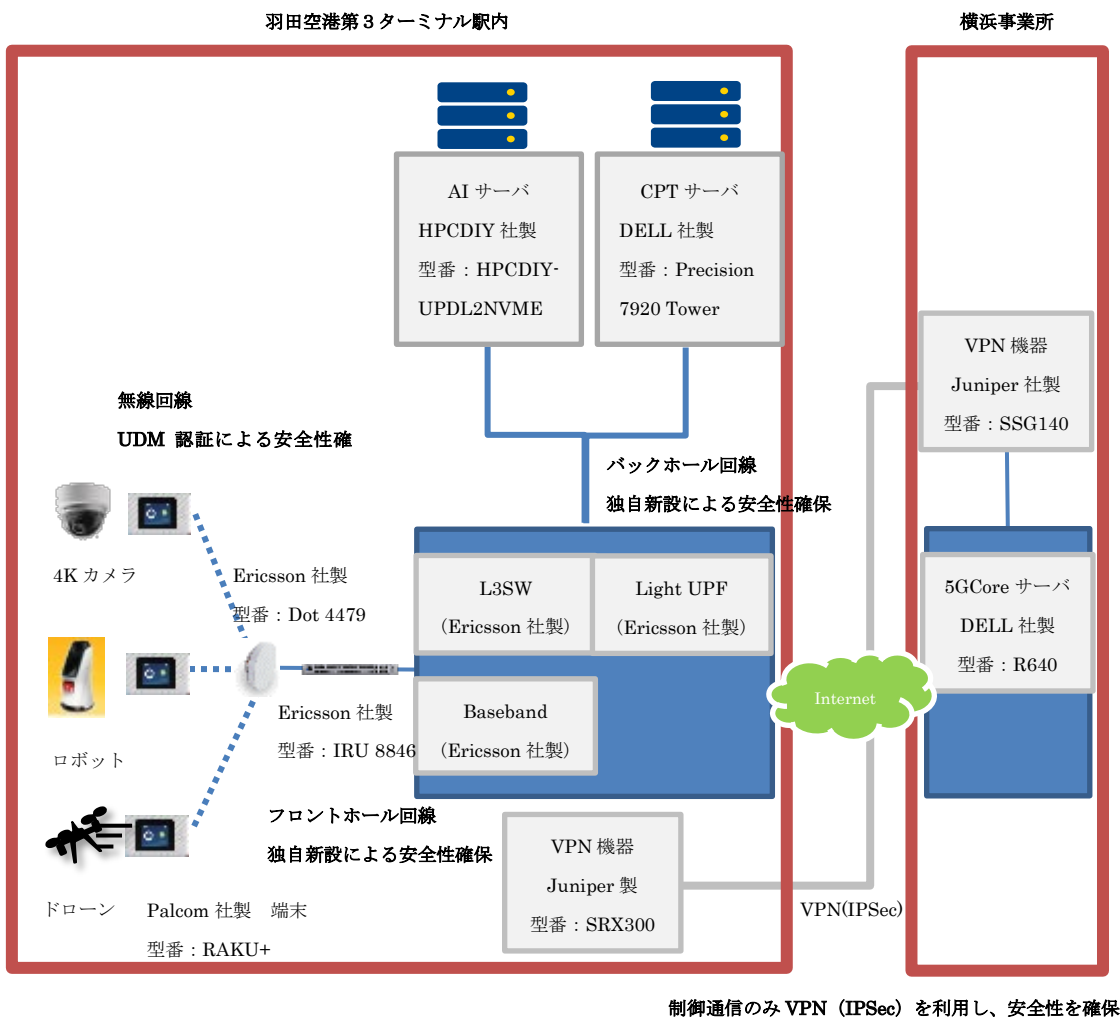


図 1.5.4.2-1 セキュリティ対策図

1.5.5 諸元

本実証システムは基地局相当の実験試験局及び陸上移動局相当の実験試験局から構成した。なお、実証に使用する装置は 3GPP 標準仕様に基づいて開発された無線装置を使用した。本実証実験では基地局は可搬型利用を想定しているため、固定局として申請せず、基地局も端末局と同様に移動局として申請した。

- ・ 基地局 (4.7GHz 帯) : 1 局 2 セクタ (3 アンテナ)
- ・ 移動局 (4.7GHz 帯) : 8 局

1.5.5.1 基地局相当の実験試験局の諸元

基地局相当の実験試験局の諸元を表 1.5.5.1-1 に示す。

表 1.5.5.1-1 基地局相当の実験試験局の主な諸元

No	項目	無線基地局
1	識別信号	けいきゅうはねだ 5G きちじっけん
2	無線局数	1
3	中心周波数	4850.01MHz
4	帯域幅	99.98MHz
5	電波の型式	99M9 X7W
6	変調方式	OFDM(一次変調 : QPSK,16QAM,64QAM,256QAM)
7	送信電力	空中線電力総和 : 3W(34.8dBm : 12TRx) 1TRx 当り : 250mW (23.98dBm)
8	給電線損失	N/A
9	空中線	空中線総数 : 3 空中線 (1 空中線当り : 4TRx)
10	空中線利得	4.0dBi
11	水平面の主輻射の角度の幅	120° (4つの 120 ビームアンテナで Omni アンテナを形成)
12	垂直面の主輻射の角度の幅	60°
13	雑音指数	9dB
14	同期条件	同期

1.5.5.2 陸上移動局相当の実験試験局の諸元

陸上移動局相当の実験試験局の諸元を表 1.5.5.2-1 に示す。

表 1.5.5.2-1 陸上移動局相当の実験試験局の主な諸元

No	項目	無線基地局
1	識別信号	けいきゅうはねだ 5G いどうじっけん 1～8
2	無線局数	8
3	中心周波数	4850.01MHz
4	帯域幅	99.98MHz
5	電波の型式	99M9 D1A、D1B、D1C、D1D、D1E、D1F、D1X、D7W、G1A、G1B、G1C、G1D、G1E、G1F、G1X、G7W
6	変調方式	OFDM(一次変調：QPSK,16QAM,64QAM,256QAM)
7	送信電力	16 dBm (39.81mW)
8	給電線損失	2dBm
9	空中線	1Tx4Rx
10	空中線利得	2.4dBi
11	水平面の主輻射の角度の幅	OMNI
12	垂直面の主輻射の角度の幅	210°
13	雑音指数	11.0dB
14	同期条件	同期

1.5.5.3 基地局相当の実験試験局の無線系統図

基地局相当の実験試験局の無線系統図を図 1.5.5.3-1 に示す。

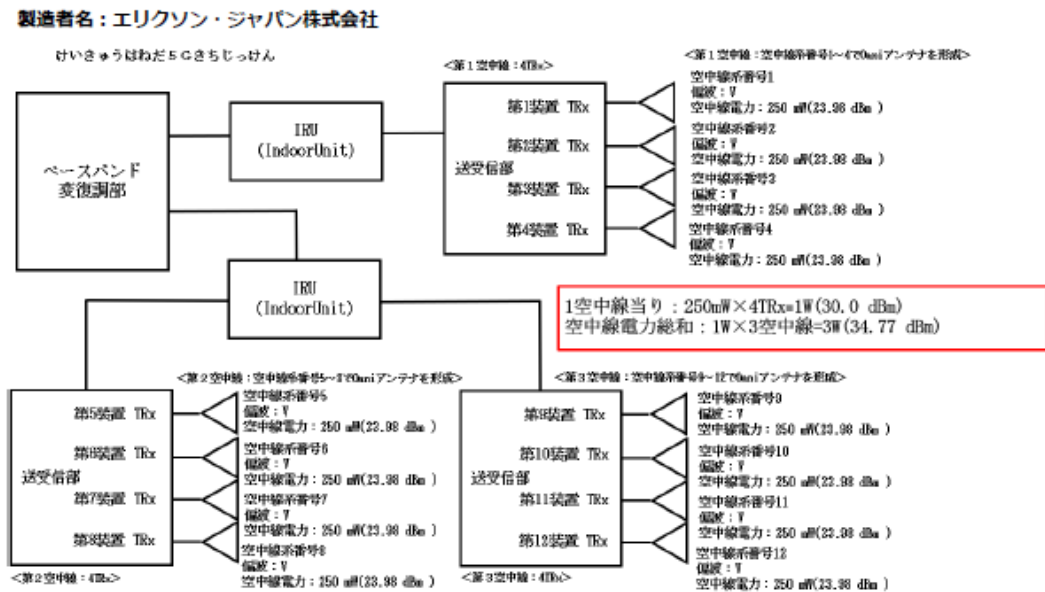


図 1.5.5.3-1 基地局相当の実験試験局 無線系統図

1.5.5.4 陸上移動局相当の実験試験局の無線系統図

陸上移動局相当の実験試験局の無線系統図を図 1.5.5.4-1 に示す。

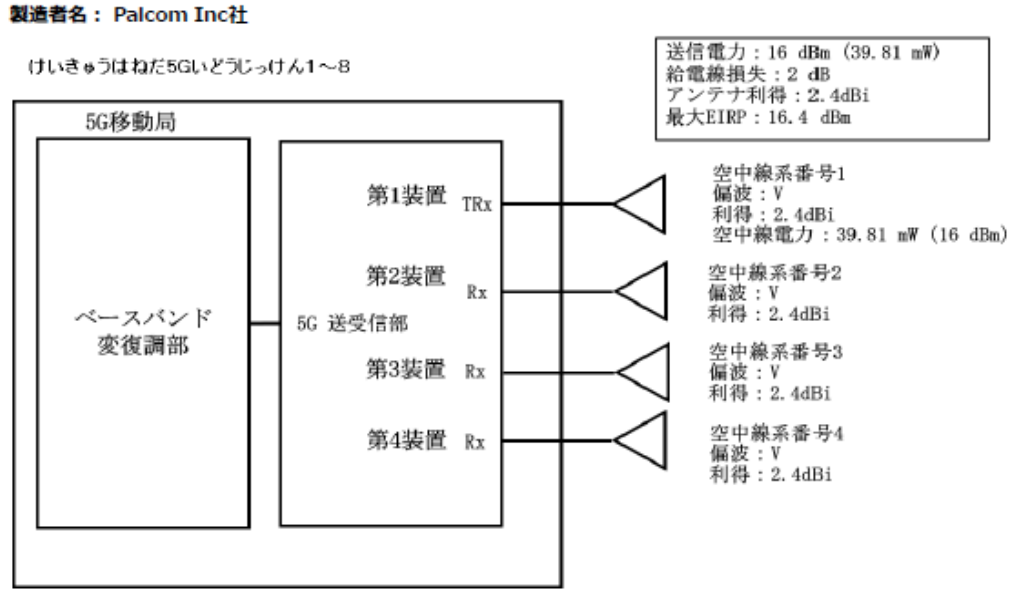


図 1.5.5.4-1 陸上移動局相当の実験試験局 無線系統図

1.5.6 希望する移動範囲

1.5.6.1 実験試験局免許申請場所

実証試験局免許申請場所として、以下の場所を申請した。

■無線設備の常置場所（屋内）

東京都大田区羽田空港 2-6-5 羽田空港第3ターミナル駅（B1F）

■移動範囲（屋内）

東京都大田区羽田空港 2-6-5 羽田空港第3ターミナル駅（2F～B2F）

なお、屋内での電波発射とし、空中線の位置については駅構内を移動させ、実施するため空欄とした。

図 1.5.6.1-1 移動範囲

移動範囲	緯度			経度			標高	空中線高
	度	分	秒	度	分	秒	(m)	(m)
羽田空港第3ターミナル駅内（2F～B2F）							5.9m	FL+4m

1.5.6.2 実験試験局免許申請場所のフロア高とアンテナ高

実験試験局免許申請場所におけるフロア高とアンテナ高を図 1.5.6.2-1 に示す。

フロア			
2F	エスカレーター	アンテナ高: 4m	アンテナ高: FL+4m FL6.35m+4m=10.35m (2Fフロア高 GLから6.35m)
1F	エスカレーター	アンテナ高: 4m	アンテナ高: FL+4m FL0.35m+4m=4.35m (1Fフロア高 GLから0.35m)
		1F 0.35m	2F 6.35m
GL 5.9m			
B1F	エスカレーター	アンテナ高: 4m	アンテナ高: FL+4m FL-5.27m+4m=-1.27m (B1Fフロア高 GLから-5.27m)
B2F	エスカレーター	アンテナ高: 4m	アンテナ高: FL+4m FL-10.51m+4m=-6.51m (B2Fフロア高 GLから-10.51m)
		B1F -5.27m	B2F -10.51m

図 1.5.6.2-1 フロア高とアンテナ高

1.5.6.3 希望する移動範囲

希望する移動範囲については図 1.5.6.3-1~図 1.5.6.3-8 に示す。

- ・ 実験場所 (2F/1F)

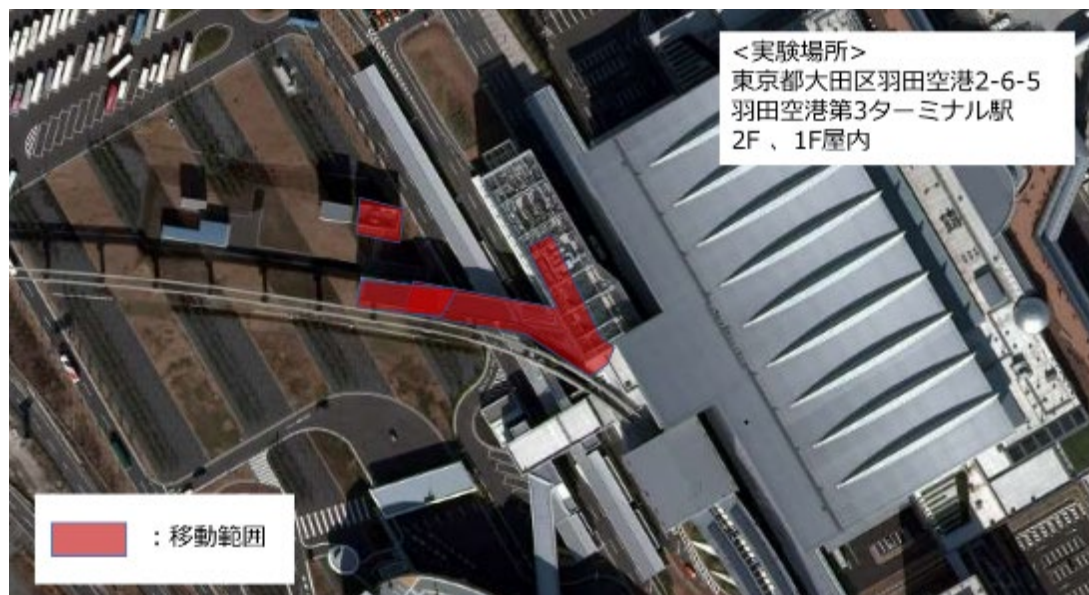


図 1.5.6.3-1 実験場所 (航空写真) 2F/1F

出所) 地図・空中写真閲覧サービス (国土地理院) のデータを加工して作成

・実験場所（B1F）

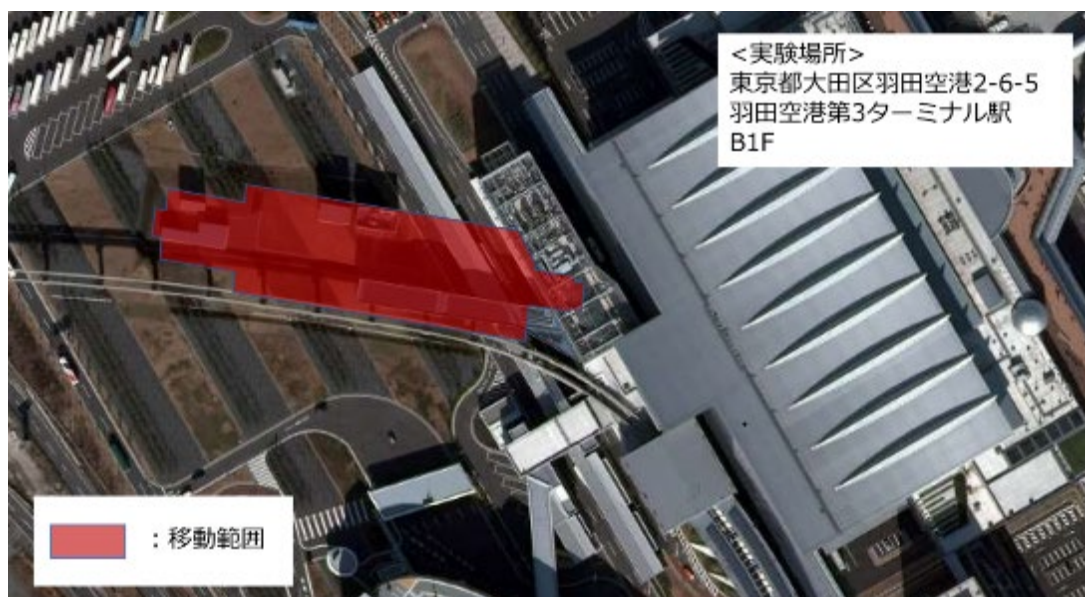


図 1.5.6.3-2 実験場所（航空写真） B1F

出所) 地図・空中写真閲覧サービス（国土地理院）のデータを加工して作成

・実験場所（B2F）

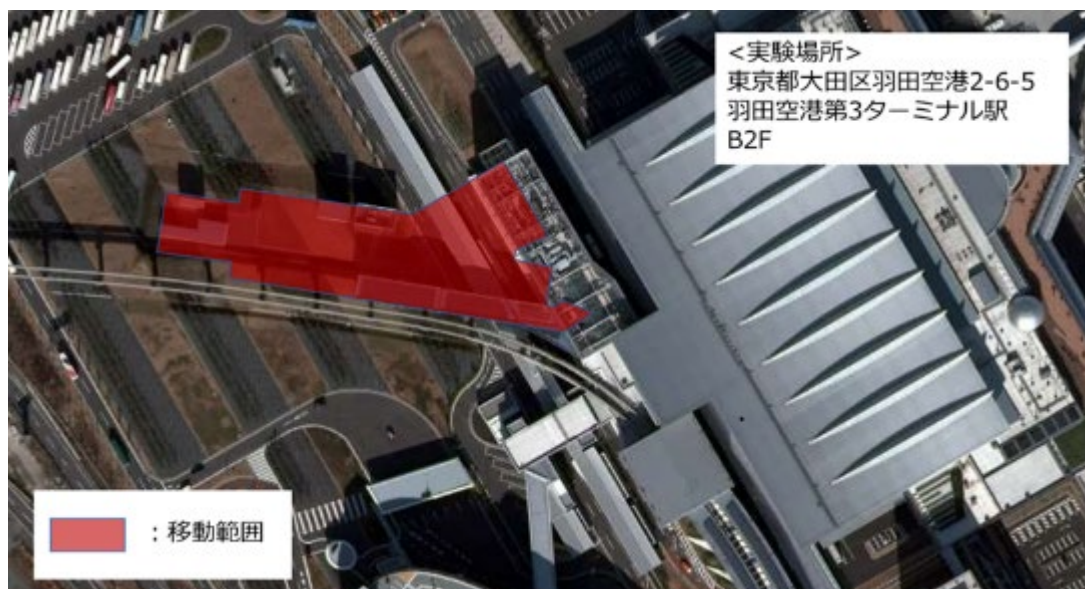


図 1.5.6.3-3 実験場所（航空写真） B2F

出所) 地図・空中写真閲覧サービス（国土地理院）のデータを加工して作成

- ・実験場所（2F）補足図面

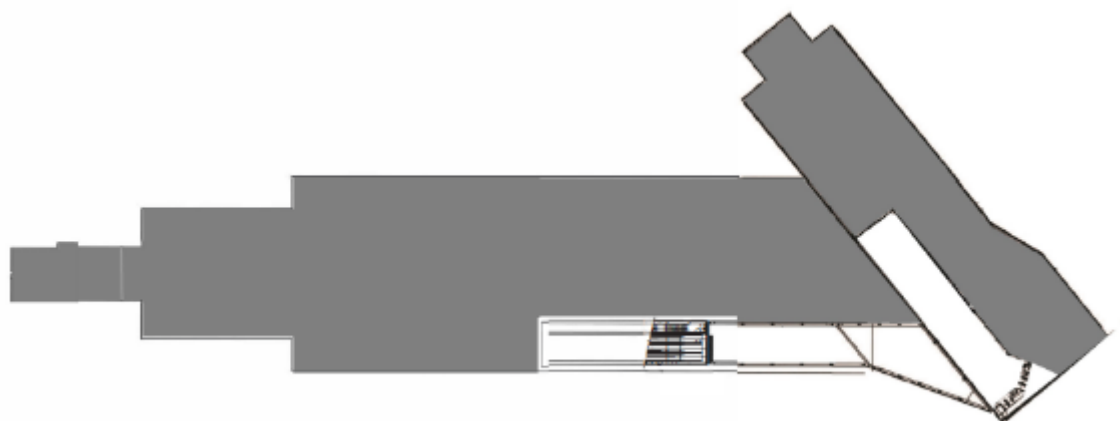


図 1.5.6.3-4 実験場所（補足図面） 2F 屋内

- ・実験場所（1F）補足図面



図 1.5.6.3-5 実験場所（補足図面） 1F 屋内

- ・実験場所（B1F）補足図面



図 1.5.6.3-6 実験場所（補足図面） B1F 屋内

- ・実験場所（B2F）補足図面

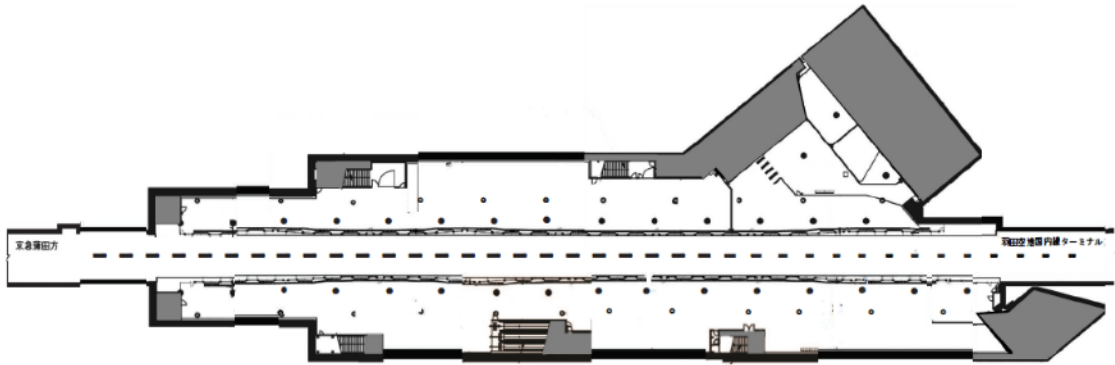


図 1.5.6.3-7 実験場所（補足図面） B2F 屋内

- ・実験場所 補足

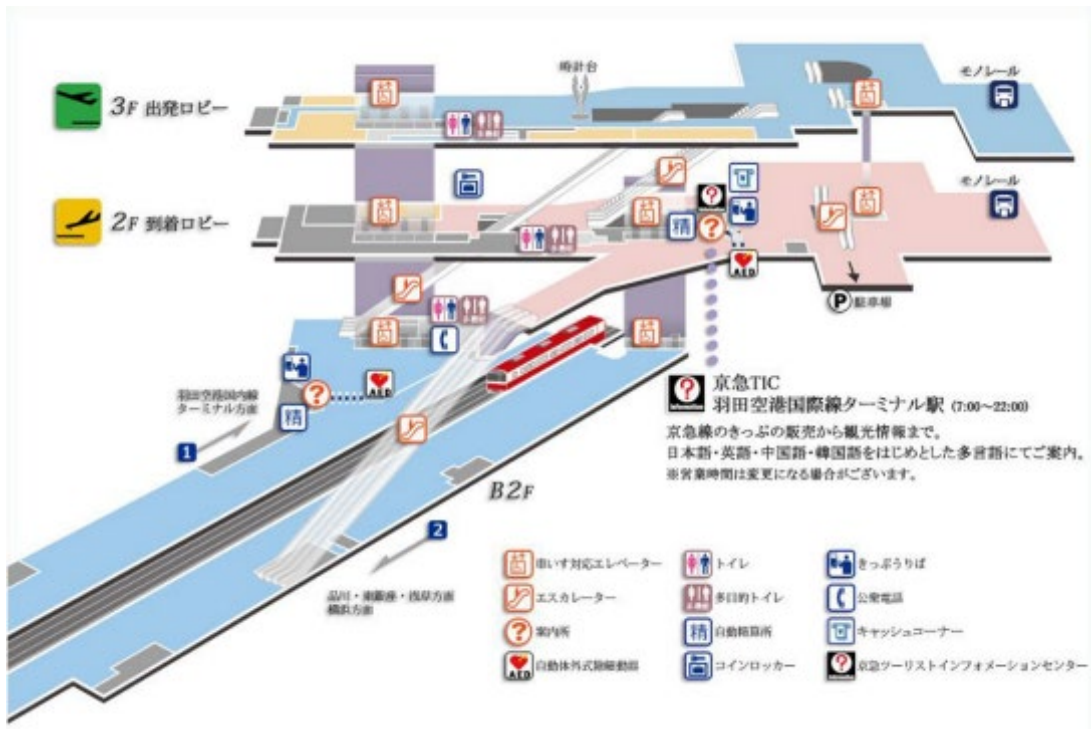


図 1.5.6.3-8 実験場所 羽田空港第3ターミナル駅マップ

1.5.7 送信電力の希望理由

回線設計において、以下の式を利用し、送信電力を算出した。

$$\begin{aligned} \text{所要送信電力} &= \text{受信機の受信感度} + \text{フェードマージン} + \text{伝搬損失} \\ &\quad - \text{送信アンテナ利得} - \text{受信アンテナ利得} \\ &\quad + \text{送信側の給電線損失} + \text{送信側のその他損失} \\ &\quad + \text{受信側の給電線損失} + \text{受信側のその他損失} \end{aligned}$$

また屋内における伝搬損失計算モデルは「電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）の一部を改正する訓令案」に基づき算出した。

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) + R$$

R：建物侵入損(16.2dB)

屋内伝搬において壁等の遮蔽物があるため、「R(建物侵入損)」を代わりに見込んでいます。

1.5.7.1 基地局相当の実験試験局の送信電力の希望理由

4.7GHz 帯 SA 構成におけるデータ通信として利用する。実験エリアにおいてスポット的な利用を勘案し、通信距離は建物内の最大距離約 174m(1Tx 当り 45.0m)を計画する。

45.0m の理由はアンテナを建物内の両端と真ん中に設置した場合、174m を 3 つの空中線 4Tx でカバーしさらに、ハンドオーバーの試験もありエリアの重なりが必要であることから、1Tx 当り 45.0m とする。

距離 45.0m における伝搬損失及び本件の送受信装置の諸元は表 1.5.7.1-1 に示す通りである。

表 1.5.7.1-1 4.7GHz 帯下り回線設計表

項目	諸元
受信機の受信感度	-84.6 dBm
フェードマージン	18 dB
距離 45.0m の伝搬損失	95.4 dB(屋内の場合)
送信アンテナ利得	4 dBi
受信アンテナ利得	2.4 dBi
送信側の給電損失	0 dB
送信側のその他損失	0 dB
受信側の給電損失	2 dB
受信側のその他損失	0 dB
所要送信電力	+24.4 dBm

上記エリアの伝搬測定を実施するためには、次式より所要送信電力が+24.4 dBm となるため、送信電力として、1Tx 当たり+24.0 dBm(250mW)を希望した。

$$\text{所要送信電力} = -84.6 + 18 + 95.4 - 4.0 - 2.4 + 0 + 0 + 2 + 0 = 24.4 \text{ dBm}$$

1.5.7.2 陸上移動局相当の実験試験局の送信電力の希望理由

4.7GHz 帯 SA 構成におけるデータ通信として利用する。移動局の伝搬距離は基地局に合わせて 45.0m とする。

距離 45.0m における伝搬損失及び本件の送受信装置の諸元は表 1.5.7.2-1 に示す通りである。

表 1.5.7.2-1 4.7GHz 帯上り回線設計表

項目	諸元
受信機の受信感度	-92.7 dBm
フェードマージン	18 dB
距離 45.0m の伝搬損失	95.4 dB(屋内の場合)
送信アンテナ利得	2.4 dBi
受信アンテナ利得	4 dBi
送信側の給電損失	2 dB
送信側のその他損失	0 dB
受信側の給電損失	0 dB
受信側のその他損失	0 dB
所要送信電力	+16.3 dBm

上記エリアの伝搬測定を実施するためには、次式より所要送信電力が+24.4 dBm となるため、送信電力として、1Tx 当たり+16.0 dBm(39.81mW)を希望した。

$$\text{所要送信電力} = -92.7 + 18 + 95.4 - 2.4 - 4.0 + 2 + 0 + 0 + 0 = 16.3 \text{ dBm}$$

1.5.8 周波数と周波数帯幅の希望理由

1.5.8.1 周波数の希望理由

本実験では 4.7GHz 帯における電波伝搬・無線性能評価を行い、防犯分野におけるローカル 5 G 等の技術的条件等に関する有効性などを検証していく必要があると考える。周波数帯域幅 100MHz に対応した装置において、通信の安定性、遅延時間、伝搬距離などの性能を評価する実験的検証を実施する。そのため、4.7GHz 帯の 4.85GHz を希望する。

1.5.8.2 周波数帯幅の希望理由

5G 仕様の 1 キャリア分の帯域幅 100MHz を使用して様々なアプリケーションの実用化検証を実施する。100MHz を利用した伝搬特性取得のための実験を行い、超高速伝送・低遅延といった性能検証を行う。

1.5.9 付帯条件

本実験で申請した周波数の使用は、他の無線局の運用に妨害を与えない場合に限ることとする。本実験における干渉調整先は NTT ドコモ社、ソフトバンク社、楽天モバイル社、

KDDI 社である。

なお、楽天モバイル社、KDDI 社については干渉調整時に特別条件がある事業者である。

■楽天モバイル社

アンテナ間で十分な離隔距離（最低 3m 以上）を確保し、工事・保守上の影響がないように配慮し、本実験で利用する基地局を設置することとする。

■KDDI 社

試験エリアに一般の方がいる時間帯は実験試験局の電波発射をしないこと。ただし、B1F の常置場所付近については、一般の方が入室不可エリアのため発射可能とする。

実験試験局の電波発射時は実験関係者に KDDI 社無線設備との通信に影響がある可能性があることを周知することとする。

実験試験局の電波発射時において、半径 6m 以内にはできるだけ近づかないこととする。万が一、KDDI 社無線設備において干渉影響が確認された際は、一旦停波し、干渉調整方法等の見直しを実施することとする。今後、KDDI 社無線局と近接する場合には個別に干渉協議を実施することとする。

1.5.10 その他

本実験で使用する 4.7GHz 帯の無線装置は全てアンテナ内蔵式であり、給電線の出力端子を外部に出すことができないため、登録点検は OTA で実施することとする。

1.5.11 次年度以降の申請対応

本実証の結果をもって、次年度以降の申請対応について検討することとする。

2. 実証地域

2.1 実証地域

2.1.1 実証地域の概要

◆実証地域

羽田空港は、日本の国際線玄関口として「都心から近く」、「24時間オープンしている」という強みを持ち、観光、産業、国際交流等の観点から空港と地域との連携を更に発展させ、地域の持続可能な発展や、世界から資金・人材・企業等を集める国際的ビジネス拠点の形成等への多大な貢献をしている。これらの役割が増加するにつれて、空港施設とそれらを接続する周辺各施設における安全安心の確保は重要な位置づけとなっている。

2.1.2 実証エリア俯瞰図

実証エリアを図 2.1.2-1 に示す。



図 2.1.2-1 実証エリア俯瞰地図

出所) 地図・空中写真閲覧サービス(国土地理院)のデータを加工して作成

2.1.3 実証場所

羽田空港国際線ターミナルビルに直結する京急電鉄の「羽田空港第3ターミナル駅」(B2F ホーム階～2F 改札階)が実証エリアである。

所在地：東京都大田区羽田空港 2-6-5 羽田空港第3ターミナル駅

2.1.4 実証エリア

実証エリアを図 2.1.4-1 に示す。

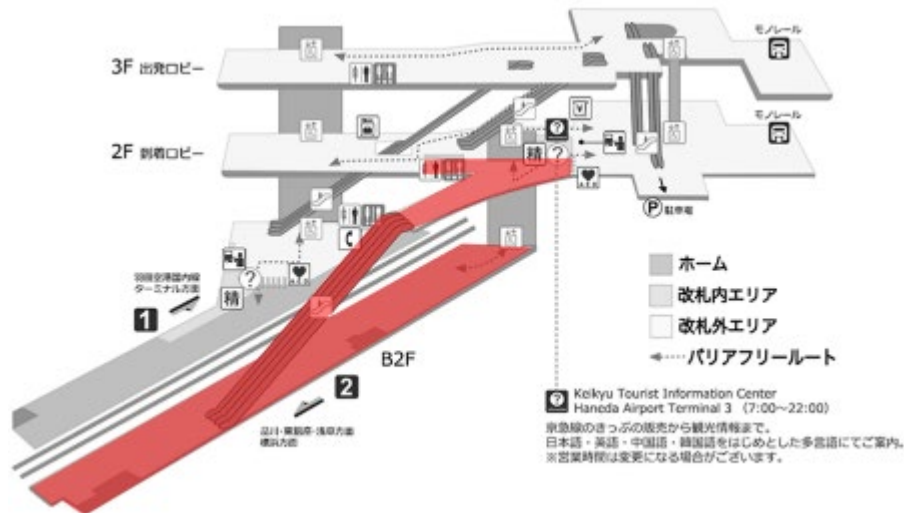


図 2.1.4-1 羽田空港第3ターミナル駅構内図

注) 赤色エリアは実証エリアを示す

2.2 実証環境

施設警備業務は、主として建物内部において行われる。本業務特有の遮蔽物の多い屋内環境において、ローカル5Gの電波伝搬特性の解明を目的とした技術実証を行うことができる。

2.3 地域課題等

2.3.1 実証場所の選定経緯

京急電鉄では、空港駅において国際的なイベント時などはもとより、あらゆる状況下で世界に誇れる安全・安定輸送を要求される重要なインフラであることから、安全安心の確保は極めて重要な課題として認識している。人口減少社会における警備業界の人員不足などの課題にも直面しており、最新技術等を取り入れ社会構造の変化に対応した警備を実現する必要性を認識し、その実現に高い期待を寄せている。これらの理由から、羽田空港第3ターミナル駅を実証場所として選定した。

また、京急電鉄は周辺エリアにおいてホテルや商業施設を展開し、「おもてなし」を発信している。羽田空港を中心とし、より一層の安全・安定輸送が保たれることで、周辺エリアひいては沿線全体への人の流れが創出され、沿線周辺地域の活性化に繋がるものと考えている。

2.3.2 警備業務への課題

- ・利用者（施設保有管理者：京急電鉄）の課題

多様化する犯罪への対応や人手不足への対応を必要とされるなか、人手不足時代に相反した従来の人的警備による対処が警備業界においては主であり、解決策を自ら持ち合わせていない。

・ 提供者（警備サービス事業者）の課題

警備事業者に対する期待とニーズは高まりつつあるものの、人手不足、人件費の高騰、優秀な人材の確保が困難となり、人手に大きく依存したサービスからの脱却が必要である。人手に偏ったサービスから脱却し、高度なサービスを提供することが求められているが、技術的課題などから事業モデルを確立できていない。

2.3.3 地域課題と課題解決システムの関係

本実証における地域課題と課題解決に用いる課題解決システムの関係性を 이슈ーツリーとして整理した。

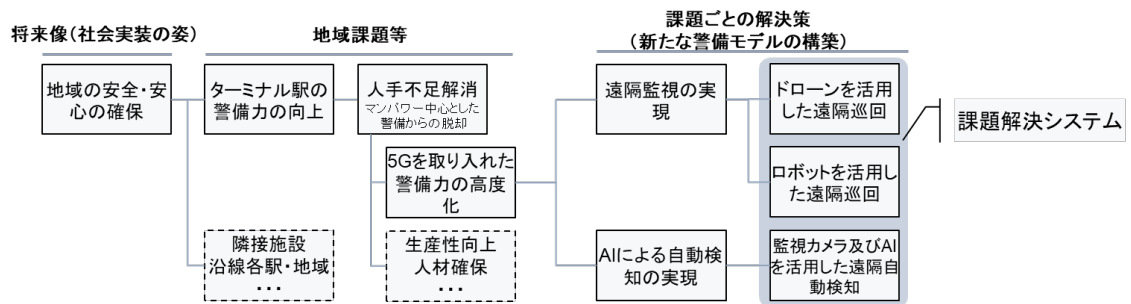


図 2.3.3-1 이슈ーツリー

3. 実証環境

3.1 ネットワーク構成

3.1.1 構築スケジュール

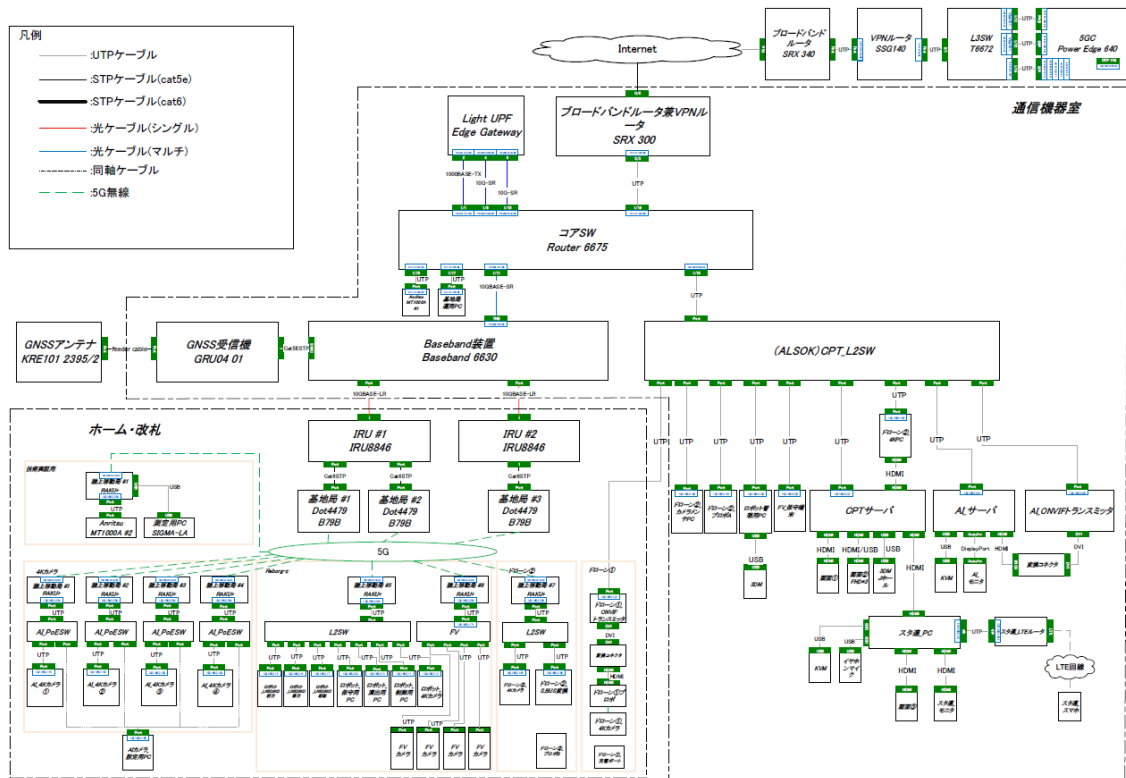
ローカル5Gシステムは以下のスケジュールにて構築を実施した。

2020年12月17日 ローカル5G機器/実証機材搬入・構築

2020年12月23日 ローカル5G電波発射及び接続確認の実施

3.1.2 ネットワーク構成図/配置図

ネットワーク構成及び各機器の配置を図 3.1.2-1 に示す。本実証においては最適なエリア設計等に係る検証を実施することから、基地局は可搬型を採用した。



3.1.3 基地局エリアカバレッジ

エリアカバレッジは、基地局の1アンテナ(図 1.5.5.3 1 基地局相当の実験試験局 無線システム図における第1~3 空中線を指す)あたり、最大通信距離 45.0m とは別に、およそ 25m 四方 (625m²) 程度を想定した。図 3.1.3-1 で赤くマーキングしたエリアをカバーすることを想定した。本実証では可搬型アンテナを利用し、各実証実験の課題ごとにアンテナの

配置が異なるため、詳細については、5章を参照することとする。

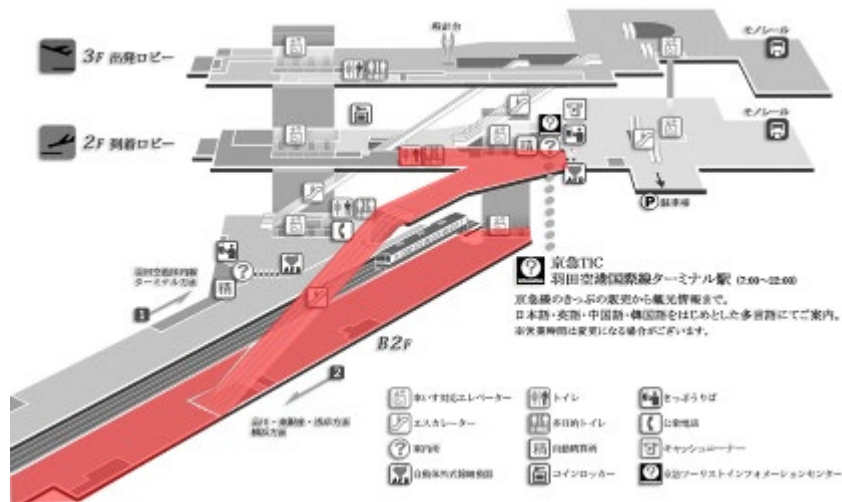


図 3.1.3-1 カバレッジエリア

3.1.4 設置環境

羽田空港第3ターミナル駅において、実証に利用するエリアを示す。なお、実験試験局免許における申請範囲においては図 3.1.4-1、図 3.1.4-3 のエリアである。また図 3.1.4-2、図 3.1.4-4、図 3.1.4-5 に各フロアの外観写真を示す。各機器の設置場所を表 3.1.4-1 に示す。ただし、アンテナについては実証毎に可搬となるため、5章に記載することとする。

(1) B1F

図 3.1.4-1 に B1F フloor図、図 3.1.4-2 に B1F 外観写真を示す。B1F には本実証における機器を常設する場所が存在し、常設場所より B1F を通じてケーブル類を敷設した。



図 3.1.4-1 B1Fフロア図



図 3.1.4-2 B1F 外観写真

(2) B2F(プラットフォーム)

図 3.1.4-3 に B2F フloor 図、図 3.1.4-4 に B2F 設置環境写真を示す。

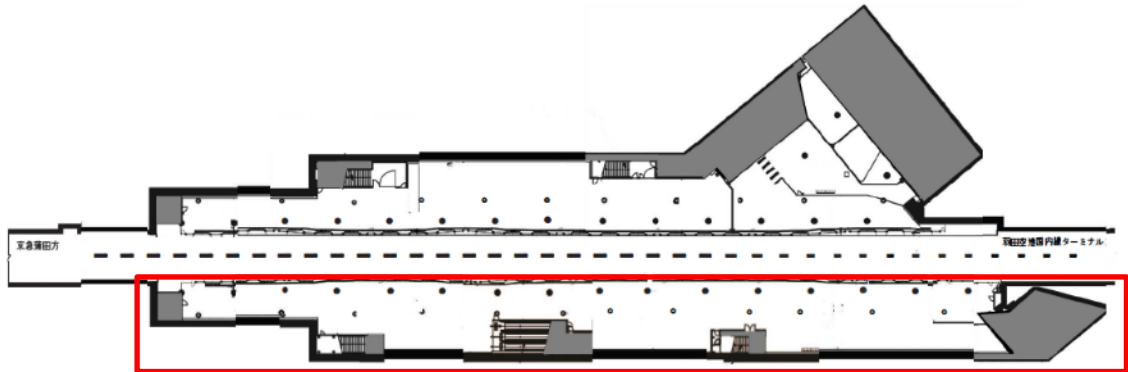


図 3.1.4-3 B2F フloor 図



図 3.1.4-4 B2F 外観写真

(3) 横浜事業所

5GC については InternetVPN を介した横浜事業所に設置した。



図 3.1.4-5 横浜事業所設置環境

(4) 2 各機器の設置場所

技術実証における各機器の設置場所を表 3.1.4-1 に示す。Dot 及び IRU の設置数量は各技術実証によって異なるため、詳細は 5 章を参照することとする。

表 3.1.4-1 各機器の設置場所

機器名称	設置数量	設置場所
UE	1	B2F 品川方面プラットホーム
Dot	1~2	B2F 品川方面プラットホーム
IRU	1~2	B2F 品川方面プラットホーム
BBU	1	B1F

L3 Switch	1	B1F
Light UPF	1	B1F
VPN R/ BB R	1	B1F
ONU	1	B1F
GNSS Receiver	1	屋外
GNSS Antenna	1	屋外
5G Core	1	横浜事業所

3.1.5 コアネットワーク性能

コアネットワークは、制御通信とデータ通信の機能を分離した 5GC と Light UPF から構成される。制御通信機能を持った 5GC は遠隔地に構築し、データ通信機能を持った Light UPF を羽田空港第3ターミナル駅 B1F に構築する。機器諸元は 3.2.3 で明記する。

3.1.5.1 同時接続数

同時接続数 (RRC connected users) は 1BBU あたり 50 ユーザとする。

3.1.5.2 最大スループット

最大スループットは、ダウンリンクは 1.5Gbps (Single user peak rate, 4 layers, 100MHz BW, 256QAM)、アップリンクは 80Mbps (Single user peak rate, 1 layer, 64QAM) とする。

3.1.6 基地局無線部特性

3.1.6.1 無線局数

無線局数は 1 局 2 セクタとし、アンテナを 3 台使用する。

3.1.6.2 利用周波数帯

4.7GHz 帯を使用する。

3.1.6.3 帯域幅

100MHz 幅利用とする。

3.1.6.4 通信方式

5 G を利用する。

3.1.6.5 システム構成

スタンドアロン構成とする。

3.1.7 端末概要

利用周波数帯 4.7GHz 帯かつスタンドアロン構成に対応した端末を 8 局使用する。機器諸元は 3.2.3 で明記する。

3.2 システム機能・性能・要件

3.2.1 通信性能

3.2.1.1 スループット

本実証における最大スループット理論値は、以下の通りとする。

- ・ダウンリンク：1.5Gbps (Single user peak rate, 4 layers, 100MHz BW, 256QAM)
- ・アップリンク：80Mbps (Single user peak rate, 1 layer, 64QAM)である。

3.2.1.2 遅延

本実証における遅延理論値は、以下のとおりとする。

5G 陸上移動局から Light UPF までの応答平均は約 10ms である。

3.2.2 機器一覧

3.2.2.1 ネットワーク構成機器

使用するネットワーク構成機器を表 3.2.2.1-1 示す。

表 3.2.2.1-1 機器一覧

項番	システム名	メーカー名	型式	数量
1	5GC	Dell	Power Edge R640	1
2	L3SW	Ericsson	Router 6675	1
3	Light UPF	Ericsson	Edge Gateway	1
4	Baseband 装置	Ericsson	BB6630	1
5	IRU	Ericsson	IRU8846	2
6	5G アンテナ	Ericsson	Dot4479 B79B	3
7	5G 陸上移動局	Palcom	RAKU+	8
8	PDU	Ericsson	PDU02 02	1
9	Rectifier	Kikusui	PWX1500ML	1
10	GNSS 受信機	Ericsson	GRU 04 01	1
11	GNSS Receiver アンテナ	Ericsson	Robust GNSS Active Antenna	1
12	ブロードバンドルータ兼 VPN 終端装置 (B1F 側)	Juniper	SRX300	1
13	VPN 終端装置 (横浜事業所側)	Juniper	SSG140	1

3.2.2.2 課題実証構成機器

以下に各機器構成の一覧を示す。各機器の機能・性能要件については、機器諸元として後方に記載する。

(1) ドローン

本検証では、2台の異なる機能を有するドローン（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）を使用した。現時点では、2台のドローンの機能を一体化したドローン開発が開発期間、コスト、搭載機器の重量などの理由により困難であることから、下記に示すそれぞれの機能について個別に検証を行い、将来的に両機能を連携させ実装した場合を想定した。

1) ドローン①

使用する構成機器を表 3.2.2.2-1 に示す。

表 3.2.2.2-1 機器一覧

項番	名称	型式	メーカー	数量
1	ドローン①（自律飛行）	Skydio J2	Skydio	1台
2	操作器（プロポ）	上記付属品	Skydio	1台
3	バッテリー	上記付属品	Skydio	1台
4	自動離発着ポート	上記付属品	Skydio	1機

2) ドローン②

使用する構成機器を表 3.2.2.2-2 に示す。

表 3.2.2.2-2 機器一覧

項番	名称	型式	メーカー	台数
1	ドローン②（ローカル5G対応）	—	ジャパン・インフラ・ウェイマーカー	1台
2	操作器（プロポ）	上記付属品	フタバ	1台
3	緊急用操作器（サブプロポ）	上記付属品	フタバ	1台
4	SBUS-IP変換機	上記付属品	フタバ	2台
5	4Kカメラ	上記付属品	アサヒ電子研究所	1台
6	ワイヤ付き釣り竿	上記付属品	TBD	1台
7	バッテリー	上記付属品	TBD	1台

(2) ロボット

使用する構成機器を表 3.2.2.2-3 に示す。

表 3.2.2.2-3 機器一覧

項番	名称	型式	メーカー	数量
1	ロボット	REBORG-Z	ALSOK	1台
2	4Kカメラ	WV-S2570LNJ	Panasonic	1台
3	FV制御装置		沖電気工業	1台
4	FV用周辺カメラ		沖電気子業	1台
5	ポータブルバッテリー	TL108OR	Jackery	1台

(3) 監視カメラ及びAI

使用する構成機器を表 3.2.2.2-4 に示す。

表 3.2.2.2-4 機器一覧

項番	名称	型式	メーカー	数量
1	AIサーバ	UA9C-R39	サードウェーブ	1
2	ONVIF トランスミッタ	NVT-DVI	Carina	1
3	4Kカメラ	DS-2CD2786G2-IZS	HIKVISION	4
4	ポータブル電源	ポータブル電源 240	Jackery	4
5	PoE ハブ	BS-GSL2005P	BUFFALO	4

3.2.3 機器諸元

3.2.3.1 ネットワーク構成機器

1. 【5GC】

5GC の諸元を示す。



表 3.2.3.1-1 5GC サーバ機器諸元

項目	詳細
メーカー	Dell
型式	Power Edge R640
フォワーディング速度	8Gbps
IPv6 対応可否	未対応
インターフェース	4 x 1 GbE 2 x 10 GbE + 2 x 1 GbE 4 x 10 GbE 2 x 25 GbE
寸法	(W)482.0mm x (D)808.5mm x (H)42.8mm
重量	21.9kg
ラック搭載可否	可
19inch ラックマウント搭載サイズ	1U
消費電力	750W
電源	冗長電源
動作温度	10℃～35℃
MTBF	127,000 時間

2. 【L3SW】

L3SW の諸元を示す。



表 3.2.3.1-2 L3SW 機器諸元

項目	詳細
メーカー	Ericsson
型式	Router6675
スイッチファブリック	320G
フォワーディング速度	320 Gbps throughput with full duplex
IPv6 対応可否	対応
インターフェース	24 x GE / 10GE SFP+ ports 4 x QSFP28 ports (4x 10GE/4 x 25GE/1x 40GE/1x 100GE)
寸法	(W)442.8mm x (D)315.0mm x (H)43.6mm
重量	8kg
ラック搭載可否	可
19inch ラックマウント搭載サイズ	1U
消費電力	225W
電源	DC/冗長電源
動作温度	-40℃～65℃
MTBF	非公開

3. 【Light UPF】

Lighth UPF の諸元を示す。



表 3.2.3.1-3 Light UPF 機器諸元

項目	詳細
メーカー	Ericsson
型式	Edge Gateway
フォワーディング速度	6-7Gbps
IPv6 対応可否	未対応
インターフェース	2 x 10GE SFP+ ポート 1 x 1G RJ45 (固定ポート)
寸法	(W)218.0mm x (D)128.0mm x (H)34.0mm
重量	0.6kg
ラック搭載可否	可
19inch ラックマウント搭載サイズ	デスクトップタイプ
消費電力	10W
電源	AC 100V
動作温度	10°C~35°C
MTBF	トライアル用のため非公開

※開発中製品のため、外観・諸元等の仕様が今後変更になる可能性があります。

4. 【Baseband 装置】

Baseband 装置の諸元を示す。



表 3.2.3.1-4 Baseband 装置機器諸元

項目	詳細
メーカー	Ericsson
型式	BB6630
IPv6 対応可否	プロトタイプ品のため未検証
インターフェース	-
寸法	(W)482.6mm x (D) 350.0mm x (H) 44.5mm
重量	6.5kg
ラック搭載可否	可
19inch ラックマウント搭載サイズ	1U
消費電力	180W
電源	DC -48V
動作温度	0°C~55°C
MTBF	非公開

5. 【IRU】

IRU の諸元を示す。



表 3.2.3.1-5 IRU 機器諸元

項目	詳細
メーカー	Ericsson
型式	IRU8846
IPv6 対応可否	プロトタイプ品のため未検証
インターフェース	-
寸法	(W)482.6mm x (D) 347.0mm x (H) 70.0mm
重量	8.6kg
ラック搭載可否	可
19inch ラックマウント搭載サイズ	1.5U
消費電力	510W
電源	AC 100V or DC -48V
動作温度	5°C~55°C
MTBF	非公開

6. 【5G アンテナ】

5G アンテナの諸元を示す。



表 3.2.3.1-6 Dot 機器仕様

項目	詳細
メーカー	Ericsson
型式	Dot4479 B79B
IPv6 対応可否	-
インターフェース	-
寸法	(W)200mm x (D)200mm x (H) 53mm
重量	3kg
ラック搭載可否	不可
19inch ラックマウント搭載サイズ	-
消費電力	Max250mW(24dBm)/port Min25mW(4x14dBm)/port
電源	-
動作温度	5℃～40℃
MTBF	プロトタイプ品のため非公開
アンテナ	4TRx
周波数帯域	4800Mhz - 4900Mhz
帯域幅	100MHz
変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM

※開発中製品のため、外観・諸元等の仕様が今後変更になる可能性があります。

7. 【5G 陸上移動局】

5G 陸上移動局端末の諸元を示す。



表 3.2.3.1-7 5G 陸上移動局仕様

項目	詳細
メーカー	Palcom
型式	RAKU+
IPv6 対応可否	対応
インターフェース	RJ45 イーサネット (1000BASE-T)
寸法	(W)119.0mm x (D)23.5mm x (H)72.0mm
重量	0.3kg
ラック搭載可否	不可
19inch ラックマウント搭載サイズ	-
消費電力	5300mAh (バッテリー)
電源	-
動作温度	-10℃～55℃
MTBF	非公開
アンテナ	1Tx4Rx
サポート Band	5G: n79/n257 LTE:B38/B41
帯域幅	40/50/60/100MHz
変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM

8. 【PDU】

PDU の諸元を示す。



表 3.2.3.1-8 PDU 機器仕様

項目	詳細
メーカー	Ericsson
型式	PDU02 02
IPv6 対応可否	未対応
インターフェース	-
寸法	(W)482.6mm x (D)200.0mm x (H)21.4mm
重量	4kg
ラック搭載可否	可
19inch ラックマウント搭載サイズ	1U
消費電力	-
電源	-
動作温度	-40℃～60℃
MTBF	-

9. 【Rectifier】

Rectifier の諸元を示す。



表 3.2.3.1-9 Rectifier 機器仕様

項目	詳細
メーカー	Ericsson
型式	PDU02 02
IPv6 対応可否	未対応
インターフェース	-
寸法	(W)482.6mm x (D)200.0mm x (H)21.4mm
重量	4kg
ラック搭載可否	可
19inch ラックマウント搭載サイズ	1U
消費電力	-
電源	-
動作温度	-40℃～60℃
MTBF	-

10. 【GNSS 受信機】

GNSS 受信機の諸元を示す。



表 3.2.3.1-10 GNSS 受信機

項目	詳細
メーカー	Ericsson
型式	GRU 04 01
IPv6 対応可否	-
インターフェース	-
寸法	(W)37.0mm x (D) 103.0mm x (H) 32.0mm
重量	0.113kg
ラック搭載可否	不可
19inch ラックマウント搭載サイズ	-
消費電力	-
電源	-
動作温度	-40℃～65℃
MTBF	-

11. 【GNSS アンテナ】

GNSS Receiver アンテナの諸元を示す。



表 3.2.3.1-11 GNSS Receiver アンテナ機器仕様

項目	詳細
メーカー	Ericsson
型式	Robust GNSS Active Antenna
IPv6 対応可否	-
インターフェース	-
寸法	(W)77.0mm x (D)77.0mm x (H)74.0mm
重量	0.3kg
ラック搭載可否	不可
19inch ラックマウント搭載サイズ	-
消費電力	180W
電源	-
動作温度	-40℃～55℃
MTBF	-

12. 【ブロードバンドルータ兼VPN 終端装置 (B1F 側)】

羽田空港第3ターミナル駅通信機器室に設置するVPNルータの諸元を示す。



表 3.2.3.1-12 VPN 終端装置 (B1F 側) 機器仕様

項目	詳細
メーカー	Juniper
型式	SRX300
IPv6 対応可否	-
インターフェース	2 x 10/100/1000BASE-T 2 x SFP
IPsec VPN スループット(最大)	300Mbps
寸法	(W)320.8mm x (D)191.0mm x (H)34.7mm
重量	1.98 kg
ラック搭載可否	可
19inch ラックマウント搭載サイズ	1U
消費電力	24.9W
電源	シングル
動作温度	0°C~40°C
MTBF	-

13. 【VPN 終端装置（横浜事業所側）】

横浜事業所に設置する VPN 終端装置の諸元を示す。



表 3.2.3.1-13 VPN 終端装置（横浜事業所側）機器仕様

項目	詳細
メーカー	Juniper
型式	SSG140
IPv6 対応可否	対応
インターフェース	8 x 10/100BASE-TX 2 x 10/100/1000BASE-T
VPN パフォーマンス	100Mbps
寸法	(W)444.5mm x (D)381.0mm x (H)44.5mm
重量	4.63 k g
ラック搭載可否	可
19inch ラックマウント搭載サイズ	1U
消費電力	-
電源	AC
動作温度	0°C~50°C
MTBF	140,160 時間

3.2.3.2 課題実証構成機器

(1) ドローン

1. 【ドローン①（自律飛行）】

ドローン①（自律飛行）の諸元を示す。



表 3.2.3.2-1 ドローン①（自律飛行）機器仕様

項目	詳細
メーカー	Skydio
型式	Skydio J2
バッテリーあり外形寸法	(L)223×(W)273×(H)74 mm
バッテリーなし外形寸法	(L)223×(W)273×(H)43 mm
質量（バッテリー含む）	775g
飛行時間	23 分
最大飛行速度（海拔、無風）	36mph
最大風速抵抗	25mph
最大飛行高度	1,640Ft
動作温度範囲	-5°C～40°C
ポート充電時最大消費電力	1,500W

表 3.2.3.2-2 ドローン①（自律飛行）付属機器内訳

機器内訳	数	詳細
操作器（プロポ）	1	
バッテリー	1	
自動離発着ポート	1	寸法：(L)410×(W)365×(H)1,800 mm

2. 【ドローン②（ローカル5G対応）】

ドローン②（ローカル5G対応）の諸元を示す。



表 3.2.3.2-3 ドローン②（ローカル5G対応）機器仕様

項目	詳細
メーカー	ジャパン・インフラ・ウェイマーク
型式	J-Multicopter06
寸法	幅（モーター軸間）670mm、長さ 685mm
質量（バッテリー含む）	2.3kg
飛行時間	6分
障害物検知	TOF センサー水平 8 方向
高度検知	TOF センサー垂直 2 方向
位置検知	オプティカルフローセンサー
バッテリー充電時消費電力	100W

表 3.2.3.2-4 ドローン②（ローカル5G対応）付属機器内訳

機器内訳	数	詳細
プロポ	1	遠隔操作用
サブプロポ	1	緊急時操作用
SBUS-IP 変換機	2	SBUS→IP 変換、IP→SBUS 変換用
4K カメラ	1	4K 映像（3,840×2,160）ストリーミング（H.264 圧縮）
ワイヤ付き釣り竿	1	緊急時安全対策用
バッテリー	1	

(2) ロボット

1. 【ロボット】

ロボットの諸元を示す。



表 3.2.3.2-5 ロボット機器仕様

項目	詳細
メーカー	ALSOK
型式	REBORG-Z 改
外形寸法 (標準時)	直径 700 mm、高さ 1,530 mm
外形寸法 (FV 対応カスタマイズ時)	直径 780 mm、高さ 1,600 mm
質量 (バッテリー含む)	180kg
周囲温度範囲	動作時：5℃~35℃、非動作時：0℃~40℃
相対湿度範囲	動作時：85%以下、非動作時：90%以下
使用場所	屋内／条件付き屋外
耐用年数	7年
防塵防水	IP54 相当
連続走行時間	2 時間
充電時間	1 時間
最高速度	4.6km/h
登坂能力	±5 度
走行経路幅	通常：1,800 mm以上、ゲート：900 mm以上
タッチパネルモニタ	18.5 型液晶パネル、画素数：1,920×1,080

2. 【4K カメラ】

4K カメラの諸元を示す。



表 3.2.3.2-6 4K カメラ機器仕様

項目	詳細
メーカー	Panasonic
型式	WV-S2570LNJ
寸法	最大径：φ154 mm、高さ：103 mm、ドーム径：42 mm
質量	約 1.2 kg
周囲温度範囲	通常時：-40℃～60℃、電源投入時：-30℃～60℃
相対湿度範囲	10%～100%（結露しないこと）
防塵防水	IP66 相当
撮像素子/有効画素数	約 1/1.8 型 CMOS センサー／約 840 万画素
走査面積/走査方式	7.68 mm (H) × 4.32 mm (V) ／プログレッシブ
ネットワーク	10BASE-T／100BASE-TX、RJ45 コネクター
画像圧縮方式	H.265／H.264／JPEG (MJPEG)

3. 【FV 制御装置】

FV 制御装置の諸元を示す。



表 3.2.3.2-7 FV 制御装置機器仕様

項目	詳細
メーカー	沖電気工業
型式	—
寸法	360(W)×230(D)×75(H)
質量	7.0 kg
動作温度範囲	-30℃~60℃
電源電圧	12/24V DC
消費電力	45W(動作時)/2.6W(待機時)
防水防塵	IP66 相当
カメラ入力	4Ch
モニタ出力	1Ch
圧縮方式	H.264
接点入力	4Ch

4. 【FV 用周辺カメラ】

FV 用周辺カメラの諸元を示す。



表 3.2.3.2-8 FV 用周辺カメラ機器仕様

項目	詳細
メーカー	沖電気工業
型式	—
寸法	23(W)×23(D)×28.4(H)mm
質量	TBD
解像度	HD(1280×800)
画角	水平 192.8° /垂直 129.8°
インターフェース	FPD-Link III
動作温度範囲	-30℃~85℃
防水防塵	IP67 相当

5. 【ポータブルバッテリー】

ポータブルバッテリーの諸元を示す。



表 3.2.3.2-9 ポータブルバッテリー機器仕様

項目	詳細
メーカー	多摩電子工業
型式	TL108OR
寸法	215(W)×160(D)×192(H)
質量	2.7 kg
充電電池タイプ	リチウムイオン充電電池
充電電池容量	202Wh/54,600mAh (3.7V 換算)
入力	DC12V~24V/2A
出力	AC コンセント(100V 1.2A) : 2 口 USB-C ポート(PD27W) : 1 口 USB-A ポート(2.4A) : 3 口 DC ポート(12V/5A) : 2 口 シガーソケット : 1 口
AC 蓄電時間	約 8 時間
動作保証温度	0℃~45℃

(3) 監視用カメラ及び AI

1. 【AI サーバ】

AI サーバの諸元を示す。



表 3.2.3.2-10 AI サーバ機器仕様

項目	詳細
メーカー	サードウェーブ
型式	Galleria UA9C-R39
CPU	Intel Core i9-10900K
グラフィック機能	NVIDIA CeForce RTX3090 24GB GDDR6X
メモリ	32GB DDR4 SDAM
容量	SSD 1TB HDD 2TB
OS	Ubuntu Linux 20.04
ミドルウェア	非公開
インターフェース	ギガビット LAN ポート×1 USB 3.2Gen1 × 6 USB 3.2× 2 USB 2.0× 2
寸法	(W)220mm x (D)440mm x (H)480mm
重量	14kg
消費電力	850W
電源	AC100V

2. 【4K カメラ】

4K カメラの諸元を示す。



表 3.2.3.2-11 固定監視カメラ機器仕様

項目	詳細
メーカー	HIKVISION
型式	DS-2CD2786G2-IZS
イメージセンサ	1/2.5" プログレッシブスキャン CMOS
最低照度	カラー : 0.01Lux 白黒 : 0.014Lux
シャッタースピード	1/3 ~ 1/100,000s
焦点距離	2.8 ~ 12mm
絞り	F1.4
FOV	水平画角 : 120 ~ 36° 垂直画角 : 62 ~ 20.5°
解像度	最大 3840×2160
ビデオ圧縮	H.265+ / H.265 / H.264+ / H.264
最大ビットレート	32kbps~16Mbps
ネットワークプロトコル	ONVIF(Profile S, G), PSIA, CGI, ISAPI
ネットワークインターフェース	RJ45×1 (10M / 100M)
寸法	φ 153.4mm x (H)133.1mm
重量	1287g
消費電力	12VDC, 0.95A (最大 11.5W) PoE, 0.1~0.3A(最大 12.9A)
電源	12VDC, PoE(802.3af)
保護レベル	IP67, IK10
動作温度	-30℃~60℃ (湿度 95%以下)

3. 【ONVIF トランスミッタ】

ONVIF トランスミッタの諸元を示す。



表 3.2.3.2-12 ONVIF トランスミッタ機器仕様

項目	詳細
メーカー	Carina
型式	NVT-DVI
デジタル映像入力	DVI-I 1ポート 1920×1080 59.94p/60p/50p 1920×1080 59.94i/60i/50i 1280×720 59.94p/60p/50p NTSC(480i) PAL(576i)、など
デジタル映像出力 (スルー)	DVI-I 1ポート
音声入力端子	ステレオミニ×1
ネットワークインターフェース	RJ-45 モジュラコネクタ×1 10Base-T, 100Base-T, 1000Base-T
エンコードフォーマット	映像： 圧縮方式 H.264, MotionJPEG 解像度 1920×1080, 1280×720 640×480, 640×360、など 音声： 圧縮方式 AAC/G.711
寸法	(W)170mm x (D)120mm x (H)34mm
重量	約 510kg
消費電力	最大 18W
電源	アダプタ：AC100V (50/60Hz) 本体：DC12V
動作温度	5℃～40℃ (湿度 20～80%)

4. 【ポータブル電源】

ポータブル電源の諸元を示す。



表 3.2.3.2-13 ポータブル電源機器仕様

項目	詳細
メーカー	Jackery
型式	ポータブル電源 240
容量	16.8Ah / 14.4V (241.9Wh)
DC 入力	12V, 3.5A
AC 出力	100V-2A,60Hz, 200W (瞬間最大 400W)
寸法	(W)230mm x (D)133.2mm x (H)167.3mm
重量	3.2kg
バッテリー	リチウムイオン
使用回数	500 回以上
動作温度	-10℃～40℃

5. 【PoE ハブ】

PoE ハブの諸元を示す。



表 3.2.3.2-14 PoE ハブ機器仕様

項目	詳細
メーカー	BUFFALO
型式	BS-GSL2005P
伝送速度	10Mbps(10BASE-T), 100Mbps(100BASE-T) 1000Mbps(1000BASE-T)
ポート数	5ポート (うち PoE 対応 4 ポート)
PoE 規格	IEEE802.3af(PoE), IEEE802.3at(PoE+)
PoE 給電機能	各ポート : 最大 30W 最大供給電源 : 60W
寸法	(W)200mm x (D)161mm x (H)41mm
重量	1.3kg
消費電力	最大 73W
電源	100V 50/60Hz
動作温度	0°C~50°C (湿度 10~85%)

3.2.4 セキュリティ対策

セキュリティ対策については以下のことを実施した。

- (ア) 5GC への接続はインターネットを介するため、VPN ルータを使用する。各 VPN ルータは Ericsson 横浜オフィスと羽田空港第3ターミナル駅通信機器室に設置する。
- (イ) 陸上移動局は UDM 認証を採用する。
- (ウ) 全てのケーブルを新規に調達する。
- (エ) 機器の不正操作を防ぐため、毎実証実験後に電源を落とす。
- (オ) スタンドアロン環境のため、機器への不正ログインは想定し得ないが、不正ログインを防止する目的で、機器へのログインは Secure Shell ログインに限定する。

3.3 実証環境の運用

3.3.1 実証関係者へのレクチャ

技術実証及び課題実証を実施するにあたり、実証前に関係者に対して研修を実施した。

3.3.1.1 技術実証に関する研修

技術実証を円滑に進めるため、表 3.3.1.1-1 のとおり実証関係者へレクチャした。

表 3.3.1.1-1 技術実証レクチャ

日付	説明者	対象者	内容
令和2年 12月17日	NTTCom 京急	協和エクシオ エリクソン・ジャ パン	・ 機器搬入位置・方法の説明
令和2年 12月17日	エリクソン・ ジャパン	協和エクシオ NTTCom	・ 5G 基地局配線・構築手順の説明
令和2年 12月18日	エリクソン・ ジャパン	協和エクシオ NTTCom	・ セルの開放・閉塞方法について説明（ただし、無線従事者選任届に記載した者に限り、本日付においては電波の発射は実施しない） ・ 基地局の状態確認について説明
令和2年 12月18日	NTTCom	協和エクシオ	・ 陸上移動局操作方法について説明
令和2年 12月23日	エリクソン・ ジャパン	協和エクシオ NTTCom	・ 5G 機器の起動～電波発射～状態確認～閉塞、機器シャットダウンまでの一連の説明
令和2年 12月23日	NTTCom	協和エクシオ	・ 実証実験本番を想定した配線ルートの説明

3.3.1.2 課題実証に関する研修

課題実証を円滑に進めるため、表 3.3.1.2-1 のとおり実証関係者へレクチャした。

表 3.3.1.2-1 課題実証レクチャ

日付	説明者	対象者	内容
令和2年 10月30日	ALSOK	京急電鉄 管理部門	<ul style="list-style-type: none"> 実証概要の説明 安全対策について説明
令和2年 11月9日	ALSOK	京急電鉄 管理部門	<ul style="list-style-type: none"> 実証概要の説明 安全対策について説明
令和3年 2月2日	ALSOK	ALSOK・ ALSOK 東京	<ul style="list-style-type: none"> 検証する警備モデルについて説明 課題実証内容の説明 課題実証及びシナリオ検証のリハーサルの実施

3.3.2 ヘルプデスク体制

3.3.2.1 全体体制

実証中のヘルプデスク体制及び障害対応のエスカレーションルールについて、全ての不具合に関して、技術実証期間中は NTTCom へ、課題実証期間中は ALSOK への報告を義務付けることとした。通信不具合が発生した場合は、基地局側はエリクソン・ジャパン社、陸上移動局(UE)側は APAL 社(海外メーカーのため、リモート対応)の技術者をアサインし、問題発生時は切り分け対応を実施した。NW 機器故障が発生した場合は表 3.3.2.1-1 の対応を想定した。自然災害の場合は、作業当日の状況を見て ALSOK と NTTCom 及び京急電鉄と協議の上、リスクジュールを協議し決定することとした。また、万一の感染症発生による実証継続への影響を鑑み、実証関係者が体調不良となった場合、ALSOK と NTTCom 及び京急電鉄と協議の上でリスクジュールを協議し決定することとした。

表 3.3.2.1-1 NW 機器故障時の代替手段

機器名	機器故障時の対応
5GC	エリクソン・ジャパンにて確保している予備機と交換
Light UPF	エリクソン・ジャパンにて確保している予備機と交換
IRU	エリクソン・ジャパンにて確保している予備機と交換
Dot	縮退運転での試験を継続する
陸上移動局(UE)	縮退運転での試験を継続する
L3SW	エリクソン・ジャパンにて確保している予備機と交換
VPN R	エリクソン・ジャパンにて確保している予備機と交換
PDU	エリクソン・ジャパンにて確保している予備機と交換
Rectifier	エリクソン・ジャパンにて確保している予備機と交換
GNSS アンテナ	エリクソン・ジャパンにて確保している予備機と交換

3.3.2.2 実施体制・設置期間

(1) 技術実証期間運用体制

実証期間中、図 3.3.2.2-1（図は技術実証①における体制）のとおり各実証日ごとの問い合わせ及び障害発生時のエスカレーション体制を明確化し実施した。

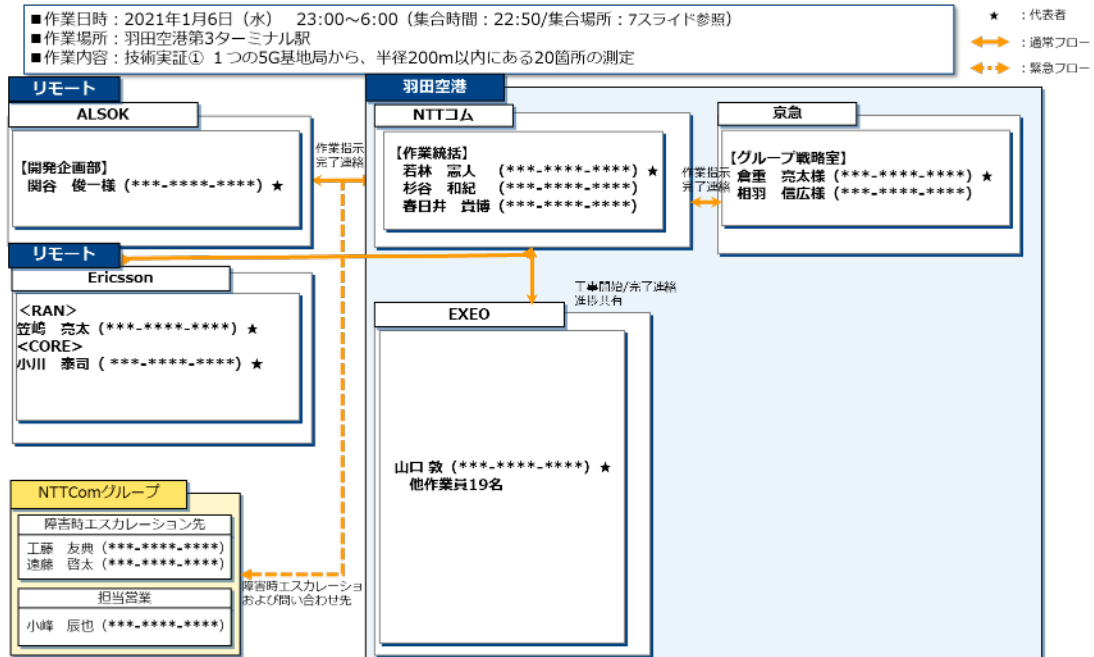


図 3.3.2.2-1 技術実証運用体制

(2) 課題実証期間運用体制

実証期間中、図 3.3.2.2-2（図は課題実証 ドローンにおける体制）のとおり各実証日ごとの問い合わせ及び障害発生時のエスカレーション体制を明確化し実施した。

■作業日時：2021年2月5日（金） 23:00(2/5)～6:00(2/6)（集合時間：23:00/集合場所：P6参照）
 ■作業場所：羽田空港第3ターミナル駅（ホーム、バックヤード）
 ■作業内容：ドローン実証（遠隔操作、遠隔巡回、シナリオ実証） ※詳細は別に定める手順書の通り

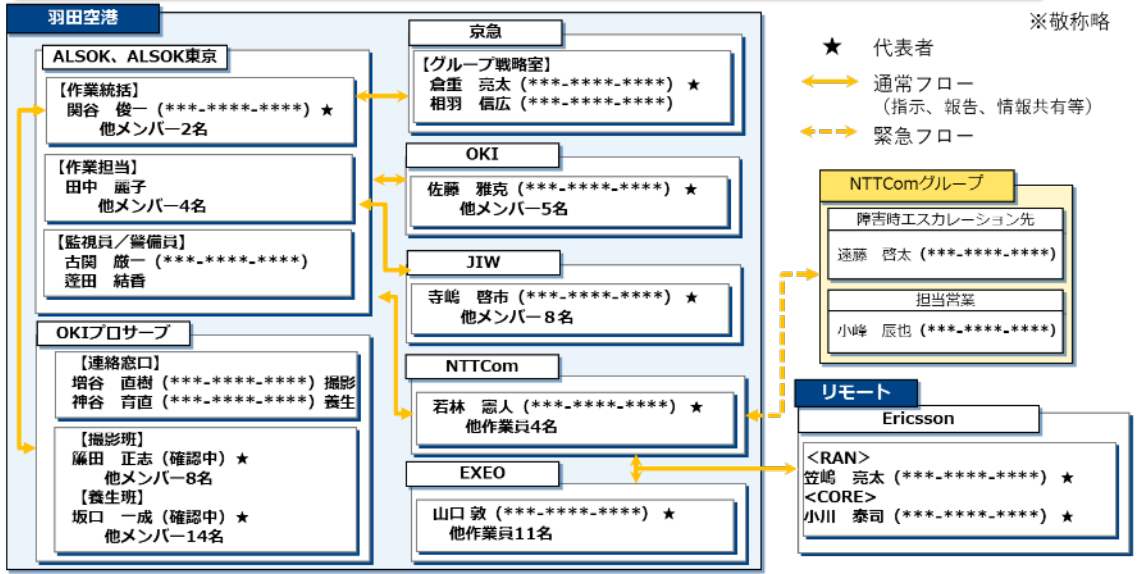


図 3.3.2.2-2 課題実証運用体制

3.3.2.3 問い合わせ

(1) 技術実証

技術実証期間中に発生した不具合・受領した問い合わせは表 3.3.2.3-1 の形式にて管理し、記録・原因の特定・対処を実施した。

表 3.3.2.3-1 問い合わせ管理表（技術実証）

日時	問い合わせ項目	内容詳細	原因	対応内容
1/6	論理障害	陸上移動局（以下 UE）の WAN-IP 払い出しがされない事象が発生した。	本実証で利用した 5GCore は長期間の稼働を想定したシステムではないため、機器のヘルスチェックログによって、システム容量不足に陥った。	実証試験期間中はステータス確認を毎日実施した。さらに、毎週火曜日の日中帯に、5G Core システムの再起動を実施した。
1/6	論理障害	複数台の UE が 5G ネットワークに接続できない事象が発生した。	5G Core システムのストレージ性能が不足したことにより、接続に必要なコンポーネント (UDR 内部の kvdb) の動作が不安定となった可能性が考えられる。	5G Core の定期的な再起動を実施することで、接続に必要な内部コンポーネントを定期的に再起動した。
1/13	論理障害	陸上移動局（以下	5GCore 側の機器側	実証試験期間中は、

		UE)のWAN-IP払い出しがされない事象が発生した。	において、IPアドレスの払出に関わるコンポーネント(SMF)の動作が停止している場合がある事象が原因と考えられる。	試験開始前に当該コンポーネントの再起動(SMF stop/start)を実施した。
1/13	その他	実証時、第3ターミナル駅ホーム・機器室にて停電が発生した。	京急側で配電盤の切り替え作業が実施されたことによる事象であった。	1分以内に復旧し、再度基地局のヘルスチェックを実施し、実証試験を継続した。

(2) 課題実証

課題実証期間中に発生した不具合・受領した問い合わせは表 3.3.2.3-2 の形式にて管理し、記録・原因の特定・対処を実施した。課題実証期間中に記録対象となる事案は発生しなかった。

表 3.3.2.3-2 問い合わせ管理表 (課題実証)

日時	問い合わせ項目	内容詳細	原因	対応内容

3.4 関連事業

なし

4. 課題解決システムの実証

4.1 前提条件

本実証では京急電鉄の協力のもと、最新技術を取り入れた高度な警備の実現（警備力の高度化）と、人手不足といった警備上の課題に対処すべく、羽田空港国際線ターミナルビルに直結する京急電鉄の「羽田空港第3ターミナル駅」において実証を行った。

警備上の課題を解決するため、AI カメラ、ドローン、及びロボットを活用した高度な警備実証システムと、遠隔画像巡回と最適な警備員に対処をさせるために指令を行う情報連携システム（ALSOK スタッフ等連携システム®）を組み合わせた統制席を構築し実証を行った。

4.1.1 施設警備業務における業務プロセス

4.1.1.1 通常のプロセス

警備業務に求められる期待値は、事案（インシデント、施設利用者の困りごと、拾得物や施設・設備の破損の発見等）への適切な対処と、適切な初動によって被害の拡大を防止することにある。また、事案の発生を未然に防ぐ効果として、警備員による巡回によって犯罪や事故の発生を抑止する効果も得られることから、施設警備における警備員の巡回業務に対する期待は大きい。

これら施設警備業務プロセスは、①発見（または通報）から対処に至るまでの時間と、②抑止力の発揮（警備員が管理していることを示すこと）による事案そのものの発生を抑止することにより、人（警備員）を主体とした人的警備モデルであると言える。

4.1.1.2 警備力

従来の人的警備モデルにおける警備力とは次のとおり表すことができる。

- ・警備員による発見力
 - = その場での対処であり、人（警備員）による巡回（や立哨）が最も効果が高い。
 - ⇒ 警備力は単純に警備員数に比例することになる。
 - ※ただし、人（警備員）を無尽蔵に配置することは事実上不可能である。
- ・関係者や通行人による発見力（他者の監視の目）
 - = 発見者からの通報により、対処すべき者（警備員）への通報までは時間を要する。

すなわち、警備力を高めるためには、①事案が発生してから対処までの時間（発見機会の増加+駆け付け時間）と、②事案発生そのものの抑止力を高めることで向上させることができると言える。

従来の人的警備モデルにおける警備力は以下の要素から成り立つ。

図 4.1.1.2-1 は発見から対処までの時間の関係から、発見者の違いにより警備力が異なることを示したものである。

【従来の警備モデルの要素】

- ・警備員による発見 or 他者の監視の目（発見者通報）
- ・警備員による対処 or 警備員駆け付け時間

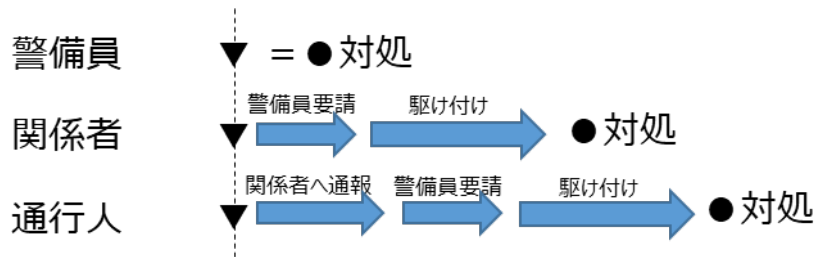


図 4.1.1.2-1 従来の人的警備モデルの対処フロー

4.1.1.3 本実証で構築する警備モデル

発見力を向上させるためには警備員や他者の目を代替する監視の目が必要であり、AI カメラによる自動検知、ドローンによる人の自動検知、及びドローン及びロボットが取得した映像を遠隔地から監視員が映像により巡回業務を行うといった目の補完が有用であると考えられる。また、最も効果的な対処を行うためには、遠隔地から検知情報や遠隔地の映像情報を集約し監視を行うシステム、警備員の所在や状態を把握し最適な警備員に対処をさせるため、情報連携を行うコミュニケーションツールを用いることが不可欠である。

図 4.1.1.3-1 に本実証で構築し検証する警備モデルの概要を図示する。また表 4.1.1.3-1 に従来の警備モデルと本実証モデルのフローの違いを示す。

本検証で構築する警備モデルにおける警備力

$$= \text{監視の目 (AI)} + \text{遠隔監視 (画像巡回+判断)} + \text{警備員駆け付け時間}$$

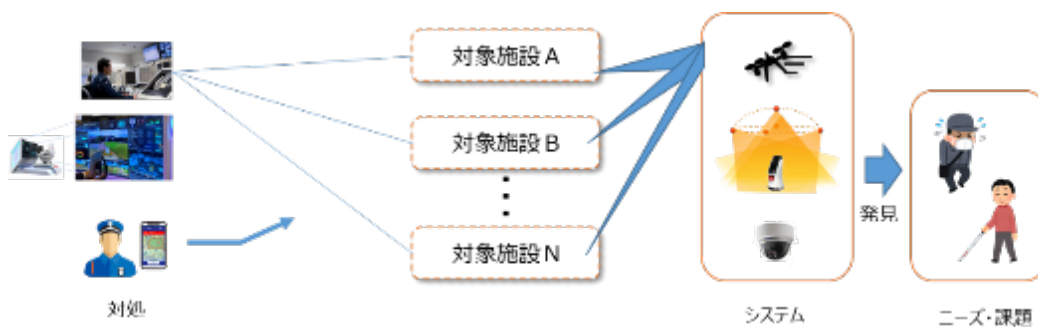
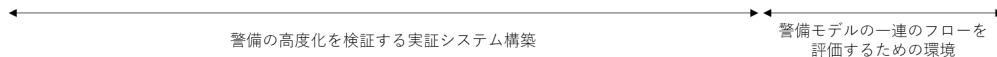


図 4.1.1.3-1 検証する警備モデルの概要

表 4.1.1.3-1 従来モデル・本モデルにおけるフローの比較

	抑止	発見		通報	通報受理~対処
			発見力に影響する要素		
従来モデル	警備員・関係者・通行人の存在による抑止	警備員による発見	・警備員のスキル ・警備員の巡回頻度	※発見=対処開始	警備員による即時対処
		関係者・通行人による発見	・関係者のスキルや通行人の善意など ・空間での存在時間	関係者・通行人による通報（タイムラグの発生）	警備員による対処（対処開始までに時間を要する）
本モデル	ドローン・ロボット・AIカメラの存在による抑止	ドローン・ロボットによる遠隔画像巡回	・高スキルを持つ警備員を遠隔巡回に集約し巡回品質を向上 ・人手に頼らず巡回頻度を向上	自動通報（タイムラグなし）	最適な警備員による対処（位置、ステータス把握）
		AIカメラによるインシデントの自動検知	・人手に頼らず常時監視が可能		



4.2 実証目標

警備の高度化、人手不足解消等を目的として、ローカル5Gを用いたドローン、ロボットAIカメラによる遠隔巡回・遠隔監視を実現し、人手に依存しない警備力向上に資する新たな警備モデル構築に係る検証を行うものである。各課題解決システムに関する検証及び評価分析、ならびに課題解決システムに関する各検証を通じて評価・分析する。

図 2.3.3-1 で示した 이슈ツリーについて、各課題解決システムを用いた解決策の評価項目、及び社会実装の姿を含めた全体像を含め整理する。

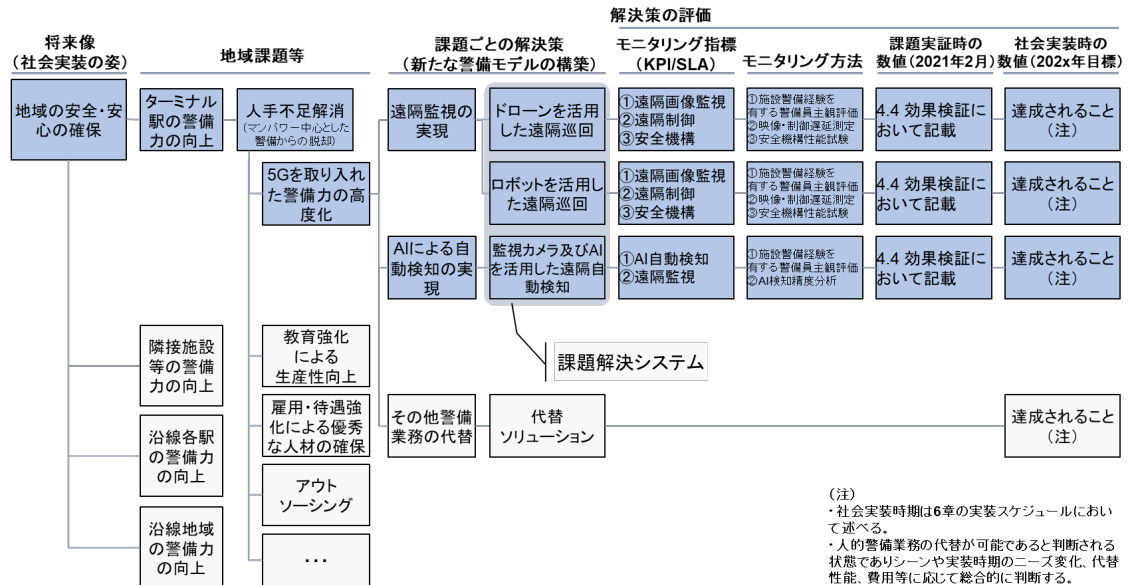


図 4.2-1 イシューツリー (解決策の評価)

4.2.1 目標値

4.2.1.1 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を行い、次の各項目について評価・分析する。

- ・警備員による巡回業務と比較し、遠隔監視及び人物検知に有用か
- ・警備員による遠隔での操作が可能か
- ・安全性確保の観点から安全機構性能により自律・自動制御機能により無人運用が可能か

4.2.1.2 ロボットを活用した遠隔巡回 (アー 2)

4Kカメラ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を行い、次の各項目について評価・分析する。

- ・警備員による巡回業務と比較し、遠隔監視に有用か

- ・警備員による遠隔での操作が可能か
- ・安全性確保の観点から安全機構性能により自律・自動制御機能により無人運用が可能か

4.2.1.3 監視用カメラ及びAIを活用した遠隔監視自動検知（ア－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を行い、次の各項目について評価・分析する。

- ・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か
- ・遠隔での自動検知による監視に有用か

4.2.2 実証目標に対する初期仮説

以下の仮説のもと、課題解決システムに関する検証及び評価・分析において目標値を達成することを確認する。また、本実証の目標値のほか、以下の仮説のもと各検証を通じ実用化を見据えた考察を行う。

- ・ドローンとロボットにより行われる遠隔巡回の機能コンセプトは、警備員の巡回業務負担（肉体的、受傷事故）、移動時間を排除し、任意のタイミング・回数で巡回業務の一部を代替できるメリットがある点にある。

- ・また、AI カメラによる検出可能な事象は、駅防犯といっても異なる駅では検出対象や重要度も一様ではないと想定され、様々な事象をとらえるためにAIは多くのバリエーションが要求されることになる。本課題解決システムで検出可能なAIは、当該要求の一部を担うに過ぎないと想定されるものの、人間と異なり空間を絶え間なく監視し続けることができる点に優れていることから、有能なAIを適所において稼働させることによるメリットは非常に高い。

- ・他方で、人間の目そのものの視野、音声、嗅覚といった五感、警備員そのものが空間に存在することで発揮される抑止力などは、当該実証システムと比較対象とならない項目も多くある。ロボットやドローンでは大半の事案への最終的な対処や措置を行うことはできないことから、人による巡回業務の一部を担うことができる点はメリットであるが、人の行っている業務全てをシステムに置き換えることは不可能であることが現状である。

- ・課題解決システムにより享受されるメリット（人の移動や危険を伴わない監視、継続的な検知）と、人にしか行うことができない能力（主に対処・対応）を最も効率よく組み合わせ運用することで、従来の施設警備業務の一部を代替することは可能であると考えられる。

- ・実証システムを導入することにより、従来の人による施設警備業務との足し算であれば警備力を向上が可能なのは明白である。本格的な導入に向けた条件としては、技術的課題（安全面や信頼性の担保、AI機能の拡充など）とNW構築を含めた費用対効果が得られることが条件となると想定される。

4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

4.3.1 課題解決システムの概要

各実証システムは、3. 実証環境にて構築したローカル5G（4.7GHz帯）無線通信システムを活用したドローン・ロボット・AIカメラによる遠隔巡回や遠隔監視に関する実証を行うものである。

また、課題解決システムに関する検証及び評価・分析を行うために必要な基盤環境として、遠隔統制席（以下「CPT」：コックピットの略称）を構築した。CPTでは、各実証システムからの情報を集約、判断、対処（遠隔制御）するだけでなく、警備員への指示を最適化可能な情報連携システム（スタ連）を操作することを可能とする。

各課題解決システムとCPTの連携イメージは図4.3.1-1のとおり。



図 4.3.1-1 CPT との連携イメージ

また、各課題解決システムの全体構成は図 4.3.1-2 のとおり。

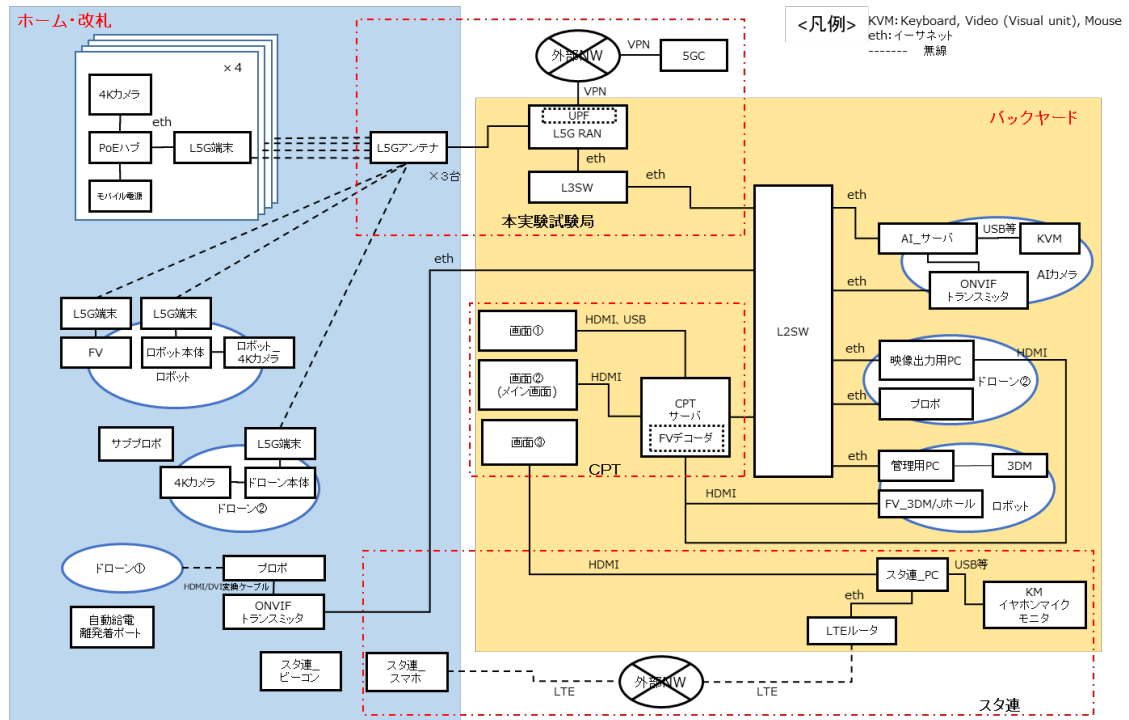


図 4.3.1-2 課題解決システムの全体構成

4.3.1.1 CPT の概要

(1) 基本機能

モニタ3面を備え、カメラ映像の表示、監視や遠隔操作に適した複数の画面モードの切り替え、AIによるインシデントの自動検知結果表示、及びスタ連による警備員とのコミュニケーションが可能である。

(2) 構成機器一覧

表 4.3.1.1-1 に示す

表 4.3.1.1-1 機器一覧

項番	名称	メーカー名	型式	数量
1	CPT 展示デモキット筐体 (Disp 台+座席+SP)	OKI	デモシステム	1
2	CPT サーバ PC	DELL	Precision 7920 Tower	1
3	CPT 肘置き画面①ディスプレイ	DELL	P2418HT	1
4	CPT 正面画面②ディスプレイ	Panasonic	TH-55VF1HJ	3

5	CPT 肘置き画面③ディスプレイ	GeChic	On-Lap 1303I	1
6	CPT 肘置き部 3D マウス	3Dconnexion	SpaceMouse Compact	2
7	CPT 肘置きジョグホイール	ジャパンマテリアル	シャトルエクスプレス IM/SX	1
8	CPT 保守用マウス/キーボード	ロジクール	MK240nBC	1
9	10G Ethernet hub	エレコム	EHB-UT2A08F	1
10	L3SW hub	HP	2930F 24G SWITCH	1

(3) ローカル 5 G を介して CPT に接続する各課題解決システムの機器内訳

表 4.3.1.1-2 に示す。

表 4.3.1.1-2 CPT 接続機器内訳

項番	機器名称		上り最大通信帯域	下り通信有無	備考
1	4K 高精細カメラ	カメラ_1	16Mbps	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 4K・10fps の映像を取得し FHD 相当の映像と比較し評価・検証を行う。高解像度・高 fps 映像を用いることで AI 検知性能の向上が期待される。 ・ 警備の品質（警備力）は発見機会の増加と発見時間に影響される。
		カメラ_2	16Mbps	—	
		カメラ_3	16Mbps	—	
		カメラ_4	16Mbps	—	
2	ドローン②	4K カメラ	100Mbps	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 遠隔画像巡回を行う上で必要な映像を 4K・5fps 相当以上と仮定し、監視員が評価・検証する。 ・ 遠隔制御の応答速度により、警備上必要な情報の欠損や判断ミスを招く可能性がある。
		制御	—	ドローン制御	
3	ロボット	4K カメラ	24Mbps	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 遠隔制御の応答速度により、警備上必要な情報の欠損や判断ミスを招く可能性がある。
		FV カメラ	20Mbps	—	
		制御	—	ロボット制御	

注) ドローン①映像はローカル 5 GNW を介さず直接接続

(4) 機器諸元

1. 【CPT 展示デモキット筐体 (Disp 台+座席+SP)】

CPT 展示デモキット筐体 (Disp 台+座席+SP) の諸元を示す。



表 4.3.1.1-3 CPT サーバ PC 機器諸元

項目	詳細
メーカー	OKI
品名	デモシステム
サイズ	W:2,567mm D:2,895mm H:2,040mm

(注) CPT に組み込まれる各機器については次項以降にその諸元を示す。

2. 【CPT サーバ PC】

CPT サーバ PC の諸元を示す。



表 4.3.1.1-4 CPT サーバ PC 機器諸元

項目	詳細
メーカー	DELL
品名	Precision 7920 Tower
CPU	デュアル インテル Xeon ゴールド 6128 3.4G, 6C/12T, 10.4GT/s 3UPI, 19.25M キャッシュ, ターボ, HT (115W) DDR4-2666
OS	Windows 10 Pro Workstations 用 (4 コア プラス) 日本語
シャーシ オプション	7920 タワー シャーシ (1400W)
OS リカバリ オプション	Windows 10 Pro, WKSTA OS リカバリ 64 ビット - DVD
メモリ	32GB (4x8GB) 2666MHz DDR4 ECC RDIMM メモリ
ビデオ カード	NVIDIA Quadro P400, 2GB, 3 mDP to DP アダプタ(7X20T)
ハードドライブ コントローラ	内蔵 インテル AHCI SATA chipset コン トローラ (8x 6.0Gb/s), SW RAID 0,1,5,10
ハードディスク	3.5 インチ 500GB 7200rpm SATA ハード ドライブ
プロセッサ-Cooler オプション	ヒートシンク 2nd CPU 用
Slimline Bay オプション	Slim 8X DVD+/-RW[RAM サポート
システムマネジメント (拡張ボード)	ME Disable ラベル MOD
ビデオカード×2	ASUS 製 TURBO-RTX2080TI-11G
(拡張ボード) キャプチャカード×2	DeckLink 製 Mini Recorder 4K
(拡張ボード) 10GEther	Intel 製 Ethernet Converged Network Adapter X540-T1

3. 【CPT 肘置き画面①ディスプレイ】

CPT 肘置き画面①ディスプレイの諸元を示す。



表 4.3.1.1-5 CPT 肘置き画面①ディスプレイ機器諸元

項目	詳細
メーカー	DELL
型式	P2418HT
機器タイプ	LED バックライト付液晶モニター・24 インチ・タッチスクリーン
エネルギークラス	クラス A+
特徴	USB 3.0 ハブ
パネルタイプ	IPS
アスペクト	16:9
実効解像度	Full HD (1080p) 1920 x 1080 @ 60 Hz
画素ピッチ	0.2745 mm
輝度	250 cd/m ²
コントラスト比	1000:1 / 8000000:1 (ダイナミック)
応答時間	6 ms (GtoG)
最大表示色	1670 万色
入力コネクタ	HDMI, VGA, DisplayPort
ディスプレイ位置調整	幅, 旋回式, 傾斜式
スクリーンコーティング	反射防止, 3H ハードコーティング
寸法 (幅 x 奥行き x 高さ)・スタンド含む	53.78 cm x 23.48 cm x 32.32 cm
重量	7.42 kg
環境基準	エネルギースター認証
準拠規格	ENERGY STAR®, EPEAT® (該当国で登録済み 8)、RoHS、TCO 認定ディスプレイ

4. 【CPT 正面画面②ディスプレイ】

CPT 正面画面②ディスプレイの諸元を示す。



表 4.3.1.1-6 CPT 正面画面②ディスプレイ機器諸元

項目	詳細
メーカー	Panasonic
型式	TH55VF1HJ
画面サイズ	55v 型 (1387 mm)
輝度	700 cd/ m ²
液晶パネル / バックライト	IPS パネル/ダイレクト LED
アスペクト比	16:9
画面有効寸法 (W×H)	1209.6mm x 680.4 mm
解像度	1920 x 1080
コントラスト	1200:1
応答速度	8.0 ms (G to G)
視野角 (上下 / 左右)	178° / 178° (CR ≥ 10)
パネル表面処理	アンチグレア処理 (ヘイズ値 44%)
使用電源	AC 100V ±10 %、 50/60 Hz
消費電力	300 W
動作時平均消費電力	120 W
本体電源「切」時	約 0 W
スタンバイ時	約 0.5 W
外形寸法 (幅×高さ×奥行)	1211.4 x 682.2 x 99 mm
質量	約 25 kg

5. 【CPT 肘置き画面③ディスプレイ】

CPT 肘置き画面③ディスプレイの諸元を示す。



表 4.3.1.1-7 CPT 肘置き画面③ディスプレイ機器諸元

項目	詳細
メーカー	GeChic Corporation
型式	On-Lap 1303I
画面サイズ	13.3 インチ
解像度	1920 x 1080
インターフェース	マイクロ HDMI, VGA, HDMI
アスペクト比	16:9
応答速度	14 Milliseconds
Refresh Rate	60 Hz
消費電力	10W
サイズ	34.8cm x 1 x 22.4 cm
重量	約 900g

6. 【CPT 肘置き部 3D マウス】

CPT 肘置き部 3D マウスの諸元を示す。



表 4.3.1.1-8 CPT 肘置き部 3D マウス機器諸元

項目	詳細
メーカー	3Dconnexion®
型式	SpaceMouse Compact
寸法	奥行: 77 mm 幅: 77 mm 高さ: 54 mm
重量	480g

7. 【CPT 肘置き部 3D マウス】

CPT 肘置き部 3D マウスの諸元を示す。



表 4.3.1.1-9 CPT 肘置き部 3D マウス機器諸元

項目	詳細
メーカー	3Dconnexion®
型式	huttleXpress IM/SX
ホイールタイプ	ジョグホイールシャトルホイール
ボタン数	5 個のプログラムボタン
サイズ	11cm x 2.8cm x 11cm
重量	-

8. 【CPT 保守用マウス/キーボード】

CPT 保守用マウス/キーボードの諸元を示す。



表 4.3.1.1-10 CPT 保守用マウス/キーボード

項目	詳細
メーカー	ロジクール
型式	ワイヤレスコンボ
キーボードサイズ	2.1cm x 28.8cm x 13.9cm
キーボード重量	344g
マウスサイズ	3.2cm x 10cm x 6cm
マウス重量	53g

9. 【10G Ethernet hub】

10G Ethernet hub の諸元を示す。



表 4.3.1.1-11 10G Ethernet hub

項目	詳細
メーカー	エレコム
型式 EHB-UT2A08F	EHB-UT2A08F
接続方式	10GBASE-T/1000BASE-T/100BASE-TX
ネットワークタイプ	IEEE802.3an/IEEE802.3ab/IEEE802.3u
スイッチング方式	ストア&フォワード
バッファメモリー	2Mbytes(各ポートに動的割当て)
通信モード	フルデュプレックス/ハーフデュプレックス
フローコントロール制御	非対応
スイッチファブリック	160.0Gbps
最大パケット転送能力	119.0Mpps
フィルタリング速度	14,880,000 パケット/秒 (10Gbps), 1,488,000 パケット/秒 (1000Mbps), 148,800 パケット/秒 (100Mbps)
MAC アドレス登録数	16,384 件(全ポート合計)
ポート数	8 ポート
AutoMDI/MDI-X	対応
オートネゴシエーション	対応(10Gbps/1000Mbps/100Mbps)
コネクタ形状	RJ-45 ×8
ノンブロッキング	対応
ジャンボフレーム	対応 (9Kbytes)
最大実効伝送速度	80.0Gbps
外形寸法(幅×奥行き×高さ)	約 210.0mm×約 160.0mm×約 44.0mm (本体のみ)
質量	約 1,100g

9. 【10G Ethernet hub】

10G Ethernet hub の諸元を示す。



表 4.3.1.1-12 10G Ethernet hub

項目	詳細
メーカー	HP
型式	2930F 24G SWITCH(JL261A)
ポート	RJ-45 オートセンシング 10/100/1000 PoE+ポート x 24 SFP x 4
メモリー及びプロセッサー	デュアルコア ARM Cortex A9 @ 1016MHz 1GB DDR3 SDRAM パケットバッファサイズ: 12.38MB 4.5MB (イングレス)/7.785MB (イーグレス) 4GB eMMC
レイテンシ	1,000Mb レイテンシ: 3.8 マイクロ秒未満
スループット	最大 41.7Mpps
スイッチ容量	56Gbps
PoE 機能	370W PoE+
管理機能	Aruba AirWave Central Network Management IMC (Intelligent Management Center) コマンドラインインターフェイス Web ブラウザー 構成メニュー SNMP マネージャー Telnet RMON1 FTP アウトオブバンド管理 (シリアル RS-232C またはマイクロ USB)
入力電圧	100~127/200~240VAC、定格
消費電力	445W (最大)
発熱量	258BTU/時 (272.2kJ/時)
最小寸法 (高さ x 幅 x 奥行き)	4.39cm x 44.25cm x 30.42cm
重量	3.9kg

(5) CPT 画面構成

1) 画面①：CPT 左肘の操作画面

画面①の表示内容を示す。



図 4.3.1.1-1 画面①の表示内容

映像内訳

- (A) 監視カメラ (4K)_1
- (B) 監視カメラ (4K)_2
- (C) 監視カメラ (4K)_3
- (D) 監視カメラ (4K)_4
- (E) ドローン①カメラ or ドローン②カメラ (4K)
- (F) ロボット 4K 正面カメラ
- (G) ロボット FV 合成画像
- (H) AI 検知画像 (AI サーバより)

AI インシデント表示

- ・CPT サーバが AI 検知信号を受信した際に、AI インシデント表示がポップアップする。
- ・AI インシデント表示をクリックした際に、画面②に(H)を拡大表示して、この表示を消す。
- ・AI インシデント表示はクリックされるまで表示し続けるか、一定秒数経過で自動的に消すか選択式。
- ・AI インシデント表示を自動的に消す際の秒数も指定可能にする。

2) 画面② : CPT 正面の監視画面

a) 切り替え機能その 1

画面②の表示内容（通常モード）を示す。
各記号は、画面①の個別画面と符合する。



図 4.3.1.1-2 画面②の表示内容（通常モード）

画面②は、画面①の個別画面をタップすることにより自動的に切り替わる。
ただし、タップされる個別画面に応じて次の5つのモードを具備する。

- 通常モード
 - 画面①で(A)~(D),(G),(H)を選択した場合
 - 画面①でAI インシデント表示をクリックした場合
 - AI インシデント自動表示でAI 検知信号を受信した場合
 - 画面②で(A)~(D),(G),(H) の拡大モード表示時に画面①で拡大縮小ボタンを押下した場合
- ロボット操縦モード
 - 画面①で(F)を選択した場合
 - 画面②のロボット操縦モード②表示時に画面①で拡大縮小ボタンを押下した場合
- ドローン操縦モード
 - 画面①で(E)を選択した場合
 - 画面②で(E)の拡大モード表示時に画面①で拡大縮小ボタンを押下した場合
- ロボット操縦モード②
 - 画面②でロボット操縦モード表示時に画面①で拡大縮小ボタンを押下した場合

- 拡大モード

画面②で通常モード又はドローン操縦モード表示時に画面①で
拡大縮小ボタンを押下した場合

b) 切り替え機能その2

画面②の表示内容（ロボット操縦モード）を示す。
ロボット操縦時に使用する。



図 4.3.1.1-3 画面②の表示内容（ロボット操縦モード）

(F) ロボット 4K 正面カメラを大きく表示

(G) ロボット FV 合成画像をワイド表示

(G) の画面位置は、画面①の (F) をタップするごとに四隅に移動する。

c) 切り替え機能その3

画面②の表示内容（ドローン操縦モード）を示す。
ドローン操縦時に使用する。

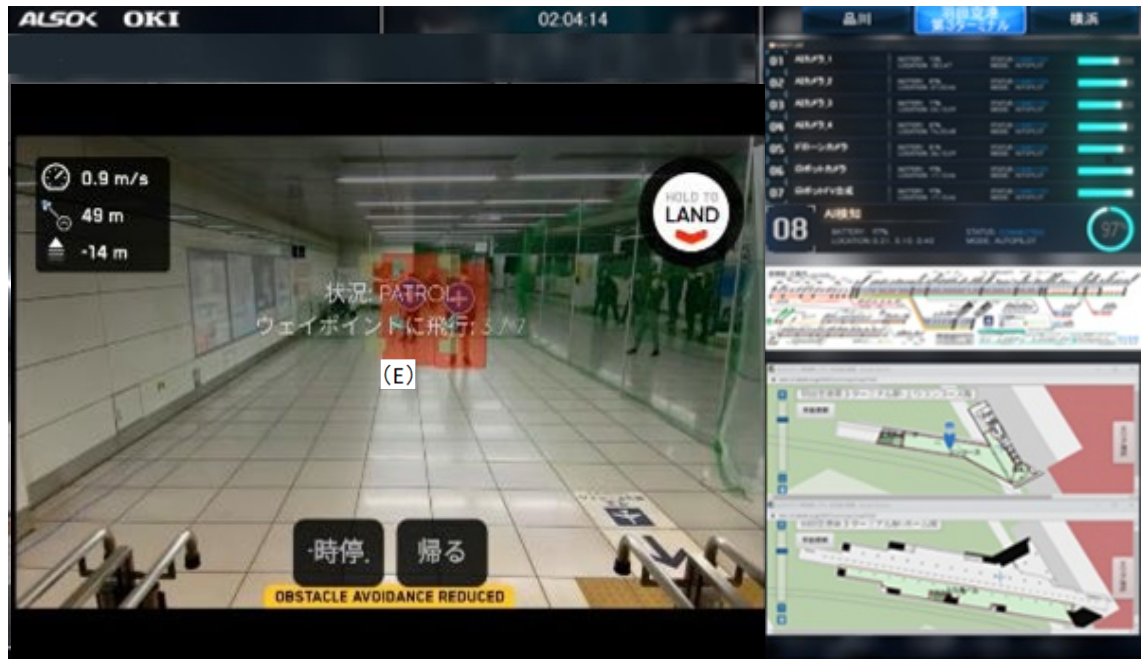


図 4.3.1.1-4 画面②の表示内容（ドローン操縦モード）

(E) ドローン①カメラ or ドローン②カメラを拡大表示

d) 切り替え機能その4

画面②の表示内容（ロボット操縦モード②）を示す。
 ロボット遠隔画像巡回時、操縦時に使用する。



図 4.3.1.1-5 画面②の表示内容（ロボット巡回モード）

(F) ロボット 4K 正面カメラを大きく表示

(G) ロボット FV 合成画像をワイプ表示

(G) の画面位置は、画面①の (F) をタップするごとに四隅に移動する。

e) 切り替え機能その5

画面②の表示内容（拡大モード）を示す。

1つの画面を拡大表示する場合に使用する。

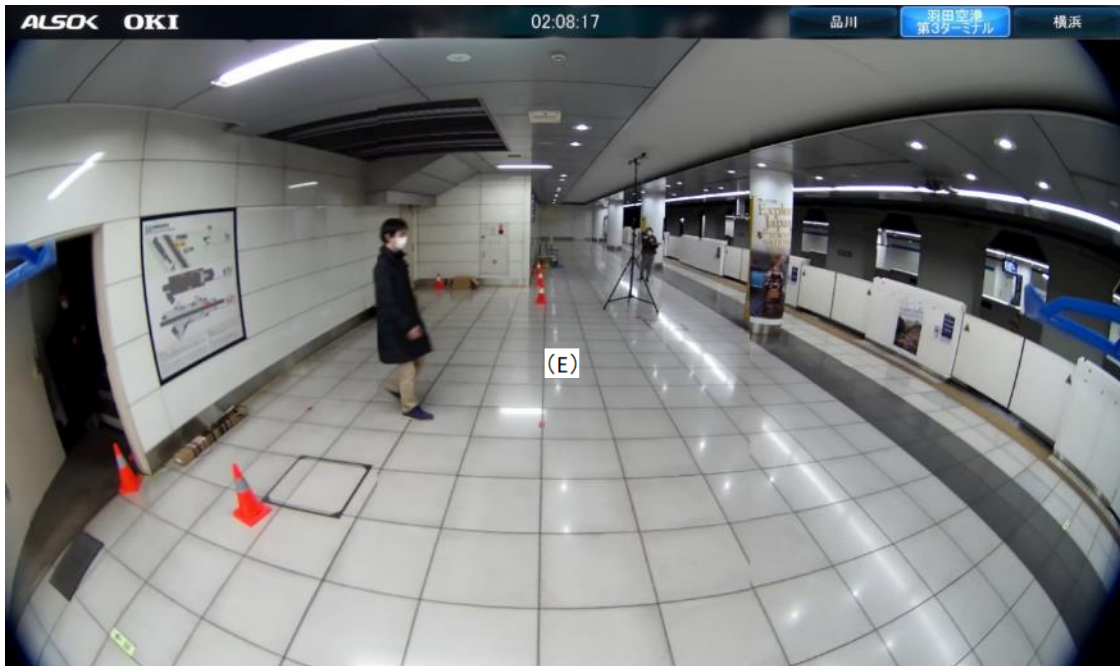


図 4.3.1.1-6 画面②の表示内容（ドローン操縦モード）

(E) ドローン①カメラ or ドローン②カメラを拡大表示

(A)～(D), (G), (H) を拡大表示

3) 画面③：CPT 右肘の操作画面

画面③の表示内容（スタ連）を示す。

警備員の所在地、ステータス確認、事案発生から適切な警備員への指示、通話、及び事案管理を行う。



図 4.3.1.1-7 画面③の表示内容 (スタ連)

4.3.1.2 スタ連の概要

スタ連は、スマートフォンアプリを活用したスタッフ同士の連携ツールである。警備員が所持するスマートフォンより、警備員の屋内・屋外における位置情報を把握と通話機能を有する。また、地図上に警備員の位置や現在の対応状況といったステータス情報、及び事案情報を表示し事案管理が可能である。これらの機能によって、監視員は事案発生時に最も対処を行うために最適な警備員を選択し対処指示を行うことができる。

スタ連の監視画面は図 4.3.1.2-1 のとおり。



図 4.3.1.2-1 スタ連監視画面

(1) スタ連のシステム構成

システム構成は図 4.3.1.2-2 のとおり。

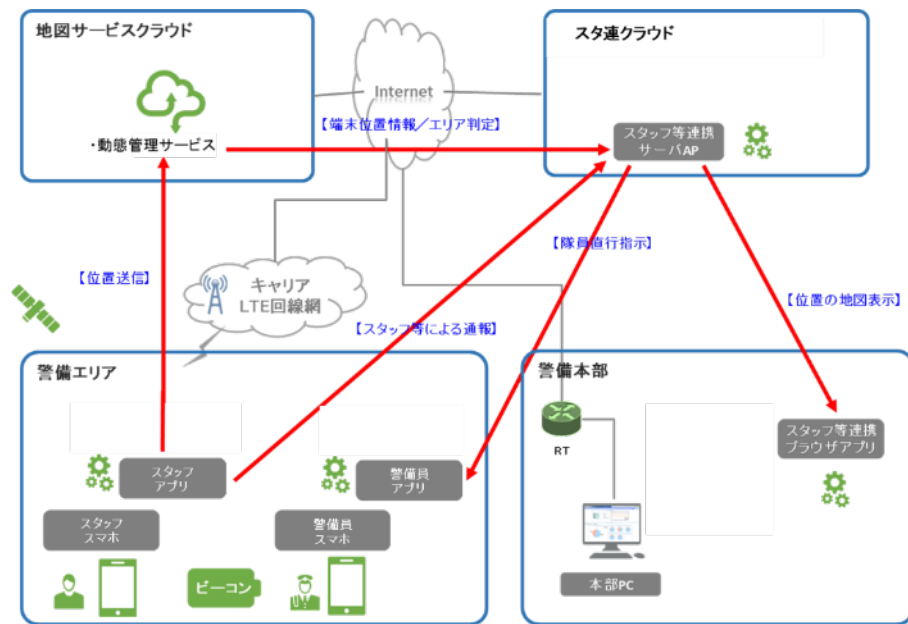


図 4.3.1.2-2 システム構成

(2) 機器一覧

表 4.3.1.2-1 に示す。

表 4.3.1.2-1 スタ連構成機器一覧

項番	名称	メーカー名	型式	数量
1	スタ連_PC	OptiPlex3070	DELL	1機
2	スタ連_モニタ	PTFBCF-22W	プリンストン	1台
3	スタ連_KM	-	DELL	1式
4	スタ連_LTE ルータ	EP-MT200	宮川製作所	1台
5	スタ連_イヤホンマイク	H600R	Logicool	1台
6	スタ連_スマホ	Galaxy S9	SAMSUNG	3台
7	スタ連_ビーコン	BLEAD-B	芳和システムデザイン	15台

(3) 機器諸元

1. 【スタ連_PC】

スタ連_PC の諸元を示す。



表 4.3.1.2-2 スタ連_PC 機器仕様

項目	詳細
メーカー	DELL
型式	OptiPlex3070
CPU	Core i5-9500
グラフィック機能	NVIDIA GeForce GT 1030
メモリ	8GB (1x8GB) DDR4
容量	3.5 ｲﾝﾁ 1TB 7200rpm SATA HDD
インターフェース	USB2.0×4,USB3.1×4,LAN(RJ45)×1
寸法	(W)9.26mm x (D)29.2mm x (H)29mm
重量	5.26 kg
消費電力	200W
電源	AC100V
OS	Windows 10 Pro (64ビット)

表 4.3.1.2-3 スタ連_PC 付属機器内訳

機器内訳	数	詳細
スタ連_モニタ	1	PTFBCF-22W
スタ連_KM	1	マウス、キーボード

2. 【スタ連_LTE ルータ】

スタ連_LTE ルータの諸元を示す。



表 4.3.1.2-4 スタ連_LTE ルータ機器仕様

項目	詳細
メーカー	宮川製作所
型式	EP-MT200
LAN ポート	100BASE-TX/10BASE-T×1
AUX ポート	USB2.0/HOST 機能対応×1
アンテナコネクタ	SMA×2
無線周波数	Band 1,Band 19
アクセス方式	LTE 方式 (NTT ドコモ網)
データ通信速度	上り：最大 50.0Mbps (ベストエフォート) 下り：最大 150.0Mbps (ベストエフォート)
電源	AC100V 最大 12W (AC アダプタ)
重量	125g
寸法	W107 mm×D70.6m×H31 mm ※突起物除く

3. 【スタ連_イヤホンマイク】

スタ連_イヤホンマイクの諸元を示す。



表 4.3.1.2-5 スタ連_イヤホンマイク機器仕様

項目	詳細
メーカー	Logicool
型式	H600R
必要システム	Windows®または macOS、Chrome OS™
必要ポート	USB ポート (Type A ポート)
ヘッドセット周波数特性	40Hz~10KHz
マイク周波数特性	100Hz~6.5kHz
電源	充電式バッテリー (最大 6 時間)
外形寸法	H180 mm×W215 mm×D78 mm
重量	105g

4. 【スタ連_スマホ】

スタ連_スマホの諸元を示す。



表 4.3.1.2-6 スタ連_スマホ機器仕様

項目	詳細
メーカー	SAMSUNG
型式	Galaxy S9
外形寸法	H148 mm×W69 mm×D8.5 mm
重量	約161g
OS	Android™ 9
ディスプレイ	約 5.8 インチ Quad HD+ (1440×2960)
CPU	Qualcomm SDM845
内蔵メモリ	ROM 64GB, RAM 4GB
バッテリー容量	3000mAh
通信速度	LTE : 受信時 150Mbps, 50Mbps (理論値) 4G : 受信時 988Mbps, 75Mbps (理論値)

5. 【スタ連_ビーコン】

スタ連_ビーコンの諸元を示す。



表 4.3.1.2-7 スタ連_ビーコン機器仕様

項目	詳細
メーカー	芳和システムデザイン
型式	BLEAD-B Version 2
適応規格	Bluetooth Ver.4
プロトコル	Eddystone / Physical Web / iBeacon
サイズ	直径 50 mm×高さ 17.7 mm
重量	約 28 g
到達距離	約 100m (出力は段階的に減衰可能)
電源	リチウムボタン電池 CR2477
電池寿命	3 か月～3 年 (設定による)

4.3.2 ドローンを活用した遠隔巡回（アー1）

4.3.2.1 課題解決システムの概要（ドローン）

本検証では、4Kカメラ及び遠隔操作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を行った。ローカル5Gを経由し、ドローンに搭載した4Kカメラ映像をCPTへ伝送し、伝送映像を見ながら遠隔操作することで、遠隔での監視及び異常検知等に関し評価・検証した。

検証に当たっては、ドローンが具備する機動性や自律・自動制御機能（自動飛行、自動給電離発着等）と併せて、安全性確保や操作性等の観点を考慮した。

本検証では、2台の異なる機能を有するドローン（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）を使用した。現時点では、2台のドローンの機能を一体化したドローン開発が開発期間、コスト、搭載機器の重量などの理由により困難であることから、以下に示すそれぞれの機能について個別に検証を行い、将来的に両機能を連携させ実装した場合を想定した。

(1) 【ドローン①（自律飛行）】

1) 機能・性能

- ・ Visual SLAM (*1) 機能を搭載し、機体に取り付けた複数のカメラ映像をもとに生成した3D点群地図と、慣性ナビゲーション(*2)をもとに自己の位置を把握し障害物を回避しながら飛行可能。
- ・ 自動給電離発着機能を有し、あらかじめ設定した屋内外の飛行ルートを自動で巡回し映像を取得可能。
- ・ 4Kカメラを搭載し、Wi-Fiにより操縦者への映像送信を行うとともに、ドローンに搭載したエッジコンピュータによるAI画像解析で人物検出が可能。

*1 カメラで撮影された映像から3次元情報を生成し同時に自己の位置・姿勢を同時に推定する技術

*2 加速度計とジャイロにより加速度と角速度を測定し、相対位置、方向、速度を計算する技術

2) 取り扱うデータの特徴

- ・ ドローン①では、Wi-Fiを用いた評価・検証を行った。具体的なデータ種別は以下のとおりである。Wi-Fiを使用することから、通信品質に応じデータ量及び質はベストエフォートとなる。
- ・ データ通信は、(UL/DL)双方向の通信を行う。
- ・ 上り通信では、ドローン撮影映像、人検知枠を付した画像、各種ドローンステータス情報（速度、電池容量、高度、通信状態、自己位置：設定したWay Pointの通過・屋外はGPS）を送信される。
- ・ 下り通信では、操作器からのドローン制御が行われる。

(2) 【ドローン②（ローカル5G対応）】

1) 機能・性能

- ・高精細カメラ（4K画質・5fps以上）を搭載し、取得した映像をCPTに表示させるためのローカル5Gを使用した映像送信（上り回線）が可能。
- ・遠隔制御機能を搭載し、取得した映像をCPTにおいて監視員が確認しながら操縦を行うドローン制御用送信機（以下、「プロポ」）を用い、ローカル5Gを使用したドローン遠隔制御（下り回線）が可能。

2) 取り扱うデータの特徴

ドローン②では、高精細カメラ（4K画質・5fps以上）を用いローカル5Gを使用した映像伝送（上り回線）及び遠隔制御（下り回線）により、CPTへ高精細映像を表示した。同映像を確認しながら、遠隔画像巡回、及び遠隔操縦を監視員が運用を行う観点において評価・検証を行った。

- ・カメラ映像の通信帯域は最大100Mbpsまで設定可能であり、大容量映像を伝送した評価・検証を行った。
- ・ドローン遠隔制御信号（下り回線）を伝送し、評価・検証を行った。

(3) 普及展開を見据えた特徴的な設計

1) ドローン②上に搭載するカメラはリアルタイムな映像ストリーミング配信を制御する為の protocols である RTSP (Real Time Streaming Protocol) を用いて符号化・圧縮処理を行い、伝送される。これにより、CPTを構築するために用いるサーバ等の設計を共通化することができ、普及段階における機能拡張や横展開が容易に実現可能となる。なお、現在一般に普及しているドローンのカメラ映像は、プロポで用いられる専用通信や Wi-Fi を経由して接続される端末（専用表示器やスマートフォン等）に表示を可能とする機能によって映像の閲覧機能が提供されているものの、このような映像システムを構築する上で広く普及した protocols には対応していない状況である。

2) ドローンの操縦はプロポを用いたものが一般的に普及している。しかしながらプロポに用いられる制御は古くはラジコンの操縦用に開発されデファクトスタンダード化した規格 (S. BUS) であり、ローカル5Gはもとより IP 通信による制御に対応をしていない。そのため本実証では、プロポで用いられる制御信号を、より一般化が浸透している IP 通信に変換するプログラム (S. BUS-Ethernet 変換) を実装しドローンをローカル5G通信（下り回線）による制御を行う。

本検証では羽田空港第3ターミナル駅2番線ホーム上から離れたバックヤードに 4.3.1.1

項に示す CPT を用意し、CPT 画面上にドローン及び他システムの映像を表示した。このとき、CPT 画面構成は図 4.3.2.1-1 のとおりである。CPT 画面上に表示される映像を遠隔監視映像と呼ぶ。

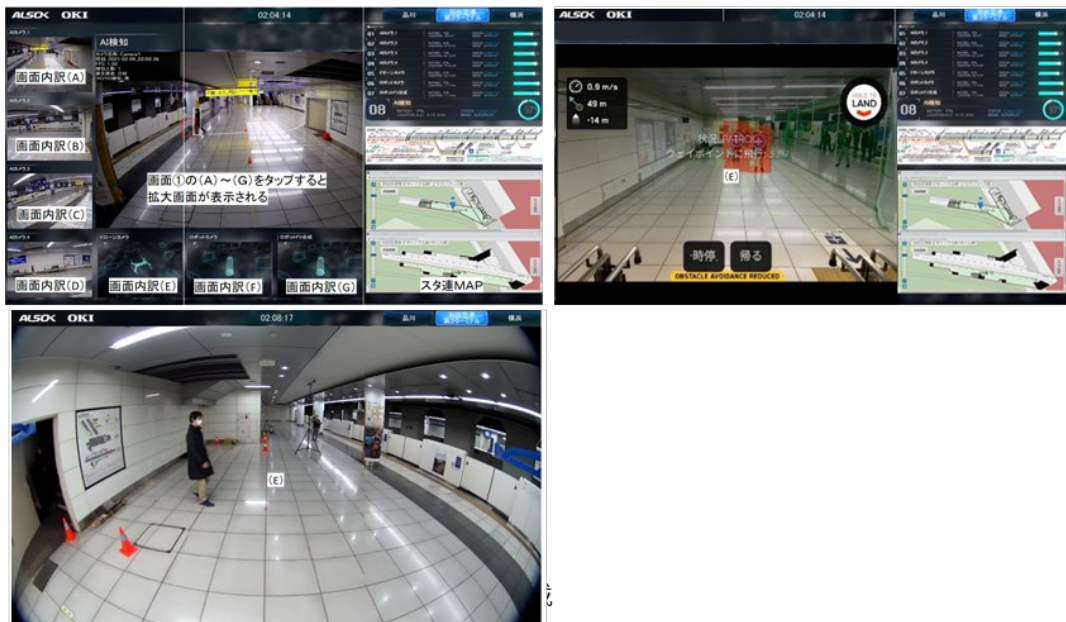


図 4.3.2.1-1 CPT 画面構成

(4) システム構成

図 4.3.2.1-2、図 4.3.2.1-3 に示すドローン①及びドローン②の課題解決システムのもと、本検証を実施した。

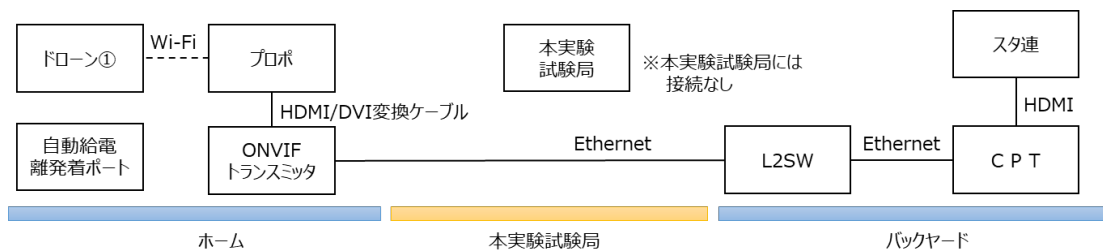


図 4.3.2.1-2 ドローン①（自律飛行）の課題解決システム

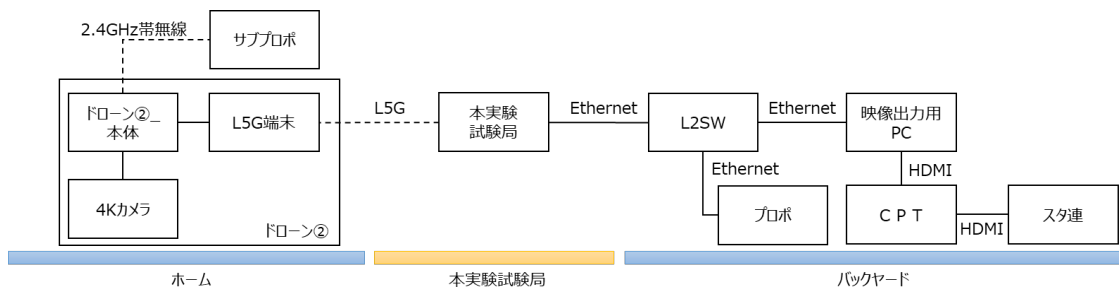


図 4.3.2.1-3 ドローン②の課題解決システム

4.3.2.2 評価・分析項目

本評価・分析の実施においては、施設警備業務の経験を有する警備員（以下「監視員」）と連携し実施の上で評価を行った。

(1) 実証① 自動巡回時の監視映像（ドローン①）

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ドローン①が具備する自動巡回機能の性能及び遠隔監視映像の表示内容に過不足がないか評価する。表 4.3.2.2-1 に検証項目を示す。

表 4.3.2.2-1 検証項目

項番	検証項目
1	あらかじめ設定したルート上を自動離陸により巡回できること。
2	CPT へ映像送信できること。
3	送信された映像が監視に十分な画質であること。
4	送信された映像が監視に十分な表示速度であること。

(2) 実証② 人の自動検出（ドローン①）

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ドローン①が具備する人物検知機能の性能を評価した。表 4.3.2.2-2 に検証項目を示す。

表 4.3.2.2-2 検証項目

項番	検証項目
1	人の自動検出と CPT への検知画像の送信ができること。

(3) 実証③ 自動巡回の安全機構及び自律・自動制御機能（ドローン①）

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ドローン①が飛行する巡回ルート上に障害物が存在する場合を想定し、障害物回避動作が安全に実施可能か検証した。表 4.3.2.2-3 に検証項目を示す。

表 4.3.2.2-3 検証項目

項番	検証項目
1	自動飛行ルート上の障害物を検知すること。
2	障害物検知時に自動回避し、自動巡回ルート上に復帰すること。

(4) 実証④ 人の検知可能条件（ドローン①）

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ドローン①が具備する人物検知 AI のもとドローン①が人物を検知可能である諸条件を計測した。表 4.3.2.2-4 に検証項目を示す。

表 4.3.2.2-4 検証項目

項番	検証項目
----	------

1	人の自動検出を行うために必要な諸条件の確認を行う。
---	---------------------------

(5) 実証⑤ 遠隔監視時の使用性（ドローン②）

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ドローン②がCPTに配信する遠隔監視映像の使用性を検証した。表 4.3.2.2-5 に検証項目を示す。

表 4.3.2.2-5 検証項目

項番	検証項目
1	4K・5fps以上の映像をCPTへ伝送できること。
2	CPTへ伝送した映像を表示できること。
3	監視員が映像から効果的に情報を受容できること。

(6) 実証⑥ 遠隔操作機能（ドローン②）

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、インシデントが発生した際にはドローン②をCPTから遠隔操縦する必要がある。本検証では、ローカル5G通信経路にてドローン②の遠隔操縦性能を映像情報の過不足の観点から評価する。表 4.3.2.2-6 に検証項目を示す。

表 4.3.2.2-6 検証項目

項番	検証項目
1	映像をCPTにおいて監視員が確認しながら、ドローンの遠隔操縦を行うこと。

(7) 実証⑦ 遠隔監視時の映像による人物表示（ドローン②）

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ドローン②がCPTに配信する遠隔監視映像上に表示される人物の可視性を検証した。表 4.3.2.2-7 に検証項目を示す。

表 4.3.2.2-7 検証項目

項番	検証項目
1	人物の移動速度（通常歩行速度、走り去る速度）によらず、CPTへ伝送した映像から監視員が人物を発見できること。

(8) 実証⑧ 監視映像品質（ドローン②）

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ドローン②がCPTに配信する遠隔監視映像の映像品質を映像のコマ落ちの観点から評価した。表 4.3.2.2-8 に検証項目を示す。

表 4.3.2.2-8 検証項目

項番	検証項目
1	CPTへ伝送した映像にコマ落ちが発生していないこと。

(9) 実証⑨ 映像伝送遅延（ドローン②）

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ドローン②がCPTに配信する遠隔監視映像の映像品質を映像伝送遅延の観点から評価した。表 4.3.2.2-9 に検証項目を示す。

表 4.3.2.2-9 検証項目

項番	検証項目
1	映像がCPTモニタに表示されるまでの遅延時間を測定すること。

(10) 実証⑩ 制御伝送遅延（ドローン②）

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、インシデントが発生した際にはドローン②をCPTから遠隔操縦する必要がある。本検証では、ローカル5G通信経由にてドローン②の遠隔操縦性能を制御伝送遅延の観点から評価した。表 4.3.2.2-10 に検証項目を示す。

表 4.3.2.2-10 検証項目

項番	検証項目
1	CPTへの伝送映像を確認しながらドローン②を遠隔操作できること。

(11) シナリオ実証 インシデント発見から対応（ドローン②）

ドローン②における遠隔画像巡回中にインシデントが発生した場合を想定し、監視員が遠隔監視映像上にインシデントを発見してから警備員への指示と対処までを実施する際の一連の動作の実施できるか否かを評価・検証した。

4.3.2.3 評価・分析方法

(1) 実証① 自動巡回時の監視映像（ドローン①）

以下の検証方法に従い、4.3.2.2 (1) の検証項目を評価した。ドローン①の飛行ルートはあらかじめ手動にて設定した。ドローン①の飛行ルートを同じく図 4.3.2.3-1 に示す。

- 1) 自動巡回を開始する。
- 2) ドローン①が手動操縦により設定した飛行ルートを追従できているかを記録する。
- 3) ドローン①が自動巡回中にCPTに表示されるドローン①の遠隔監視映像に対して、監視員に画質や表示速度に関するアンケートを実施する。アンケートは項 4.3.2.4 に示す。

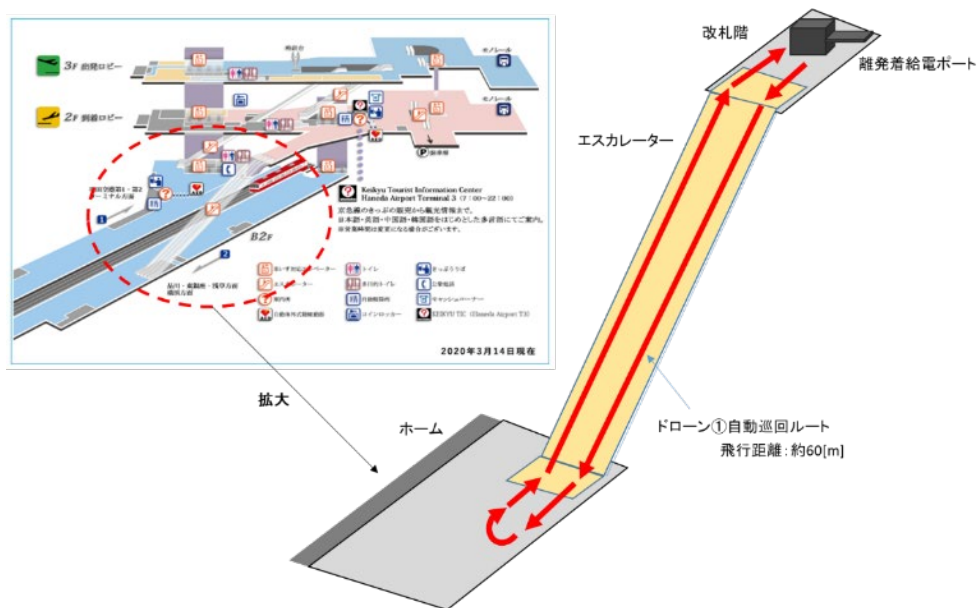


図 4.3.2.3-1 ドローン①巡回ルート

(2) 実証② 人の自動検出 (ドローン①)

以下の検証方法に従い、4.3.2.2 (2) の検証項目を評価した。検知対象者の配置位置を図 4.3.2.3-2 に示す。ドローン①は人検出した際に、カメラ映像の人検出領域にバウンディングボックス (赤枠) を付与して配信する。そこで、本検証ではドローン①が検証位置で静態する検知対象者に対して、検出結果を付加された遠隔監視映像を CPT に配信及び表示することで確認する。

- 1) 検知対象者を検証位置で静態させる。
- 2) 自動巡回を開始する。
- 3) 遠隔監視映像に付与されるバウンディングボックスの有無より人検出結果の正誤を記録する。

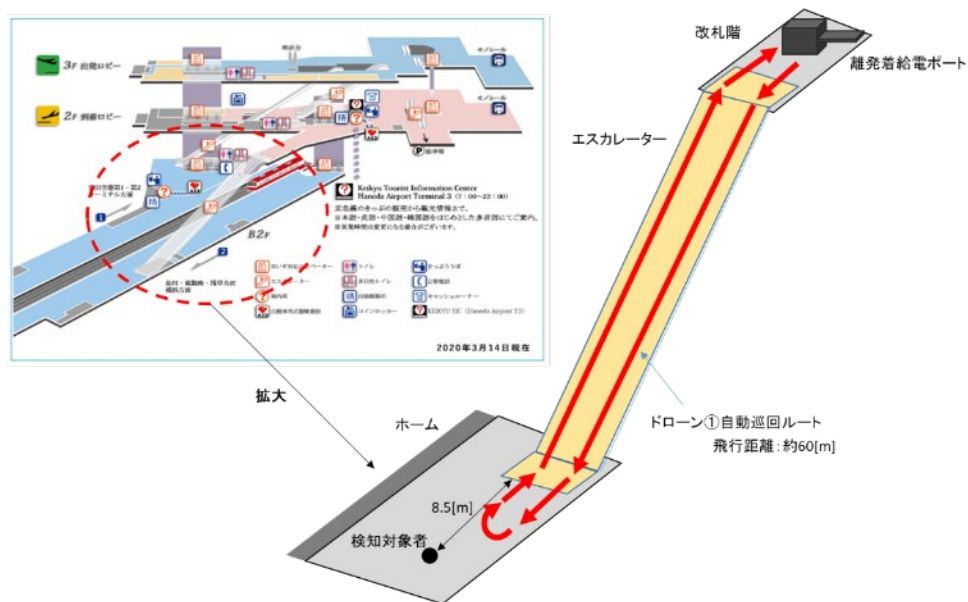


図 4.3.2.3-2 検証対象者の静態位置

(3) 実証③ 自動巡回の安全機構及び自律・自動制御機能（ドローン①）

以下の検証方法に従い、4.3.2.2 (3) の検証項目を評価した。本検証では安全面の観点から羽田空港第3ターミナル駅での実証前に、以下の検証場所を実施した。

- (施設名) ALSOK 稲城ビル
- (面積) 22.8m×29.4m
- (天井高) 4.4m

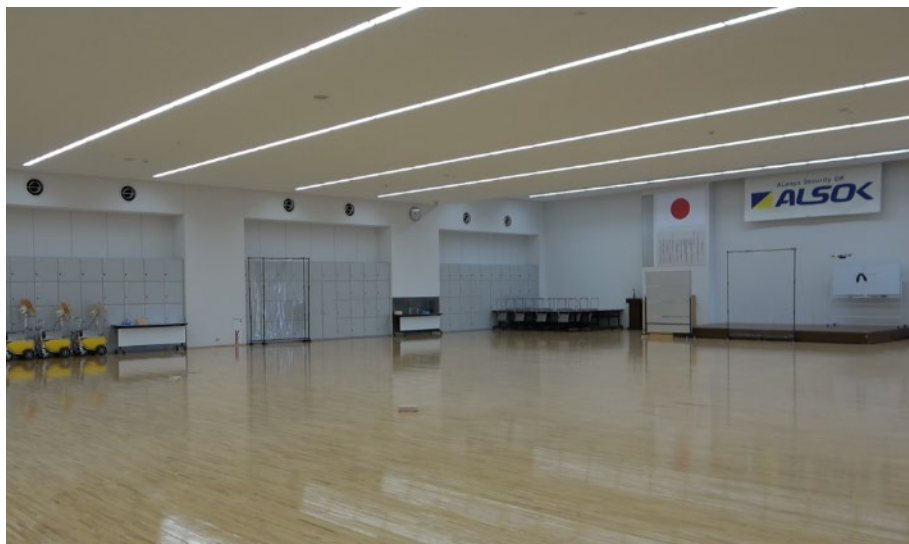


図 4.3.2.3-3 実施環境

検証場所内におけるドローン①の機器配置及び飛行ルートを図 4.3.2.3-4、図 4.3.2.3-5 に示す。本検証では図 4.3.2.3-5 に示す通り飛行ルートの中央部に障害物となる人物配置し、飛行するドローン①が回避行動を実施した際の回避方向及び飛行方向の回避幅を計測

する。なお、ドローン①は人物が手を伸ばしても届かない距離で障害物回避幅を設定するものとする。

- 1) 飛行ルート上の中央部に人物を配置する。
- 2) 図 4.3.2.3-5 に示す通り、検証場所の床面に人物からの距離をマーキングする。
- 3) 自動巡回を開始する。
- 4) ドローン①が自動巡回中に飛行ルート上の人物を自動回避し、巡回ルート上に復帰するか否かを評価する。
- 5) ドローン回避方向及びドローン進行方向それぞれにおいて回避行動を実施した際の障害人物からドローン①までの距離を計測する。

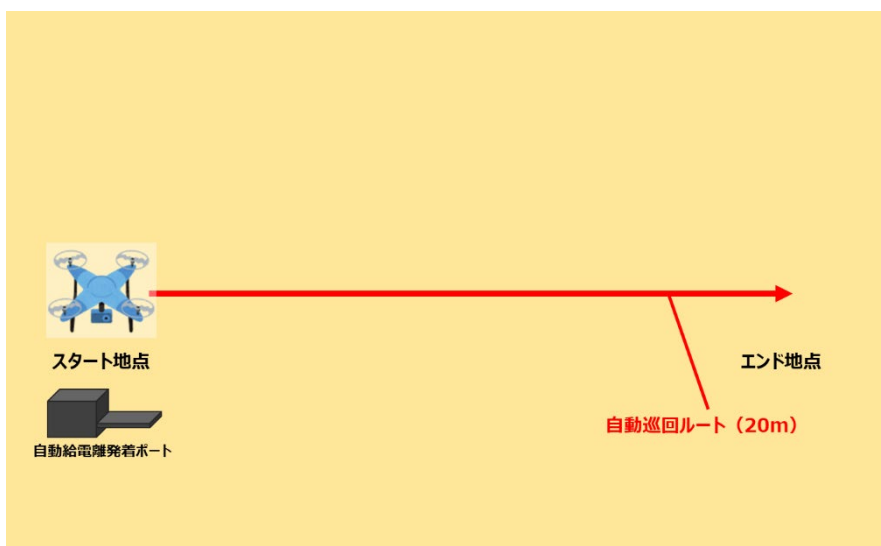


図 4.3.2.3-4 飛行ルート

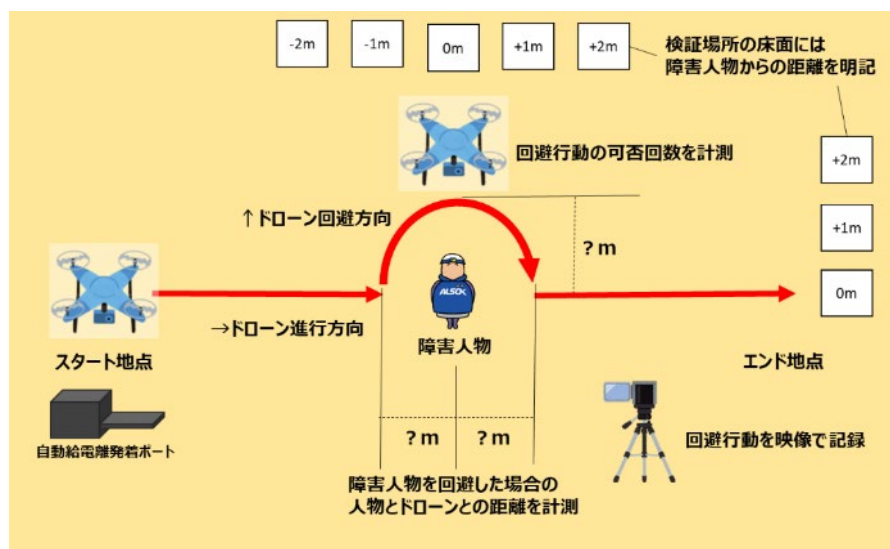


図 4.3.2.3-5 機器設置位置及び検証内容

(4) 実証④ 人の検知可能条件 (ドローン①)

以下の検証方法に従い、4.3.2.2 (4) の検証項目を評価する。本検証では実証③と同様に、人検知機能がドローン①本体が具備する機能であることから、ALSOK 稲城ビルで検証を行った。

検証場所内におけるドローン①の機器配置を図 4.3.2.3-6 に示す。なお、人物は、ホバリング状態のドローン①の正面カメラ画角内に収まるように配置するものとする (図 4.3.2.3-6 記載)。また、人検知の有無は、操作器に取り付けたスマホ画面 (図 4.3.2.3-7) にて人物へのバウンディングボックス (赤枠) の有無にて確認するものとする。

- 1) ドローン①を高さ 2m にてホバリング状態とする。
- 2) ドローン①から 30m 離れた地点に配置した検知対象者を 1m ずつドローン①に近づけさせ、人検知が実施された場合のドローン①からの検知可能最大距離を計測する (図 4.3.2.3-7)。
- 3) 2) の検知距離からさらに検知対象者を 1m ずつドローン①に近づけさせ、人検知がされなくなった場合の検知可能最小距離を計測する (図 4.3.2.3-7)。最小距離は障害物回避幅とする。
- 4) 巡回ルートの中間地点において、ドローン水平方向に検知対象者を横切らせる。このとき、検知対象者は歩行 (1m/sec~) 及び走行 (5m/sec 程度) するものとし、通過

速度が人物検知に与える影響を計測する（図 4.3.2.3-8）。



図 4.3.2.3-6 機器設置位置及び検証内容

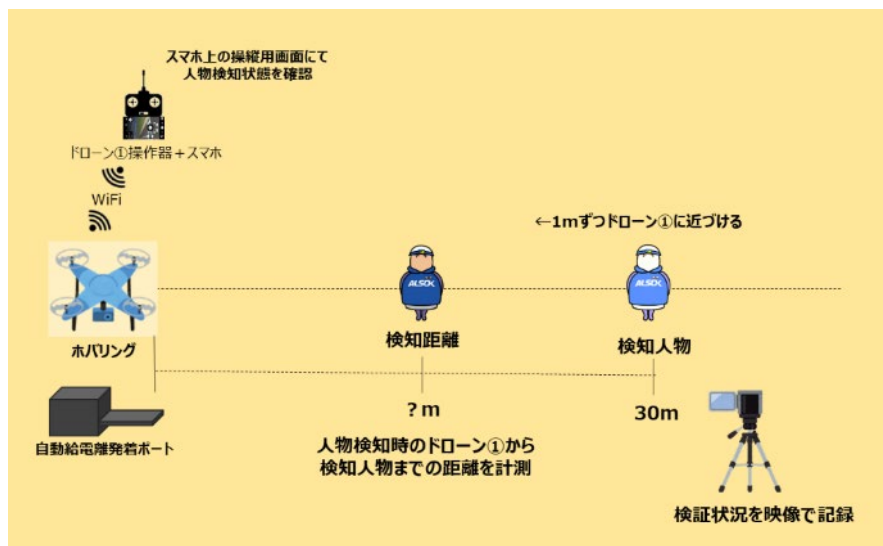


図 4.3.2.3-7 人物の検知可能最大距離と検知可能最小距離の測定

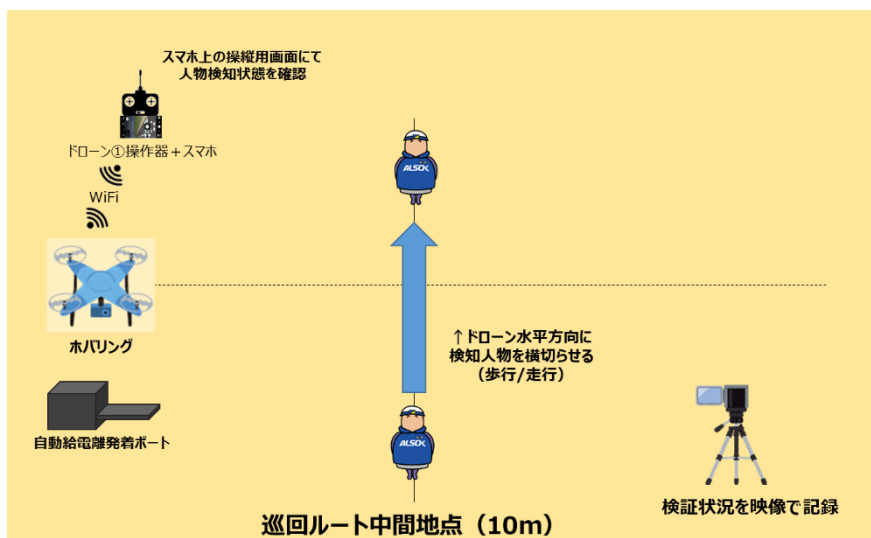


図 4.3.2.3-8 機器設置位置及び検証内容

(5) 実証⑤ 遠隔監視時の使用性 (ドローン②)

以下の検証方法に従い、4.3.2.2 (5) の検証項目を評価した。ホームの機器配置は図 4.3.2.3-9 の通りである。

- 1) ドローン②をホーム上で高さ 1.5m にてホバリングさせ、遠隔監視映像をローカル 5G 通信経由で CPT に配信されることを確認する。
- 2) CPT 上に遠隔監視映像を表示し、図 4.3.2.3-3 実施環境に対してドローン②のビットレートを 4Mbps、8Mbps、12Mbps に可変した際の使用性についてアンケートで評価する。詳細な画質設定については表 4.3.2.3-1 のとおり。

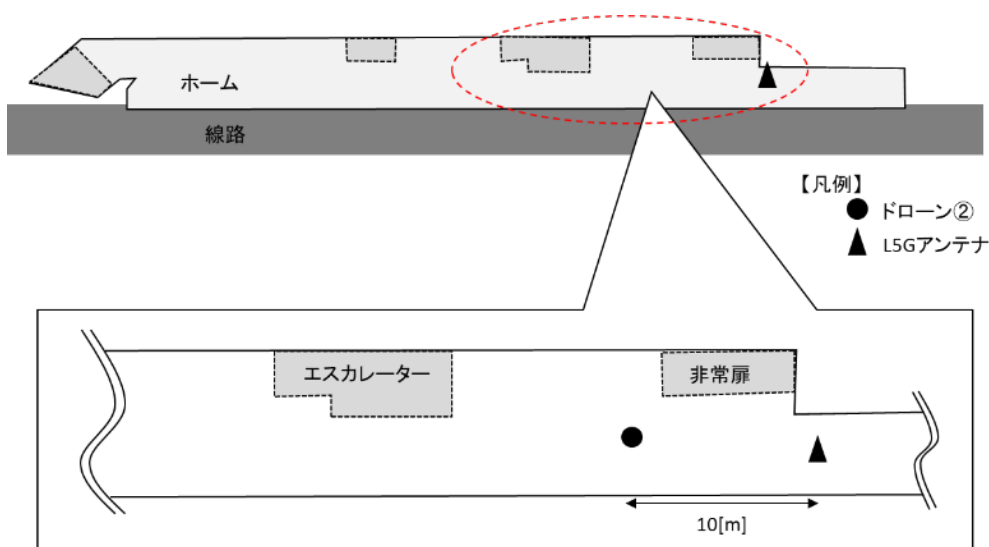


図 4.3.2.3-9 ホームの機器配置

表 4.3.2.3-1 カメラ映像品質設定値

解像度	3840×2160
フレームレート	20fps（最大設定可能値）
映像圧縮方式	H.264
ビットレート	4Mbps、8Mbps、12Mbps

(6) 実証⑥ 遠隔操作機能（ドローン②）

以下の検証方法に従い、4.3.2.2（6）の検証項目を評価した。ホームの機器配置は図4.3.2.3-10の通りである。

- 1) ドローン②をホーム上で高さ 1.5m にてホバリングさせ、遠隔監視映像をローカル 5 G 通信経由で CPT に配信する。
- 2) CPT 上のモニタ（4K サイズ相当）に遠隔監視映像を表示し、被験者（監視員）に対し、周囲の状況確認に関するアンケートを実施する。

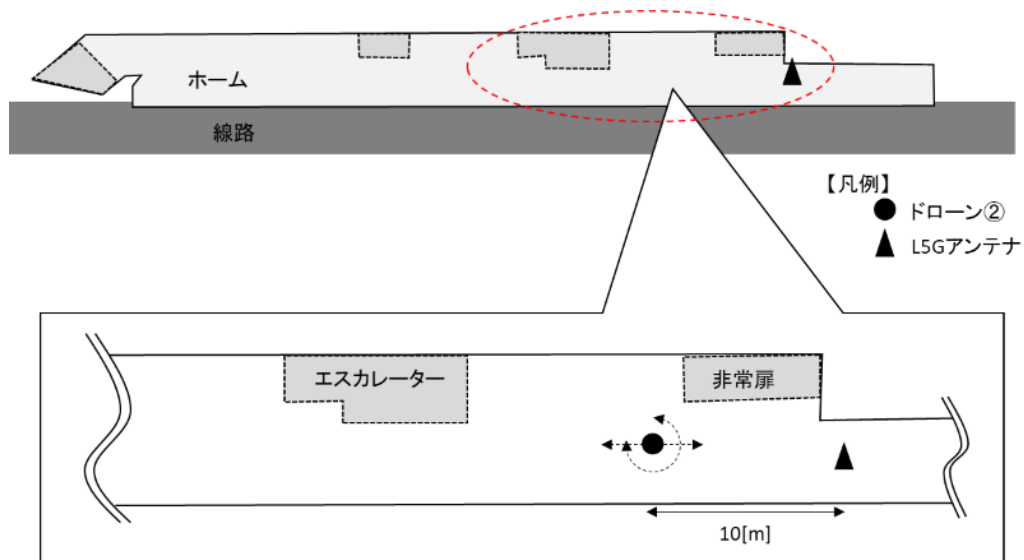


図 4.3.2.3-10 ホームの機器配置

(7) 実証⑦ 遠隔操作機能（ドローン②）

以下の検証方法に従い、4.3.2.2（7）の検証項目を評価した。ホームの機器配置は図4.3.2.3-11の通りである。

- 1) ドローン②をホーム上で高さ 1.5m にてホバリングさせ、遠隔監視映像をローカル 5

G通信経由でCPTに配信する。

- 2) ドローン②前方5mにて人物を歩行速度(1m/sec程度)及び走行速度(5m/sec程度)で通過させ、遠隔監視映像への人物表示可否を各々記録する。

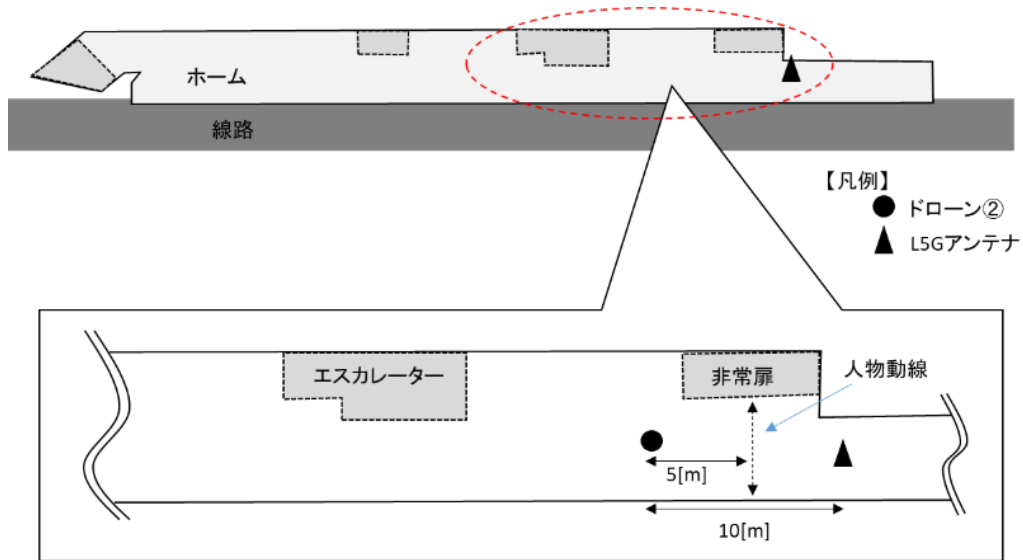


図 4.3.2.3-11 ホームの機器配置

(8) 実証⑧ 監視映像品質 (ドローン②)

以下の検証方法に従い、4.3.2.2 (8) の検証項目を評価した。ホームの機器配置は図4.3.2.3-12の通りである。

- 1) ドローン②をホーム上で高さ1.5mにてホバリングさせ、遠隔監視映像をローカル5G通信経由CPTに配信する。
- 2) 遠隔監視映像のフレーム番号の差分から1分間のフレーム数を算出する。
- 3) ドローン②の4Kカメラのフレームレート設定から算出する設定フレーム数と、2)で算出した計測フレーム数の枚数差をコマ落ち数として算出する。

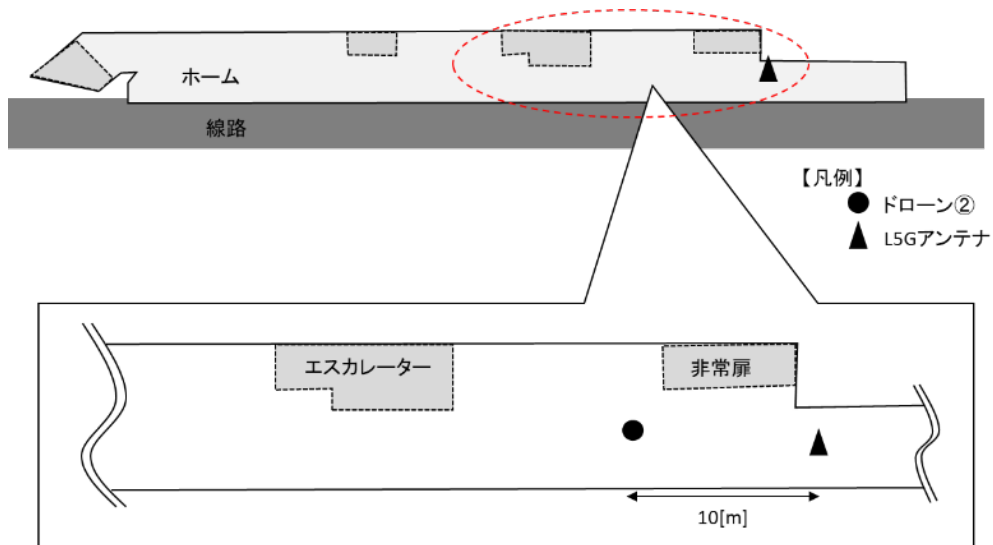


図 4.3.2.3-12 ホームの機器配置

(9) 実証⑨ 映像伝送遅延 (ドローン②)

以下の検証方法に従い、4.3.2.2 (9) の検証項目を評価した。ホームの機器配置は図 4.3.2.3-13 の通りである。

- 1) ドローン②をホーム床に設置し、遠隔監視映像をローカル5G通信経路でCPTに配信する。
- 2) 遠隔監視映像がCPTモニタに表示されるまでの映像遅延時間を、映像遅延測定ユニット(DPN2011B)にて計測する。映像遅延測定ユニットの機器諸元は(12)に示す。

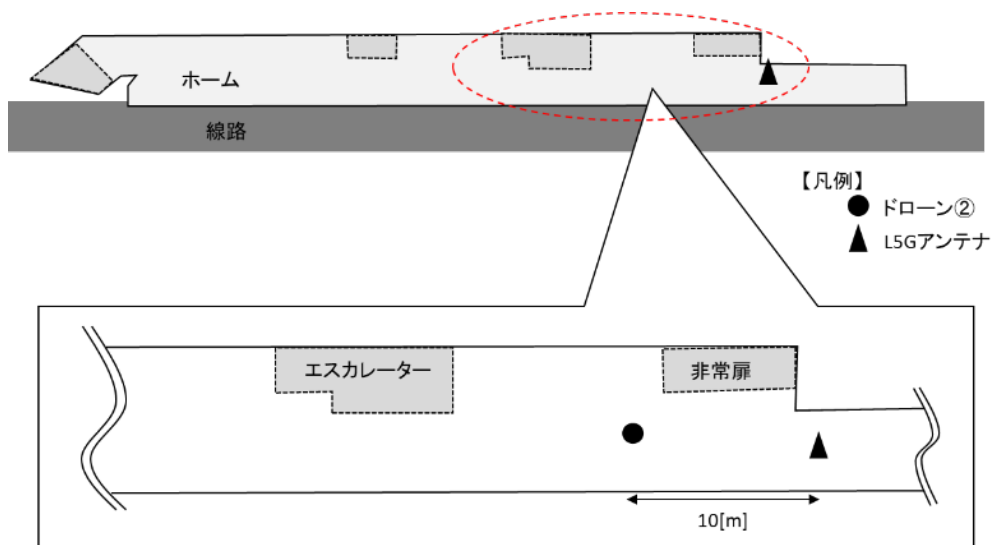


図 4.3.2.3-13 ホームの機器配置

(10) 実証⑩ 制御伝送遅延（ドローン②）

以下の検証方法に従い、4.3.2.2 (10) の検証項目を評価した。羽田空港第3ターミナル駅内の機器配置は図 4.3.2.3-14 の通りである。

- 1) ドローン②をホーム上で高さ 1.5m にてホバリングさせ、遠隔監視映像をローカル 5 G 通信経路で CPT に配信する。
- 2) 監視員が CPT からローカル 5 G 通信経路でドローン②の遠隔操縦を実施する。操縦動作は表 4.3.2.3-2 の各パターン 1 回ずつとする。
- 3) ドローン②がプロポ操作から実際に動作するまでに要する時間を制御伝送遅延時間とする。制御伝送遅延時間は、プロポ操作する監視員の手元と CPT 画面の遠隔監視映像を撮影（以下、本映像を制御伝送算出用映像とよぶ）し、操作から映像変化までの差分時間より実証⑨にて算出した映像伝送遅延時間を差し引くことで算出するものとする。
- 4) 監視員に対して、ドローン②の遠隔制御の操作性を制御伝送遅延時間の観点からアンケートで確認する。

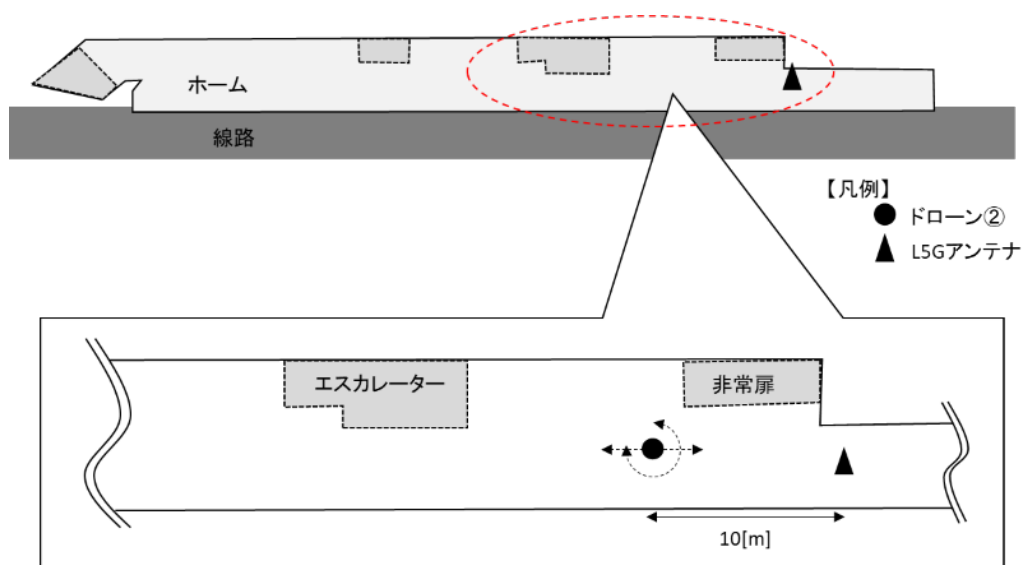


図 4.3.2.3-14 ホームの機器配置

表 4.3.2.3-2 遠隔操縦パターン

項番	検証項目
1	ドローン②を左方向に方向転換させる。
2	ドローン②を右方向に方向転換させる。
3	ドローン②を前方向に前進させる。
4	ドローン②を後方向に後進させる。

(11) シナリオ実証 インシデント発見から対応（ドローン②）

以下の動作に関して実施可否を監視員が定性的に評価を行った。なお、この時の羽田空港第3ターミナル駅内の機器配置及び人物配置は図 4.3.2.3-15 の通りである。

- 1) 監視員がドローン②の遠隔監視中にドローン②の前を横切る不審人物を発見する。
- 2) 発見した不審人物を再度確認するため、監視員はドローンの遠隔制御により方向転換操作を行い、姿・特徴を4Kカメラで捉える。
- 3) 監視員はCPTに表示されているスタ連より警備員の位置情報を確認し、最適な警備員に不審者の姿・特徴情報を伝達し対処を指示する。
- 4) 警備員が現場に駆けつけ、対応を行う。

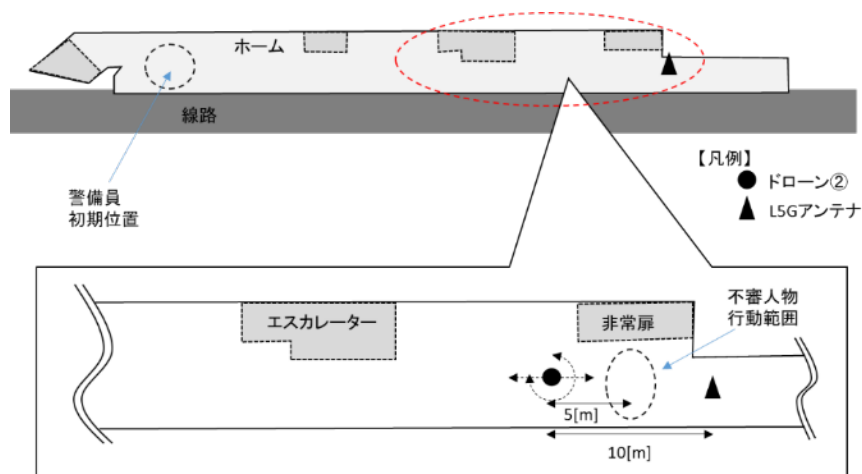


図 4.3.2.3-15 ホームの機器及び人物配置

(12) 機器諸元

【映像遅延測定ユニット】

映像遅延測定ユニットの諸元を示す。



表 4.3.2.3-2 映像遅延測定ユニット機器仕様

項目	詳細
メーカー	光パスコミュニケーションズ
型式	DPN2011B
寸法	本体：135mm×35mm×100mm 波形観測部：130mm×19mm×104mm
重量	本体：0.2kg 波形観測部：0.2kg
遅延時間測定範囲	1ms～4s（分解能 1ms）
測定システム遅延時間	0.1ms 以下
消費電力	4.5W（MAX）
ケーブル長	本体－発光部間：12.5m 本体－受光部間：2.5m
ソフトウェア	Windows PC 用 AcccuLatency

4.3.2.4 評価アンケート（ドローン）

以下に従い、監視員へのアンケート評価を実施した。

(1) 検証項目：遠隔監視映像の性能検証（ドローン②）【実証⑤⑦】

1	CPT のモニタ上にドローン②がホバリング中の監視映像が表示されましたか。	はい	いいえ			
以下、1が「はい」の場合						
ビットレート 8Mbps の映像視認性の確認						
2	監視映像は無理なく注視できましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
3	監視映像は鮮明でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
4	監視映像の表示速度は適切でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
5	監視映像に停止中の人物が表示されましたか。	はい	いいえ			
6	監視映像に歩行中の人物が表示されましたか。	はい	いいえ			
7	監視映像に走行中の人物が表示されましたか。	はい	いいえ			
ビットレート 4Mbps の映像視認性の確認						
8	ビットレートが 4Mbps のとき、監視映像は無理なく注視できましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
9	ビットレートが 4Mbps のとき、監視映像は鮮明でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
10	ビットレートが 4Mbps のとき、監視映像の表示速度は適切でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
ビットレート 12Mbps の映像視認性の確認						
11	ビットレートが 12Mbps のとき、監視映像は無	1	2	3	4	5

	理なく注視できましたか。	悪				良
12	ビットレートが 12Mbps のとき、監視映像は鮮明でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
13	ビットレートが 12Mbps のとき、監視映像の表示速度は適切でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良

(2) 検証項目：遠隔操縦時の動作検証（ドローン②）[実証⑥⑩]

1	監視映像を確認しながらドローン②を遠隔操縦することは可能でしたか。	はい			いいえ	
2	遠隔操縦を実施してから、実際に監視映像に反映されるまでの時間はどうか。	1 遅	2	3	4	5 速
3	遠隔操縦中の監視映像は無理なく注視できましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
4	遠隔操縦中の監視映像は鮮明でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
5	遠隔操縦中の監視映像の表示速度は適切でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
6	ドローン②の遠隔操縦を実施することで周囲の状況を不足なく確認できましたか。	はい			いいえ	
6が「いいえ」の場合						
7	どの点を不足と感じましたか。	(自由記入)				

(3) シナリオ実証（ドローン②）

1	ドローン②の監視映像上に不審人物が表示されましたか。	はい			いいえ	
2	ドローン②を遠隔操縦し、不審人物の特徴がはっきりとわかりましたか。	はい			いいえ	
2が「いいえ」の場合						
3	わかりにくいと感じたのはどのような部分でしょうか。	(自由記入)				
4	シナリオ実証全体を通して、ドローンによる遠隔画像巡回をもとにインシデントを発見してからスムーズに警備員への指示と対処ができましたか。	はい			いいえ	

(4) 検証項目：自動巡回時の動作検証（ドローン①）[実証①②]

1	CPT のモニタ上にドローン①の監視映像が表示されましたか。	はい	いいえ				
以下、1が「はい」の場合							
2	監視映像は監視に十分な画質でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良	
3	監視映像は監視に十分な表示速度でしたか。	1 遅	2	3	4	5 速	
4	監視映像に人物検知結果が赤枠で表示されましたか。	はい	いいえ				
4が「はい」の場合							
5	正しく人物が検知されていましたか。	はい	いいえ				
5が「いいえ」の場合							
6	どのようなものに赤枠が表示されましたか。	(自由記入)					

(5) その他

1	普段実施している巡回業務と比較してドローンによる遠隔画像巡回はどの程度活用できそうですか。0～100%でお答えください。	0 悪	20	40	60	80	100 良
改善点／課題があれば、ご記入ください（自由記入）							

4.3.2.5 評価・分析結果

(1) 実証① 自動巡回時の監視映像（ドローン①）

ドローン①が自動離発着ポートから離陸し、事前に設定した巡回ルートを経て自動離発着ポートに着陸することを確認した。図 4.3.2.5-1 から図 4.3.2.5-2 に検証中の様子を示す。



図 4.3.2.5-1 離陸直前のドローン①



図 4.3.2.5-2 自動巡回中のドローン①

また、監視員2名にて、CPTに表示されたドローン①自動飛行時の映像、遠隔監視映像の品質を評価検証した。結果、遠隔監視映像の画質及び表示速度が遠隔監視上問題ない品質であることを確認した。



図 4.3.2.5-3 ドローン①自動巡回中の CPT の様子

(2) 実証② 人の自動検出 (ドローン①)

CPT の遠隔監視映像で、検知対象者にバウンディングボックスが付与されていることから、ドローン①が人検知できることを確認した。図 4.3.2.5-4 に検証中の様子、図 4.3.2.5-5 に人物検知時のドローン①映像を示す。



図 4.3.2.5-4 自動巡回中のドローン①と検知対象者



図 4.3.2.5-5 人物検知時の CPT の遠隔監視映像

(3) 実証③ 自動巡回の安全機構及び自律・自動制御機能（ドローン①）

4.3.2.3 (3) に示す検証場所においてドローン①の障害物回避動作の安全性を評価した。ドローン①で飛行速度 1.0m/s、高度 2.0m における自動飛行を計 10 回実施し、人物を回避する際の回避方向及び飛行方向の回避幅を求めた。回避方向は右方向、左方向、真上方向、右上方向の 4 種類を計測した。なお、ドローン①の障害物回避幅は 1m と設定した。結果は表 4.3.2.5-1 の通りであり、平均値は回避方向の回避幅は 1.17m、進行方向の回避幅は 1.40m であった。上記より、ドローン①の障害物回避幅は 1m より大きいため、ドローン①が静態する人物を回避して安全に自動飛行を継続できたことを確認した。

表 4.3.2.5-1 ドローン①障害物回避機能検証結果

回数	回避方向回避幅 [m]	進行方向回避幅[m]
1	1.50 (右方向)	1.50
2	1.20 (左方向)	1.50
3	1.00 (右方向)	1.50
4	1.20 (左方向)	1.50
5	1.20 (右方向)	1.50
6	1.20 (左方向)	1.50
7	1.50 (左方向)	1.70
8	0.75 (真上方向)	1.00
9	1.30 (左方向)	1.30
10	0.83 (右方向)	1.00
回避幅平均値	1.17	1.40

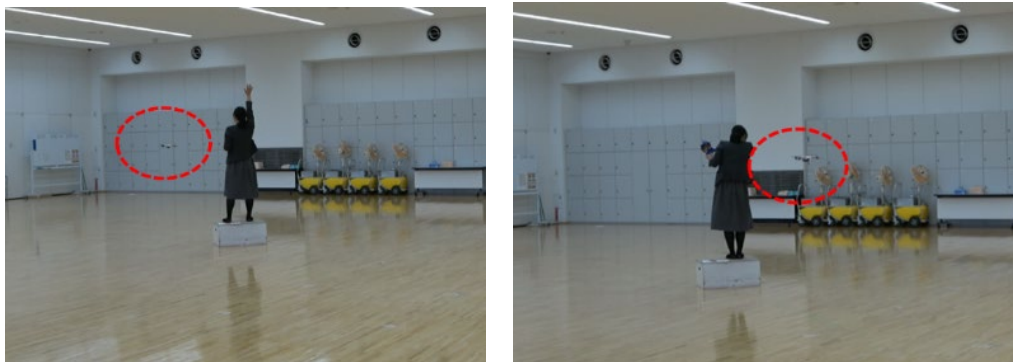


図 4.3.2.5-6 障害物（人）を回避するドローン①
 (左：進行方向に対する回避、右：回避方向に対する回避)

(4) 実証④ 人の検知可能条件（ドローン①）

4.3.2.3 (4) に示す検証場所において、ホバリングするドローン①が検知対象者を検知する距離を計測した。なお、ホバリングの高さは 2.0m とした。また、検知対象者は正面／側面／背面の計 3 パターンでドローン①への接近を行った。表 4.3.2.5-2 に人物検知最大距離の計測結果を示す。表 4.3.2.5-2 より、人物検知最大距離は平均して正面 18.93m、側面 14.83m、背面 16.85m であることが分かった。なお、ドローン①の障害物回避幅（設定値）である 1.0m 付近まで検知対象者に接近しても人検知が途切れることはないことも確認した。

さらに、巡回ルートの中間地点であるドローンから距離 10m の地点において、ドローン水平方向に歩行（1m/sec 程度）・走行（5m/sec 程度）の異なる速度にて検知対象者を横切らせた。その結果、歩行時にはカメラ画角に検知対象者が写りこんだ段階で、走行時には映り込んでから 1 秒程度経過した段階で、人検出が行われることを確認した。また、人検知は歩行／走行ともに検知対象者が画角外に出るまで継続していた。したがって、検知対象者が走行時でも、検知範囲内であれば画角に映る限り人検知が継続可能であることが確認できた。

表 4.3.2.5-2 ドローン①人物検知距離計測結果

計測回数	正対[m]	側面[m]	背面[m]
1	17.90	15.45	15.22
2	19.95	14.20	18.47
平均距離	18.93	14.83	16.84



図 4.3.2.5-7 検証中の様子



図 4.3.2.5-8 ドローン①カメラの映像

(5) 実証⑤ 遠隔監視時の使用性（ドローン②）

ドローン②が CPT に遠隔監視映像が伝送され適切に表示されることを確認した。また、監視員 2 名のアンケートを実施し、使用性を視認性及び視聴環境の観点で評価を行った。

視認性に関しては、ビットレートの違いによる情報の受容しやすさで評価した。評価結果を図 4.3.2.5-9 に示す。なお、縦軸はアンケート評価値による情報の受容性の割合（高いほど受容しやすい）、横軸はビットレートである。図 4.3.2.5-9 から、4Mbps よりも 8Mbps 以上の高ビットレートで映像伝送することで高い受容性が得られること、ビットレートを 8Mbps 以上に上げても効果は低いことが推測できた。

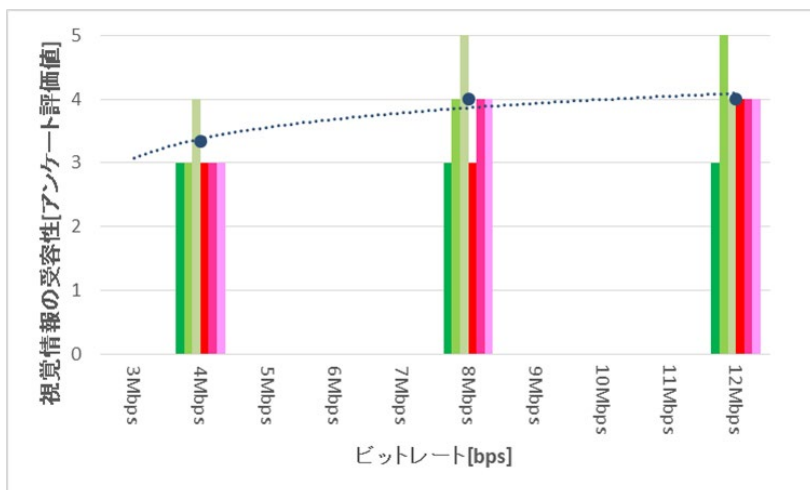


図 4.3.2.5-9 遠隔監視映像からの視覚情報の受容性

また、視聴環境に関しては、アンケート結果より“目に疲労感が生じる”との課題を得た。その原因が、座席とモニタ間が近距離であること負担となっていたこともアンケート結果より確認できた。



図 4.3.2.5-10 ドローン②の遠隔監視映像



図 4.3.2.5-11 検証中の様子

(6) 実証⑥ 遠隔操作機能（ドローン②）

ホーム上のドローン②が、CPTでの前後方移動、左右旋回のプロポ操作に合わせて、同動作を行うことを確認した。しかし、実施したアンケート結果ではCPTの遠隔監視映像によるプロポ操作は、本検証で実施した簡易的な操作でなければ遠隔操作できない旨の回答が得られた。この回答は、プロポ操作による動作が遠隔監視映像で確認できるまでに要する時間（後述する制御伝送遅延時間と映像伝送遅延時間を加算した時間）が、目視で確認する場合と比較して長く、操作が難しく感じることに起因するものであった。アンケート評価結果は以下の通りである。



図 4.3.2.5-12 遠隔操縦で飛行するドローン②



図 4.3.2.5-13 CPT より遠隔操縦する様子

(7) 実証⑦ 遠隔監視時の映像による人物表示（ドローン②）

高さ 1.5m ホバリングするドローン②の前方 5m の距離で、被験者にて停止・歩行横断・走行横断を行い、監視員に対して遠隔監視映像による人物の視認性に関するアンケートを実施した。アンケート結果より、被験者の存在は、停止／歩行／走行の状態に関わらず、遠隔監視映像より認識できることを確認した。一方、被験者の顔の特徴は、走行状態では認識できないとのアンケート結果も得た。



図 4.3.2.5-14 遠隔監視映像より被験者を確認する監視員

(8) 実証⑧ 監視映像品質（ドローン②）

遠隔監視映像のコマ落ち数を 4.3.2.3 (8) に従って算出した。算出にはランダムに抽出した 1 分間の遠隔監視映像を用いた。また、ドローン②が配信する遠隔監視映像の設定値は表 4.3.2.5-3 の通りである。結果、設定フレーム数が 1,200 フレームに対して、計測フレ

ーム数は1,188フレームであり、コマ落ち数は12フレームとなった。本分析でのコマ落ち数は秒単位での算出のため±20フレームは誤差範囲とみなすと、本結果はドローン②の4Kカメラは伝送区間でコマ落ちは生じていないに等しいとみなすことができる。

表 4.3.2.5-3 実証⑧におけるドローン②映像品質の設定値

解像度	3840×2160
フレームレート	20fps
映像圧縮方式	H.264
ビットレート	8Mbps

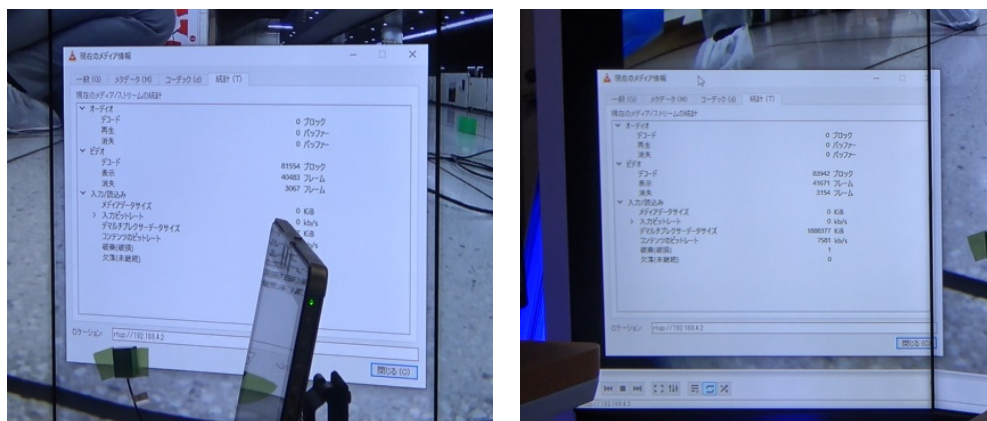


図 4.3.2.5-15 ドローン②映像コマ落ちの計測時の様子

(9) 実証⑨ 映像伝送遅延 (ドローン②)

映像遅延測定ユニットを用いて、ドローン②の4Kカメラ映像がCPTに表示されるまでの遅延時間を測定した。結果、映像伝送遅延時間は1,180msであった。また、技術実証において本検証環境に類似する環境(距離30m)下でUL伝送遅延時間は平均50ms以下であることから、映像伝送遅延時間に占める実験試験局のUL伝送遅延時間は10%であった。



図 4.3.2.5-16 映像遅延ユニットで遅延計測している様子
(左:カメラ前に設置した発光部、右:CPTに設置した受光部)

(10) 実証⑩ 制御伝送遅延（ドローン②）

4.3.2.3 (10) に示す計測方法で制御伝送遅延時間を算出した。制御伝送算出用映像におけるプロポ操作から映像変化までの差分時間は 1,630ms で、実証⑨にて算出した映像伝送遅延時間が 1,180ms であることから、制御伝送遅延時間は 450ms となった。



図 4.3.2.5-17 制御伝送遅延計測中の様子

(11) シナリオ実証 インシデント発見から対応（ドローン②）

ドローン②が配信する遠隔監視映像より、不審者と思われる人物を検知し、スタ連を用いて施設巡回警備員への不審者確認指示を迅速に行い、不審者への声掛けを実現できた。

施設警備における一連の業務フローである発見、駆け付けから対処に至るまでを確認することができた。



図 4.3.2.5-18 遠隔監視映像で不審者と思しき人物を発見した際の様子

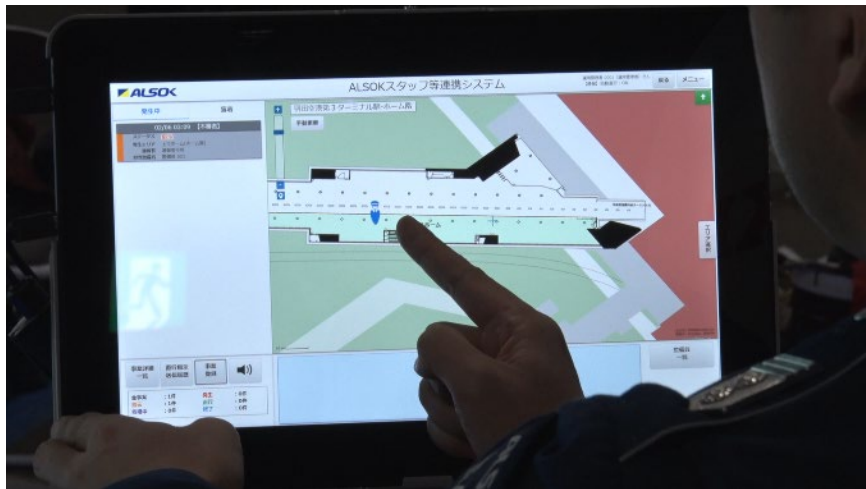


図 4.3.2.5-19 スタ連で最寄りの警備員へ駆付け指示を行っている様子



図 4.3.2.5-20 駆付け指示を確認する警備員



図 4.3.2.5-21 不審者と思しき人物に声掛けする警備員

4.3.2.6 考察

(1) 自律自動制御・安全性能

実証①より、自律自動制御の下でドローンを離陸から着陸まで施設設備に接触することなく飛行できることを確認した。また、実証③で自律自動制御中であっても障害物を回避して飛行できることを確認した。この結果は、遠隔自動巡回中の不審者の接近を防いで遠隔監視を継続できるだけでなく、駅利用者への接触を防ぐ安全面への寄与が期待できる。さらに、実証②及び④で確認された人検知性能の結果より、移動する不審者や駅利用者がドローンに接近する場合でも、人検知距離約 15m に対して相対速度 2.0m/s (ドローン速度 1.0m/s、人移動歩行速度 1.0m/s) のため、約 7.5s 間に回避する機体性能があれば、ドローンが移動する不審者や駅利用者に接触することなく回避できる。したがって、障害物回避機能と人検知機能が相成ってより高い安全性を得ることが期待できる。

(2) 遠隔操作

本検証では実証⑥より、前後移動や左右旋回のような簡易な操作でなければ遠隔操作できないことを確認した。また、その主たる要因が CPT でのプロボ操作が遠隔監視映像に反映されるまでの遅延時間 (映像伝送遅延時間+制御伝送遅延時間) が大きいことにあるとアンケート結果より確認できた。さらに、実証⑨及び実証⑩を通じて、遅延時間の内訳上、ローカル 5 G 伝送の遅延は極めて小さく、主たる遅延の原因が、カメラのエンコーダ部分であると推測できた。本検証で使用した 4K カメラ及びエンコーダは、ドローン実装可能な小型かつ軽量であることを優先した場合に唯一条件に見合ったものであった。したがって、より複雑な遠隔操作を実現するためには、よりレスポンスの高い小型かつ軽量の 4K カメラの開発が必要と考える。

(3) 遠隔巡回 (遠隔監視)

実証⑤のアンケート評価より 4Mbps よりも 8Mbps 以上の高ビットレートで映像伝送することで、CPT での遠隔監視映像の使用性が高く、遠隔監視先の情報を効果的に受容できることが確認できた。また、使用性の高さは、実証⑧で確認されたカメラ映像がコマ落ちなく CPT に表示できていることも理由として考えられる。同様に、実証⑦を通して遠隔監視先の人物が歩行/走行状態でも遠隔監視映像より人を視認できることが、情報の効果的な受容に寄与すると考えられる。

ただし、走行する人物の顔の特徴が認識できないとの課題が実証⑦のアンケート結果より得られた。また、CPT での遠隔監視は目に疲労感が生じるとの課題も実証⑤の結果より得られた。1つ目の課題である人物の顔特徴が認識できない点は、照明環境やカメラのシャッタースピード、フレームレート等の様々な要因が考えられるため、更なる検証が必要と言える。また、2つ目の課題である目の疲労感に関しては、CPT の座席とモニタ間の距離が要因に考えられる。本検証で用いた CPT は映像への没入感を重視して座席 - モニタ間を約 1.6m と設計した。一方で、日本オーディオ協会が提案する「ホームシアター映像 調整・環境ガイドライン」によると、視聴環境の明るさや映像装置等により一概には定義できないが、液晶モニタの適正な視距離は画面高さ×3m とされている。CPT のモニタサイズは

高さ 1,209.6 mmであるため、CPT 正面のモニターへの全画面表示を行った際の適正な視距離は 3,628.3 mmとなる。そのため、全画面表示にて監視員が無理なく遠隔画像巡回を実施するには、視距離約 3.6mまで CPT の画面と監視員との距離を離す必要があると考える。ただし、ガイドラインにも“一概には定義できない”としていることから、座席—モニター間の距離をフレキシブルに可変できる機構が CPT にも求められると考える。

また、評価時に考慮しなかった点として、視覚以外の情報が挙げられる。実際の警備員による巡回では、視覚情報だけでなく、音や匂い、振動など様々な感覚を駆使している。一方、本検証で用いた CPT は視覚情報以外を取得できていない。より高度な遠隔監視の実現には視覚以外の情報の活用も必要となる可能性がある。

4.3.3 ロボットを活用した遠隔巡回（アー2）

4.3.3.1 課題解決システムの概要（ロボット）

本検証で使用する警備ロボット REBORG-Z は、ローカル5G無線端末を始め、正面を撮像する高精細カメラ（4K画質・5fps）と高精細俯瞰映像合成システム（ロボット上部に設置した4台のカメラ（HD画質・5fps以上）とその映像から、HD画質で30fpsの360度俯瞰映像を合成）で構成されているフライングビュー®（以下「FV」）システムで構成されている。カメラ映像の合成は、映像処理能力の高いFPGA上で行うことにより、リアルタイムかつ小型省電力のシステムでの大容量高画質の映像処理を実現し、走行中のロボットの360度で死角のないシームレスな広域エリア映像を得ることが可能。FVの機能については、図4.3.3.1-1及び図4.3.3.1-2に示す。

ライブ映像表示機能

車両周囲の俯瞰映像を自由な視点から表示
2視点からの俯瞰映像同時表示や俯瞰映像を含む3映像の同時表示も可能
ライブ映像表示中に撮影されたカメラ映像は本体装置の内蔵SSDに録画保存可能
さらに、表示中の俯瞰映像をSDカードに録画保存することも可能

標準表示（フライングビュー®モニター）



スワイプ操作で視点を自在に変更可能
シームレスな映像で、死角のないモニタリングが可能



距離の表示も可能

2視点からの俯瞰映像同時表示
（デュアルビュー）



俯瞰映像①

俯瞰映像②

俯瞰映像を含む3映像の同時表示
（マルチビュー）



追加のカメラ2台の魚眼
補正後映像を同時表示

俯瞰映像

図 4.3.3.1-1 FV 機能-1

最大10時間前までの周囲モニターの映像を**自由な視点**で再生可能

※ 内蔵SSD内の録画データをNW経路でアップロードしておき、(データバックアップ機能)
必要に応じて本体装置へダウンロードすることでより以前の周囲映像を自由視点で再生することも可能



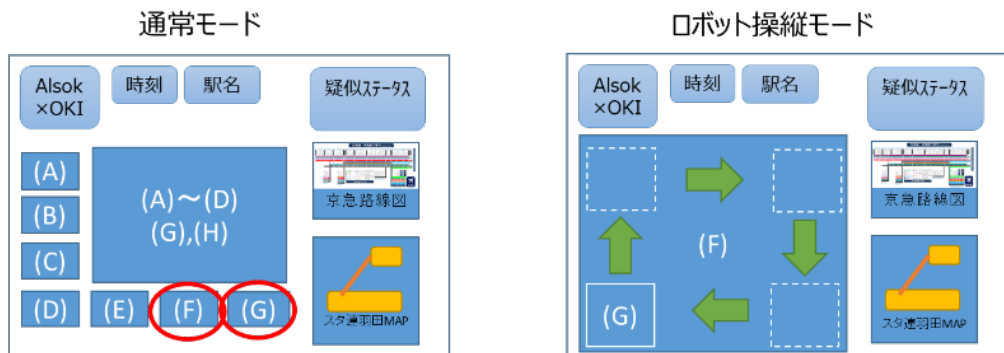
メディア内映像配信機能

Flying View® 本体装置内のMicroSDカードに記録した俯瞰映像を受信側で再生可能 (固定視点)



図 4.3.3.1-2 FV 機能-2

また、本検証では羽田空港第3ターミナル駅2番線ホーム上から離れたバックヤードに4.3.1.1 項に示すCPTを用意し、CPT画面(4Kサイズ相当のモニタ)上にロボット及び他システム映像を表示する。CPT画面構成例は図4.3.3.1-3のとおり。このとき、CPT画面上に表示される映像を遠隔監視映像と呼ぶ。



- ・(F)にロボットが記録した4K映像を表示する
- ・(G)にFV合成画像を表示する
- ・中央部の大きな画面には選択した小画面(A~G)を拡大表示する

- ・(F)にロボット4K映像を大きく表示
- ・(G)ロボットFV合成画像をワイプ表示

図 4.3.3.1-3 CPT 画面構成例

(1) システム構成

図 4.3.3.1-4 に示す課題解決システムのもと、ロボットを活用した本検証を実施した。

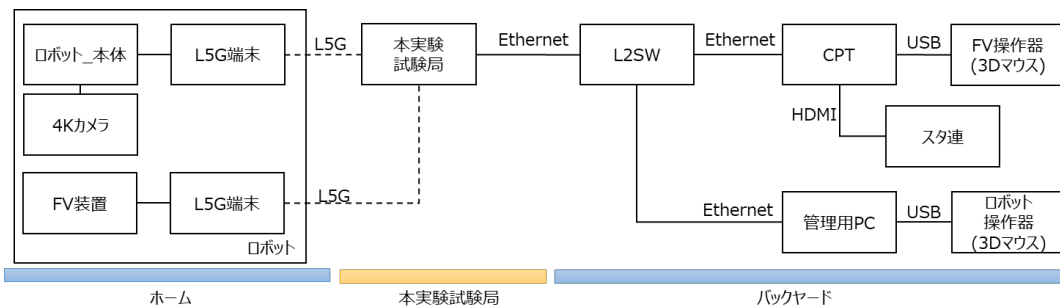


図 4.3.3.1-4 ロボットの課題解決システム機器

4.3.3.2 評価・分析項目

本評価・分析の実施においては、施設警備業務の経験を有する警備員（以下「監視員」）と連携し実施の上で評価を行った。

(1) 実証① 自動巡回時の監視映像

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ロボットが具備する自動巡回機能の性能及び遠隔監視映像の表示内容に過不足がないか評価した。表 4.3.2.2-1 に検証項目を示す。

表 4.3.3.2-1 検証項目

項番	検証項目
1	あらかじめ設定したルート上を自動巡回できること。
2	CPTへ映像送信できること。
3	送信された映像が監視に十分な画質であること。
4	送信された映像が監視に十分な表示速度であること。

(2) 実証② 自動巡回の安全機構及び自律・自動制御機能

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ロボットが走行する巡回ルート上に障害物が存在する場合を想定し、障害物の検知及び減速～停止動作が安全に実施可能か検証した。表 4.3.2.2-2 に検証項目を示す。

表 4.3.3.2-2 検証項目

項番	検証項目
1	自動巡回ルート上の障害物（人、スーツケース等）を検知すること。
2	自動停止機能の作動距離 0.5m 程度で自動停止すること

(3) 実証③ 遠隔監視時の使用性

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ロボットがローカル5G通信経由でCPTに配信する遠隔監視映像の使用性を検証した。表 4.3.2.2-3 に検証項目を示す。

表 4.3.3.2-3 検証項目

項番	検証項目
1	4K・5fps 相当の映像、及び 360 度俯瞰映像を統制 CPT へ伝送できること。
2	CPT へ伝送した映像を表示できること。
3	監視員が映像から効果的に情報を受容できること。

(4) 実証④ 遠隔操作機能

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、インシデントが発生した際にはロボットをCPTから遠隔操縦する必要がある。本検証では、ローカル5G通信経由にてロボットの遠隔操縦性を映像情報の過不足の観点から評価した。表 4.3.2.2-4 に検証項目を示す。

表 4.3.3.2-4 検証項目

項番	検証項目
1	映像をCPTにおいて監視員が確認しながら、ロボットの遠隔操縦を行うこと。
2	ロボットの遠隔操縦時に、障害物に接近した場合に自動停止すること。

(5) 実証⑤ 遠隔監視時の映像による人物表示

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ロボットがCPTに配信する遠隔監視映像に表示される人物の視認性を検証した。表 4.3.2.2-5 に検証項目を示す。

表 4.3.3.2-5 検証項目

項番	検証項目
1	人物の移動速度（通常歩行速度、走り去る速度）によらず、統制CPT席へ伝送した映像から監視員が人物を発見できること。

(6) 実証⑥ 監視映像品質

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、ロボットがCPTに配信する遠隔監視映像の映像品質を映像のコマ落ちの観点から評価した。表 4.3.2.2-6 に検証項目を示す。

表 4.3.3.2-5 検証項目

項番	検証項目
1	CPT へ伝送した映像にコマ落ちが発生していないこと。

(7) 実証⑦ 映像伝送遅延

設内の遠隔画像巡回を行う上で、ロボットが CPT に配信する遠隔監視映像の映像品質を映像伝送遅延の観点から評価した。表 4.3.2.2-7 に検証項目を示す。

表 4.3.3.2-6 検証項目

項番	検証項目
1	CPT へ伝送した映像が CPT モニタに表示されること。

(8) 実証⑧ 制御伝送遅延

施設内の遠隔画像巡回を行う上で、インシデントが発生した際にはロボットを CPT から遠隔操縦する必要がある。本検証では、ローカル 5 G 通信経由にてロボットの遠隔操縦性能を制御伝送遅延の観点から評価した。表 4.3.2.2-8 に検証項目を示す。

表 4.3.3.2-7 検証項目

項番	検証項目
1	監視員がロボットを遠隔操作できること。

(9) シナリオ実証 インシデント発見から対応

ロボットにおける遠隔画像巡回中にインシデントが発生した場合を想定し、監視員が遠隔監視映像にインシデントを発見してから警備員への指示と対処までを実施する際の一連の動作の実施できるか否かを評価・検証した。

4.3.3.3 評価・分析方法

(1) 実証① 自動巡回時の監視映像

以下の検証方法に従い、(1) の検証項目を評価した。羽田空港第 3 ターミナル駅内の機器配置は図 4.3.3.3-1 の通りである。ロボットの巡回ルートはあらかじめ手動での設定作業が必要なため、作業員にて設定を行った。ロボットの巡回ルートを同じく図 4.3.3.3-1 内に示す。移動体であるロボットを想定したハンドオーバー特性のデータ取得によるローカル 5 G の性能評価を行うため、巡回ルートは 2 台のローカル 5 G アンテナの中央部を走行するものとした。

- 1) 作業員がロボットの巡回ルートを設定する。このとき、目印としてホーム上の巡回ル

ート上に養生テープを貼り付ける。

- 2) 自動巡回を開始する。
- 3) あらかじめ作業員が設定した巡回ルートを追従できているかを記録する。
- 4) CPT のモニタに遠隔監視映像が表示されるか否かを監視員が記録する。
- 5) 遠隔監視映像が監視に十分な画質であるかを監視員がアンケートで評価する。アンケートは項 4.3.3.4 に示す。
- 6) 遠隔監視映像が監視に十分な表示速度であるかを監視員がアンケートで評価する。アンケートは項 4.3.3.4 に示す。

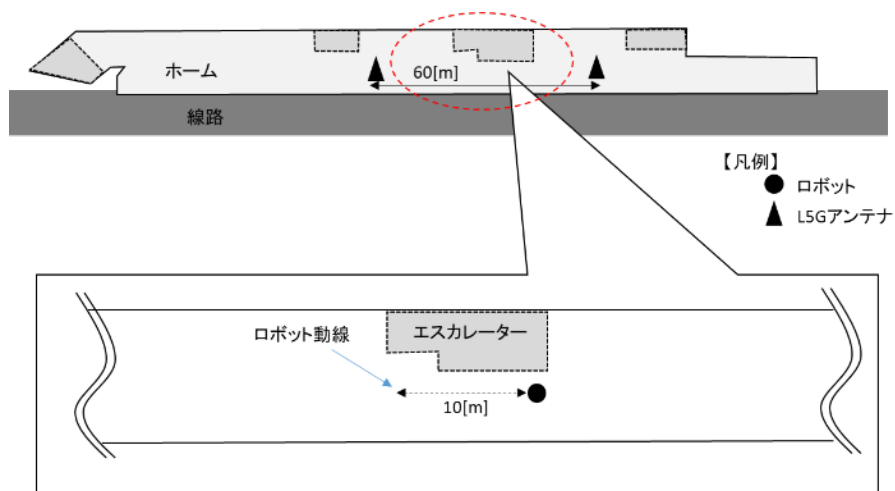


図 4.3.3.3-1 機器設置位置

(2) 実証② 自動巡回の安全機構及び自律・自動制御機能

障害物検知機能はロボットが具備する機能であることから、本検証は事前に以下の場所
で実施した。

(施設名) 日本美術工芸株式会社

(面積) 3.0m×9.0m

(天井高) 8.5m

検証場所内におけるロボットの機器配置及び巡回ルートを図 4.3.3.3-2 に示す。自動停止
機能の作動距離を 0.5m 程度と設定したロボットを自動巡回させ、ロボットが障害物に接近
した際に減速および停止した距離を計測し、各計測値が許容範囲であるかを確認した。実証
環境(羽田空港第3ターミナル駅)を鑑み、障害物にはスーツケース、人物、および荷物を

想定した段ボールの3種類を配置した。なお、自動停止作動距離の許容範囲は公開できないため、結果は、ロボットの許容範囲内での停止/減速の可否で示すものとした。

- 1) 巡回ルートスタート位置から4mの地点に障害物を1つずつ配置する。障害物のパターンは表 4.3.3.3-1 に記載の通りとする。
- 2) 自動巡回を開始する。
- 3) ロボットが巡回ルート上の障害物を検知し、停止するか否かを計測する。
- 4) ロボットが停止した際の減速を開始した位置及び停止した位置を計測する。
- 5) 1種類の障害物につき、2)～4)を計5回繰り返す。

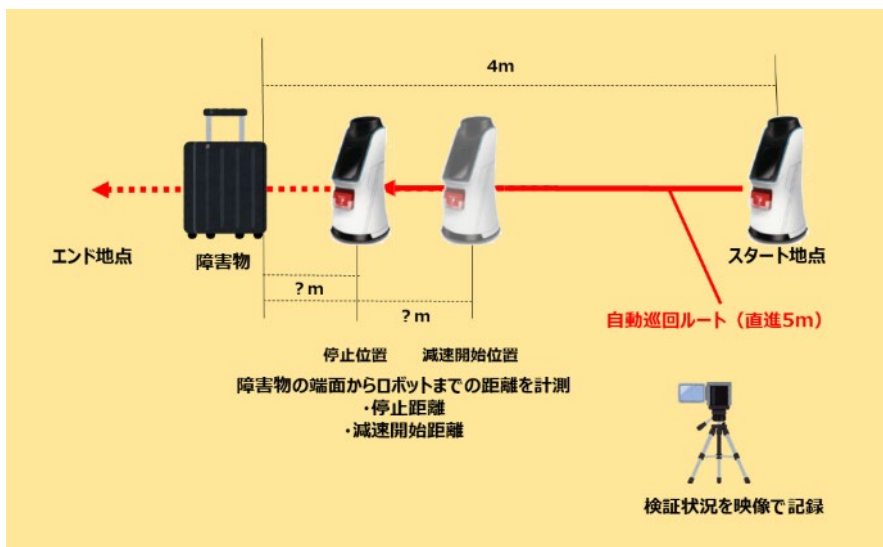


図 4.3.3.3-2 機器設置位置

表 4.3.3.3-1 検知用障害物

項番	名称	台数	備考
1	スーツケース	1 個	600mm×520mm×390mm
2	人物	1 人	身長 186cm
3	段ボール	1 個	170mm×330mm×550mm

(3) 実証③ 遠隔監視時の使用性

以下の検証方法に従い、(1)の検証項目を評価した。羽田空港第3ターミナル駅内の機器配置及び巡回ルートは図 4.3.3.3-3 の通りである。

- 1) 自動巡回を開始する。
- 2) CPT のモニタ (4K サイズ相当) に遠隔監視映像を表示し、監視員が無理なく注視でき効果的に情報が受容できるか (使用性) を視認性及び視聴環境の観点よりアンケートで評価する。アンケートは項 4.3.3.4 に示す。
- 3) 4K カメラのビットレートを変更し、2)同様にアンケートでの評価を行う。

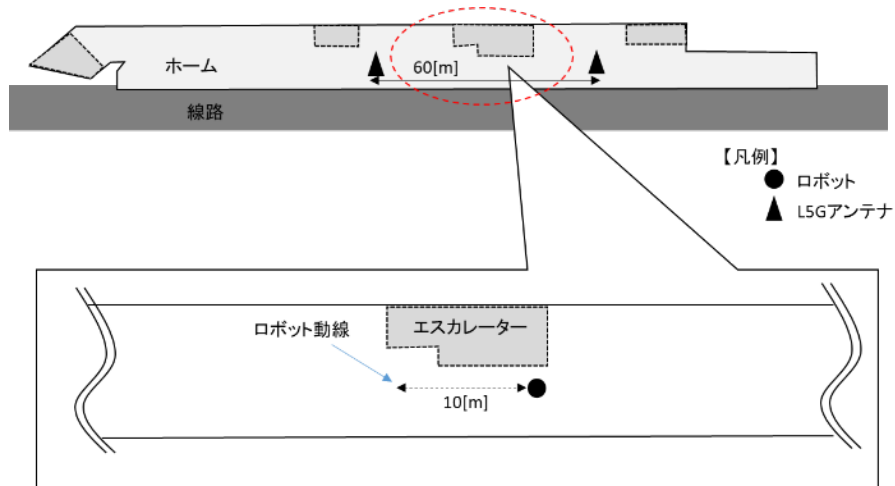


図 4.3.3.3-3 機器設置位置

(4) 実証④ 遠隔操作機能

以下の検証方法に従い、(1)の検証項目を評価した。羽田空港第3ターミナル駅内の機器配置及びロボットの遠隔操縦エリアは図 4.3.3.3-4 の通りである。

- 1) 遠隔操縦エリアにロボットを配置する。
- 2) 停止中のロボットの遠隔監視映像を CPT に配信する。
- 3) CPT のモニタ (4K サイズ相当) に遠隔監視映像を表示し、監視員が周囲の状況確認を不足なく実施できているかアンケートで評価する。アンケートは項 4.3.3.4 に示す。

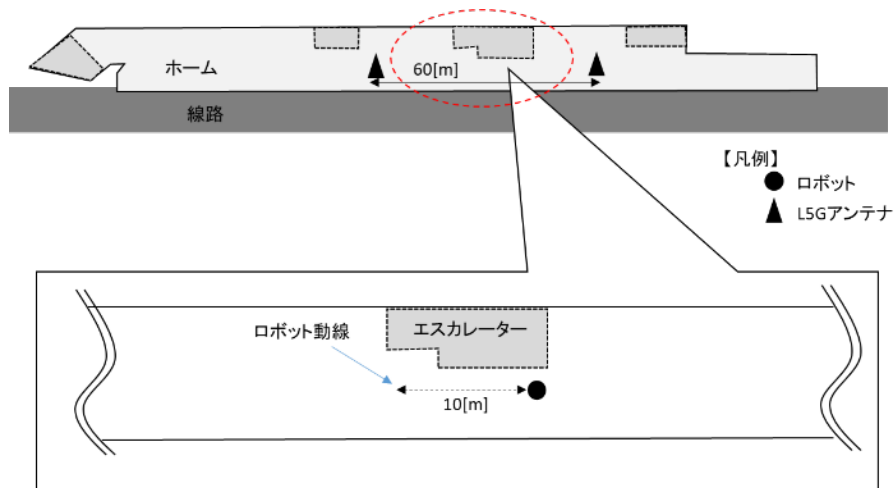


図 4.3.3.3-4 機器設置位置

(5) 実証⑤ 遠隔監視時の映像による人物表示

以下の検証方法に従い、(1)の検証項目を評価した。羽田空港第3ターミナル駅内の機器配置及び巡回ルートは図 4.3.3.3-5 の通りである。

- 1) 自動巡回を開始する。
- 2) CPT に遠隔監視映像を配信する。
- 3) ロボット前方にて人物を通過させ、遠隔監視映像への人物表示可否を記録する。
- 4) 3) の通過速度は歩行速度 (1m/sec 程度) と走行速度 (5m/sec 程度) それぞれの場合を検証する。

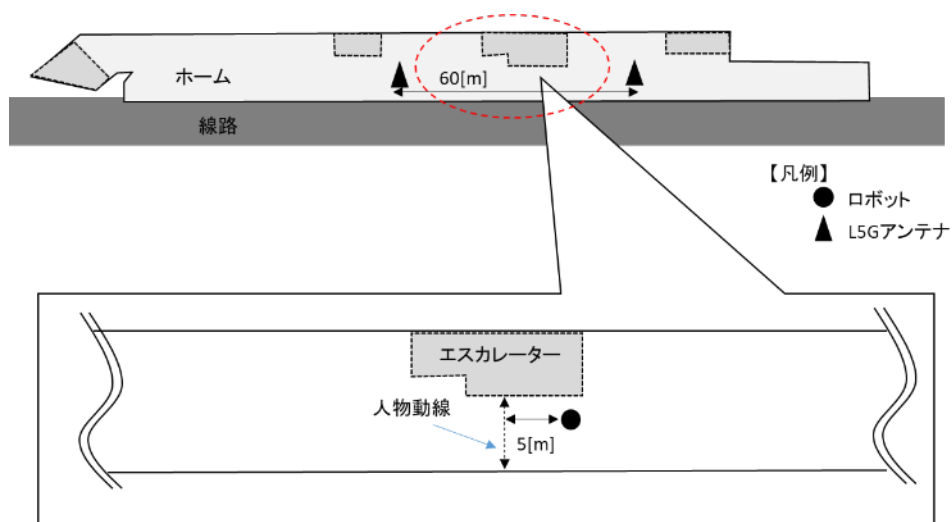


図 4.3.3.3-5 機器設置位置

(6) 実証⑥ 監視映像品質

以下の検証方法に従い、(1)の検証項目を評価した。羽田空港第3ターミナル駅内の機器配置及び巡回ルートは図 4.3.3.3-6 の通りである。

- 1) 自動巡回を開始する。
- 2) CPT に遠隔監視映像を配信する。
- 3) ハンディカメラを用いて遠隔監視映像を撮影し、表示フレームレートを記録する。
- 4) ロボットの 4K カメラのフレームレート設定と 3) の表示フレームレートを比較し、差し引きした値を映像コマ落ち数として記録する。

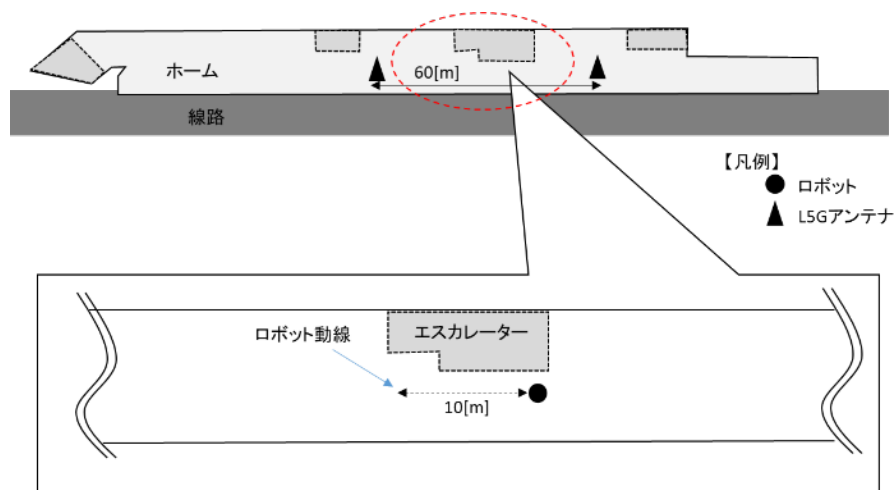


図 4.3.3.3-6 機器設置位置

(7) 実証⑦ 映像伝送遅延

以下の検証方法に従い、(1)の検証項目を評価した。羽田空港第3ターミナル駅内の機器配置及び巡回ルートは図 4.3.3.3-7 の通りである。

- 1) 自動巡回を開始する。
- 2) CPT に遠隔監視映像を配信する。
- 3) 遠隔遅延時間を、映像遅延測定ユニット (DPN2011B) にて計測する。映像遅延測定ユニットの機器諸元は項 4.3.2.3 (12) に示す。

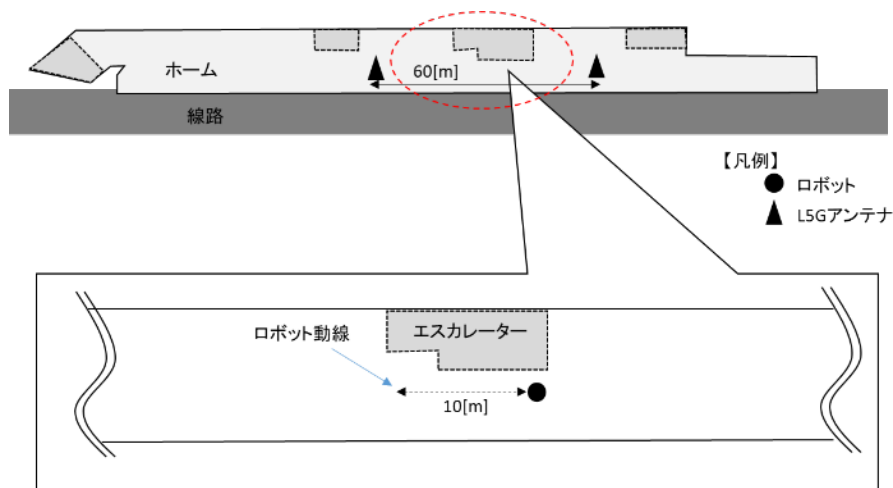


図 4.3.3.3-7 機器設置位置

(8) 実証⑧ 制御伝送遅延

以下の検証方法に従い、(1)の検証項目を評価した。羽田空港第3ターミナル駅内の機器配置及び巡回ルートは図 4.3.3.3-8 の通りである。

- 1) 遠隔操縦エリアにロボットを配置する。
- 2) 停止中のロボットの遠隔監視映像を CPT に配信する。
- 3) 監視員が CPT から 3D マウスを操作してローカル 5G 通信経由でロボットの遠隔操縦を実施する。操縦動作は前進／後進／右旋回／左旋回の 4 パターンを各 1 回ずつとする。
- 4) ロボットが 3DM 操作から実際に動作するまでに要する時間を制御伝送遅延時間とする。制御伝送遅延時間は、3DM 操作する監視員の手元と CPT 画面の遠隔監視映像を撮影（以下、本映像を制御伝送算出用映像とよぶ）し、操作から映像変化までの差分時間より実証⑦にて算出した映像伝送遅延時間を差し引くことで算出するものとする。
- 5) 監視員に対して、ドローン②の遠隔制御の操作性を制御伝送遅延時間の観点からアンケートで確認する。

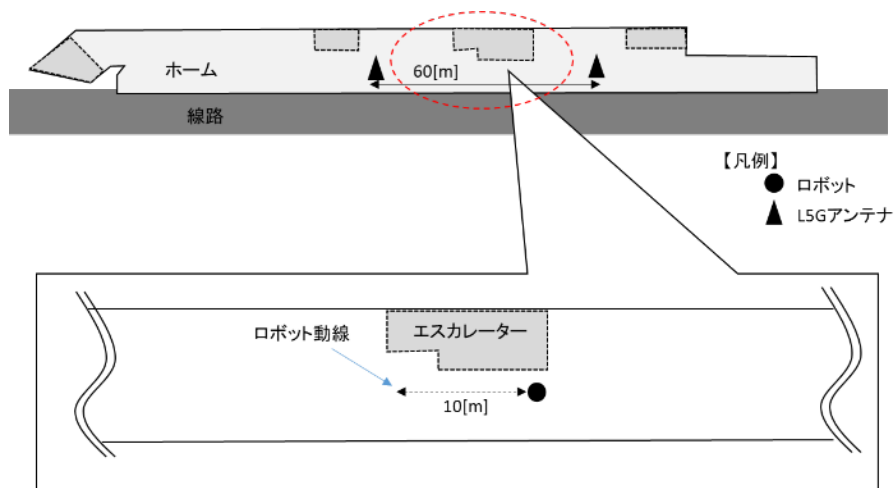


図 4.3.3.3-8 機器設置位置

(9) シナリオ実証 インシデント発見から対応

以下の動作に関して実施可否を監視員が定性的に評価した。なお、この時の羽田空港第3ターミナル駅内の機器配置及び人物配置は図 4.3.3.3-9 の通りである。

- 1) 監視員が、遠隔監視中に座り込んでいる人物を発見する。
- 2) 発見した人物の状況を確認するため、監視員はロボットを遠隔制御し、人物に近づきインシデントか否かを確認する。
- 3) 監視員が CPT に表示されているスタ連上で警備員の位置情報を確認し、最適な位置にいる警備員に人物の位置・状況を伝達し対応を指示する。
- 4) 警備員が現場に駆けつけ、対応を実施する。

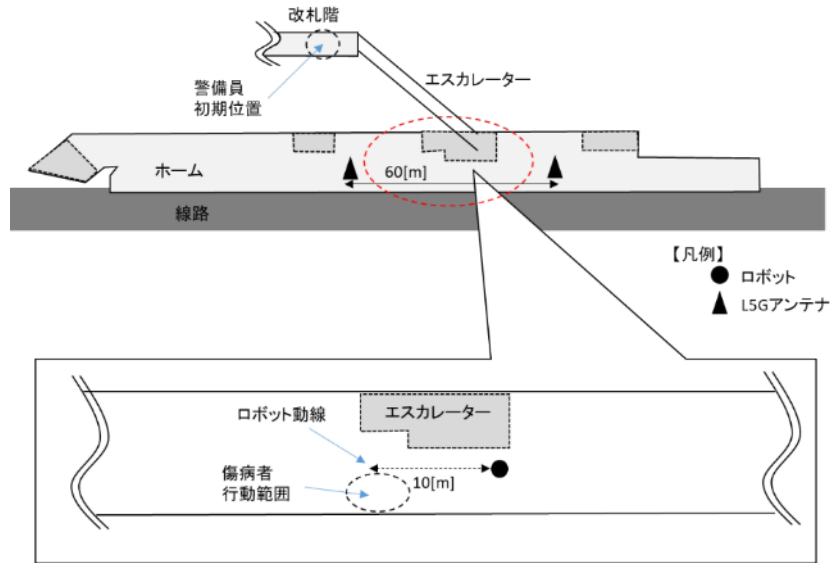


図 4.3.3.3-9 ホームの機器設置位置及び人物配置位置

4.3.3.4 評価アンケート（ロボット）

以下に従い、監視員へのアンケート評価を実施した。

(1) 検証項目：自動巡回時の動作検証 [実証①③⑤]

1	CPT のモニタ上にロボットの監視映像が表示されましたか。	はい				いいえ
以下、1が「はい」の場合						
ロボット自動走行中の確認						
2	ロボット自動走行中の監視映像は無理なく注視できましたか。(8,192kbps)	1 悪	2	3	4	5 良
3	ロボット自動走行中の監視映像は鮮明でしたか。(8,192kbps)	1 悪	2	3	4	5 良
4	ロボット自動走行中の監視映像の表示速度は適切でしたか。(8,192kbps)	1 悪	2	3	4	5 良
5	監視映像に巡回ルート上を歩行する人物が表示されましたか。(8,192kbps)	はい			いいえ	
6	監視映像に巡回ルート上を走行する人物が表示されましたか。(8,192kbps)	はい			いいえ	
ロボット停止中の確認（ビットレート 4,096kbps の場合）						
7	ビットレート 4,096kbps の映像は無理なく注視できましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
8	ビットレート 4,096kbps の映像は鮮明でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
9	ビットレート 4,096kbps の映像の表示速度は適切でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
10	ビットレート 4,096kbps の映像にロボットの前方を歩行する人物が表示されましたか。	はい			いいえ	

11	ビットレート 4,096kbps の映像にロボットの前方を走行する人物が表示されましたか。	はい			いいえ	
ロボット停止中の確認 (ビットレート 12,288kbps の場合)						
12	ビットレート 12,288kbps の映像は無理なく注視できましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
13	ビットレート 12,288kbps の映像は鮮明でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
14	ビットレート 12,288kbps の映像の表示速度は適切でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
15	ビットレート 12,288kbps の映像にロボットの前方を歩行する人物が表示されましたか。	はい			いいえ	
16	ビットレート 12,288kbps の映像にロボットの前方を走行する人物が表示されましたか。	はい			いいえ	
ロボット停止中の確認 (ビットレート 8,192kbps の場合)						
17	ビットレート 8,192kbps の映像は無理なく注視できましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
18	ビットレート 8,192kbps の映像は鮮明でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
19	ビットレート 8,192kbps の映像の表示速度は適切でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
20	ビットレート 8,192kbps の映像にロボットの前方を歩行する人物が表示されましたか。	はい			いいえ	
21	ビットレート 8,192kbps の映像にロボットの前方を走行する人物が表示されましたか。	はい			いいえ	

(2) 検証項目：遠隔操作時の動作検証 [実証④⑧]

1	監視映像を確認しながら 3D マウスを用いてロボットの遠隔操縦ができましたか。	はい			いいえ	
2	遠隔操縦を実施してから、実際に監視映像に反映されるまでの時間はどうでしたか。	1 遅	2	3	4	5 速
3	遠隔操縦中の監視映像は無理なく注視できましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
4	遠隔操縦中の監視映像は鮮明でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
5	遠隔操縦中の監視映像の表示速度は適切でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
6	ロボットの監視映像と FV 合成映像を合わせて表示することで周囲の状況を不足なく確認できましたか。	はい			いいえ	
6が「いいえ」の場合						
7	どの点を不足と感じましたか。	(自由記述)				

(3) 検証項目：シナリオ実証

1	ロボットの監視映像上にうずくまる人物が表示されましたか。	はい	いいえ
2	ロボットを遠隔操縦し、うずくまる人物の特徴がはっきりとわかりましたか。	はい	いいえ
2が「いいえ」の場合			
3	わかりにくいと感じたのはどのような部分でしょうか。	(自由記入)	
4	シナリオ実証全体を通して、ロボットによる遠隔画像巡回をもとにインシデントを発見してからスムーズに警備員への指示と対処ができましたか。	はい	いいえ

(4) その他

1	普段実施している巡回業務と比較してロボットによる遠隔画像巡回はどの程度活用できそうですか。0～100%でお答えください。	0 悪	20	40	60	80	100 良
	改善点／課題があれば、ご記入ください（自由記入）						

4.3.3.5 評価・分析結果

(1) 実証① 自動巡回時の監視映像

ロボットが具備する自動巡回機能の性能及び遠隔監視映像の映像品質を評価した。自動巡回を実施したところ、あらかじめホーム上に目印を付けた巡回ルート上を追従することが確認できた。

また、監視員 2 名に対してロボット自動巡回時の遠隔監視映像の品質をアンケート評価したところ、画質及び表示速度ともに高い評価を得られていることを確認した。



図 4.3.3.5-1 自動巡回中のロボット



図 4.3.3.5-2 自動巡回中のロボットから配信された遠隔監視映像

(2) 実証② 自動巡回の安全機構及び自律・自動制御機能

4.3.3.3 (2) に示す検証施設において、自動巡回中のロボットを障害物（スーツケース、人物、段ボール）に接近させ、減速及び停止する距離を各々計測した。計測結果を表 4.3.3.5-1 に示す。結果、計測距離が減速及び停止ともに各許容範囲内であることを確認した。ロボットが許容範囲内で停止することで障害物への接触は生じ得ないことから、自動巡回中ロボットの障害物に対する安全性が確認できた。

表 4.3.3.5-1 ロボットの減速及び停止距離

障害物	回数	減速	停止
		○：許容範囲内で減速	○：許容範囲内で停止

		×：許容範囲外で減速	×：許容範囲外で停止
スーツケース (600mm×520mm×390mm)	1	○	○
	2	○	○
	3	○	○
	4	○	○
	5	○	○
人物 (身長 186cm)	1	○	○
	2	○	○
	3	○	○
	4	○	○
	5	○	○
段ボール (170mm×330mm×550mm)	1	○	○
	2	○	○
	3	○	○
	4	○	○
	5	○	○



図 4.3.3.5-3 障害物（段ボール）検知の様子

(3) 実証③ 遠隔監視時の使用性

表 4.3.3.5-2 に示すカメラ映像品質の下、ロボットが CPT に遠隔監視映像を適切に配信できるか評価した。

表 4.3.3.5-2 カメラ映像品質の設定値

解像度	3840×2160
フレームレート	30fps
映像圧縮方式	H.264
ビットレート	4Mbps、8Mbps、12Mbps

結果、遠隔監視映像を CPT に配信（伝送、表示）することができた。配信時のホームの様子を図 4.3.3.5-4 に、CPT 様子を図 4.3.3.5-5 に示す。また、監視員 2 名のアンケートを実施し、使用性を視認性及び視聴環境の観点で評価を行った。結果、視認性に関してはビットレートによる視認性に差はなく、いずれのビットレートでも十分に周辺環境の情報を確認できたとの結果を得た。一方、視聴環境に関しては、監視員と CPT モニタとの距離が近く、目に疲労感を感じるとの結果を得た。



図 4.3.3.5-4 ホーム上のロボットの様子



図 4.3.3.5-5 CPT で遠隔監視映像を確認する監視員の様子

(4) 実証④ 遠隔操作機能

CPT での監視員による 3D マウス操作で、ロボットが操作通りの動作（前移動／後移動／右旋回／左旋回）を行うことができた。また、ロボットが障害物に接近した際に、自動で減速及び停止することも確認できた。以上の結果より、ロボットがローカル 5 G 通信経路で遠隔操作できることを確認した。また、監視員 2 名へのアンケート結果より、遠隔監視映像を用いた遠隔操作は可能であるとの評価も得られた。



図 4.3.3.5-6 遠隔操縦されているロボット



図 4.3.3.5-7 CPT での遠隔操作の様子（手元拡大）

(5) 実証⑤ 遠隔監視時の映像による人物表示

自動巡回するロボットの前方 5m の距離で人物を停止／歩行横断／走行横断させ、その人物の遠隔監視映像上の視認性を評価した。ロボットのカメラ映像品質は表 4.3.3.5-3 の通りに設定した。

表 4.3.3.5-3 カメラ映像品質の設定値

解像度	3840×2160
フレームレート	5fps
映像圧縮方式	H.264
ビットレート	8,192kbps

結果、CPT へ配信された遠隔監視映像には、検知用人物の停止有無や移動速度に関わらず、検知用人物が写りこんでいることが確認できた。また、監視員 2 名に対するアンケート評価においても、遠隔監視映像で人物を見逃すことなく視認できるとの評価を得た。

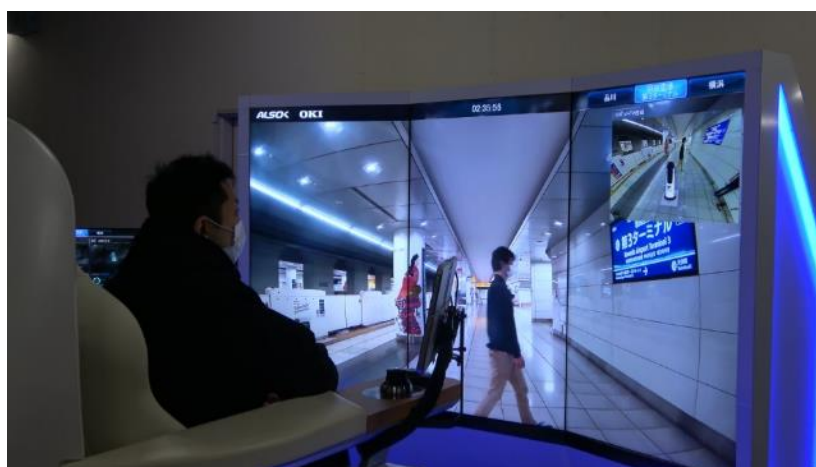


図 4.3.3.5-8 遠隔監視映像を確認する監視員の様子

(6) 実証⑥ 監視映像品質

遠隔監視映像のコマ落ち数を 4.3.2.3 (8) に従って算出した。算出にはランダムに抽出した 10 秒間の遠隔監視映像を用いた。また、ロボットが配信する遠隔監視映像の設定値は表 4.3.3.5-4 の通りである。結果、設定フレーム数が 50 フレームに対して、計測フレーム数は 50 フレームであった。本分析でのコマ落ち数は秒単位での算出のため±5 フレームは誤差範囲とみなすとする前提の下でも、本結果はロボットの 4K カメラは伝送区間でコマ落ちは生じていないとみなすことができる。

表 4.3.3.5-4 カメラ映像品質の設定値

解像度	3840×2160
フレームレート	5fps
映像圧縮方式	H.264
ビットレート	8,192kbps



図 4.3.3.5-9 コマ落ち確認に使用した映像例（被写体が大きく動くものを採用）

(7) 実証⑦ 映像伝送遅延

映像遅延測定ユニットを用いて、ロボットの 4K カメラ映像が CPT に表示されるまでの遅延時間を測定した。結果、映像伝送遅延時間は 479ms であった。また、技術実証において本検証環境に類似する環境（距離 30m）下で U L 伝送遅延時間は平均 50ms 以下であることから、映像伝送遅延時間に占める実験試験局の U L 伝送遅延時間は 10% であった。

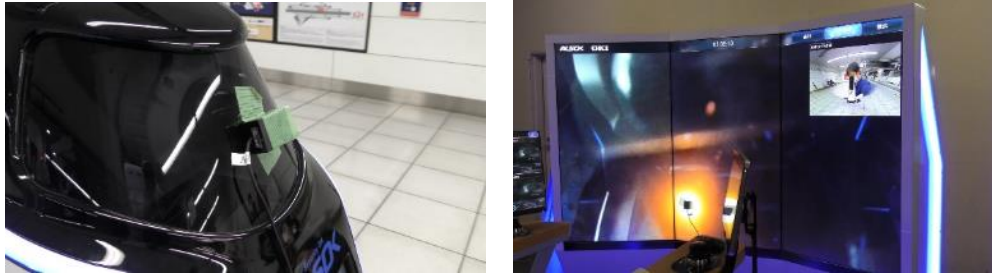


図 4.3.3.5-10 映像遅延測定ユニットで遅延測定している様子
 (左：カメラ前に設置した発光部、右：CPT に設置した受光部)

(8) 実証⑧ 制御伝送遅延

3Dマウス操作からCPTの遠隔監視映像変化までに要した時間から、実証⑨で算出した映像伝送遅延時間を除くことで、制御伝送遅延時間を算出した(算出値はロボット仕様に関わるため非公開とする)。技術実証において本検証環境に類似する環境(距離30m)下でDL伝送遅延時間は平均10ms以下であることから、制御伝送遅延時間に占める実験試験局のDL伝送遅延時間は極めて小さいものであった。

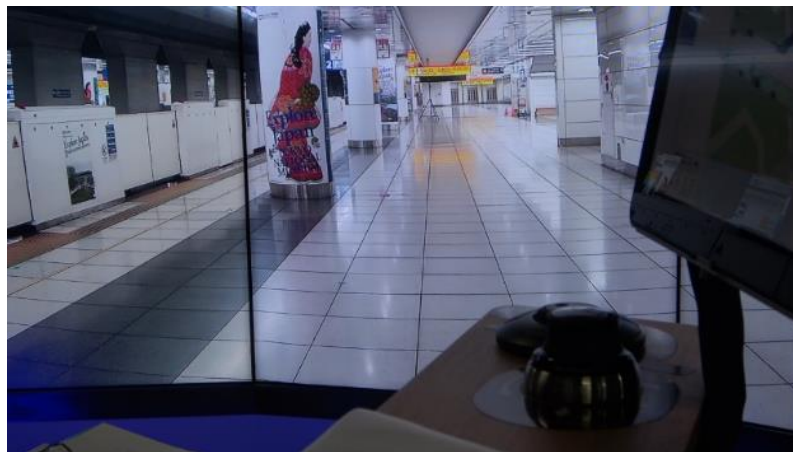


図 4.3.3.5-11 制御伝送遅延計測中の様子
 (右手前：3Dマウス、奥：CPTの遠隔監視映像)

(9) シナリオ実証 インシデント発見から対応

CPTに表示される遠隔監視映像より、傷病者と思われる人物を検知し、スタ連を用いて警備員への駆けつけ指示を行い、傷病者への声掛けを実現できた。利用した常駐警備員へのアンケートでは、遠隔監視映像から傷病者の人物把握が適切に実施できたことから高評価を得られた。



図 4.3.3.5-12 遠隔監視映像で傷病者と思しき人物を発見した際の様子



図 4.3.3.5-13 駆けつけ指示内容を確認する警備員



図 4.3.3.5-14 傷病者に声掛けを行っている警備員

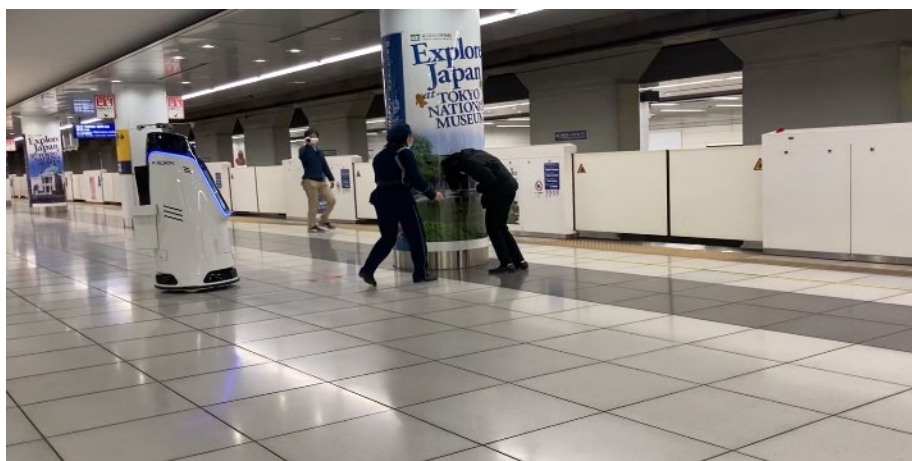


図 4.3.3.5-15 傷病者に声掛けを行っている際のホームの様子

4.3.3.6 考察

(1) 自律自動制御・安全性能

実証①より、ロボットが自律自動制御の下でホーム上を走行できることを確認した。また、実証②でロボットが障害物の 1m 付近から減速し、障害物に接触する前に完全に停止することが確認できた。この結果は、ロボットが駅利用者や手荷物への接触を避けて安全性を保ちつつ、ホームの自動巡回を行えることが期待できる。ただし、現在のロボットは障害物前で停止後、障害物が移動しない限り停止し続ける。今後、ロボットに障害物自動回避機能を搭載することで、安全な自動巡回の継続が期待できる。

(2) 遠隔操作

実証④より、ロボットの直線移動や旋回のような簡易な行動を遠隔から操作できること

を確認した。また、実証⑦で映像先導遅延時間が約 0.5s、実証⑧で制御伝送遅延時間がロボットの標準機能であるリモコン操作時の同時間と比べても大差がないことを確認した。実証⑦及び実証⑧の結果を受けて、3Dマウス操作が遠隔監視映像に反映されるまでの遅延時間（映像伝送遅延時間＋制御伝送遅延時間）がリモコン操作時とかけ離れていないことが、遠隔操作を可能とする要素の一つとなっていると考えられる。

また、FV 合成映像の視野を操作することで、ロボットの 4K カメラ映像からは不可視である箇所（死角）の状況把握も FV によって可能であった。そのため、FV 合成映像の視野操作も活用することで、より効果的な遠隔監視、より安全な遠隔操作の実現が期待できる。

（3）遠隔巡回（遠隔監視）

実証③のアンケート評価より 4Mbps のビットレートであっても CPT での遠隔監視映像の使用性が高く、遠隔監視先の情報を効果的に受容できることが確認できた。また、使用性の高さは、実証⑥で確認されたカメラ映像がコマ落ちなく CPT に表示できていることも理由として考えられる。同様に、実証⑤を通して遠隔監視先の人物が歩行／走行状態でも遠隔監視映像より人を視認できることが、情報の効果的な受容に寄与すると考えられる。また、FV 合成映像の視野を操作することで、ロボットの 4K カメラ映像からは不可視である箇所（死角）の状況把握も FV によって可能であった。そのため、FV 合成映像の視野操作も活用することで、より効果的な遠隔監視、より安全な遠隔操作の実現が期待できる。

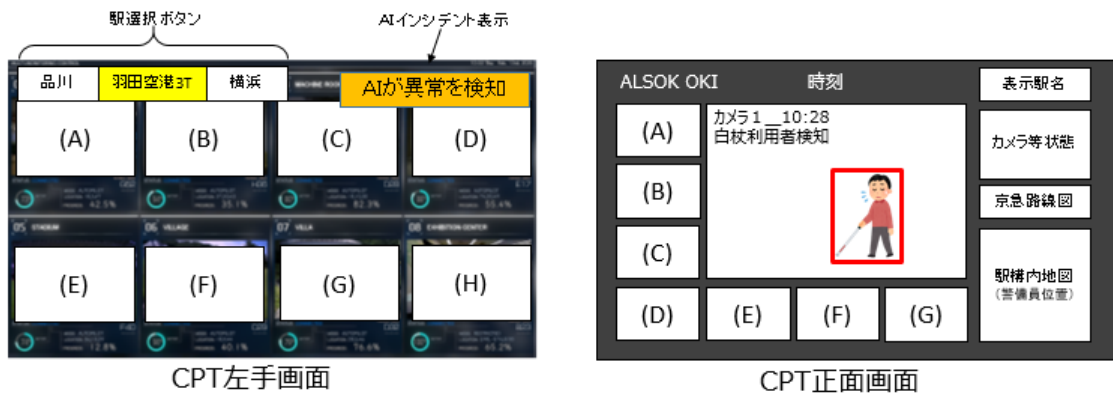
4.3.4 監視用カメラ及びAIを活用した遠隔監視（アー3）

4.3.4.1 課題解決システムの概要（AIカメラ）

本実証では、ローカル5Gシステムを利用したAI画像解析による歩行弱者・不審行動検知といった先端技術を用いた実証システムを構築した。そして、ローカル5Gの高速大容量、及び低遅延に関する性能評価とともに実証した。

AIにて対象を検知した場合、CPTへ自動的に検知画像が表示され、監視員にて状況を確認可能な構成となっている。CPT画面には、検知したカメラ、検知時刻、検知状況とその際の検知画面が表示される。

本検証では羽田空港第3ターミナル駅2番線ホーム上から離れたバックヤードに4.3.1.1項に示すCPTを用意し、CPT左手画面（タッチパネル）とCPT正面画面（4Kサイズ相当のモニタ）上にロボット及び他システム映像を表示する。CPT画面構成例は図4.3.4.1-1のとおり。実際に表示された内容を図4.3.4.1-5～図4.3.4.1-4に示す。



【映像内訳】

- | | | | |
|-------------|-----------------|----------------|-------------|
| (A) 監視カメラ_1 | (B) 監視カメラ_2 | (C) 監視カメラ_3 | (C) 監視カメラ_4 |
| (E) ドローンカメラ | (F) ロボット4K正面カメラ | (G) ロボットFV合成画像 | (H) AI検知画像 |

図 4.3.4.1-1 CPT 画面構成例



図 4.3.4.1-2 CPT の様子



図 4.3.4.1-3 CPT 左手画面



図 4.3.4.1-4 CPT 正面画面

(1) システム構成

本実証で用いた課題解決システムを以下に示す。

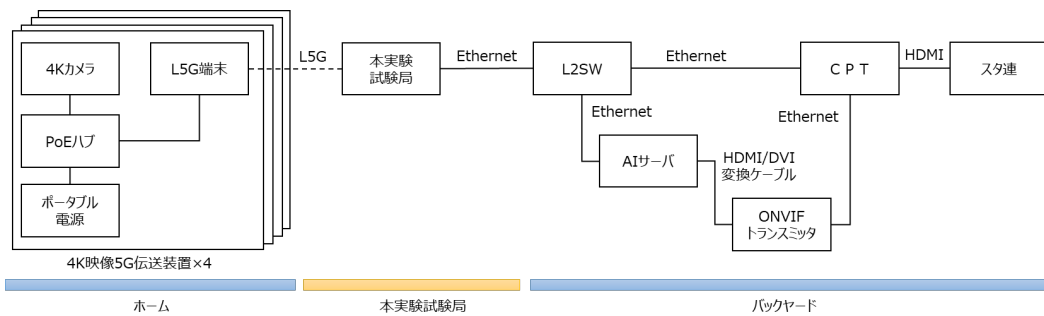


図 4.3.4.1-5 AI カメラ課題解決実証システム機器構成

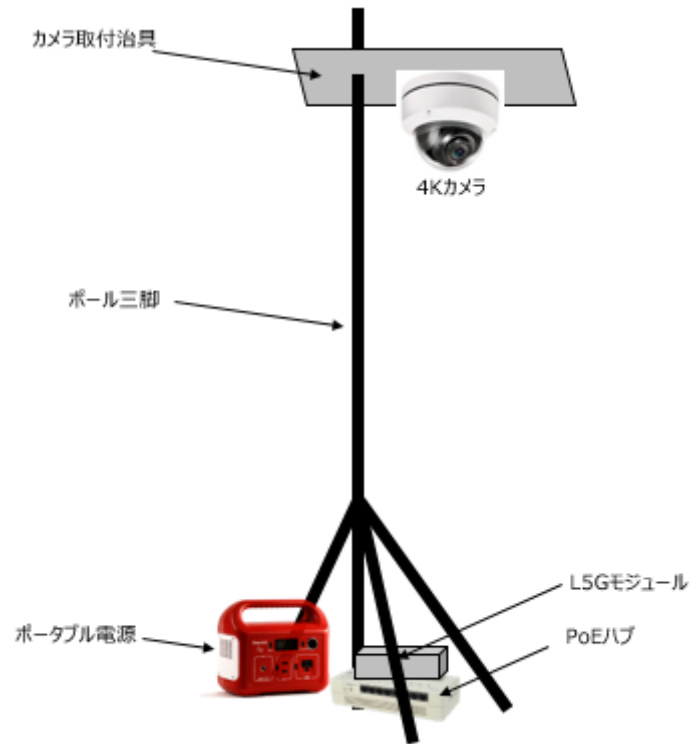


図 4.3.4.1-6 4K 映像 5 G 伝送装置

4 台の 4K カメラの映像をローカル 5 G 通信で AI サーバに伝送し、不審行動や歩行弱者の有無を判定する。その検知結果を CPT サーバに伝送し、モニタに表示することで、監視員に通知する。監視員は、前述のスタ連を用いて、施設内の警備員や駅員に状況を伝達し、迅速な対応を実現する。

本システムを導入することで、従来よりも高品質な映像を用いて、AI 解析を行うことができ、検知精度や検知範囲の向上が期待できる。これらにより、警備員の無駄な作業の削減や、カメラの設置台数の削減ができ、より安価で高品質な警備サービスを提供できる。

4.3.4.2 評価・分析項目

本評価・分析の実施においては、施設警備業務の経験を有する警備員（以下「監視員」）と連携し実施の上で評価を行う。

(1) 【実証①】CPTにおける不審者検知結果の表示

CPT に表示される検知画像にて、検知対象（不審者）特徴把握が可能か評価を行った。表 4.3.4.2-1 に検証項目を示す。

表 4.3.4.2-1 検証項目

項番	検証項目
1	CPT への検知画像の自動表示
2	CPT に表示された検知画像及びカメラ映像等の監視員目視による人物特徴把握の可否。

(2) 【実証②】CPTにおける歩行弱者検知結果の表示

CPT に表示される検知画像にて、検知対象（歩行弱者）特徴把握が可能か評価を行った。表 4.3.4.2-2 に検証項目を示す。

表 4.3.4.2-2 検証項目

項番	検証項目
1	CPT への検知画像の自動表示
2	CPT に表示された検知画像及びカメラ映像等の監視員目視による人物特徴把握の可否

(3) 【実証③】不審者検知の性能確認

不審者検知 AI の性能評価を行った。表 4.3.4.2-3 に検証項目を示す。

表 4.3.4.2-3 検証項目

項番	検証項目
1	ローカル 5 G で無線伝送されたカメラ映像の AI 解析による不審者検知の可否
2	カメラ映像の解像度の影響
3	カメラ映像のフレームレートの影響

(4) 【実証④】歩行弱者検知の性能確認

歩行弱者検知 AI の性能評価を行った。表 4.3.4.2-4 に検証項目を示す。

表 4.3.4.2-4 検証項目

項番	検証項目
----	------

1	ローカル5Gで無線伝送されたカメラ映像のAI解析による歩行弱者検知の可否
2	カメラ映像の解像度の影響
3	カメラ映像のフレームレートの影響

(5) 【シナリオ実証①】インシデント（不審者のホーム進入）の発見から対応

AIがローカル5Gで無線伝送されたカメラ映像を解析して不審者を検知し、監視員がCPTに表示された検知画像等の下に、スタ連により最適な警備員に不審者の位置、行動の様子を伝達し対応を指示するまでの一連のシナリオができること。

(6) 【シナリオ実証②】インシデント（歩行弱者のホーム進入）の発見から対応

AIがローカル5Gで無線伝送されたカメラ映像を解析して歩行弱者を検知し、監視員がCPTに表示された検知画像等の下に、駅係員に連絡を行い、状況を伝達し対応を要請するまでの一連のシナリオができること。

4.3.4.3 評価・分析方法

(1) 【実証①】CPTにおける不審者検知結果の表示

ローカル5Gで無線通信した4Kカメラ映像にて、不審者検知を行い、CPT画面に表示するといった一連の流れが実現できることを検証した。また、検知した不審者の特徴をCPT映像から監視員が目視で把握できることを確認した。

1) 指標データ

AI解析結果の表示有無や、監視員の遠隔監視映像目視確認による主観的な評価とした。

2) 計測方法

CPTに結果画面が出力されることを目視で確認した。また、不審者の特徴もAI検知結果や検知したカメラのリアルタイム映像を目視で確認した。

3) 計測条件

No.	設定項目	設定値
1	解像度	4K (3840×2160)
2	フレームレート	10fps
3	最大ビットレート	16Mbps

4) 設置位置

羽田空港第3ターミナル駅2番線ホームに3台のローカル5Gアンテナと、4台の4K映像5G伝送装置を設置した。機器配置は図4.3.4.3-1に示す。

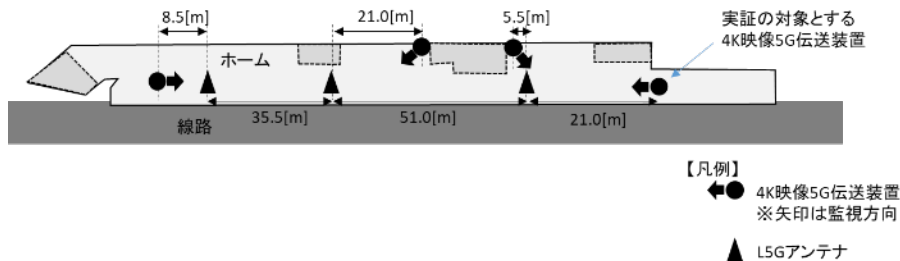


図 4.3.4.3-1 機器設置位置

5) 実施手順

順番	作業項目	作業内容
1	準備	ホーム端にホーム長手方向を撮影するようにカメラを設置する。カメラの映像伝送パラメータを設定（4K、10fps、16Mbps）。
2	検知対象演技	ホーム中央付近にて不審者の演技を実施する。（ウロウロ動作：ホーム短手方向に何度か往復する）
3	AI 解析	CPT に、「不審者検知画面」が表示される。
4	目視確認	監視員が検知画像やリアルタイムカメラ映像から不審者の人物特徴を確認する。（性別、年代、服装など）

(2) 【実証②】CPTにおける歩行弱者検知結果の表示

ローカル5Gで無線通信した4Kカメラ映像にて、歩行弱者検知を行い、CPT画面に表示するといった一連の流れが実現できることを検証した。また、検知した歩行弱者の特徴をCPT映像から監視員が目視で把握できることを確認した。

1) 指標データ

AI解析結果の表示有無や、監視員の遠隔監視映像目視確認による主観的な評価とした。

2) 計測方法

CPTに結果画面が出力されることを目視で確認した。また、歩行弱者の特徴もAI検知結果や検知したカメラのリアルタイム映像を目視で確認した。

3) 計測条件

No.	設定項目	設定値
1	解像度	4K (3840×2160)

2	フレームレート	10fps
3	最大ビットレート	16Mbps

4) 設置位置

羽田空港第3ターミナル駅2番線ホームに3台のローカル5Gアンテナと、4台の4K映像5G伝送装置を設置した。機器配置は図4.3.4.3-2に示す。

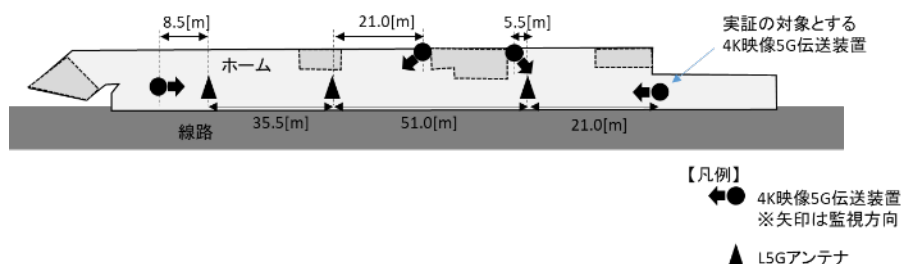


図 4.3.4.3-2 機器設置位置

5) 実施手順

順番	作業項目	作業内容
1	準備	ホーム端にホーム長手方向を撮影するようにカメラを設置する。カメラの映像伝送パラメータを設定（4K、10fps、16Mbps）。
2	検知対象演技	ホーム中央付近にて歩行弱者の演技を実施する。（白杖を利用した歩行：前方で白杖を左右に振りつつ、カメラに向かって進む）
3	AI解析	CPTに、「歩行弱者検知画面」が表示される。
4	目視確認	監視員が検知画像やリアルタイムカメラ映像から歩行弱者の人物特徴を確認する。（性別、年代、服装など）

(3) 【実証③】不審者検知の性能確認

ローカル5Gの高品質な映像伝送がAIに及ぼす影響を調査するため、解像度、フレームレート、ビットレートを変更した際のAIによる不審者検知性能を検証した。

尚、不審行動のウロウロ動作を判定する場合、カメラ映像中から人物を検出し、その人物が時系列でどのように動いたかを認識する必要がある。映像品質は、不審判定後段の行動判定ではなく、前段の人物検出やトラッキングに影響を与えることから、本実証では映像品質のトラッキング性能への影響度を検証した。

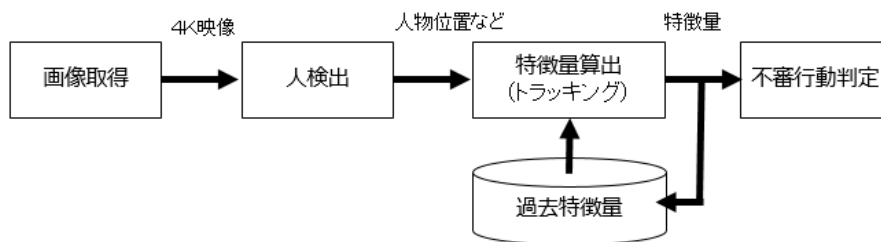


図 4.3.4.3-3 AI 判定フロー

1) 指標データ

一定時間における同一人物のトラッキング途切れ回数

2) 計測方法

指定の場所で、カメラ横断方向に対して片道 4 m 程度で 5 往復することを 1 試行とし、1 試行中に人物 ID が切り替わる回数 (以下、トラッキング途切れ回数とする) を計測するものとした。(人物 ID は、トラッキングに失敗する度に、新たな人物 ID が割り当てられる。)

3) 計測条件

No.	設定項目	設定値
1	解像度	4K (3840×2160)、FHD (1920×1080)
2	フレームレート	4fps、10fps
3	最大ビットレート	4Mbps、10Mbps、16Mbps
4	検知対象者ーカメラ間距離	5m、10m、15m、20m、25m、40m、50m、60m
5	検知対象者の移動方向	カメラ横方向 (カメラ画角を横断する方向)

4) 設置位置

羽田空港第 3 ターミナル駅 2 番線ホームに 3 台のローカル 5 G アンテナと、4 台の 4K 映像 5 G 伝送装置を設置した。4 台の 4K カメラは、同じ映像が撮影できるように直近に並べて配置した。機器配置は図 4.3.4.3-4 に示す。

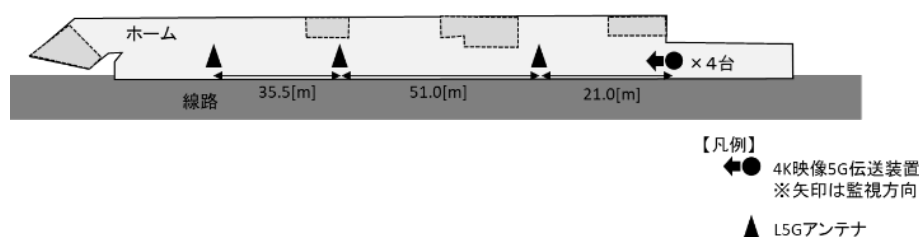


図 4.3.4.3-4 機器設置位置

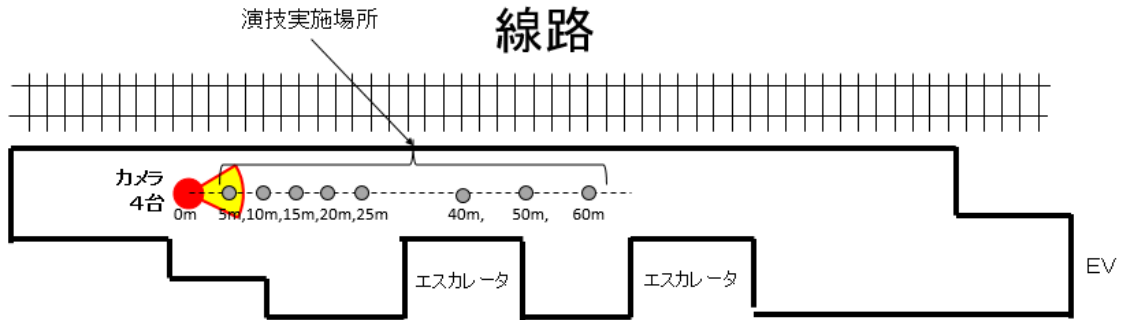


図 4.3.4.3-5 4K 映像 5 G 伝送装置設置位置 (平面図)

5) 実施手順

順番	作業項目	作業内容
1	準備	ホーム端にカメラ 4 台を設置する。 カメラの映像伝送パラメータをそれぞれ異なるように設定。 (異なるパラメータで同時に撮影)
2	検知対象演技	ホームにて不審者の演技を実施する。カメラからの指定距離で移動方向別を実施。
3	繰り返し	カメラ設定を以下に変更して、各条件で 10 回ずつ同様に計測する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ FHD, 4fps, 4Mbps ・ FHD, 4fps, 8Mbps ・ FHD, 4fps, 16Mbps ・ FHD, 10fps, 4Mbps ・ FHD, 10fps, 8Mbps ・ FHD, 10fps, 16Mbps ・ 4K, 4fps, 4Mbps ・ 4K, 4fps, 8Mbps ・ 4K, 4fps, 16Mbps ・ 4K, 10fps, 4Mbps ・ 4K, 10fps, 8Mbps ・ 4K, 10fps, 16Mbps

(4) 【実証④】 歩行弱者検知の性能確認

ローカル 5 G の高品質な映像伝送が AI に及ぼす影響を調査するため、解像度、フレームレート、ビットレートを変更した際の AI による歩行弱者検知性能を検証した。

尚、歩行弱者の視覚障害者を判定する場合、カメラ映像中から人物や白杖を検出する必要がある。人検出やトラッキングについては、実証③にて検証するため、本実証では映像品質の白杖検出への影響度を検証した。

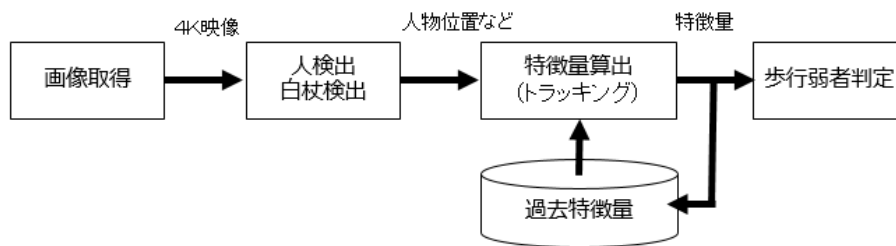


図 4.3.4.3-6 AI 判定フロー

1) 指標データ

白杖検出率（各条件におけるフレームごとの白杖検出率）

2) 計測方法

歩行弱者を演じる検知対象者が数m歩いた際に、フレーム単位で白杖が検出できた割合を集計した。

3) 計測条件

No.	設定項目	設定値
1	解像度	4K (3840×2160)、FHD (1920×1080)
2	フレームレート	4fps、10fps
3	最大ビットレート	4Mbps、10Mbps、16Mbps
4	検知対象者ーカメラ間距離	5m、10m、15m、20m、25m、40m、50m、60m
5	検知対象者の移動方向	カメラ横方向（カメラ画角を横断する方向）

4) 設置位置

羽田空港第3ターミナル駅2番線ホームに3台のローカル5Gアンテナと、4台の4K映像5G伝送装置を設置した。4台の4Kカメラは、同じ映像が撮影できるように直近に並べて配置した。機器配置は図 4.3.4.3-7 に示す。

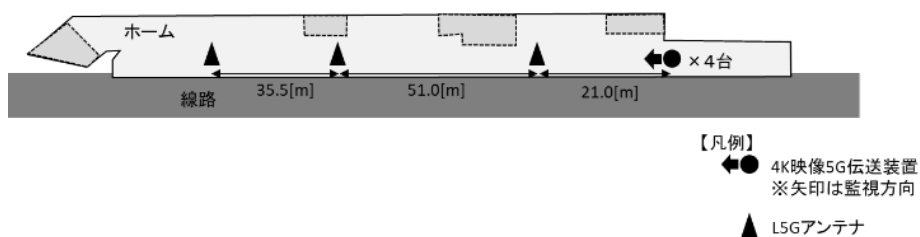


図 4.3.4.3-7 4K 映像 5 G 伝送装置設置位置

5) 実施手順

順番	作業項目	作業内容
1	準備	ホーム端にカメラ4台を設置する。 カメラの映像伝送パラメータをそれぞれ異なるように設定。 (異なるパラメータで同時に撮影)
2	検知対象演技	ホームにてカメラからの指定距離で歩行弱者の演技を実施する。
3	繰り返し	カメラ設定を以下に変更して、各条件で10回ずつ同様に計測する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ FHD, 4fps, 4Mbps ・ FHD, 4fps, 8Mbps ・ FHD, 4fps, 16Mbps ・ FHD, 10fps, 4Mbps ・ FHD, 10fps, 8Mbps ・ FHD, 10fps, 16Mbps ・ 4K, 4fps, 4Mbps ・ 4K, 4fps, 8Mbps ・ 4K, 4fps, 16Mbps ・ 4K, 10fps, 4Mbps ・ 4K, 10fps, 8Mbps ・ 4K, 10fps, 16Mbps

(5) 【シナリオ実証①】 インシデント（不審者のホーム進入）の発見から対応

AI がローカル5Gで無線伝送されたカメラ映像を解析して不審者を検知し、監視員がCPTに表示された検知画像等を下に、スタ連により最適な警備員に不審者の位置、行動の様子を伝達し対応を指示するまでの一連のシナリオができることを確認した。

1) 指標データ

監視員への使い勝手等に関するアンケート評価

2) 計測方法

シナリオ実施後にアンケート調査を実施した。

3) 計測条件

No.	設定項目	設定値
1	解像度	4K (3840×2160)
2	フレームレート	10fps
3	最大ビットレート	4Mbps、10Mbps、16Mbps

4) 設置位置

羽田空港第3ターミナル駅2番線ホームに3台のローカル5Gアンテナと、4台の4K映像5G伝送装置を設置した。機器配置は図4.3.4.3-8に示す。

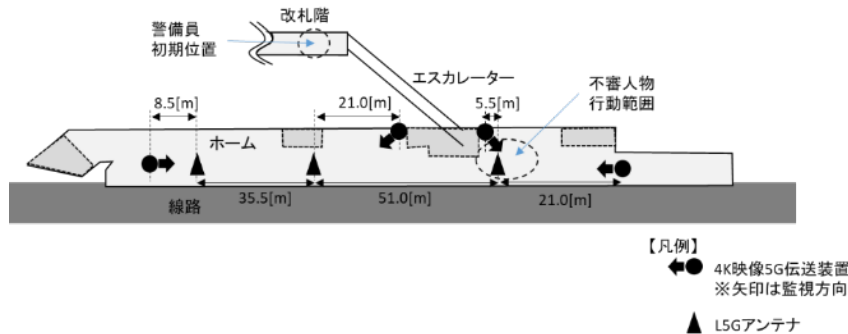


図 4.3.4.3-8 機器及び人物配置

5) 実施手順

順番	作業項目	作業内容
1	準備	ホーム上に4カ所カメラを配置。 警備員はホーム階上階の改札階エスカレータ手前に待機。
2	検知対象演技	ホーム中央付近にて不審者の演技を実施する。 (ウロウロ動作：ホーム短手方向に何度か往復する)
3	AI解析	CPTに、「不審者検知画面」が表示される。
4	目視確認	監視員が検知画像やリアルタイムカメラ映像から不審者を確認する。
5	直行指示	スタ連を利用して、警備員へ駆けつけ指示を行う。
6	現場確認	指示を受けた警備員が、現場（ホーム）へ急行し、不審者に対し、声掛けを行う。

(6) 【シナリオ実証②】インシデント（歩行弱者のホーム進入）の発見から対応

AIがローカル5Gで無線伝送されたカメラ映像を解析して歩行弱者を検知し、監視員がCPTに表示された検知画像等の下に、スタ連により最適な警備員に歩行弱者の位置、行動の様子を伝達し対応を指示するまでの一連のシナリオができることを確認した。

1) 指標データ

監視員への使い勝手等に関するアンケート評価

2) 計測方法

シナリオ実施後にアンケート調査を実施した。

3) 計測条件

No.	設定項目	設定値
1	解像度	4K (3840×2160)
2	フレームレート	10fps
3	最大ビットレート	4Mbps、10Mbps、16Mbps

4) 設置位置

羽田空港第3ターミナル駅2番線ホームに3台のローカル5Gアンテナと、4台の4K映像5G伝送装置を設置した。機器配置は図4.3.4.3-9に示す。

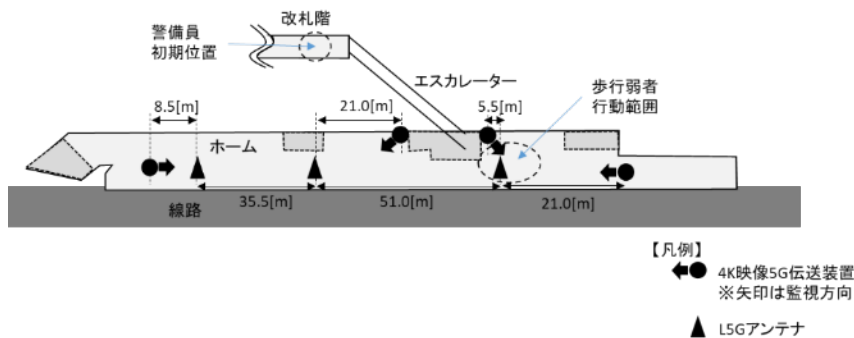


図 4.3.4.3-9 機器及び人物配置

5) 実施手順

順番	作業項目	作業内容
1	準備	ホーム上に4カ所カメラを配置。 警備員はホーム階上階の改札階エスカレータ手前に待機。
2	検知対象演技	ホーム中央付近にて歩行弱者の演技を実施する。 (白杖を利用した歩行：前方で白杖を左右に振りつつ、カメラに向かって進む)
3	AI解析	CPTに、「歩行弱者検知画面」が表示される。
4	目視確認	監視員が検知画像やリアルタイムカメラ映像から歩行弱者を確認する。
5	直行指示	スタ連を利用して、警備員へ駆けつけ指示を行う。
6	現場確認	指示を受けた警備員が、現場（ホーム）へ急行し、歩行弱者に対し、サポートを行う。

4.3.4.4 評価アンケート（AIカメラ）

以下に従い、監視員へのアンケート評価を実施した。

(1) 検証項目：インシデント（不審者のホーム進入）の発見から対応 [シナリオ実証①]

No	質問	回答者 ①	回答者 ②	平均
1	不審者が検知されたことが、気づきやすかったでしょうか。			
2	画面中にどこに不審者がいるか、わかるように表示されましたか。			
3	検出された不審者が施設のどこにいるか、わかるように表示されましたか。			
4	表示された映像から、不審者の特徴（人相着衣など）がわかりましたか。			
5	現地急行指示を行うにあたり十分な情報が表示されていましたか。			
6	スタ連により、スムーズに現地急行が行えましたか。			
5段階評価（悪：1、良：5）			総合	
7	改善点／課題（自由回答）			
	できた			

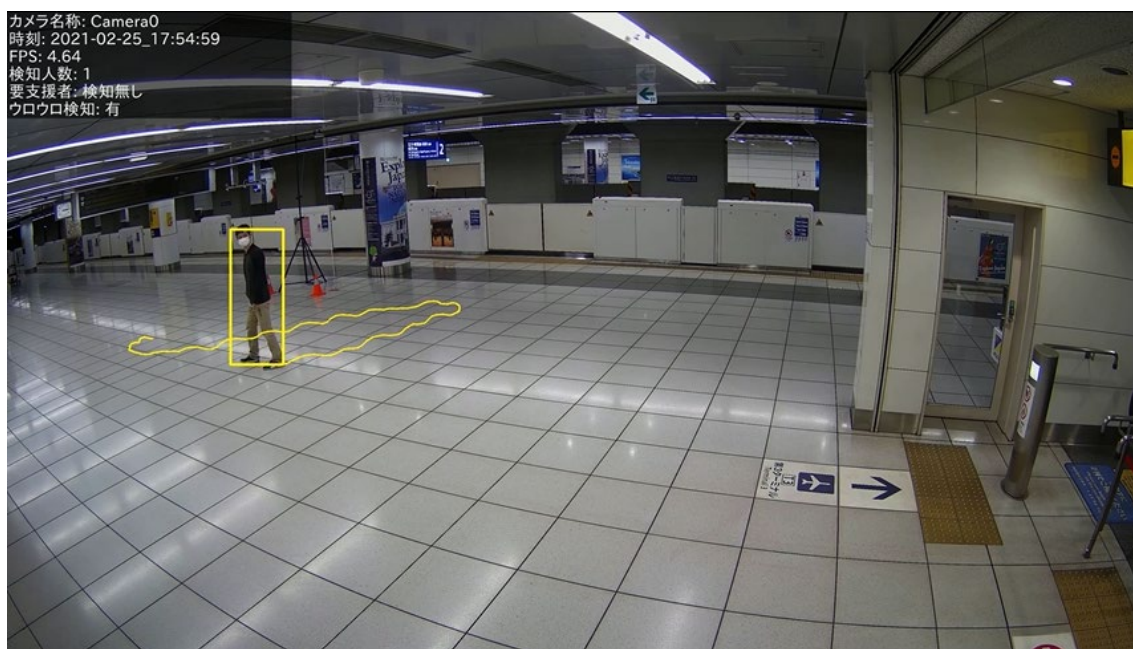
(2) 検証項目：インシデント（歩行弱者のホーム進入）の発見から対応 [シナリオ実証②]

No	質問	回答者 ①	回答者 ②	平均
1	歩行弱者が検知されたことが、気づきやすかったでしょうか。			
2	画面中にどこに歩行弱者がいるか、わかるように表示されましたか。			
3	検出された歩行弱者が施設のどこにいるか、わかるように表示されましたか。			
4	表示された映像から、歩行弱者の特徴（人相着衣など）がわかりましたか。			
5	現地急行指示を行うにあたり十分な情報が表示されていましたか。			
6	スタ連により、スムーズに現地急行が行えましたか。			
5段階評価（悪：1、良：5）			総合	
7	改善点／課題（自由回答）			

4.3.4.5 評価・分析結果

(1) 【実証①】CPTにおける不審者検知結果の表示

ホーム上の不審者（ウロウロする人物）をAIにて検知し、CPTへ自動的に表示することができた。図 4.3.4.5-1 は、CPTに表示された不審者検知画面であり、不審者を黄色枠で、不審者の移動経路を黄色曲線で示している。また、このCPTに表示された映像から、警備員が不審者の様子や現場急行指示を行うための情報（検知したカメラの場所、検知時刻、人物特徴）を把握することができた。



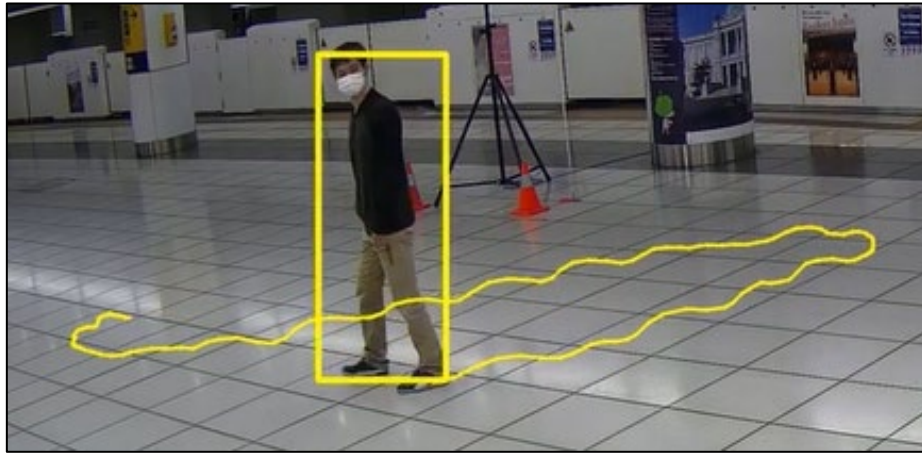
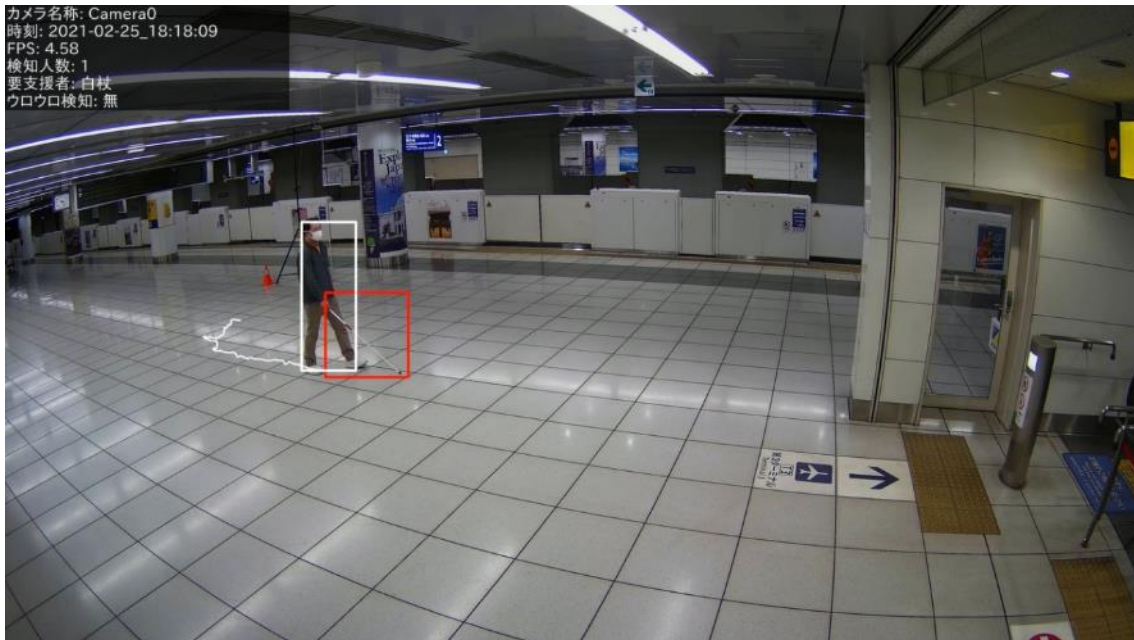


図 4.3.4.5-1 不審者検知時の表示画像
 (上) カメラ全体、(下) 不審者部分拡大
 人物特徴：上黒下茶の服装でマスクをした成人男性

(2) 【実証②】CPTにおける歩行弱者検知結果の表示

ホーム上の歩行弱者（白杖利用者）を AI にて検知し、CPT へ自動的に表示することができた。図 4.3.4.5-2 は、CPT に表示された歩行弱者検知画面であり、歩行弱者などの一般通行者を白色枠で、白杖を赤色枠で、歩行弱者の移動経路を白色曲線で示している。また、この CPT に表示された映像から、警備員が歩行弱者の様子や現場急行指示を行うための情報（検知したカメラの場所、検知時刻、人物特徴）を把握することができた。



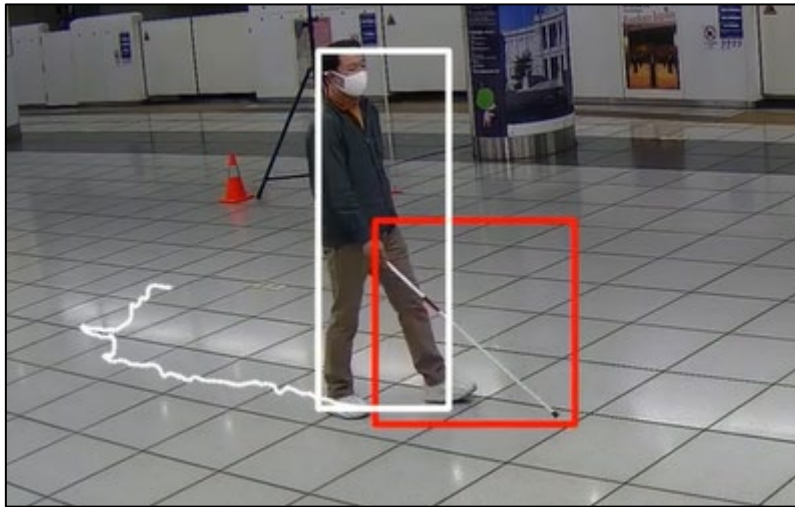


図 4.3.4.5-2 歩行弱者検知時の表示画像

(上) カメラ全体、(下) 不審者部分拡大

人物特徴：上灰色下茶色の服装でマスクをした白杖利用の成人男性

(3) 【実証③】不審者検知の性能確認

カメラから各距離において、1 試行（横方向に 4 m 程度 5 往復）時のトラッキング途切れ回数をカウントした。各設定（解像度、フレームレート、最大ビットレート、カメラ間距離）とトラッキング途切れ回数の結果を表 4.3.4.5-1 に示す。ただし、60[m]地点は人検出の失敗でトラッキング自体が十分にできなかったため、結果なしとした。

なお、ウロウロ行動を検知するためには、トラッキング途切れ回数は 2 回程度以下が望ましい。今回の結果は、被写体 1 名という簡易な条件で 5 回程度途切れていることもあり、トラッキング手法としても改善する必要がある。

表 4.3.4.5-1 各パラメータにおけるトラッキング性能の結果

解像度	フレームレート [fps]	最大ビットレート [bps]	各距離におけるトラッキング途切れ回数 [回/試行]						
			5 [m]	10 [m]	15 [m]	20 [m]	25 [m]	40 [m]	50 [m]
4K	10	16M	0	0	0	0	2	0	2
		8M	0	0	0	0	4	1	0
		4M	0	0	0	0	3	0	3
	4	16M	0	0	0	0	1	6	6
		8M	0	0	0	0	1	4	6
		4M	0	0	0	0	0	5	6
FHD	10	16M	0	0	0	0	3	10	-
		8M	0	0	0	0	6	7	-
		4M	0	0	0	0	4	8	-
	4	16M	0	0	0	0	2	5	-
		8M	1	0	0	0	1	4	-

		4M	0	0	0	0	3	3	2
--	--	----	---	---	---	---	---	---	---

20m 以内では、トラッキング途切れ回数が変化することなく、安定したトラッキングであったと言える。一方で 25m 以上では、トラッキング途切れ回数が増加傾向にあり、不安定なトラッキングであったと言える。トラッキングが不安定な距離では、人検出枠の付与低下が見受けられた。したがって、人検出の失敗がトラッキング途切れ増加の要因と言える。解像度 FHD では 50m 以上、解像度 4K では 60m 以上においては、人検出がほとんど失敗しており、トラッキングできないことが多かった。

また、以下に設定（解像度、フレームレート、最大ビットレート）毎の比較評価の結果を示す。ただし、比較対象は、トラッキング可能な距離である解像度 FHD では 40m 以下、解像度 4K では 50m 以下のデータとした。また、以下のグラフでは、データ数を揃えるため、解像度 4K、50m のトラッキング途切れ回数を 2 倍してプロットしている。横軸は、カメラからの距離[m]、縦軸はトラッキング途切れ回数[回]である。

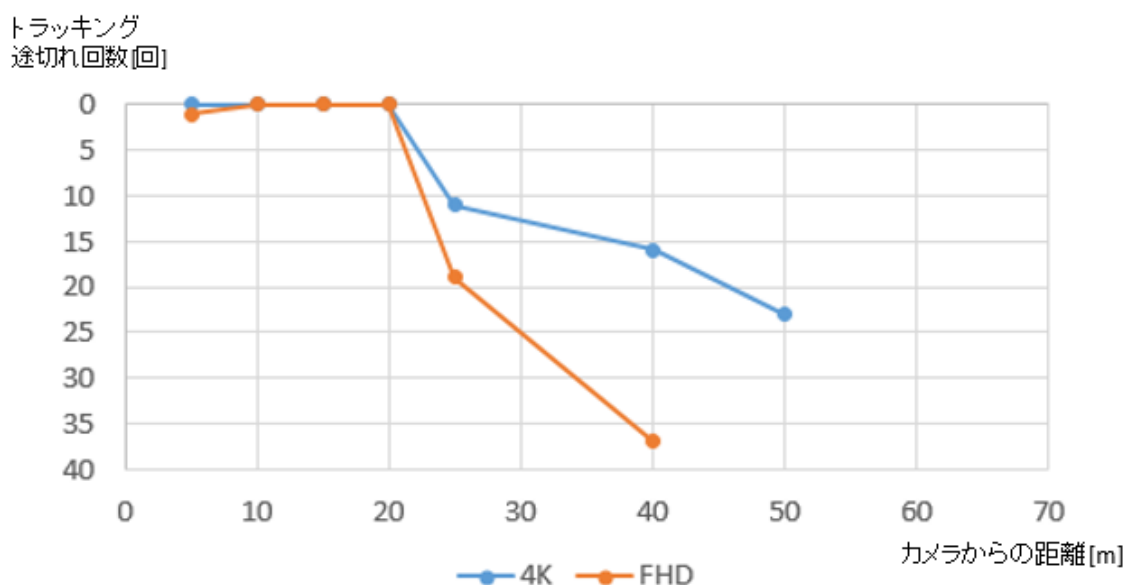


図 4.3.4.5-3 トラッキング途切れ回数 (解像度比較)

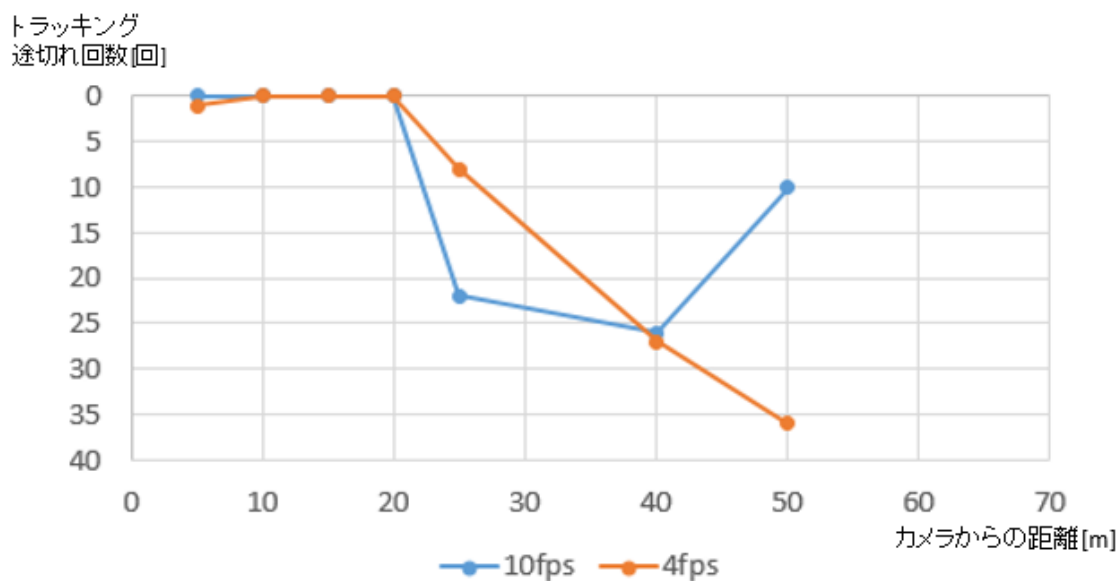


図 4.3.4.5-4 トラッキング途切れ回数（フレームレート比較）

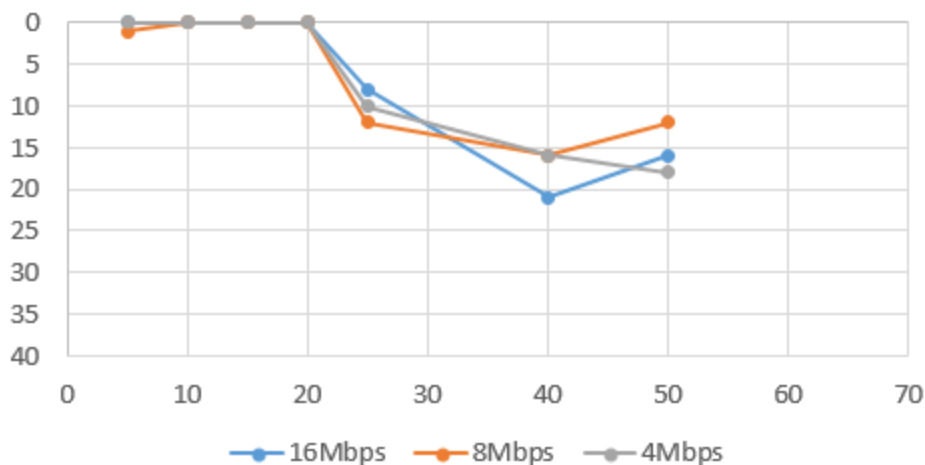


図 4.3.4.5-5 トラッキング途切れ回数（最大ビットレート比較）

解像度やフレームレートの高い方が、トラッキング途切れ回数が少なく、トラッキングが途切れにくい傾向にあった（図 4.3.4.5-3、図 4.3.4.5-4）。したがって、うろつきのような人間の行動認識を行う場合、高解像度・高フレームレートである程トラッキング性能が高くなり、AI 検知性能が高くなると言える。ただし、解像度やフレームレートが2倍であるからといって、人物の検出距離が2倍となることはなかった。

一方で、ビットレートの違いについては、トラッキング途切れ回数にはほとんど差異が見られなかった（図 4.3.4.5-5）。

なお、4K解像度におけるカメラから各距離での人物のピクセルサイズとその際の人検出率の関係は、表 4.3.4.5-2 の通りであった。また、図 4.3.4.5-6 に、カメラからの各距離における人物撮影画像を示す。目視であっても、60m先の人物を把握することは困難であり、AI で60m先の人物を検知できないのは妥当であると考えられる。

表 4.3.4.5-2 カメラからの距離における人物サイズ及び人検出率

カメラからの 距離[m]	4K 解像度での 人物サイズ[pixel]		人検出率[%]	
	横幅	縦幅	4K,	FHD,
5	181	649	82.2	100.0
10	80	348	100.0	100.0
15	54	235	100.0	100.0
20	46	178	100.0	100.0
25	36	143	99.8	100.0
40	23	95	92.7	12.5
50	18	70	48.1	0.0
60	14	58	12.9	0.0

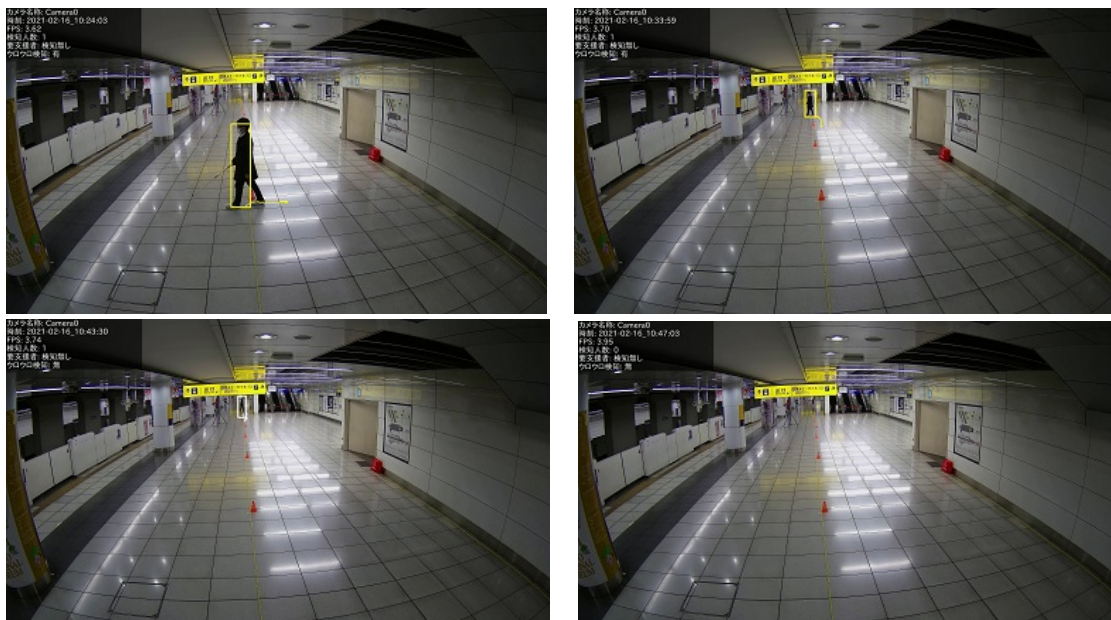


図 4.3.4.5-6 カメラから各距離における人物サイズ比較
(左上) 5 m、(右上) 20 m、(左下) 40 m、(右下) 60 m

(4) 【実証④】歩行弱者検知の性能確認

カメラから各距離において、白杖を前方につきながら横方向に4mの距離を、5往復歩行する演技を行った。その際の各条件(解像度/フレームレート/最大ビットレート)における白杖の検出率(検出成功フレーム数/白杖が映っているフレーム数)の集計結果を表4.3.4.5-3に示す。

表 4.3.4.5-3 各パラメータにおける白杖検出の結果

解像度	フレームレート [fps]	最大ビットレート [bps]	各距離における白杖検出率 [%]							
			5 [m]	10 [m]	15 [m]	20 [m]	25 [m]	40 [m]	50 [m]	60 [m]

4K	10	16M	0.0	0.6	2.0	1.5	4.5	4.3	1.1	0.0
		8M	0.4	0.2	2.1	3.6	4.8	3.2	1.4	0.0
		4M	0.2	0.6	1.2	4.2	6.2	3.4	0.7	0.0
	4	16M	1.8	9.1	23.0	41.9	60.7	2.9	2.7	0.0
		8M	0.5	12.6	28.2	45.1	57.4	4.4	4.8	0.0
		4M	0.5	12.1	27.8	51.3	66.4	7.7	1.2	0.0
FHD	10	16M	0.6	1.0	15.3	30.9	20.0	0.0	0.0	0.0
		8M	0.4	1.7	19.8	30.0	19.7	0.0	0.0	0.0
		4M	0.5	1.4	14.4	30.4	12.0	0.0	0.0	0.0
	4	16M	0.5	4.8	7.6	41.9	33.0	1.7	0.0	0.0
		8M	0.6	3.7	6.7	40.3	37.2	0.9	0.0	0.0
		4M	0.0	2.5	12.1	31.8	37.8	1.6	0.0	0.0

今回の実験環境では、薄暗さ、床面の反射などによって、映像から白杖が判別しにくく、全体的に検出率が低い結果となった。また、表 4.3.4.5-4 の設定を用いてほぼ同じ位置と角度でカメラを4台並べて撮影したが、カメラ1の白杖検出率が極端に低かった。カメラ1の設定としては、高解像度、高フレームレートであり、他のカメラより白杖検出率が高くなると予想であったが、このような結果となったのは、設定ではなく、レンズやピントなどのぼやけ具合、照明の反射具合などのカメラ个体差やカメラ設置位置による影響が大きかったものと考えられる。

また、白杖が小さいため、近距離であるほど検出率が高いと想定していたが、カメラからの距離 30m 付近が最も検出率が高い結果であった。これは、30m 付近の映像上の白杖サイズが白杖の映像を学習させた際の白杖サイズに近かったためと思われる。カメラ別、ビットレート毎にプロットした結果を図 4.3.4.5-7、図 4.3.4.5-8 に示す。横軸は、カメラからの距離[m]、縦軸はフレーム単位の白杖検出率[%]である。

表 4.3.4.5-4 カメラごとの設定値

カメラ	解像度	フレームレート	最大ビットレート
1	4K	10fps	4M~16Mbps
2	4K	4fps	4M~16Mbps
3	FHD	10fps	4M~16Mbps
4	FHD	4fps	4M~16Mbps

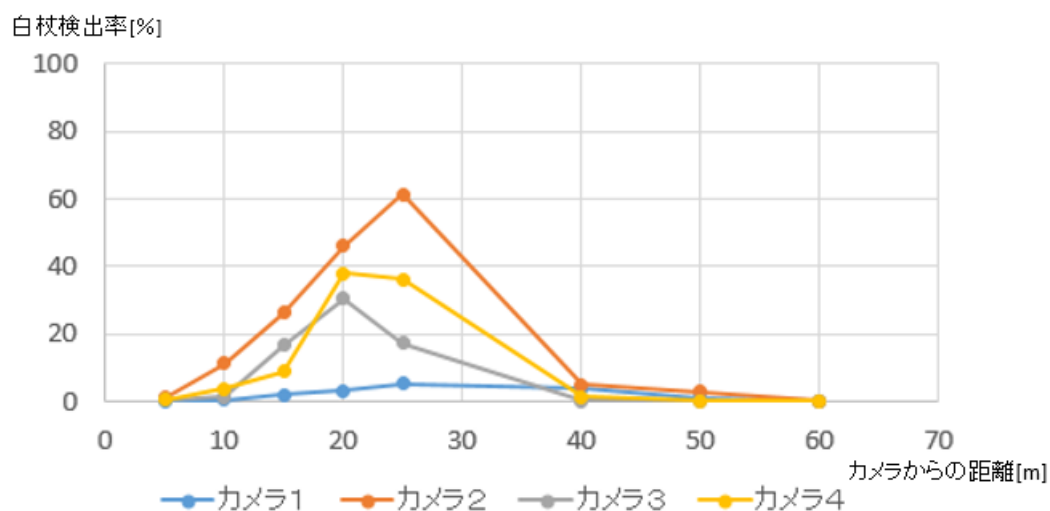


図 4.3.4.5-7 白杖検出率 (カメラ比較)

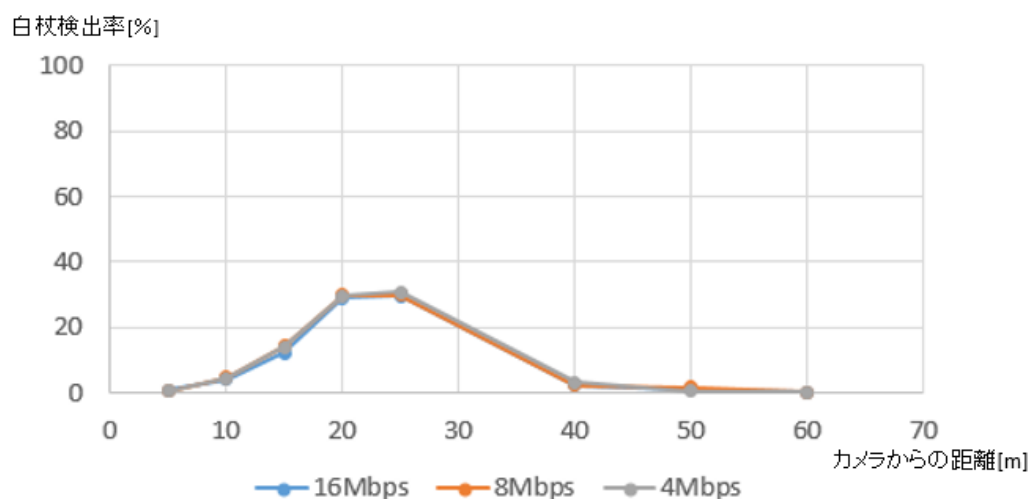


図 4.3.4.5-8 白杖検出率 (ビットレート比較)

図 4.3.4.5-7 より、FHD のカメラ 3、カメラ 4 は 20m で検出率のピークとなるのに対して、4K のカメラ 1、カメラ 2 は 25m がピークとなった。解像度が 2 倍となることで、検出距離が 2 倍となるわけではなかったが、解像度の高い方が検出率の高い結果であった。ただし、図 4.3.4.5-8 に示す通り、検出率がビットレートの違いによって変化することはなかった。

(5) 【シナリオ実証①】インシデント (不審者のホーム進入) の発見から対応

AI が 4K カメラの映像より不審者を検知して CPT に検知結果を表示し、監視員がスタ連を用いて警備員へ駆付け指示を行い、警備員が不審者に声掛けを実現できた。

また、監視員 2 名に実施したアンケート結果より、本課題解決システムで不審者の遠隔監視の実現に期待できることが確認できた。ただし同時に、アンケートを通して表 4.3.4.5-5 に示す課題も確認できた。



図 4.3.4.5-9 不審者（うろつき）の様子



図 4.3.4.5-10 不審者を発見時の CPT の様子

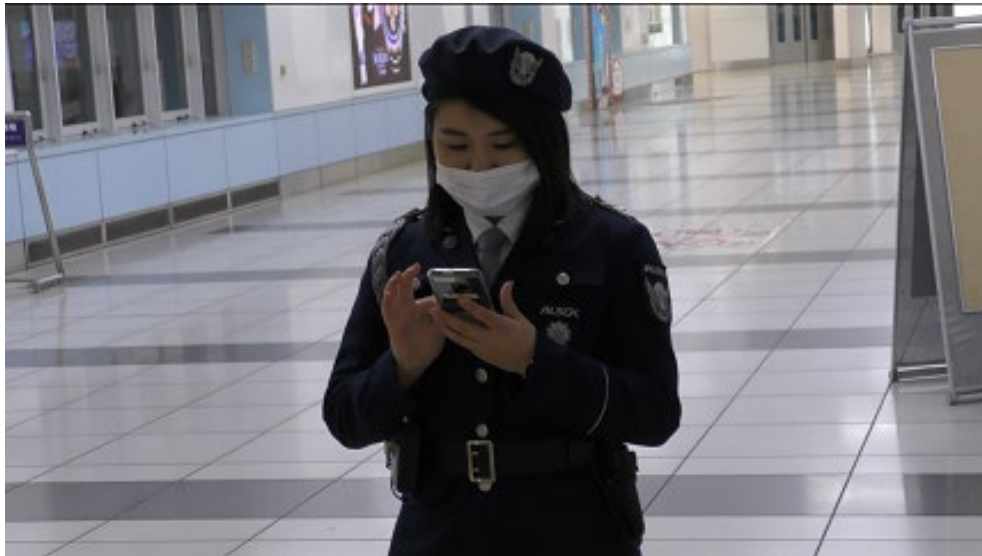


図 4.3.4.5-11 警備員の不審者対応指示受けの様子



図 4.3.4.5-12 警備員による不審者声掛けの様子

表 4.3.4.5-5 アンケートより得られた課題

項目	課題
CPTに関する課題	人物特徴をより把握するために、CPTの表示画像をより拡大できるとよい。
スタ連に関する課題	スタ連_スマホで、CPTに表示された映像／画像を確認できるとよい。 警備員がスタ連_スマホで監視員と通話する際は、遠隔監視画像上の人物のプライバシーに配慮してイヤホン等を用いるとよい。

(6) 【シナリオ実証②】インシデント（歩行弱者のホーム進入）の発見から対応

AI が 4K カメラの映像より歩行弱者を検知して CPT に検知結果を表示し、監視員がスタ連を用いて警備員への歩行弱者サポート指示を行い、警備員が歩行弱者へのサポートを実現できた。

また、監視員 2 名に実施したアンケート結果より、本課題解決システムで歩行弱者の遠隔監視の実現に期待できることが確認できた。ただし同時に、アンケートを通して表 4.3.4.5-6 に示す課題も確認できた。



図 4.3.4.5-13 歩行弱者（白杖利用者）の様子



図 4.3.4.5-14 歩行弱者発見時の CPT の様子



図 4.3.4.5-15 警備員の歩行弱者案内指示受けの様子



図 4.3.4.5-16 警備員による歩行弱者案内の様子

表 4.3.4.5-6 アンケートより得られた課題

項目	課題
CPTに関する課題	人物特徴をより把握するために、CPTの表示画像をより拡大できるとよい。

4.3.4.6 考察

(1) 遠隔監視

実証①、②やシナリオ実証①、②より、ローカル5Gの無線通信でもAI判定が問題なく動作し、高品質な映像で監視員が適切に駆けつけ指示ができることがわかった。解像度が高いことにより、不審者等の人相着衣の細かいところまで把握することができるため、多

数の利用客が存在する場合でも、現場対応を行う警備員へ駆けつけるために十分な情報を提供できた。ただし、CPT での表示が見難いとの意見があり、拡大表示なドインターフェース周りは改善が必要だと思われる。

(2) 自動検知性能

実証③、④にて、高解像度、高フレームレートである程、不審者検知に必要なトラッキング性能や歩行弱者検知に必要な白杖検出率が高いことが示された。解像度が FHD から 4K と 2 倍になったことに対し、検出距離は 1. 2 ～ 1. 5 倍程度、面積に換算すると 1. 4 4 ～ 2. 2 5 倍となり、解像度が高いことにより、カメラ 1 台でのカバー範囲を広げることが可能となることがわかった。

今回の実験では、ビットレートの変化は AI 検知性能に影響を与えなかった。これは、動きのある被写体が 1 名しかおらず、映像のデータサイズが小さかったため、必要となるビットレートが小さくても十分だったためであると思われる。被写体の動きが大きい場合、映像データサイズが大きくなり、小さなビットレートでは画質の劣化がおこり、AI 検知性能も低下するものと思われる。

また、被写体の動きに関係なく、人検出または白杖検出が低下する場面も確認された。低下の要因には、対象のピクセルサイズの縮小だけでなく、床面からの反射光等のカメラ設置環境、解像度やフレームレート以外のカメラ設定等の影響も考えられる。本影響は、検証環境特有の事象であれば AI を本検証環境向けに別途チューニングで対策すればよいが、他の屋内環境でも生じ得る事象である。今後、様々な環境で AI カメラの活用を目指すことを鑑みると、AI 判定フロー自体に本影響を軽減する処理を実装し、環境等に依存しない検知性能を実現することが必要と考える。

(3) 早期発見の実現性

昨今、多数の監視カメラが設置されるようになったが、すべてのカメラをリアルタイムに人が監視することはコスト上困難である。そのため、インシデント／アクシデントの早期発見には、現地状況を十分に把握できる遠隔監視機能と、高度な自動検知機能が必要となる。遠隔監視に関しては、実証①、②やシナリオ①、②の結果より、インターフェースの課題を残しているが、遠隔地より現場状況を把握して現地の警備員に対応を指示できることが確認できた。また自動検知に関しては、実証③、④の結果より、高解像度、高フレームレートである程、不審者検知及び歩行弱者検知の性能が検知範囲（距離、面積）及び検知率の面で向上することが期待できる結果を得られた。したがって、本課題実証システムの有する遠隔監視と自動検知により、インシデント／アクシデントの早期発見が実現できることが期待できる。

4.4 課題解決システムに関する効果検証

前項では、課題実証を通じた各課題解決システムの主に性能面に着目した評価・分析を個別に行った。本項では各実証結果を改めて整理するとともに、従来の施設警備業務との比較観点からその有効性を検証する。

4.4.1 検証項目

検証に当たり検証項目として下記 5 つの視点を設定、課題解決システムの効果について定量的かつ定性的な評価を試みる。

- 項目①：業務効率化に資する効果
- 項目②：施設内における安心・安全の確保
- 項目③：従来の方法と比較した場合の警備力の向上
- 項目④：その他課題解決に資する導入効果
- 項目⑤：費用対効果

4.4.1.1 【項目①】業務効率化に資する効果

「(1) ドローンによる遠隔巡回」「(2) ロボットによる遠隔巡回」「(3) AI カメラによる遠隔監視」の各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する。

4.4.1.2 【項目②】施設内における安心・安全の確保

極めて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。

4.4.1.3 【項目③】従来の方法と比較した場合の警備力の向上

警備業務はその対象により業務内容が大きく異なるため「警備力」を客観的に評価する指標、共通概念は現状存在していないが、各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。

4.4.1.4 【項目④】その他課題解決に資する導入効果

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する。

4.4.1.5 【項目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する。

4.4.2 検証方法

各検証項目の検証方法を改めてまとめると以下の通り。

- 項目①：実証実験結果に基づく定量的、定性的評価

- 項目②：実証実験結果に基づく定性的評価
- 項目③：実証結果及び評価指標「警備力」による定量評価
- 項目④：実証結果及び評価指標「警備力」による定量評価
- 項目⑤：実証結果及び評価指標「警備力」による定量評価

項目③以降の定量評価にあたっては、まず前提となる「警備力」を定義し実証フィールドにおける警備運用モデルでの「警備力」算出を試みる。

4.4.2.1 警備力の定義

警備力の定義にあたっては、その構成要素が多種多様であり、また対象とするフィールドにてそれらが異なることから様々なアプローチが考えられる。また、警備力の議論は一般的には多分に計量不可能な主観的要素を含み論じられることが多い。

本稿では定量評価を行うことが目的であることからその定義から主観的要素を排し大胆に単純化した。

また、構成要素間の重みづけについては一般化が困難であることから現時点では考慮せず、各要素の単純和として次の通り定義した。

$$F = Di + De + Co$$

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)



※ここで言う異常は警備員が業務上において発見・対処すべき事象をさす。

本課題解決システムでは対処力は具備されず、従来通りの警備員での対処となることから、本稿での従来警備モデルとの議論に用いる警備力は対処力の項を省略し次の通り取り扱う。

$$F = Di + De$$



また、本件課題解決システムでは発見力を担うプロセスとして「遠隔巡回」、「AI カメラ」の2種を有するが、前者は人が介在したプロセス、後者は人が介在しないプロセスとその過程が大きく異なるため区別して取り扱う。

【非公開情報を含むため一部文章を削除】

4.4.3 検証結果・考察

4.4.3.1 【項目①】業務効率化に資する効果

本件実証システムの実証結果の概略を改めてまとめる。4.2.1 で設定した KPI に対する判定結果「○」：達成（2点）、「△」：部分的達成（1点）、「×」：未達成（0点）とし、各解決策の評価の達成割合を示す。

(1) ドローンによる遠隔巡回

表 4.4.3.1-1 検証結果一覧

	検証項目	判定	評点
1)	自動巡回時の監視映像	○	2
2)	人の自動検知	○	2
3)	自動巡回時の安全機構及び自律・自動制御機能	○	2
4)	人の検知可能条件	○	2
5)	遠隔監視時の使用性	△ ^{※1}	1
6)	遠隔操作機能	△ ^{※2}	1
7)	遠隔監視時の映像による人物表示	△ ^{※3}	1
8)	監視映像品質	○	2
9)	映像伝送遅延	△ ^{※4}	1
10)	制御伝送遅延	○	2
解決策の評価		16/20(80%)	

※1 目の疲労感等、映像監視特有の負荷を軽減するための対応が必要

※2 高度な操作には相応の訓練が必要

※3 対象が激しく動くと、顔特徴などの詳細視認性が低下

※4 ローカル 5 G 伝送区間の遅延は問題ない範囲だがシステム全体の遅延はさらなる短縮が必要

(2) ロボットによる遠隔巡回

表 4.4.3.1-2 検証結果一覧

	検証項目	判定	評点
1)	自動巡回時の監視映像	○	2
2)	自動巡回時の安全機構及び自立・自動制御機能	○	2
3)	遠隔監視時の使用性	△ ^{※1}	1
4)	遠隔操作機能	○	2
5)	遠隔監視時の映像による人物表示	○	2
6)	監視映像品質	○	2
7)	映像伝送遅延	○	2
8)	制御伝送遅延	○	2
解決策の評価		15/16(93%)	

※1 目の疲労感等、映像監視特有の負荷を軽減するための対応が必要

(3) AI カメラによる遠隔監視

表 4.4.3.1-3 検証結果一覧

	検証項目	判定	評点
1)	CPTにおける不審者検知結果	○	2
2)	CPTにおける歩行弱者検知結果	○	2
3)	不審者検知の性能確認	△	1
4)	歩行弱者の性能確認	△	1
解決策の評価		6/8(75%)	

実証実験を通じ、遠隔巡回業務に必要な機能について概ね実現できており、また、AI カメラも巡回の補完機能として機能が期待できることが確認できた。しかしながら、AI の検知性能については、床面からの販社高騰のカメラ設置環境により検知性能に影響を及ぼし得ることから、環境等に依存しない検知性能を実現することが必要である。

遠隔巡回、AI カメラでの異常検知をトリガーとして現地警備員との連携による事案対応の業務フローも想定通り運用できたことから、巡回業務に関しては業務負担軽減、労働改善の効果が期待できることを確認した。

一方、従来の業務形態とことなり着座姿勢で大型ディスプレイを連続注視する業務形態となることから、眼精疲労を懸念する声も聞かれたことから、これらに配慮したインターフェース開発の必要性を確認した。

4.4.3.2 【項目②】施設内における安心・安全の確保

「安心・安全」は定性的色合いの強い概念であるが、放射線の被ばく基準のように明確な基準値が存在し、それに基づき安全・安心を定量評価可能な分野も存在する。

警備分野においては安全・安心についてそのような明確な基準は存在せず、本件実証で定量化を試みた「警備力」も相対的評価の議論に用いることは可能であるが、安心・安全を判断する絶対的な基準になりえない。

「警備力」と「安心・安全」の間には一見、正の相関があるように見え、確かに警備力が強化されれば、直感的には安心・安全も向上するように思える。しかしながら警備力が一定の水準を超えて強化されると「物々しさ」「監視されている感」「自由の制限」などから、不安な空気感が醸成され「安心」とは逆の感情が想起される。この「安心」から「不安」への転換点は社会情勢など外的・定性的要因に大きく左右されるため、定量的に特定することは極めて困難であるといえる。

とはいえ、ある水準(どこまでかを明確に示すことは困難であるが)までは警備力と安全・安心の間には正の相関があると考えられるので安心・安全に関する議論は本論考にとどめ、項目③の警備力の議論をもって定量評価に代える。

4.4.3.3 【項目③】従来の方法と比較した場合の警備力の向上

4.4.2.1 で示した警備力の定義を用い、従来の警備巡回業務と実証システムを用いた遠隔巡回業務の警備力の定量的に比較する。

検証のベースとなる警備計画の情報を以下のとおり設定する。なお、各情報は実証対象施設での警備運用を想定したものであるが、議論の簡便化のため一部省略等、結果に大きな影響を及ぼさない範囲で単純化を行った。

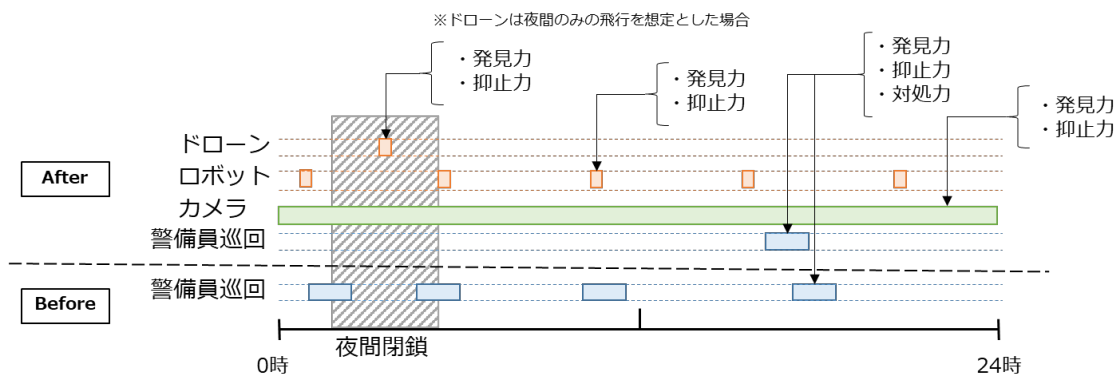


図 4.4.3.3-1 警備業務の比較検証

また、De 算出に必要な To の算出に必要なパラメータは以下のとおりと想定した。

- 警備エリア内を訪れる人員 95,000 人/日 (駅乗降客数より推定)
- 抑止力の対象となる 人員 6.3 人/時間 (東京都の年間犯罪発生率 1.6%で推定)
- 人員の平均滞在時間 15 分
- 警備対象面積 4500m² (150m × 15m × 2フロアと想定)
- 警備対象時間 24 時間

【非公開情報を含むため一部文章を削除】

本試算によると、実証にシステムは前述の想定・計画で運用することにより、従来の巡回警備との比較において今回設定した警備力という指標の下で 60%程度のスコアアップが確認できた。

警備力の値を見ると、発見力の値が支配的であり、抑止力は事実上計算誤算の域を出ていない。これは抑止力の対象を刑法犯に限定したことにより、そもそもの対象者が少なくなったことに起因する。抑止力行使の対象を軽犯罪まで拡大することにより、抑止力の警備力への寄与も期待できる。

また、AI カメラの警備力への寄与が限定的であるが、これは警備対象面積に対し設置台数が少ないこと、検知対象業務が限定されてきたことに起因する。今後の AI カメラ性能改善に期待するところである。

4.4.3.4 【項目④】 その他課題解決に資する導入効果（人員の最適配置等）

ドローン、ロボット等の巡回頻度の増減により、需要に応じた警備力の構築が容易であるため、警備員の負担を抑えながらさら動的に警備力の最適化が図れるのみならず、複数人員で構成される大規模な警備隊においては、人員最適配置によるコスト削減効果も期待できる。

また、本システムの一般化により複数警備対象にまたがる広域でのリソース最適化も可能であるため、従来の警備対象先単位の個別最適の枠を超えた、全体最適によるより高度な最適化に期待が持てる。

4.4.3.5 【項目⑤】 費用対効果

本件システムは将来の全体最適によるコスト差減と警備力向上の両立が期待できる、非常に有望なものである一方で、現状において費用対効果の面で満足する効果が得られるものであるとは言い難い。

本件効果は巡回警備にフォーカスしての試算であり、警備業務における巡回警備の割合がどの程度占めるかにより、その効果は大きく変動することに留意しなければならない。これについては次項、機能検証にて改めて触れる。

今後本システムの本格的な導入展開にはローカル5Gシステムを含めた機器コストの劇的な低減が必要である。

4.5 課題解決システムに関する機能検証

4.5.1 機能一覧・機能説明

本件実証システムにて実現した機能について改めて簡単にまとめる。

表 4.5.1-1 機能一覧・機能説明

			機能概要
実証システム機能	ドローン 巡回	自律運行	VSLAM による屋内自律飛行を実現。障害物検知、人物検知・追跡機能を有する。
		遠隔操作 (ローカル5G)	ローカル5G通信機能は未実装。実証では5G 遠隔操縦専用ドローンを別途準備
	ロボット 巡回	自律運行	マーカを利用した自律走行、障害物等回避機能を実装し、停止時は各種センサーによるセンシング、タッチパネル※を利用したインフォメーションロボとして機能*
		遠隔操作 (ローカル5G)	フライングビューカメラにより、自由視点での遠隔操縦環境を提供
	AIカメラ	白杖検知	AIで白杖保持者を自動検知し監視員に通知
		ウロウロ検知	AIでウロウロを検知、不審行動、道に迷っている等要支援者として監視員に通知
	スタ連		スマホを利用したスタッフ間情報連携支援ツール。映像と音声でのコミュニケーション。スタッフの位置情報管理、案件管理、自動直行指示機能等を具備

※タッチパネル関連機能については本実証では使用していない。

4.5.2 検証項目

本項では、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確認し、不足機能及び改善ポイントの洗い出しをおこなう。

4.5.3 検証結果

各検証項目の実証システムによる業務充足度を実証結果から「代替化」「条件付き代替可」「代替不可」「未実装」の4段階で評価を行った。評価結果は次表のとおり。

表 4.5.3-1 代替性の検証結果

			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)	—	—	—
	スタ連		—	○(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

◎：従来手法より優れる

○：従来手法と同等

△：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

—：適用対象外

4.5.4 技術調査

実証フィールドにおける代表的な機能については概ね「条件付き代替可」と判断した。

これら機能は遠隔で①「オペレータが目視確認」、スタ連を用い②「現地警備員と情報連携、対処指示」という形でのオペレーションをとることにより業務要件を満たすと判断したが、現地対応は従来通り警備員の人的対応によることから、実証システムの普及、展開にあたっては監視機能の集約化によるさらなる効率化推進と、監視支援機能及び現地対処機能の強化を図る必要があることから、現時点においては条件付き代替可と評価した。

監視支援についてはAI自動認識の強化・推進による対応を進めることになるが、同じく強化が必要な現地対策機能の強化について、市場製品の簡単な調査結果とともに今後の強化の方向性を示す。

(1) バーチャルエージェント : 接客、対人対応力の強化、効率化



出所：セコム HP

バーチャル警備員 (セコム)

- AIを活用した警戒監視などの警備や受付業務の提供が目的
- テクノロジーの力で人の力を増幅することで常駐警備員配置の効率化、有人施設における受付を含む警備強化をコストを抑えながら実現
- キャラの対応状況や周囲の様子は建物内にある有人の警備員室やセコムの遠隔監視センターで常時確認

デジタル警備員 (テイケイ)

- 防犯カメラ搭載、画像解析センサーで侵入や置き去りを検知する
- インターホン機能、地図表示などの案内機能
- ソフトフロントジャパンの自然会話AIプラットフォーム「commubo」を搭載。基本はタッチパネルもしくはAIが応答し、複雑な質問には遠隔操作者により応答する
- 機能の評価や、AI応答する際に必要な音声取得の精度の検証が可能
- 扱いとしてはサイネージを搭載したロボット
(「Tokyo Robot Collection」での実証実験)



出所：テイケイ HP



AI 案内サイネージ「BotFriends Vision」(凸版印刷)

- 行動経済学と凸版印刷がコールセンター対応で培ってきた顧客対応ノウハウに基づいた「おもてなし」対応
- 国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)のニューラル機械翻訳(NMT)エンジンなどを使用。音声やテキストでの翻訳が可能
- 過去には JR 東京駅や横浜駅で実証実験を行い AI とバーチャルキャラクターの遠隔操作を組み合わせた駅案内の有用性を検証、現在は「高輪ゲートウェイ駅」に導入
- 普段は AI チャットボットが対応し、呼びかけがあった場合に遠隔操作に切り替えることで少人数での効率的な案内・接客が可能

(2) コネクテッドワーカーソリューション : 現地隊員の対応力強化



THINKLET(シンクレット) (フェアリーデバイセス)

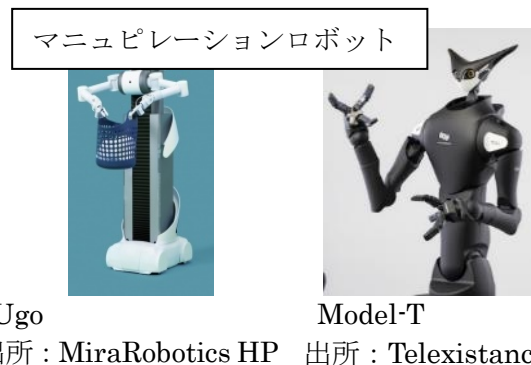
出所 : Fairy Devices HP

- ディスプレーの無い首掛け式のスマートフォン
- 高性能マイクによって工場の中でも音声認識で AI の活用や作業記録の作成が可能
- 超広角カメラによってその場にいるかのように、熟練工が遠隔支援
- 音声認識とジェスチャーセンサーによって両手が自由な状態で操作

(3) 作業ロボット、遠隔操作ロボット : 現地ロボットの対応力の強化



出所 : アマノ HP



4.5.5 考察

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が確認できた。しかしながら今後の普及展開のためには、採算性の観点から多数の拠点を統合監視する仕組みへの移行が必要であると考ええる。多数拠点の一括監視にはよりの効率的な業務遂行能力の実装が不可欠であることからシステムコストの低減と、業務遂行能力の向上の両立が普及に向けた課題であるといえる。

4.6 課題解決システムに関する運用検証

本件実証システムの運用に関し、警備運用、システム運用の両面から検証する。

4.6.1 運用作業一覧

検証対象とした実証システムを活用した警備業務に必要となる運用作業は下表のとおり。

表 4.6.1 運用作業一覧

警備運用	ドローン	遠隔監視
		遠隔操作(ローカル5G)
	ロボット	遠隔監視
		遠隔操作(ローカル5G)
	AIカメラ	白杖検知
		ウロウロ検知
	スタ連	
システム運用	ドローン	
	ロボット	
	スタ連	

4.6.2 検証項目

前述の各運用作業の実施可能性評価を検証項目とする。京急電鉄の警備運用担当部門にヒアリングを実施した。また ALSOK の施設警備運用会社へのヒアリングに基づき、各検証項目を ALSOK にて「運用可」「条件付き運用可」「運用不可」の3段階で評価を行った。

4.6.3 検証結果

評価結果を下表に纏める。

表 4.6.3 評価結果一覧

運用項目		評価	(*)運用条件等	
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	
		スタ連		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	
	スタ連	運用可	

ヒアリング調査の結果から本実証システムは概ね運用可能であると判断する。一部「条件付き運用可」と評価した3項目については次項で検討を加える。

4.6.4 運用面に関する課題と解決策

4.6.4.1 警備運用/ドローン/遠隔操作（ローカル5G）

本項目には、①実証段階でローカル5G通信制御を行うドローンと、自律飛行を行うドローンの一体化が実現しておらず、複数のドローンを使用した模擬的な実施となったこと、②システム全体の制御遅延が比較的大きく、ドローンの特徴である高機動性を生かした運用が実証システムでは難しいことから条件付き運用可とした。

4.6.4.2 システム運用/ローカル5G

本件実証ではローカル5G構築、運用はNTT Com 協力のもとで進めてきたが、他の無線通信局との干渉調整等、実サービス投入にあたってはより一層のノウハウの蓄積が必要である。

4.6.4.3 システム運用/ドローン

ドローンの定期的な無人運行については警備ロボットとの比較において実績にとぼしく、メンテナンス等、運用上の負荷は未知数なところが多い。本件実証フィールドのような地下の鉄道駅では、列車の走行による気流の乱れや高圧電線など、ドローンの安定飛行には不利な要素が多数あることが改めて確認できた。また、鉄道事業など、サービス停止が社会に多大な影響を及ぼす事業者は、実績に乏しい技術は採用し難い側面があることも理解できる。よって、ドローンの警備利用は機材の安全性、信頼性を高めつつ、運用ノウハウ・実績を蓄積するというサイクルを回しながら段階的にドローンの運用可能範囲拡大を推し進める必要がある。

4.6.5 考察

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、警備運用上では概ね実現可能であると考えられる。今後鉄道駅はもとより様々な施設に本システムを展開するにあたっては、特に「ドローンの安全運航技術」のノウハウ蓄積と実績の形成が重要であると考えられる。

4.7 まとめ

課題実証を通じ、ドローン、ロボット、AI カメラを活用した遠隔巡回システムは機能面、運用面からも現状の人による巡回警備を代替しうるポテンシャルを有することが確認できた。

これら評価は多分に定性的なものではあるが、本件実証ではこれを補強するために「警備力」という定量比較が可能な指標の算出を試みた。

今回算出した指標は省略した要素が多数ありまだまだ完全なものとはいえないものがあるが、定性評価を補強しうる傾向比較の為の定量的な指標提示は行えたと考えている。

本指標によれば本実証システムは人的警備との比較において「警備力」の向上が期待できるものであることが確認できたが、これはあくまで「巡回警備」の代替の効果であり、当該施設の警備員が担う業務における巡回警備の割合により実効は大きく変動することに留意しなければならない。

また、費用対効果の面では単独施設でのシステム導入ではコスト効果を出すのは困難であり、広域での監視機能の集約化を目指す必要がある。

これを実現するためには本件システムでは実装されていない「対処力」の無人化、有人対処の高度化・高効率化を実現する機能の実装（バーチャルエージェント、コネクテッドドローカー、マニピュレーションロボットなど）を推し進めることが必要であり、同時に様々な場所で本件システムを運用するためローカル5G、ドローンのノウハウ・実績の蓄積が必要である。

5. ローカル 5 G の性能評価の技術実証

5.1 前提条件

課題解決システムの実装及び実証地域以外の地域での利用においても有益な成果が得られるように考慮した技術実証を行った。また、技術実証に当たっては、以下の点に留意した。

- ITU 及び 3GPP における 5 G の標準化に関する検討状況並びに情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会ローカル 5 G 検討作業班「ローカル 5 G の共用検討」を受けて改訂された「免許申請時のエリア算出法」を本技術実証の検討の柱とし、更に同エリア算出法に組み込まれていないマルチパス環境下における反射波や回折波の影響に対する視点を加えて検討を進めた。
- 既存の無線システムに影響を与えないように免許申請時において実施した干渉調整の各事業者からの留意事項（1.5.9 節）に準拠するとともに、技術実証測定前に事前に干渉がないかを測定器を用いて確認し検証を実施した。
- 測定機器類、測定環境等を準備の上、検証を行った。
- 測定においては夜間無人状態にて検証を行った。「飛行」については、ドローンの通常運行速度について考慮し、移動中のドローンを想定した移動体（UE を設置した台車）をドローンの通常運行速度（～時速 5 km 程度）にて移動させることとして検証を行った。
- 地下ホームは遮蔽物の多い屋内空間であり、地下ホームの環境特徴として閉所のマルチパス環境、天井高の低さ、遮蔽物（柱、エレベータ、ホームドア、くぼみのある空間）がある。これらは他の地下ホームにおいても類似性が高い環境特徴であり、これらの影響を考慮した検証を行った。

5.1.1 対象とするユースケース

本技術実証では、羽田空港国際線ターミナルビルに直結する京浜急行電鉄の「羽田空港第 3 ターミナル駅」において、ローカル 5 G (4.7GHz 帯)無線通信システムを利用したドローンを活用した遠隔巡回、ロボットを活用した遠隔巡回、監視用カメラ及び AI を活用した遠隔監視による高度な警備システムをユースケースとして想定し、実施した。

5.1.2 ユースケースに基づく性能要件

5.1.2.1 電波及び信号品質

取得したデータを表 5.1.2.1-1 に基づいて評価し、表 5.1.2.1-2 で示される要求品質を満たすかどうかを確認した。

表 5.1.2.1-1 信号評価方法

項目	評価方法
RSRP	測定された RSRP の平均及び変動を算出し、標準偏差 σ で表されるフェージングの影響がダウンリンク回線で想定される -18dBm のフェードマージンに収まるか、また各測定点において基準となる電波強度を確保できているかを判定する。

表 5.1.2.1-2 信号評価基準

項目	要求品質
RSRP の平均値	-119.8 dBm + フェードマージン

5.1.2.2 スループット及び遅延

取得したデータを表 5.1.2.2-1 に基づいて評価し、表 5.1.2.2-2 で示される要求性能を満たすかどうかを確認した。

表 5.1.2.2-1 トラヒック評価方法

項目	評価方法
スループット	本技術実証では最大性能としてのスループットの測定は行わないことから、目標とするスループットの試験を行い成否の判定を行った。
遅延	測定された遅延の時間平均及び変動を算出し、標準偏差 σ または 2σ のマージンを考慮した遅延が要求性能を満たすかどうかを判定することが望ましいこととした。

表 5.1.2.2-2 トラヒック要求性能

機器	監視カメラ	ドローン②	警備ロボット
スループット(UL)	16Mbps×4	9Mbps	9Mbps+10Mbps
スループット(DL)	—	制御通信	制御通信
遅延	より低遅延が望ましい	より低遅延が望ましい	より低遅延が望ましい

5.1.3 実証環境

5.1.3.1 設置環境

本項では京浜急行電鉄羽田空港第3ターミナル駅において、技術実証に利用するエリアを以下に示す。

(1) B1F

図 5.1.3.1-1 に B1F フロア図、図 5.1.3.1-2 に B1F 外観写真を示す。B1F には本技術実証における機器を常設する場所が存在し、常設場所より B1F を通じてケーブル類を敷設した。



図 5.1.3.1-1 B1Fフロア図



図 5.1.3.1-2 B1F 外観写真

(2) B2F(プラットフォーム)

図 5.1.3.1-3 に B2F フロア図、図 5.1.3.1-4 に B2F 外観写真を示す。実証エリアとしては全体であるが、実際に測定を行うのはエスカレータ等の遮蔽物がある品川方面プラットフォームとした。なお、品川方面プラットフォーム長は 155m である。

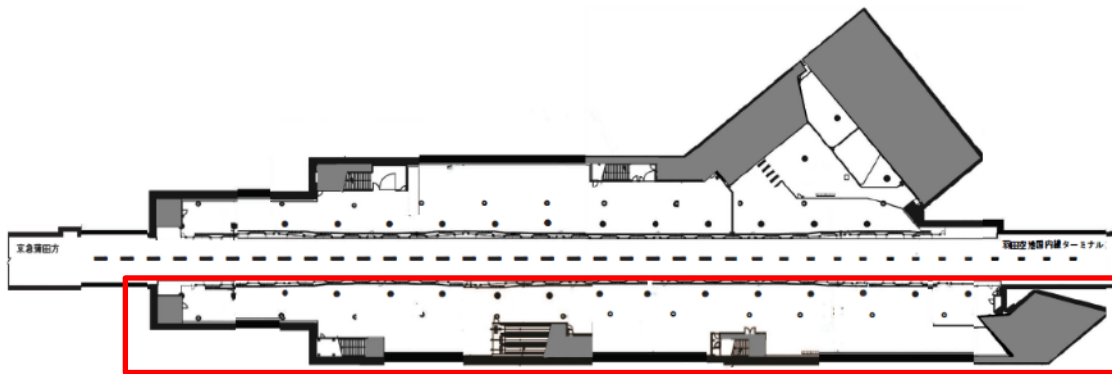


図 5.1.3.1-3 B2F フloor 図



図 5.1.3.1-4 B2F 外観写真

(3) 1F

図 5.1.3.1-5 に 1F フloor 図を示す。駅 1F にて技術実証で使用するエリアはエスカレータ上とした。

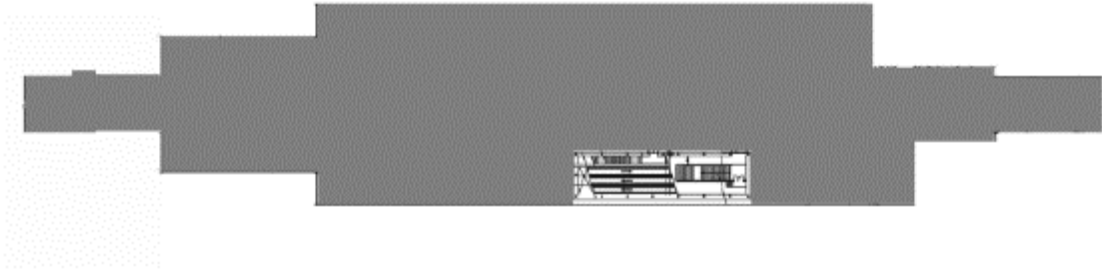


図 5.1.3.1-5 1Fフロア図

(4) 2F

図 5.1.3.1-6 に 2F フロア図を示す。駅 2F はエスカレータから改札までを技術実証エリアとした。

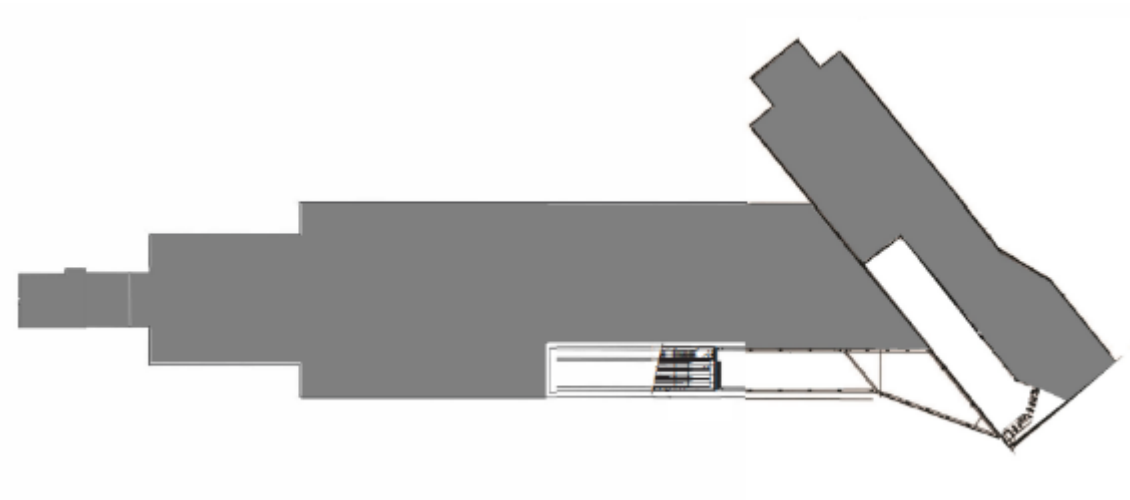


図 5.1.3.1-6 2Fフロア図

(5) 横浜事業所

5GC については InternetVPN を介した横浜事業所に設置した。外観写真を図 5.1.3.1-7 に示す。



図 5.1.3.1-7 横浜事業所機器外観写真

(6) 各機器の設置場所

技術実証における各機器の設置場所を表 5.1.3.1-1 に示す。Dot 及び IRU の設置数量は各技術実証によって異なる。

表 5.1.3.1-1 各機器の設置場所

機器名称	設置数量	設置場所
UE	1	B2F 品川方面プラットホーム
Dot	1~2	B2F 品川方面プラットホーム
IRU	1~2	B2F 品川方面プラットホーム
BBU	1	B1F
L3 Switch	1	B1F
Light UPF	1	B1F
VPN R / BB R	1	B1F
ONU	1	B1F
GNSS Receiver	1	屋外
GNSS Antenna	1	屋外
5G Core	1	横浜事業所

注) UE... 5G 陸上移動局、Dot... 5G アンテナ(空中線)、BBU...Baseband 装置、L3 Switch...L3SW、5G Core... 5GC、VPN R / BB R...ブロードバンドルータ兼 VPN 終端装置

5.1.3.2 アンテナ設置位置

(1) フロア高及びアンテナ高

図 5.1.3.2-1 に技術実証の際のフロア高及びアンテナ・UE の設置高を示す。アンテナは B2F に設置し、アンテナ高は B2F 床面を基準として各技術実証によって高さを変更し、設置した。高さの測定は巻き尺によって行い、試験中に高さの変わることはないように固定して行った。また UE 及びエリアスキャナについては、ドローン (2.5m) 以下、ロボット (0.5m) 以上の高さとして B2F 床面から 1m に設置した。

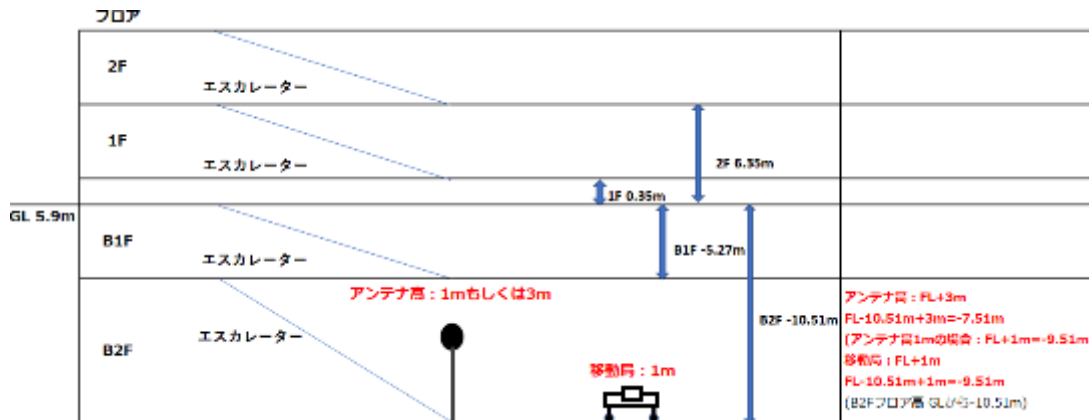


図 5.1.3.2-1 フロア高及びアンテナ・移動局(UE)の設置高

(2) 水平位置

本技術実証において、アンテナは各技術実証で水平位置が異なるため、水平位置についての詳細は各技術実証で示す。

電波強度及び信号はフェージングやシャドウイングの影響を受け、本技術実証においても少なくとも数波長程度の長さにならってその変化はランダムとみなした。本技術実証における割り当て周波数 4.7GHz の波長約 6.3cm においては、数十 cm のオーダーであり、水平方向の位置決めには必ずしも高い精度を求められてはいないことを意味し、試験中の測位は巻き尺を用いて次のように行った。水平位置の測位風景を図 5.1.3.2-2 に示す。

- ① 位置の基準となる建築物、構造または設備の全体または部分をあらかじめ十分な数だけ定めた。
- ② 定めた複数の位置基準と各測定位置の関係(距離、角度など)をあらかじめ算出する。アンテナ及び移動を伴わない測定における UE については各測定位置を、移動を伴う測定における UE については直線移動開始点及び直線移動終了点の複数の位置を定めた。
- ③ 測定開始前にあらかじめ算出した値を用いて各測定位置を巻き尺によって確定しマークした。
- ④ 測定時は機器をマークしたポイントに設置した。
- ⑤ 証跡として機器設置状況の写真を撮影した。アンテナについては毎試験日のはじめに、UE について移動を伴わない測定においては各試験開始前に、移動を伴う測定においては移動開始前と移動終了後に撮影した。

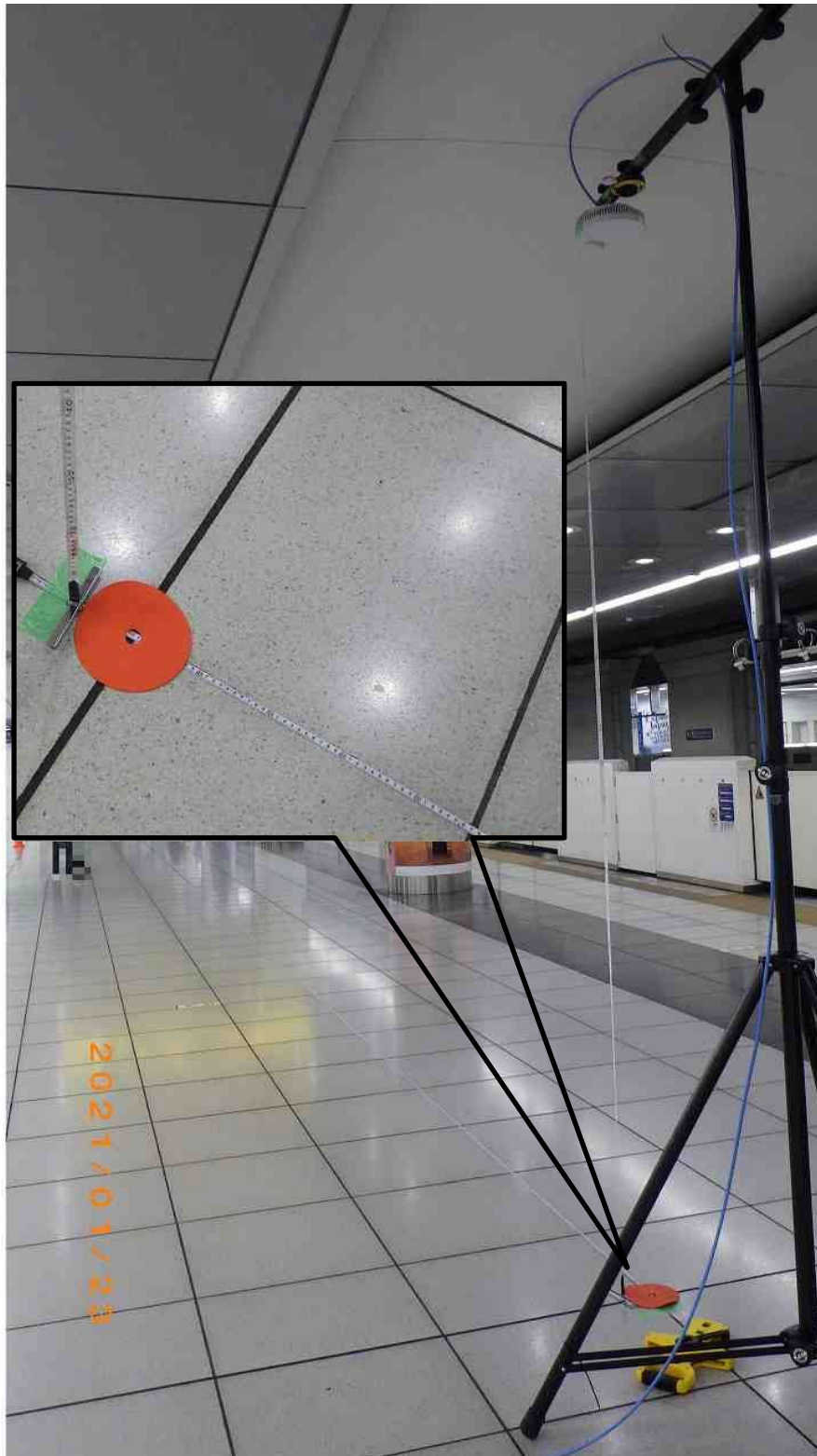


図 5.1.3.2-2 水平位置の測位風景

(3) 方位角及び仰角・俯角

アンテナ及びエリアスキャナアンテナは水平を保つように固定した。ただし全方向性ア

アンテナであることから方位角は問わないこととした。B2F プラットホームに設置したアンテナの高さ 3m と 1m の設置風景をそれぞれ図 5.1.3.2-3、図 5.1.3.2-4 に示す。同じく B2F プラットホームに設置した UE とエリアスキャナ用アンテナの設置風景を図 5.1.3.2-5 に示す。

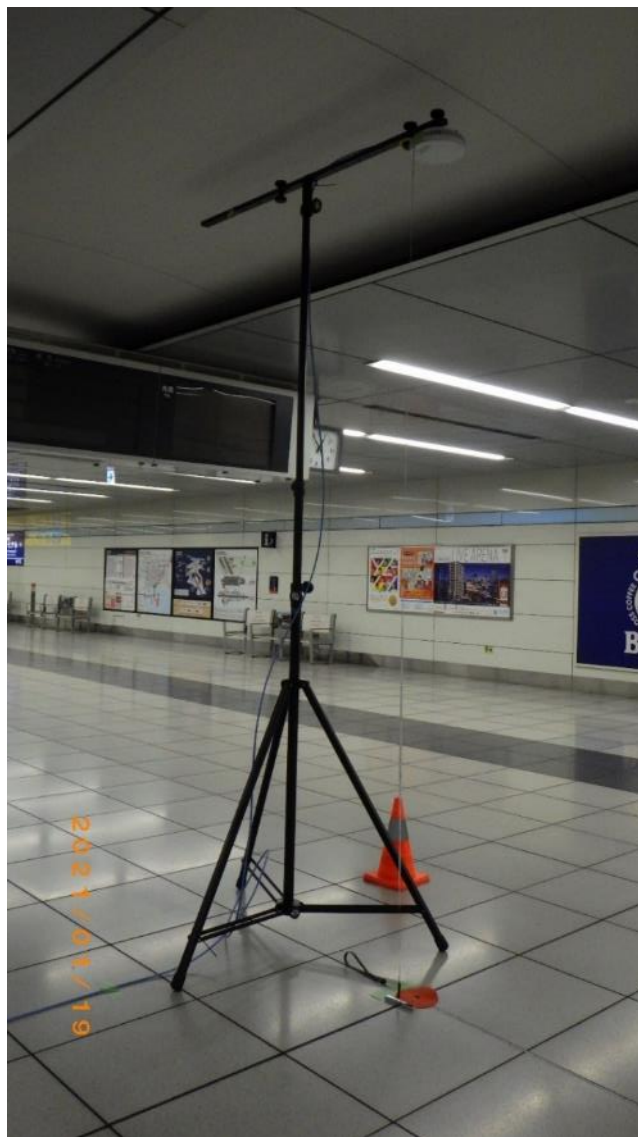


図 5.1.3.2-3 アンテナの設置風景（アンテナ高 3m）



図 5.1.3.2-4 アンテナの設置風景 (アンテナ高 1m)

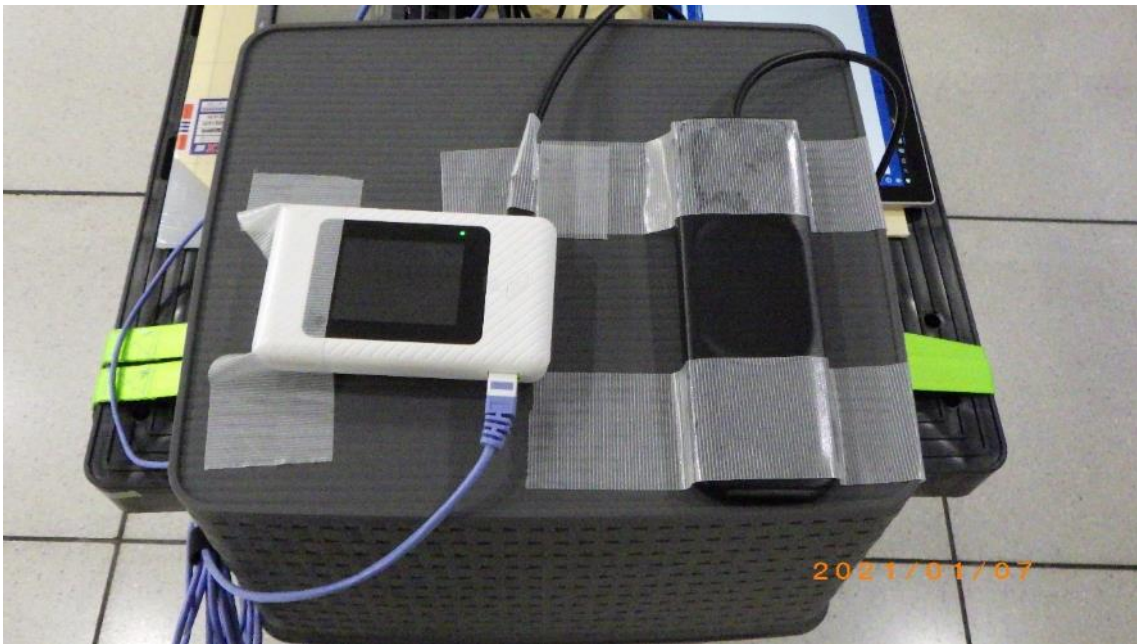


図 5.1.3.2-5 UE 及びエリアスキャナ用アンテナの設置風景

(4) 変位

移動を伴わない測定にあたっては、空間構造から定まる定在波パターンによって生じるフェージングの影響を把握するためにアンテナを、測定点を中心として波長の10倍程度の距離(60cm から 70cm)にわたってゆっくりと移動させながら測定を行った。移動方向はアンテナの距離方向とし、近づくか遠ざかるかは問わないこととし、移動速度は秒速 1cm 程度とする。

5.1.3.3 物理構成

(1) ローカル5Gシステム構成

本実証実験におけるローカル5Gシステム構成を図 5.1.3.3-1 に示す。

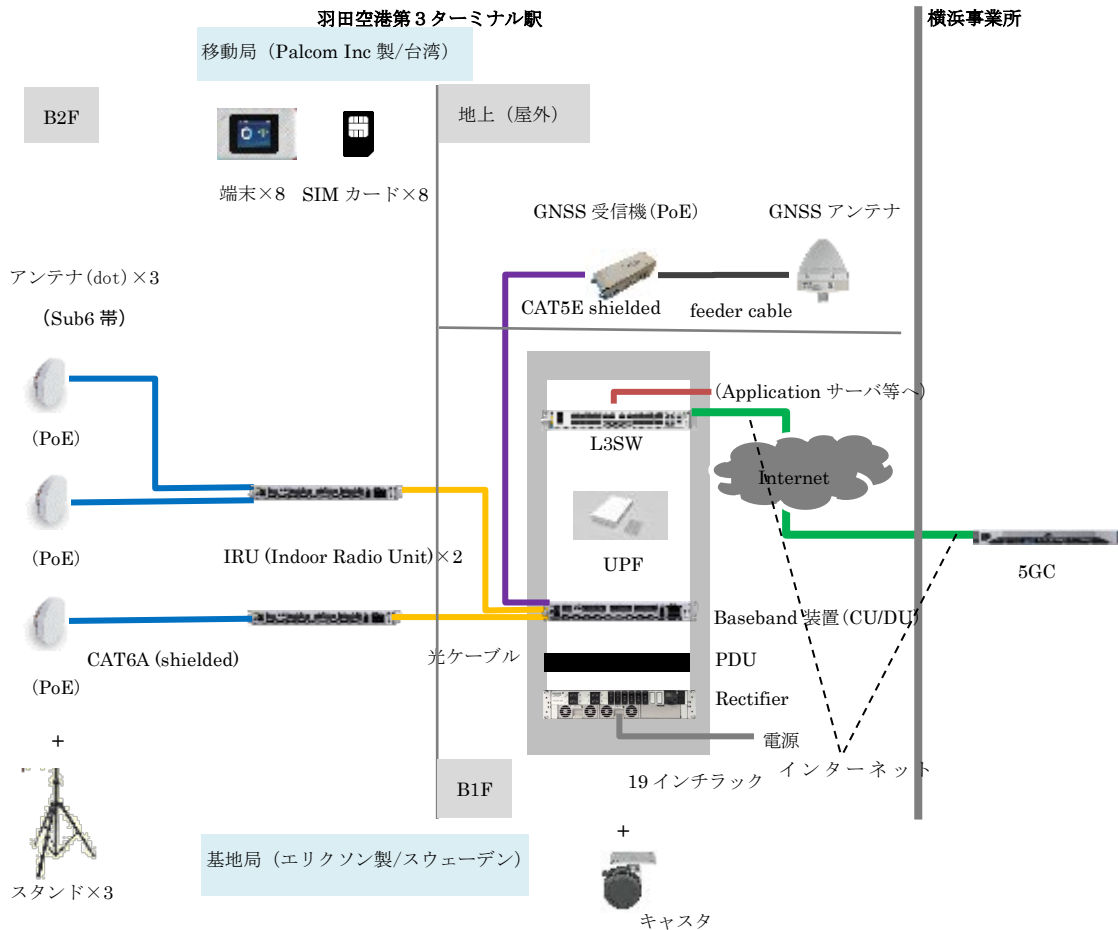


図 5.1.3.3-1 ローカル5Gシステム構成

(2) 実験環境構成

技術実証における実験環境構成を図 5.1.3.3-2 に示す。実験環境構成は技術実証の内容によって多少異なるが詳細については各技術実証の項目に記載する。B1F に設置したラック内機器一覧の設置風景を図 5.1.3.3-3 に示す。また実証エリア (B2F) に設置した機器一覧の設置風景をそれぞれ図 5.1.3.3-4、図 5.1.3.3-5 に示す。

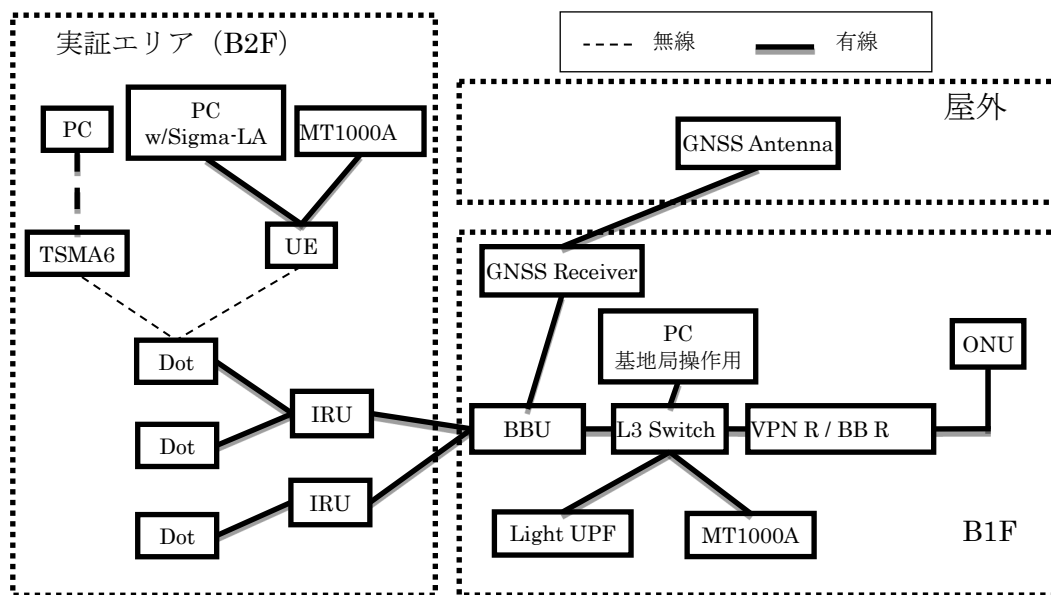


図 5.1.3.3-2 実験環境構成

注) UE… 5G 陸上移動局、Dot… 5G アンテナ(空中線)、BBU… Baseband 装置、
L3 Switch… L3SW、VPN R / BB R… ブロードバンドルータ兼 VPN 終端装置

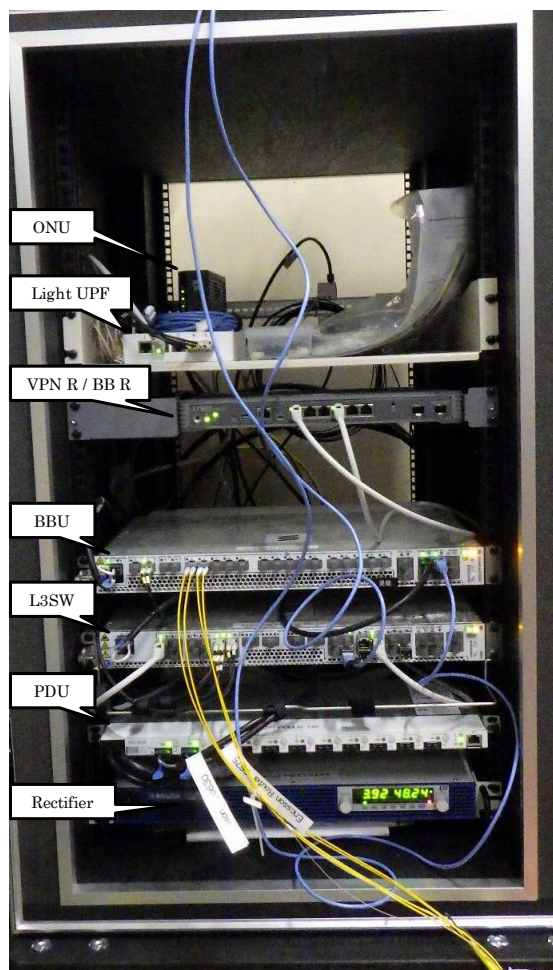


図 5.1.3.3-3 B1F ラック内機器一覧の設置風景

注)VPN R / BB R…ブロードバンドルータ兼 VPN 終端装置



図 5.1.3.3-4 B2F 設置機器 (IRU) の設置風景



図 5.1.3.3-5 B2F 設置機器 (エリアスキャナ・UE・MT1000A) の設置風景
 注)UE… 5 G 陸上移動局

(3) 電源接続

電源線の接続構成を図 5.1.3.3-6 に示す。なお本図に記載がない機器は試験中、各機器内蔵のバッテリーで駆動した機器である。技術実証終了後に電源で充電し稼働させた。

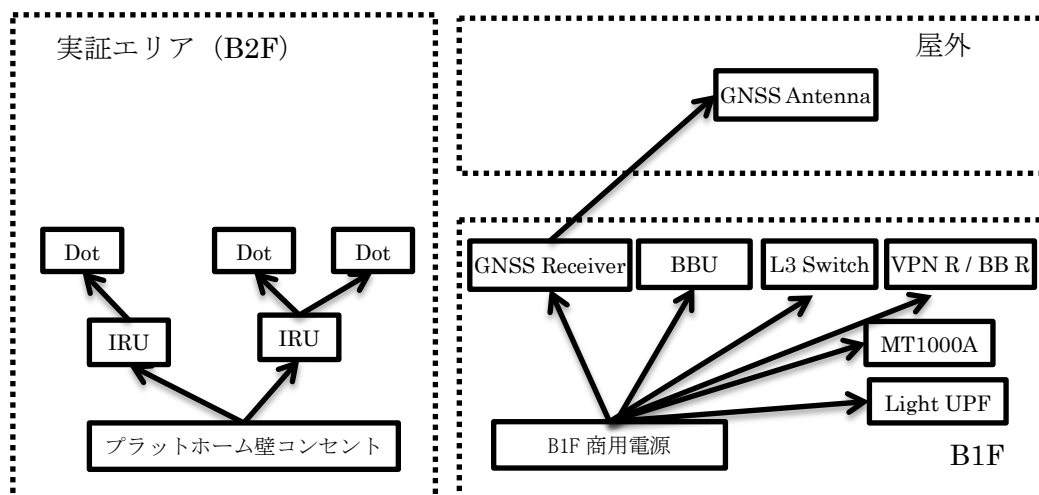


図 5.1.3.3-6 電源接続図

注)Dot… 5 G アンテナ(空中線)、BBU…Baseband 装置、VPN R / BB R…ブロードバンドルータ兼 VPN 終端装置

5.1.3.4 ネットワーク構成

(1) IP ネットワーク構成

IP ネットワーク構成を図 5.1.3.4-1 に示す。

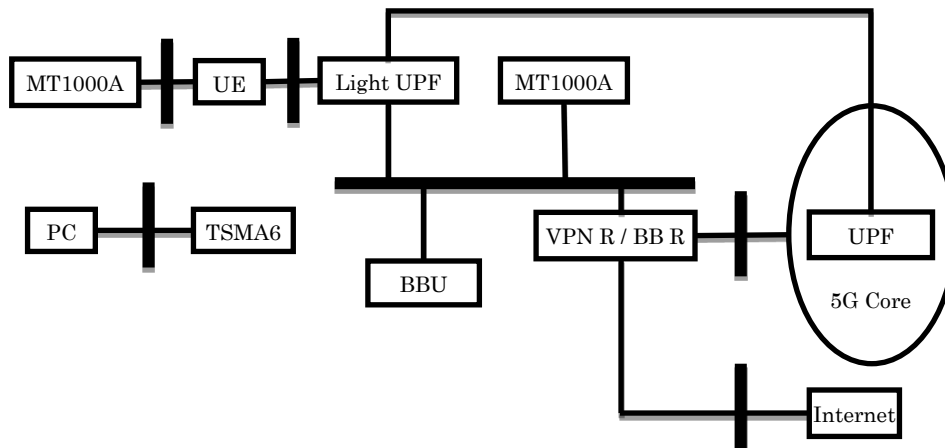


図 5.1.3.4-1 IP 論理構成図

注)UE…5G 陸上移動局、BBU…Baseband 装置、VPN R/BB R…ブロードバンドルータ兼 VPN 終端装置

5.1.4 基本的な諸元

5.1.4.1 使用周波数帯

周波数はローカル 5G で認可された FR1 周波数帯から本技術実証に適合するものを、また周波数帯としては FR1 での最大の帯域幅を表 5.1.4.1-1 の通り使用した。

表 5.1.4.1-1 周波数及び周波数帯

項目	諸元
中心周波数	4850.01MHz
帯域幅	99.98MHz

5.1.4.2 屋内外環境

本技術実証ではユースケースに基づき屋内環境にて技術実証を行った。

5.1.4.3 遮蔽物・反射物の概要

反射・遮蔽物の概要を表 5.1.4.3-1 に示す。ユースケース上は人体遮蔽も考慮すべきだ

が、本技術実証においては人体遮蔽に関する技術実証は実施せずに考察のみ行った。

表 5.1.4.3-1 反射・遮蔽物の概要

反射・遮蔽物	材質
天井	アルミニウム
壁面	コンクリートまたは鉄・アルミニウム
エスカレータ	アルミ合金・プラスチック

5.1.4.4 端末の台数・静止・移動環境

後述の 5.3 ～5.5 で実施する技術実証は全部で 8 種類あり、それぞれで使用する端末の台数とその静止・移動環境を表 5.1.4.4-1 に示す。ただし静止の場合は 5.1.3.2 (2) に従い、測定点を中心として波長の 10 倍程度の距離(60cm から 70cm)にわたって秒速約 1cm で移動させた。

表 5.1.4.4-1 端末の台数・静止・移動環境

技術実証	移動局数	静止・移動
1	1	静止
2	1	静止
3	1	移動
4	1	移動
8	1	移動

注)技術実証 5、6、7 については、実証実験は行わないため記載しないこととする。

5.1.4.5 基地局の台数

後述の 5.3 ～5.3 の技術実証で使用する基地局の台数(セクタ数)を表 5.1.4.5-1 に示す。

表 5.1.4.5-1 基地局の台数

技術実証	基地局の台数 (セクタ数)
1	1
2	1
3	1
4	2
8	1 または 2

注)技術実証 5、6、7 については、実証実験は行わないため記載しないこととする。

5.1.4.6 試験機及び測定機

(1) トラヒック試験機

スループット測定及び遅延値測定に用いるトラヒック試験機諸元を表 5.1.4.6-1 に示す。

表 5.1.4.6-1 トラヒック試験機諸元

項目	諸元
製品名	MT1000A
製造者	Anritsu
備考	測定モジュール：MU100010A (10G マルチレートモジュール) プロトコルオプション：MU100010A-001(2.7G 以下デュアルチャネル) GPS アンテナ：J1706A

(2) エリアスキャナ

電波環境の測定のため使用するエリアスキャナ諸元を表 5.1.4.6-2 に示す。

表 5.1.4.6-2 エリアスキャナ諸元

項目	諸元
製品名	TSMA6
製造者	Rohde & Schwarz
備考	主な追加モジュール： TSME6 ウルトラコンパクトドライブテストスキャナ TSME30DC ダウンコンバータ TSMA6-BP バッテリパックユニット TSME-Z10 シングルポート広帯域アンテナ 追加ソフトウェア Sigma-LA TSMA6 パッケージ

(3) Sigma-LA

Windows PC にインストールし UE を接続して NR5G のログ情報を読み出すために使用するソフトウェアを表 5.1.4.6-3 に示す。

表 5.1.4.6-3 Sigma-LA 諸元

項目	諸元
製品名	Sigma-LA
製造者	Meritech
備考	測定用 PC にインストールして使用する。測定用 PC にライセンスキーとなる dongle が必要

(4) Sigma-PA

Sigma-LA の記録したデータを解析するためのソフトウェアを表 5.1.4.6-4 に示す。

表 5.1.4.6-4 Sigma-PA 諸元

項目	諸元
製品名	Sigma-PA
製造者	Meritech
備考	解析用 PC にインストールして使用する。解析用 PC にライセンスキーとなる dongle が必要

5.1.4.7 同期・非同期運用

本技術実証において使用するシステムの製品仕様に従い、同期運用にて技術実証を行った。

5.1.4.8 DU 比

今回のフレーム構成を図 5.1.4.8-1 に示す。5G NR のスロットは 14 の OFDM シンボルで構成されているので Down link slot(D)及び Uplink slot(U)のシンボル数はそれぞれ

$$D = 14 \times 7 + 6 = 104$$

$$U = 14 \times 2 + 4 = 32$$

従って DU 比は次の通りである

$$D:U = 104:32 = 3.25:1$$



図 5.1.4.8-1 フレーム構成

注)D…Down link slot、S…Special sub slot (6 : 4 : 4=downlink symbols : guard symbols : uplink symbols)、U…Uplink slot

5.1.4.9 SA/NSA 構成

本技術実証では、5G 基地局のみの SA 構成にて技術実証を行った。

5.2 実証目標

5.2.1 技術的課題

後述の 5.3 ～5.5 にて実施する調査検討事項を表 5.2.1-1 に示す。

表 5.2.1-1 調査検討事項

調査検討事項	内容
ア	ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価
イ	ローカル 5 G のエリア構築やシステム構成の検証
ウ	ローカル 5 G に関する独自の技術実証

地域課題解決型ローカル 5 G 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 5 G 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）仕様書 3（4）③調査検討事項の要求事項と各技術実証との対応を表 5.2.1-2、表 5.2.1-3、表 5.2.1-4 に示す。

表 5.2.1-2 ア ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価等

No.	仕様書 3(4)③調査検討事項	対応する技術実証
1	3（2）で構築したローカル 5 G の実証環境において、3（3）③ に示す課題解決システムを用いて、基地局から半径 200 m 以内にある 20 箇所程度の測定地点におけるローカル 5 G の受信電力、伝送スループットや伝送遅延時間等の各種データをとりまとめ、ローカル 5 G の性能評価を行い、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行うこと。	技術実証 1 で実施
2	特に、ローカル 5 G 基地局の場所やアンテナ高等を可変し、コンクリート柱やエスカレータ等の遮蔽物の多い屋内環境でのローカル 5 G の電波の回折や反射等による影響について評価を行うこと。	ローカル 5 G 基地局の場所の可変について、各技術実証で移動させて実施 アンテナ高の可変について、技術実証 2 で実施 ローカル 5 G の電波の回折や反射等による影響について、技術実証 2 で考察する
3	ローカル 5 G 端末等を搭載したドローンが屋内環境において飛行する際の、ローカル 5 G 端末等からローカル 5 G 基地局への通信における伝送スループットや伝送遅延時間等の各種データ、ドローン端末の追尾特性や複数のローカル 5 G 基地局がある環境でのハンドオーバー特性に関するデータをとりまとめ、ローカル 5 G の性能評価も行う	ドローンの追尾特性について、技術実証 3 で実施
4	遮蔽物の多い屋内環境における 4.7GHz 帯 の電波伝搬特性に関する類似の調査結果を検証し、技術的課	類似の調査結果を検証し、技術実証 1, 2, 3, 4, 5 で

	題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行うこと。	考察する
5	必要に応じて、3(2)で構築したローカル5Gの実証環境において、電波伝搬特性を測定し、その結果をとりまとめること。	技術実証1で実施

表 5.2.1-3 イ ローカル5Gのエリア構築 やシステム構成の検証等

No.	仕様書 3(4)③調査検討事項内容	対応する技術実証
1	遮蔽物の多い屋内環境における最適なローカル5Gのエリア構築やシステム構成について検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行うこと。 特に、3(4)③アでとりまとめたローカル5Gの受信電力等の各種データを用いて、地下空間を含む遮蔽物の多い屋内環境における効率的なエリア構築について、考察を行うこと。	技術実証6で実施
2	複数のローカル5G同士の共用を前提として、総務省が別途提供するエリア算出法に基づき、設置する複数の基地局について、基地局毎にカバーエリア及び調整対象区域の図を作成するとともに、それぞれのエリア端における実際の受信レベルを測定すること。その際、当該算出式のカバーエリア及び調整対象区域の閾値と異なっている場合は、それぞれの閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認を行うこと。	技術実証7で実施

表 5.2.1-4 ウ その他ローカル5Gに関する技術実証

No.	仕様書 3(4)③調査検討事項内容	対応する技術実証
1	3(4)②において独自に提案する技術的課題について、3(2)で構築したローカル5Gの実証環境において、3(3)③に示す課題解決システムを用いて検証を行い、技術的課題の解決方策等について考察を行うこと。	技術実証8で実施

5.2.1.1 技術実証の背景となる技術的な課題

(ア) ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価

本技術実証では、羽田空港国際線ターミナルビルに直結する京浜急行電鉄の「羽田空港第3ターミナル駅」において、ローカル5G(4.7GHz帯)無線通信システムを利用したカメラ、ドローン、ロボットを活用した高度な警備システムをユースケースとして想定している。ユースケースは、遮蔽物の多い屋内環境なので、電波が遮蔽物によって反射、回折、透過をしながら受信側に到達するため、受信電力が減衰し、不感エリアが発生すると考えられる。不感エリアでは通信品質が劣化すると考えられるため、安定した通信品質を確保

するためには、この不感エリアを解消する必要がある。また羽田空港第3ターミナル駅における過去の技術実証では、28GHz帯の電波伝搬特性の調査を実施しており、反射波の多いマルチパス空間であることがわかった。NLOS環境では、直接波と近い受信電力の反射波が複数存在し、距離が遠くなった場合にDL受信電力が強くなる場合もあった。従って、ユースケースで使用する4.7GHz帯においても自由空間とは異なる電波伝搬特性があると考えられるため、不感エリアの無いエリア構築をするために、実測値に基づき電波伝搬特性を解明する必要がある。また本ユースケースにおいては、移動体による防犯目的の映像伝送を行うため映像に乱れが生じないように、伝送スループットと伝送遅延を重視する必要がある。

(イ) ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証

ユースケースを実現するためのエリア構築には、遮蔽物の多い屋内環境におけるマルチパスの影響を考慮しなければならない。またユースケースでは防犯目的の映像伝送を行うため、精細な情報を伝送する必要があり、そのためにはパケットロスさせないエリア構築をする必要がある。また、複数のローカル5G同士を共用するためには、他のローカル5Gシステムへの干渉量を管理する必要がある。

(ウ) ローカル5Gに関する独自の技術実証

ドローンによる巡回警備を行う上では、複数の基地局間を移動し運用することが想定され、基地局間を移動する際のハンドオーバー時に映像の乱れが発生しないことが理想である。一方、不感エリアを作らないようにエリアカバーをするためには、受信レベルの低いエリアができないように基地局を複数配置することが想定される。しかしローカル5Gの導入コストを低減するためには、基地局の数を極力減らす（間隔を極力広くとって配置する）必要がある。

5.2.1.2 課題に対するアプローチ・検証仮説

(ア) ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価

ユースケースにおける電波伝搬特性の解明及び、映像伝送のための伝送スループットと伝送遅延の実測値を得るために、京浜急行電鉄の羽田空港第3ターミナル駅ホームにおいて、鉄道運行終了後の夜間帯に技術実証を行った。各測定点を設定しての各種データ取得と、移動体であるドローンを想定したハンドオーバー特性のデータ取得によるローカル5Gの性能評価を行うとともに、電波伝搬特性に関する類似の調査結果を検証し技術的課題を整理して、それら課題の解決方策等について考察した。検証仮説として、技術実証を行う京浜急行電鉄の羽田空港第3ターミナル駅ホームは、マルチパス環境と考えられる。伝搬経路が異なり、位相がそれぞれ異なる反射波どうしが、強め合ったり弱め合ったりすることによってフェージングが大きくなる。技術実証の機器の仕様上、ビームフォーミングは実装されていないため、その大きなフェージングは改善されないと考えられる。直接波が観測できないNLOS環境ではフェージングの影響が顕著であり、アンテナとUEの距離が等しくても測定点によっては強い受信電力や弱い受信電力が観測できると予想できる。

(イ) ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証

遮蔽物の多い屋内環境におけるマルチパスの影響を考慮し、パケットロスさせないエリア構築をするために、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を行った。またエリア算出法に基づき、基地局毎にカバーエリアの図を作成し、それぞれのエリア端における受信電力の実測値を測定し、他のローカル5Gシステムへの干渉について考察した。検証仮説として、技術実証を行うホーム上の全長が約155mであることから、1.5.7で挙げた伝搬損失計算モデルを使用すると、建物侵入損 $R = 16.2[\text{dB}]$ 、中心周波数 $f = 4850[\text{MHz}]$ のとき、

$$L = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) + R$$
$$L = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi \times 155 \times 4850 \times 10^6}{3.0 \times 10^8}\right) + 16.2$$
$$L \cong 106.2[\text{dB}]$$

従って、ホーム上の任意の位置にアンテナを設置した場合、ホーム上の全域をカバーできると予想できる。そのため、同一チャネルを使用した他のローカル5Gシステムをホーム上で使用するとそれぞれ干渉を引き起こす可能性があると考えられる。

(ウ) ローカル5Gに関する独自の技術実証

ハンドオーバー時に映像の乱れが発生させないように、基地局の数量を極力減らす（間隔を極力広くとって配置する）ために、ハンドオーバー時に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を検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察した。本技術実証にて5Gアンテナは625㎡（25m四方）の範囲内をUEと通信することを推奨カバーエリアとしている。1.5.7.1にて、1Tx当りの通信距離は45.0mと計画したが、ユースケースにおいて通信品質を維持できる距離として本技術実証では17.5mを採用した。マルチパス環境ではフェージングの影響により受信電力が強くなる場所弱くなる場所が存在すると思われるが、検証仮説としては、基地局間距離は推奨カバーエリアの17.5mの2倍の35mの設置間隔を妥当であると考え、測定結果からフェージングの影響を考慮して最適な基地局間距離を検討した。

5.2.2 技術基準の見直し等に資する新たな知見

(ア) ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価

各測定点を設定しての各種データ取得と、移動体であるドローンを想定したハンドオーバー特性のデータ取得によるローカル5Gの性能評価性能評価を行うことで、課題解決システムを実現する上で求められるローカル5Gの技術基準等を整備するためのユースケースにおける4.7GHz帯の電波伝搬特性及び、移動体通信の通信品質（遅延やスループット）の特性に関する知見を得る。得られた電波伝搬特性から、マルチパス環境のエリア設計において、既存の電波伝搬モデルにおける最適な係数・補正項の提案をする。

(イ) ローカル 5 G のエリア構築やシステム構成の検証

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を行うことで、地下空間を含む遮蔽物の多い屋内環境における効率的なエリア構築をするための知見を得る。また、エリア算出法に基づき、基地局毎にカバーエリアの図を作成し、それぞれのエリア端における受信電力の実測値を測定することで、複数のローカル 5 G 同士を共用する際に電波干渉を起こさない最適な離隔距離の知見を得る。

(ウ) ローカル 5 G に関する独自の技術実証

エリアカバーの方法として、同一 IRU 内のアンテナでカバーする方法と、異なるセクタでカバーする方法が考えられる。異なるセクタでカバーする場合は、セクタ間移動時にハンドオーバーが発生する。コスト削減のため基地局の設置台数を極力減らしつつ（間隔を極力広くとって配置する）、ハンドオーバー時に映像伝送に必要なスループットが維持できる最適なアンテナ配置を目標に、エリアカバーの最適な方法を提案する。

5.2.3 ア～ウの実施事項

(ア) ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価

遮蔽物の多い屋内環境においてマルチパスを考慮した各測定点を設定してデータ取得（RSRP/スループット(UL、DL)/遅延)を行った。またドローンを想定した移動体を利用したハンドオーバー特性のデータ取得によるローカル 5 G の性能評価を行った。電波伝搬特性に関する類似の調査結果を検証し技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察した。

(イ) ローカル 5 G のエリア構築やシステム構成の検証

遮蔽物の多い屋内環境における最適なローカル 5 G のエリア構築やシステム構成について、取得した各種データを用いて検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行った。また、複数のローカル 5 G 同士の共用を前提としたエリア算出法と取得データを用いた比較検証を行った。

(ウ) ローカル 5 G に関する独自の技術実証

同一チャネルを設定したローカル 5 G 基地局を 2 つ、駅ホーム中央付近に設置し、基地局間を移動するローカル 5 G 端末におけるハンドオーバーの性能評価を行った。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。なお、ローカル 5 G 端末は警備用ドローンの通常速度（～時速 5km 程度）で移動させた。また、セクタを跨ぐハンドオーバーに加え、同一セクタ内の基地局間を推移する場合についても検証・評価を行った。

5.2.3.1 各実施事項に必要な各種データ

ア～ウの実施事項に必要な各種データは全て同じ種類のデータを取得した。実施事項に必要な各種データを表 5.2.3.1-1 と表 5.2.3.1-2 に示す。

表 5.2.3.1-1 実施事項に必要な各種データ (信号)

測定項目	種類	ソース	説明
NR DL PDCP Tput	秒平均	UE	ダウンリンク PDCP 層のスループット
NR UL PDCP Tput	秒平均	UE	アップリンク PDCP 層のスループット
NR SS-RSRP	瞬時値	UE	参照信号の電力
NR SS-SINR	瞬時値	UE	ノイズと干渉に対する信号強度の比
NR DL MCS	瞬時値	UE	ダウンリンク伝送路符号の効率
NR UL MCS	瞬時値	UE	アップリンク伝送路符号の効率
NR DL RB	瞬時値	UE	ユーザに割り当てられたダウンリンクリソースブロックの数
NR UL RB	瞬時値	UE	ユーザに割り当てられたアップリンクリソースブロックの数
NR RI	瞬時値	UE	MIMO 品質(おおよそ有効なアンテナ数)
NR PDSCH BLER	瞬時値	UE	ブロックエラーレート
NR CRI	瞬時値	UE	CSI-RS リソース指標
NR WB CQI	瞬時値	UE	受信品質指標

表 5.2.3.1-2 実施事項に必要な各種データ(トラヒック)

測定項目	種類	ソース
送信時間	-	上位及び下位
送信パケット数	合計	上位及び下位
受信パケット数	合計	上位及び下位
送信オクテット数	合計	上位及び下位
受信オクテット数	合計	上位及び下位
受信遅延の平均	平均値	上位及び下位
受信遅延の分散	平均値	上位及び下位
受信エラーパケット数	合計	上位及び下位
UL スループット	平均	上位及び下位
DL スループット	平均	上位及び下位
UL パケットロス数	合計	上位及び下位
DL パケットロス数	合計	上位及び下位

5.3 ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等(調査検討事項ア)

5.3.1 対象とするユースケースの主要な測定指標毎の性能要件

本技術実証の主要な測定指標毎の性能要求を表 5.3.1-1 に示す。

表 5.3.1-1 測定指標毎の性能要求

測定指標	性能要求
受信電力	-119.8 dBm+フェードマージン
伝送スループット(UL)	80Mbps : 各個別ユースケース毎に考慮し、(全てのシステムを繋げたときは考慮しない) 必要となる性能要求を 80Mbps と設定した。
伝送スループット(DL)	80Mbps
伝送遅延時間	可能な限り低遅延 : 映像 (DL) を確認しながら、移動体の遠隔制御 (UL) と行うため

5.3.2 技術実証 1(カバーエリア)

5.3.2.1 評価・検証項目

駅ホームの品川側に設置した1つの5G基地局から、半径200m以内にある20箇所の測定点にて以下4つの評価項目を測定した。

- 受信電力
- 伝送スループット(UL)
- 伝送スループット(DL)
- 伝送遅延時間

各測定ポイントにおける通信の可否を判定し、伝搬環境を把握するために受信電力の測定を実施した。また本ユースケースでUEとして想定される監視カメラ、ドローン、警備ロボットの要求性能を満たすか否かを判定するために伝送スループット及び伝送遅延時間の測定を実施した。

また電波伝搬損失については、技術実証前にあらかじめ現地調査で選定したポイント20か所における無線機器等に係る影響を事前に予想し、拡張秦モデルを用いて各ポイントにおける電波伝搬損失の推定値を算出した。推定値と測定したRSRPの実測値と比較しながら、無線機器等に係る影響を判断し、電波伝搬損失の推定を実施した。

5.3.2.2 評価・検証方法

(1) 実験環境構成

技術実証 1 の実験環境構成を図 5.3.2.2-1 に示す。

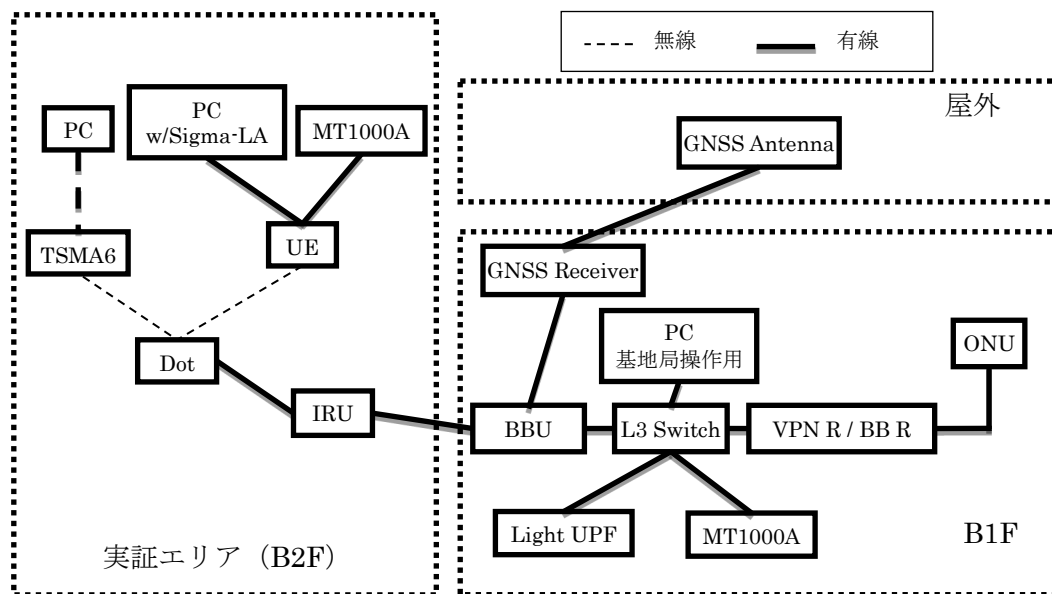


図 5.3.2.2-1 技術実証 1 の実験環境構成

注)UE…5 G 陸上移動局、Dot…5 G アンテナ(空中線)、BBU…Baseband 装置、L3 Switch…L3SW、VPN R / BB R…ブロードバンドルータ兼 VPN 終端装置

(2) アンテナ送信電力

表 5.3.2.2-1 に実証全体を通じたアンテナの出力を示す。1.5.7.1 にて送信電力を 1Tx 当たり 250mW と計画したが、アンテナから 625 m² (25m 四方) の範囲内を UE との通信における推奨カバーエリアとしている。そのためアンテナからの距離 17.5m がユースケースの品質を維持できる距離と想定した。また本技術実証で利用するアンテナを海外の事例においては、同周波数帯かつ屋内のマルチパスが多い環境にてアンテナ 1 台あたり 250mW(62.5mW/Port)の出力にてエリア設計をしていることから、本技術実証において必要最小限の送信電力に変更し、250mW(62.5mW/Port)にて実施した。

表 5.3.2.2-1 アンテナ送信電力

項目	値
アンテナ送信電力	250mW (62.5mW/Port)

(3) 電波及び信号の測定

電波及び信号に関する測定は

表 5.3.2.2-2 に示すエリアスキャナまたは UE からの読み取りソフトウェアを使用した。

表 5.3.2.2-2 電波及び信号測定用機材

測定機/ソフトウェア	説明
TSMA6	エリアスキャナ。任意の無線通信を対象とした電波及び信号の測定が可能
Sigma-LA	UE と USB 接続し、UE のベースバンドチップから接続状態にある無線接続の情報の読み取りが可能

記録対象とする KPI を表 5.3.2.2-3 に示す。なおソースとあるのはデータソースであり読み取り元となる機器(UE/TSMA6)を示している。

表 5.3.2.2-3 信号測定対象 KPI

測定項目	種類	ソース	説明
NR DL PDCP Tput	秒平均	UE	ダウンリンク PDCP 層のスループット
NR UL PDCP Tput	秒平均	UE	アップリンク PDCP 層のスループット
NR SS-RSRP	瞬時値	UE	参照信号の電力
NR SS-SINR	瞬時値	UE	ノイズと干渉に対する信号強度の比
NR DL MCS	瞬時値	UE	ダウンリンク伝送路符号の効率
NR UL MCS	瞬時値	UE	アップリンク伝送路符号の効率
NR DL RB	瞬時値	UE	ユーザに割り当てられたダウンリンクリソースブロックの数
NR UL RB	瞬時値	UE	ユーザに割り当てられたアップリンクリソースブロックの数
NR RI	瞬時値	UE	MIMO 品質(おおよそ有効なアンテナ数)
NR PDSCH BLER	瞬時値	UE	ブロックエラーレート
NR CRI	瞬時値	UE	CSI-RS リソース指標
NR WB CQI	瞬時値	UE	受信品質指標

各技術実証の開始時に測定器またはソフトウェアでの取得開始を指示し、終了時に取得停止を指示した。そのため測定値の記録は試験ごとの全測定期間にわたって測定機またはソフトウェアに依存する一定間隔で行われた。この測定間隔を表 5.3.2.2-4 に示す。

表 5.3.2.2-4 測定間隔

測定機/ソフトウェア	測定間隔
TSMA6	1 秒未満
Sigma-LA	UE のベースバンドチップ依存

(4) スループット及び遅延の測定

スループット及び遅延の測定は UE 及び Light UPF 間で測定した。そのため UE 側はトラヒック試験機を UE に直接接続し、また Light UPF 側は L3SW に接続した。対象トラヒックをローカルブレイクアウトすることでコア網に転送されることなく試験機にトラヒック

クを誘導できるようにした。IP ネットワーク構成(論理構成)及びトラヒックの上り、下りの定義を図 5.3.2.2-2 に示す。

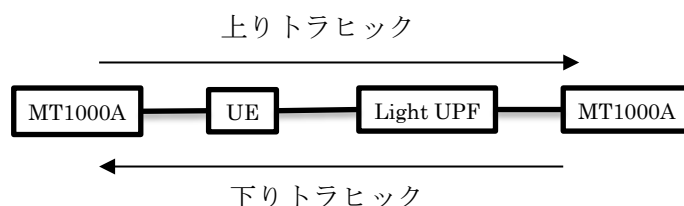


図 5.3.2.2-2 トラヒック試験構成図

注)UE… 5G 陸上移動局

測定で利用するトラヒックパターンを表 5.3.2.2-5 に示す。ここで、送信レートは表 5.1.2.2-2 のトラヒック要求性能を満たす必要がある。

表 5.3.2.2-5 トラヒックパターン

方向	プロトコル	サイズ(L3 ペイロード)	送信レート
上り	UDP	1456 Byte	80Mbps
下り	UDP	1456 Byte	80Mbps

測定にあたっては測定開始時にトラヒック生成を開始し、測定開始終了時にトラヒックを停止し測定結果をファイルに保存した。この時、保存されるべき測定項目を表 5.3.2.2-6 に示す。ここでソースの列には UE 側を下位、Light UPF 側を上位としてどちらの試験機のデータを取得するかを記載する。

表 5.3.2.2-6 トラヒック測定項目

測定項目	種類	ソース
送信時間		上位及び下位
送信パケット数	合計	上位及び下位
受信パケット数	合計	上位及び下位
送信オクテット数	合計	上位及び下位
受信オクテット数	合計	上位及び下位
受信遅延の平均	平均値	上位及び下位
受信遅延の分散	平均値	上位及び下位
受信エラーパケット数	合計	上位及び下位
UL スループット	平均	上位及び下位
DL スループット	平均	上位及び下位
UL パケットロス数	合計	上位及び下位
DL パケットロス数	合計	上位及び下位

トラヒックを印加する時間は、BLER を評価するのに十分なトラヒック量を確保した。このことを

表 5.3.2.2-7 に示す。

表 5.3.2.2-7 トラヒック印加時間

項目	値
トラヒック印加時間	100 秒以上

(5) 時刻同期

試験に当たっては各機器の時刻が必要な精度で同期した。各機器の時刻同期の考え方及び同期方法を表 5.3.2.2-8 に示す。

表 5.3.2.2-8 時刻同期方法

機器またはシステム	時刻同期方法
ローカル 5 G システム	ローカル 5 G システムは精度の高い時刻同期が求められることから GNSS を用いて常に同期が行われるシステム設計とした。
トラヒック試験機 MT1000A (2 台)	遅延測定のために試験期間で精度の高い時刻同期が求められるが、本技術実証においては地下空間にて試験機それぞれを移動して使用するため、測定中の GPS の受信または試験機間のクロックケーブル接続は不可能である。そこで毎試験日の試験開始前に両試験機を屋外に持ち出し GPS 信号受信を行い、同期を行った。およそ 4 時間にわたる試験中は自走する内部クロックによる時刻精度で賄うことが可能だと考えられる。
エリアスキャナ TSMA6	報告書作成時のデータ統合のために試験用 PC との間で中程度の精度の時刻同期が求められる。これはエリアスキャナと測定用 PC が同一の NTP サーバを参照することで実現した。
測定用 PC	エリアスキャナと同様

(6) 実施方法

実施方法を次に示す。B2F の測定点及び測定環境をそれぞれ図 5.3.2.2-3、図 5.3.2.2-4 に示す。

- ① トラヒック試験機及び試験用 PC の時刻同期を確認する。
- ② アンテナを図 5.3.2.2-3 に示す位置に表 5.3.2.2-9 に示すアンテナ高で設置する。
- ③ 測定機及びトラヒック試験機を表 5.3.2.2-3 及び表 5.3.2.2-6 で示される項目が取得できるよう設定する。
- ④ 試験を行う測定点を表 5.3.2.2-10 から選択する。
- ⑤ UE を当該測定点に移動する。測定点の具体的な位置は図 5.3.2.2-3 に示す。位置決めの方法は 5.1.3.2 (2) に従うものとする。
- ⑥ 測定機及びトラヒック試験機の測定を開始する。
- ⑦ 表 5.3.2.2-7 で示す時間が経過するのを待つ。
- ⑧ 測定機及びトラヒック試験機を停止する。
- ⑨ 取得したデータを保存する。
- ⑩ 必要な測定項目が取り終わるまで、手順④に戻る。

表 5.3.2.2-9 技術実証1 アンテナ高

項目	値
基地局アンテナ高	3m (プラットホーム基準)
移動局(UE)アンテナ高	1m (プラットホーム基準)

測定点は表 5.3.2.2-10 のとおり。

表 5.3.2.2-10 技術実証1 測定点一覧

項番	フロア	見通し	距離	想定	備考
1001	B2F	LOS	2.5m	直接波	
1002	B2F	LOS	17.5m	直接波	基地局仕様上の推奨エリア端
1003	B2F	LOS	5m	直接波	
1004	B2F	LOS	10m	直接波	
1005	B2F	LOS	20m	-	基地局仕様上の推奨エリア外
1006	B2F	NLOS	17.5m	回折波	基地局仕様上の推奨エリア端
1007	B2F	LOS	5m	直接波	
1008	B2F	NLOS	3m	透過波	基地局-移動局(UE)間にガラス扉有り
1009	B2F	NLOS	3.8m	回折波	柱の裏
1010	B2F	NLOS	15m	回折波	壁と壁の角
1011	B2F	NLOS	22.5m	回折波	柱の裏
1012	B2F	LOS	11m	直接波	壁際
1013	B2F	NLOS	20m	反射波	基地局仕様上の推奨エリア外
1014	B1F	NLOS	16m	反射波	エスカレータ最上段
1017	B2F	NLOS	4.6m	反射波	エスカレータ中段
1018	B2F	NLOS	30m	回折波	
1019	B2F	NLOS	20m	回折波	
1020	B2F	NLOS	11.4m	反射波	柱の裏
1021	B2F	LOS	30m	-	基地局仕様上の推奨エリア外
1024	B2F	LOS	35m	-	基地局仕様上の推奨エリア外
1025	B2F	LOS	50m	-	基地局仕様上の推奨エリア外
1026	B2F	LOS	45m	-	基地局仕様上の推奨エリア外
1027	B2F	LOS	40m	-	基地局仕様上の推奨エリア外

注) LoS…見通し通信、NLoS…見通し外通信

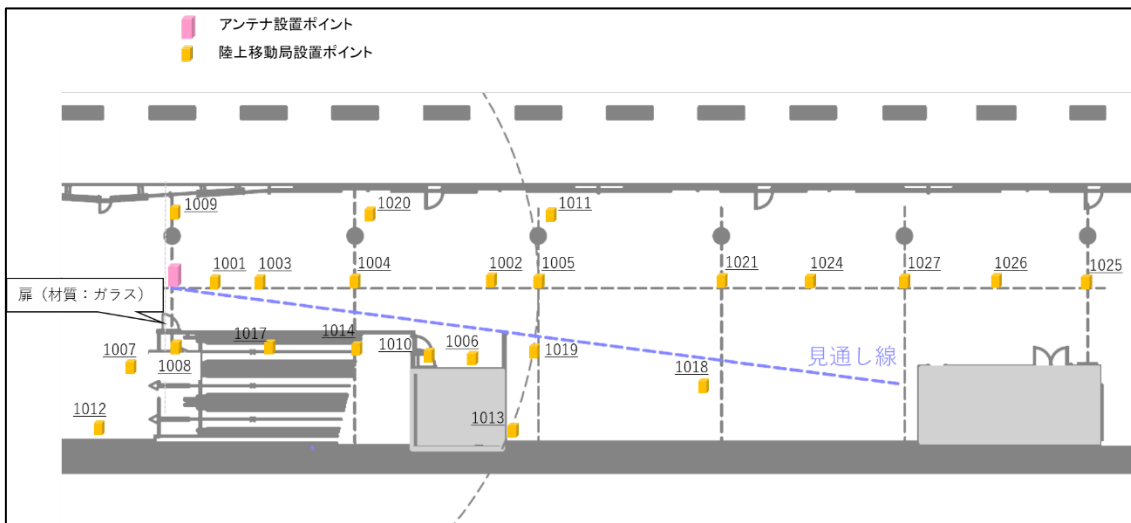


図 5.3.2.2-3 技術実証 1 測定点



図 5.3.2.2-4 技術実証 1 測定環境

5.3.2.3 性能評価結果

(1) エリアスキャナによる SS-RSRP 測定結果

各測定点での RSRP の測定結果を図 5.3.2.3-1 に示す。LOS 環境に関しては距離による減衰が見られたが、NLOS 環境に関しては距離減衰だけではなく遮蔽物による減衰も見られたものの、測定点 1006、1009、1010、1011、1020 では LOS 環境に比較的近い傾向が見られた。強い反射波や回折波を受信できる位置だったため、LOS 環境と近い受信電力だったと考えられる。測定点 1008 では、LOS 環境と同じ受信電力だった。これはアンテナと UE との間にあった遮蔽物がガラスの薄い扉だけだったため、ほとんど減衰していない透過波を受信できたと考えられる。



図 5.3.2.3-1 エリアスキャナによる SS-RSRP (平均値[dBm])

あわせて各測定点における RSRP の確率密度分布を図 5.3.2.3-2 に示す。概ね 30dB に収まる台を持つ分布となっていることがわかった。

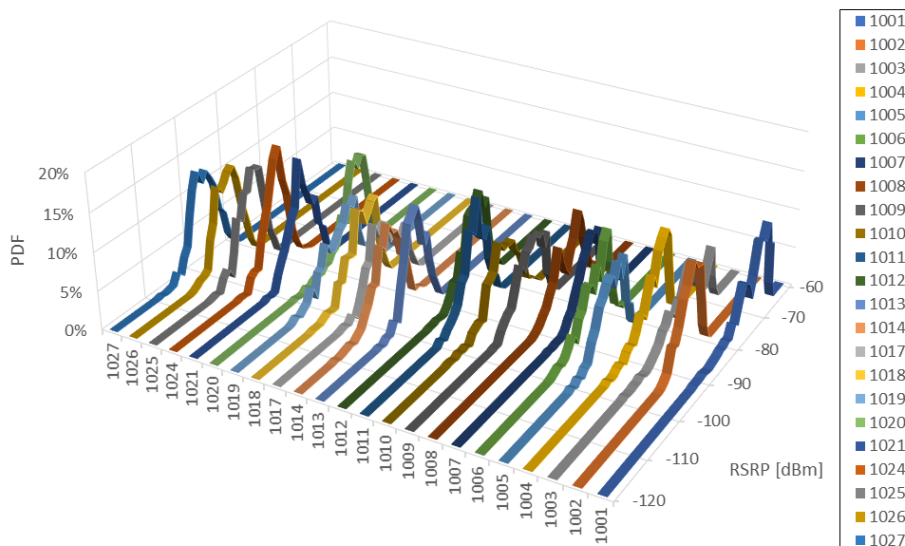


図 5.3.2.3-2 技術実証 1 エリアスキャナによる SS-RSRP 分布

(2) UE による SS-RSRP の測定結果

UE による SS-RSRP の測定結果を図 5.3.2.3-3 に示す。エリアスキャナによる測定結果の分布と同様の結果が得られた。

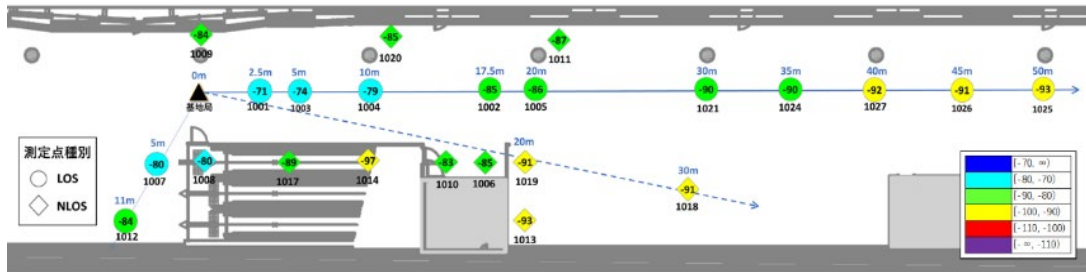


図 5.3.2.3-3 技術実証 1 UE による SS-RSRP(平均値[dBm])

あわせて確率密度分布を図 5.3.2.3-4 に示す。

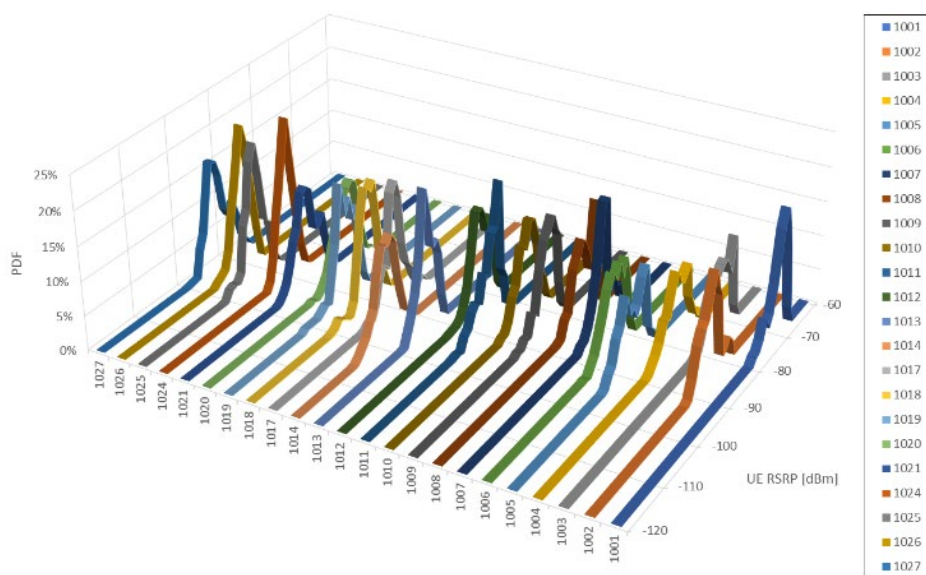


図 5.3.2.3-4 技術実証 1 UE による SS-RSRP 分布

(3) エリアスキャナによる SS-SINR 測定結果

エリアスキャナによる SS-SINR の測定結果を図 5.3.2.3-5 に示す。アンテナ及び UE とともに 1 局のみの環境で測定しているため、他局による干渉が存在せず良好な値が観測できた。

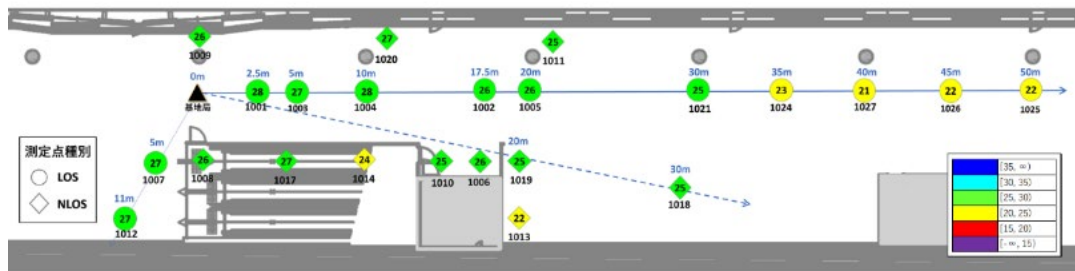


図 5.3.2.3-5 技術実証 1 エリアスキャナによる SS-SINR(平均値[dB])

(4) UE による SS-SINR 測定結果

UE による SS-SINR の測定結果を図 5.3.2.3-6 に示す。エリアスキャナによる結果と同じ傾向にあることが分かった。これについては後ほど論じる。

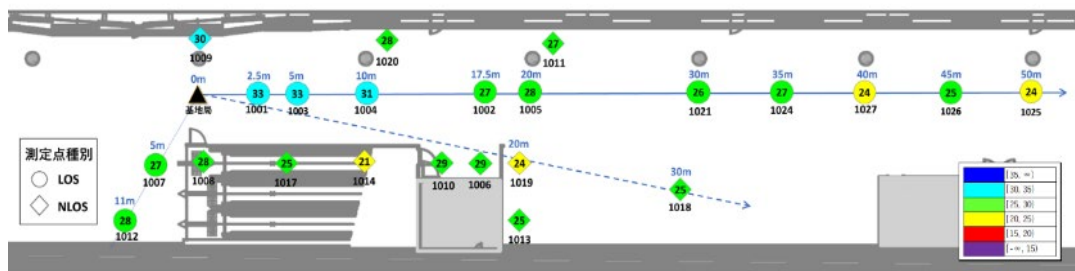


図 5.3.2.3-6 技術実証 1 UE による SS-SINR(平均値[dB])

(5) PDSCH MCS 測定結果

PDSCH MCS の測定結果を図 5.3.2.3-7 に示す。本環境においては全ての試験を通じて 256QAM テーブルが用いられていた。MCS の低下については RSRP と同様の傾向が見られた。

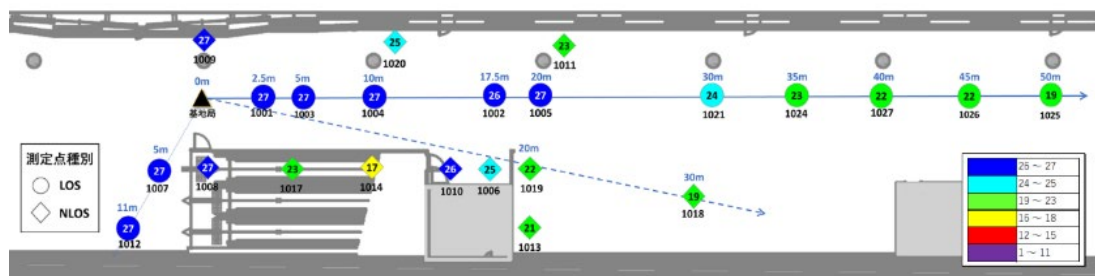


図 5.3.2.3-7 技術実証 1 PDSCH MCS(最頻値、256QAM テーブル)

あわせて PDSCH MCS の確率密度分布を図 5.3.2.3-8 に示す。

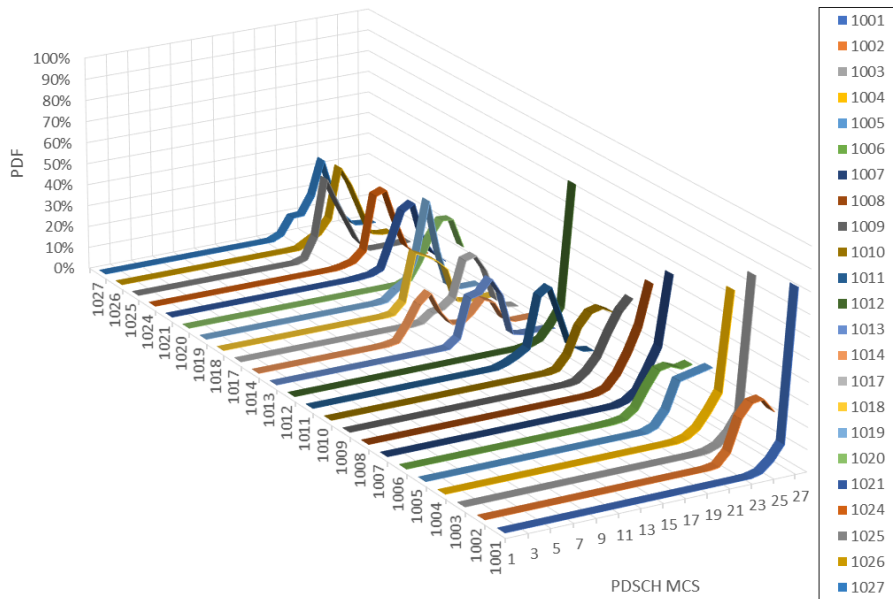


図 5.3.2.3-8 技術実証 1 PDSCH MCS 分布(256QAM テーブル)

(6) PUSCH MCS 測定結果

PUSCH MCS の測定結果を図 5.3.2.3-9 に示す。本環境においては全ての試験を通じて 64QAM テーブルが用いられていた。これは移動局の仕様によるものと考えられる。測定結果ではほぼ全ての測定点で最高値に近い値が記録されているが、これは PDSCH と異なり、PUSCH では 64QAM を使用しているためと考えられる。

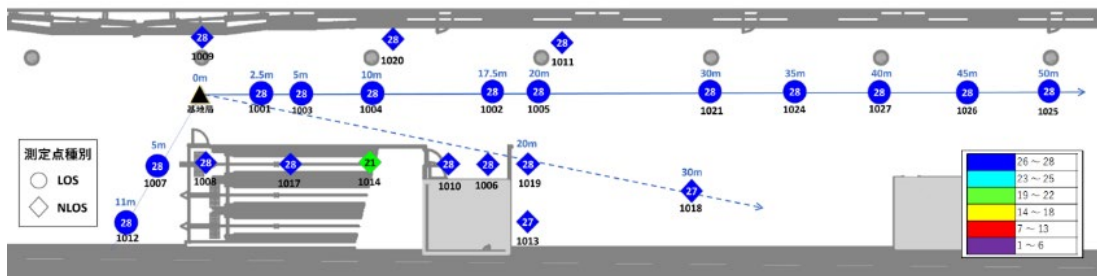


図 5.3.2.3-9 技術実証 1 PUSCH MCS(最頻値、64QAM テーブル)

あわせて PDSCH MCS の確率密度分布を図 5.3.2.3-10 に示す。

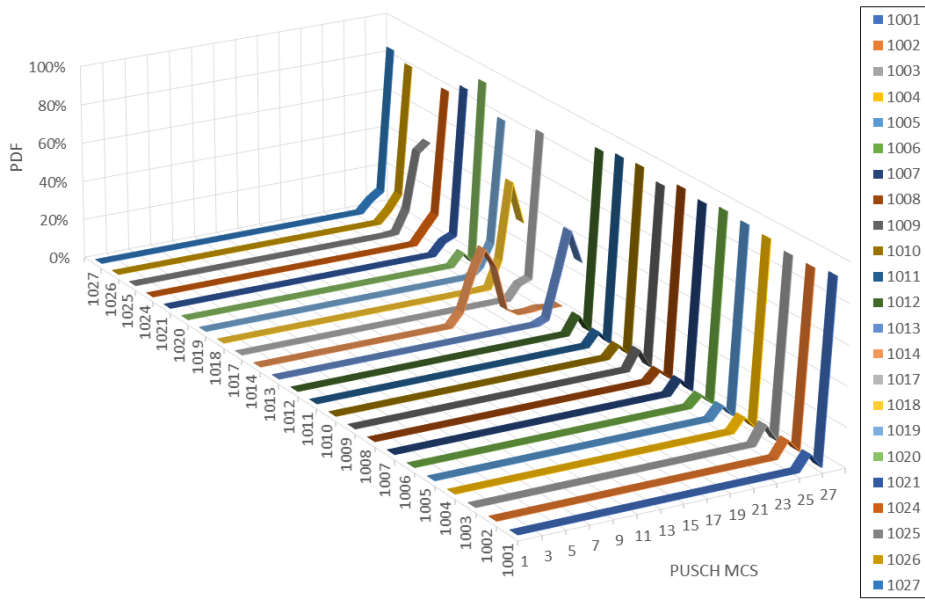


図 5.3.2.3-10 技術実証 1 PUSCH MCS 分布(64QAM テーブル)

(7) CQI 測定結果

CQI の測定結果を図 5.3.2.3-11 に示す。CQI についても RSRP とほぼ同様の傾向が見られた。

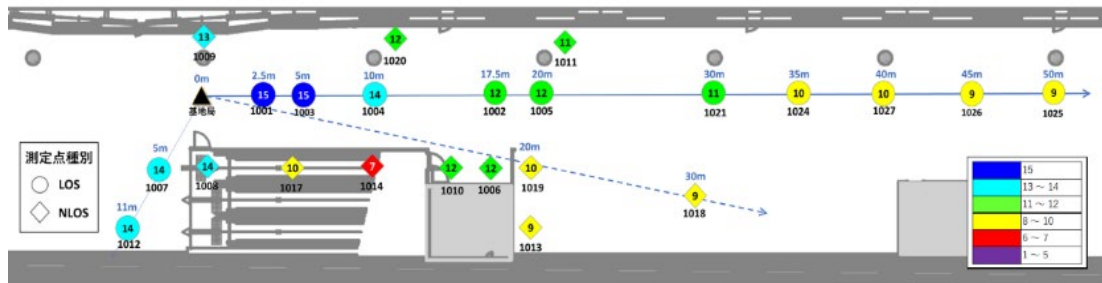


図 5.3.2.3-11 技術実証 1 CQI(最頻値)

あわせて CQI の確率密度分布を図 5.3.2.3-12 に示す。

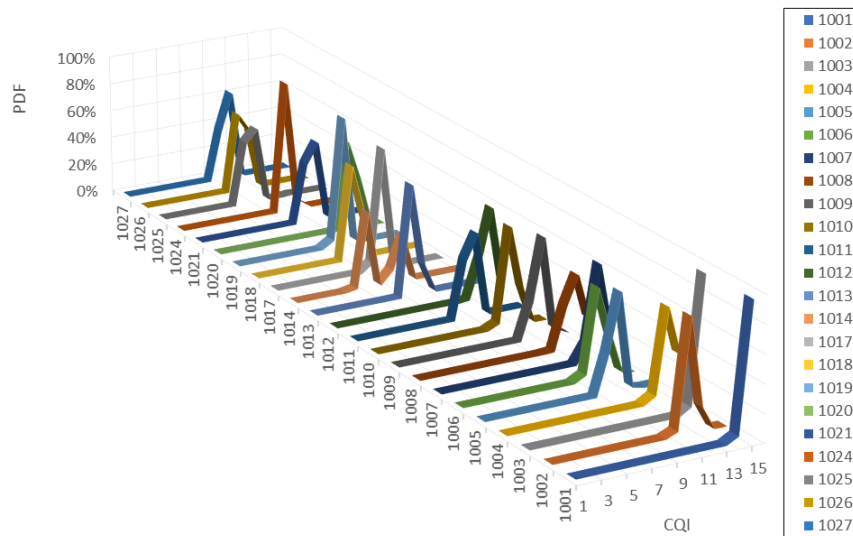


図 5.3.2.3-12 技術実証 1 CQI 分布

(8) PDSCH BLER 測定結果

PDSCH BLER の測定結果を図 5.3.2.3-13 に示す。図 5.3.2.3-7 と見比べると BLER の上昇に伴い MCS が低下することで BLER は 10%未満になるように制御されていることがわかった。またアンテナの近傍においては 10%よりも更に低い値を記録しており、現行の MCS テーブルの最大値が使用されているものの、より高いスペクトル効率に対応できることが分かった。

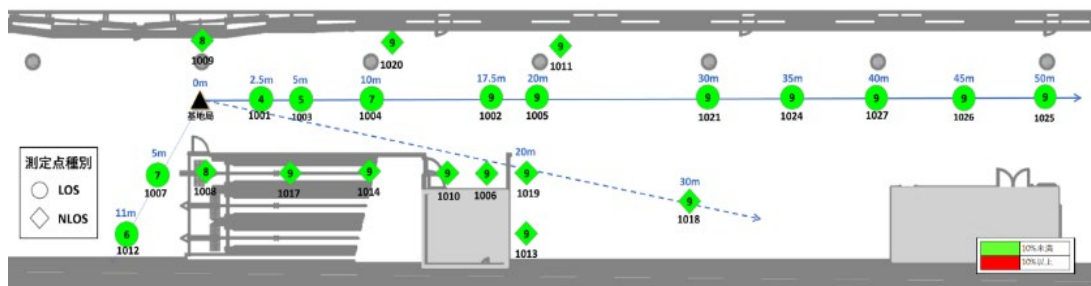


図 5.3.2.3-13 技術実証 1 PDSCH BLER(平均値[%])

(9) DL スループット測定結果

DL スループットの測定結果を図 5.3.2.3-14 に示す。MCS 値から予測される回線容量は 1Gbps～2Gbps であるが、本試験においては 80Mbps のトラヒックで試験を統一しているため全量通過する結果となった。

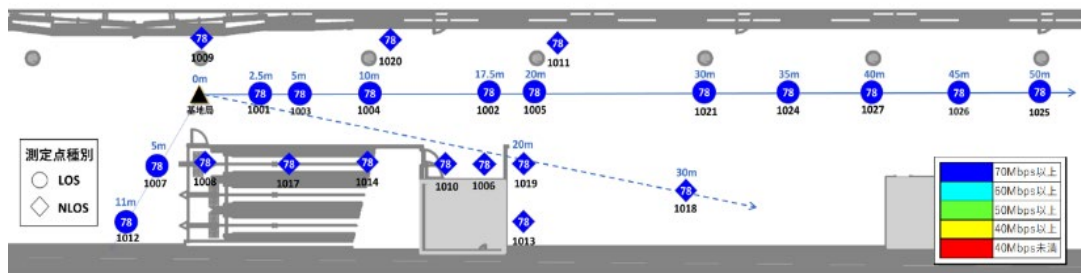


図 5.3.2.3-14 技術実証 1 DL スループット([Mbps])

(10) UL スループット測定結果

UL スループットの測定結果を図 5.3.2.3-15 に示す。DL と同様に 80Mbps で試験しているが、UL は TDD 比が低いためこれは回線最大容量(MCS28 時、スペクトル効率 5.6)にほぼ等しい。そのため測定点 1014 で MCS21(スペクトル効率 3.6)に応じたスループットの低下が見られる。

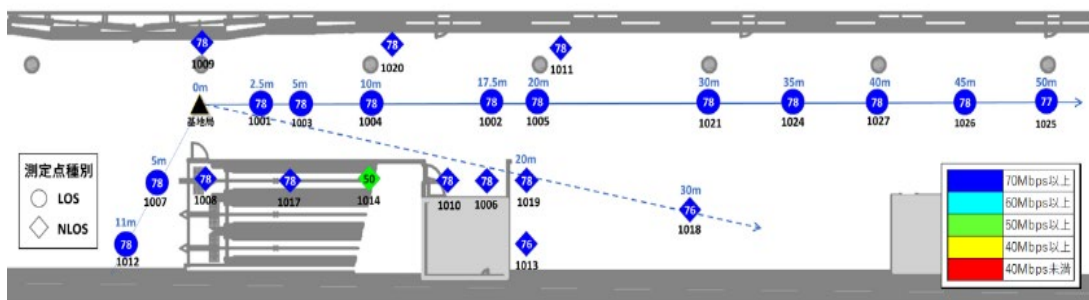


図 5.3.2.3-15 技術実証 1 UL スループット ([Mbps])

(11) DL パケットロス率測定結果

DL パケットロス率の測定結果を図 5.3.2.3-16 に示す。大きなパケットロスは見られないもののアンテナから離れた測定点においては微小なパケットロスが発生している。本技術実証では詳細な原因について明らかになっていないため推測にはなるが、MCS 値から予測される回線容量は印加トラヒックに対して十分あるため、回線状態悪化時に瞬間的な通信容量不足に陥っていると考えられる。

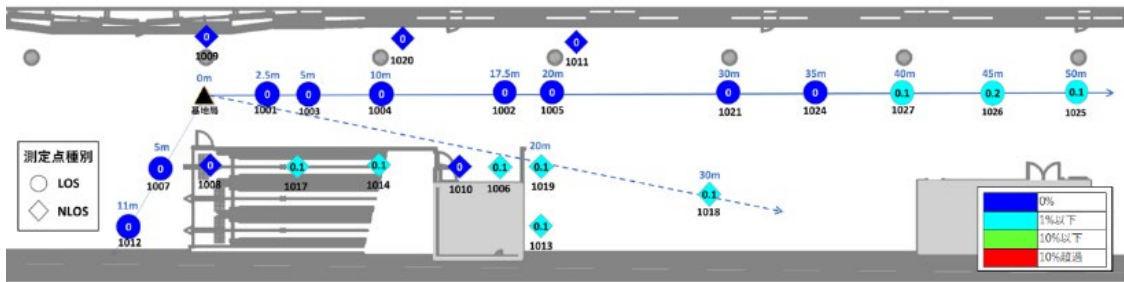


図 5.3.2.3-16 技術実証 1 DL パケットロス率[%]

(12) UL パケットロス率測定結果

UL パケットロス率の測定結果を図 5.3.2.3-17 に示す。パケットロスの顕著なポイントとして、エスカレータの最上段である測定点 1014 で 36.2[%]のパケットロスが発生していた。これはスループットで前述したとおり MCS 値が下がり回線容量が不足したためと考えられる。

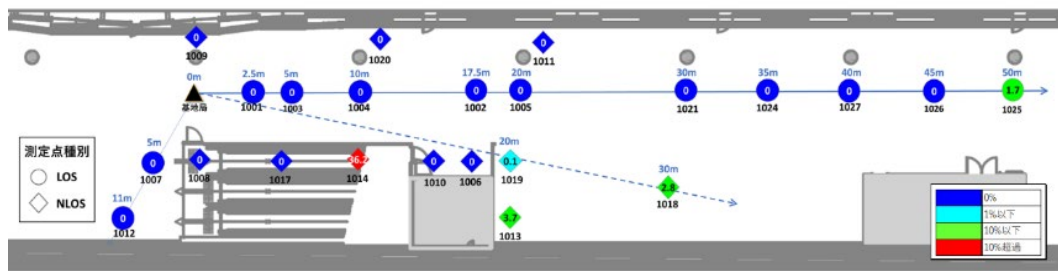


図 5.3.2.3-17 技術実証 1 UL パケットロス率 [%]

(13) DL 遅延測定結果

DL のエンドツーエンド遅延の平均、最大、最小の測定結果をそれぞれ図 5.3.2.3-18～図 5.3.2.3-20 に示す。

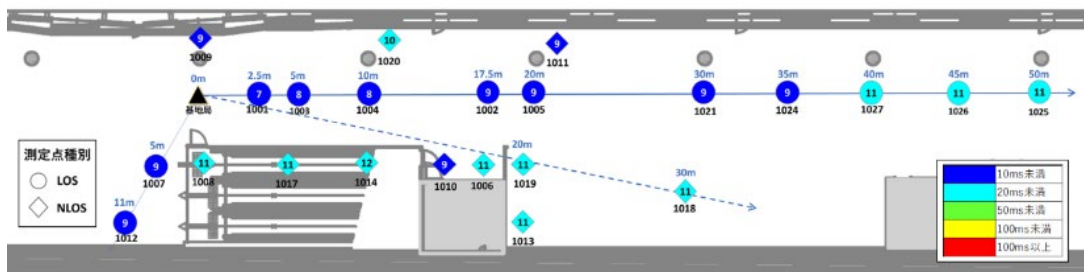


図 5.3.2.3-18 技術実証 1 DL 遅延(平均[ms])

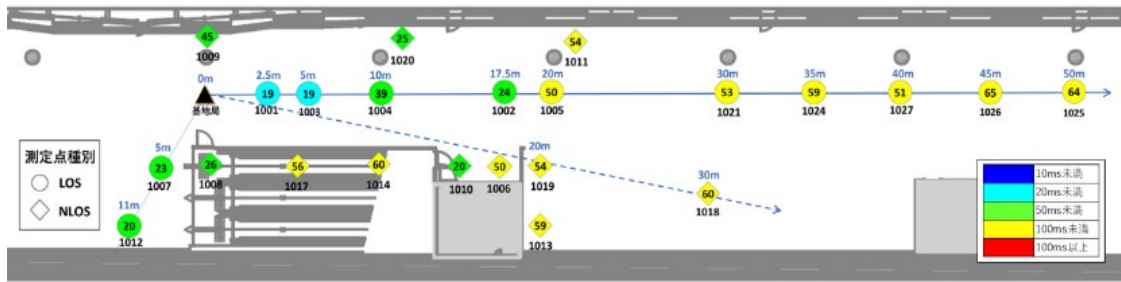


図 5.3.2.3-19 技術実証 1DL 遅延(最大[ms])

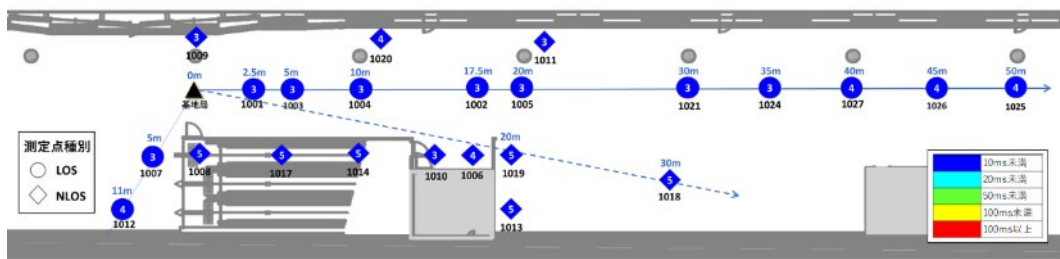


図 5.3.2.3-20 技術実証 1DL 遅延(最小[ms])

(14) UL 遅延測定結果

UL 遅延の測定結果を図 5.3.2.3-21～図 5.3.2.3-23 に示す。

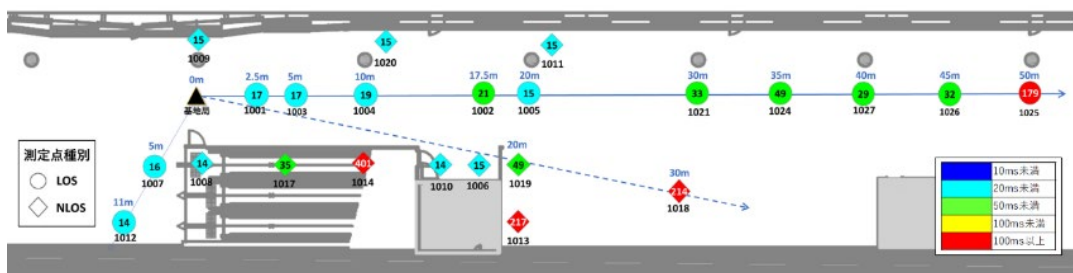


図 5.3.2.3-21 技術実証 1 UL 遅延(平均[ms])



図 5.3.2.3-22 技術実証 1UL 遅延(最大[ms])

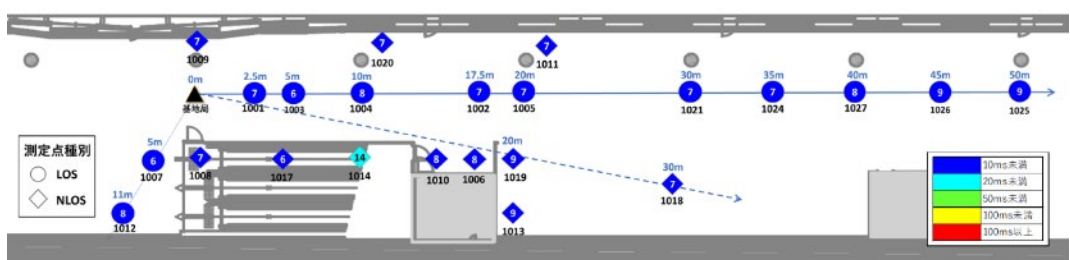


図 5.3.2.3-23 技術実証 1UL 遅延(最小[ms])

(15) DL ジッタ測定結果

DL ジッタの測定結果を図 5.3.2.3-24 に示す。

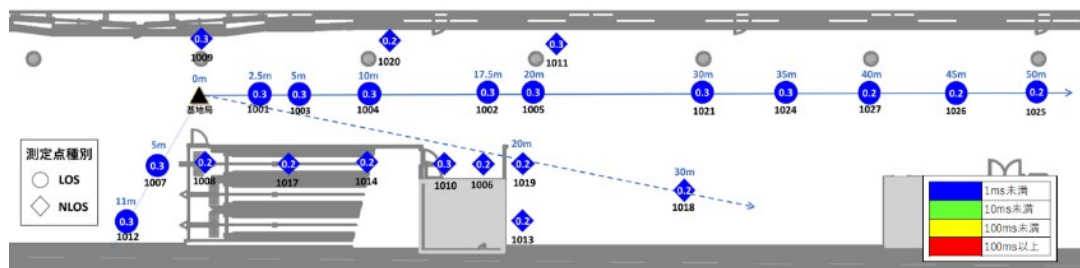


図 5.3.2.3-24 技術実証 1 DL ジッタ(平均[ms])

(16) UL ジッタ測定結果

UL ジッタの測定結果を図 5.3.2.3-25 に示す。

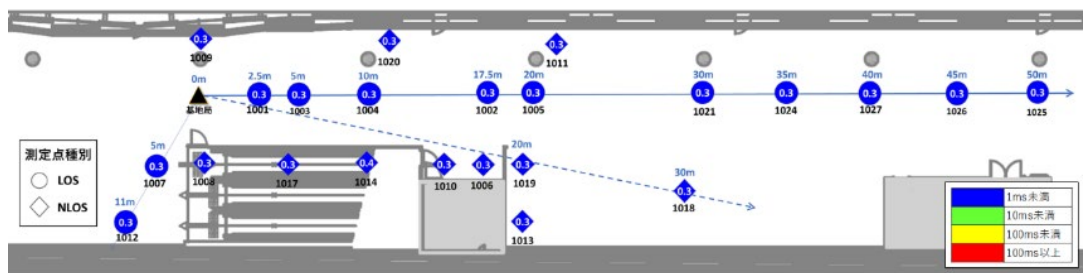


図 5.3.2.3-25 技術実証 1 UL ジッタ(平均[ms])

5.3.2.4 性能評価結果を踏まえた考察

(1) 比較対象とする類似調査のサーベイ結果

羽田空港国際線ターミナル駅の B2F 品川方面のプラットフォームにて、28GHz 帯電波伝搬特性の検討を行った「屋内において 10Gbps を超える超高速通信を可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」に関する調査検討報告書を技術実証 1 の比較対象とし、同じ測定環境における 4.7GHz 帯と 28GHz 帯の電波伝搬特性の違いを比較の視点とした。

この類似調査では、28GHz 帯の伝搬損失の測定データを最小二乗法にて下記の式にフィッティングを行い、モデル化を行っている。

$$\text{伝搬損失} = a \log d + b$$

ここで a は距離 (対数) に対する傾き、 b は切片、 d は送受信間の三次元距離を示す。この類似調査における LOS 環境と NLOS 環境それぞれの測定結果から導いた伝搬モデルの変数を表 5.3.2.4-1 に示す。LOS 環境では自由空間伝搬とおおよそ近い傾向が見られ、NLOS 環境に関しても、LOS 環境と近く、おおよそ距離の二乗特性が見られた。

表 5.3.2.4-1 類似調査 (28GHz 帯) における伝搬モデルの各変数

	傾き a	切片 b
LOS	17.8	63.8
NLOS	22.1	59.2

出所) 「屋内において 10Gbps を超える超高速通信を可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」に関する調査検討報告書、平成 30 年 3 月、株式会社国際電気通信基礎技術研究所

(2) 性能評価結果を踏まえた考察

1) エリアスキャナ測定値と UE 測定値の関係

RSRP 及び SINR の測定はエリアスキャナと UE の双方で行っているため、双方の関係

性を確認した。RSRP 測定値についての比較結果を図 5.3.2.4-1、図 5.3.2.4-2 に示す。

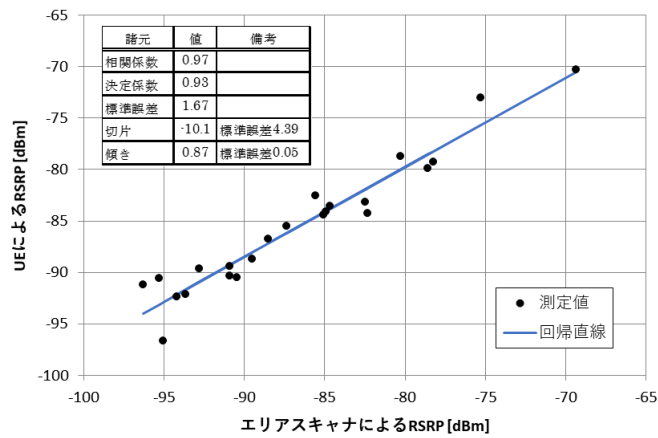


図 5.3.2.4-1 RSRP (対数)の平均値の比較

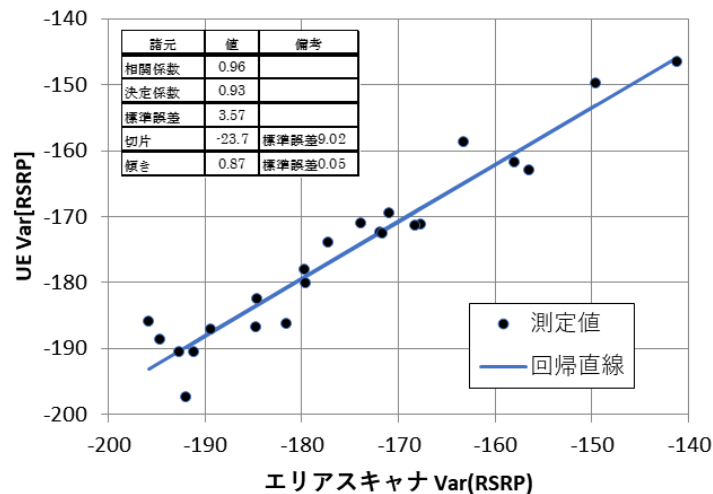


図 5.3.2.4-2 RSRP(対数)の分散の比較

エリアスキャナのアンテナ数が 1 である一方、UE の有効アンテナ数が 4 であることから、UE の RSRP の方が良好だと予想したが、両方の測定値はほとんど同等であることが分かった。

次に SINR についての比較結果を図 5.3.2.4-3 に示す。UE は 1 ポート分のデータを使用していた。一定の傾向はあるもののばらつきが大きかった。

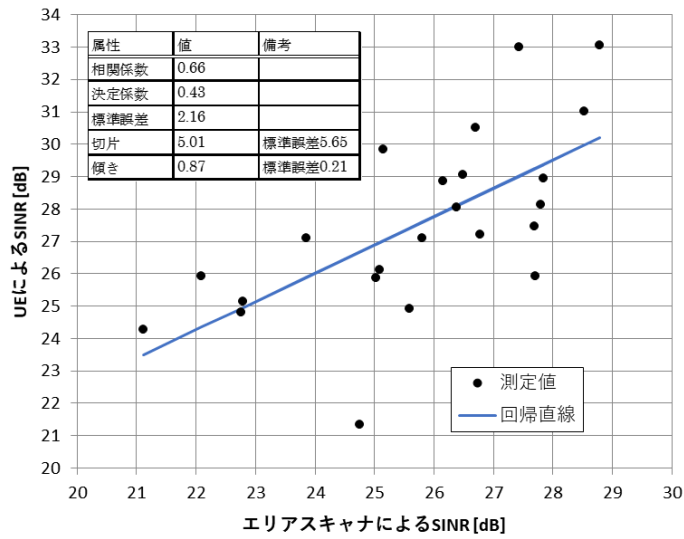


図 5.3.2.4-3 SINR 測定値(対数)の平均値の比較

2) アンテナからの距離と RSRP の関係

LOS 測定点におけるアンテナからの距離と RSRP の関係を図 5.3.2.4-4 に示す。

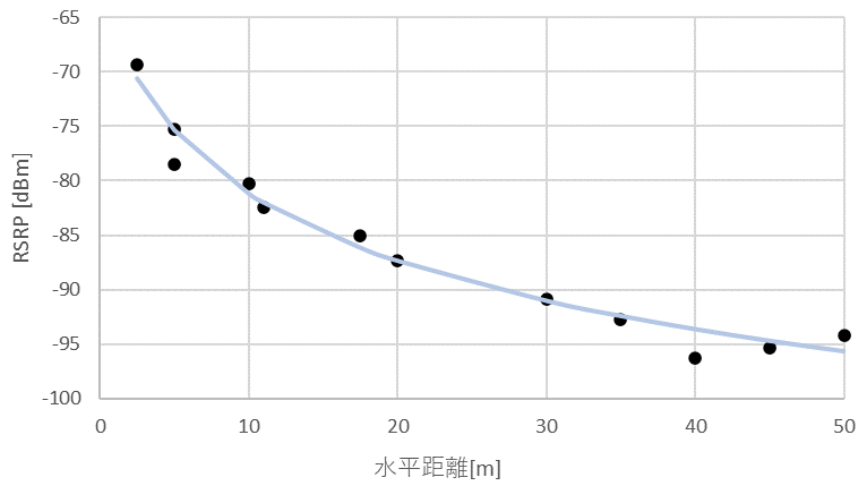


図 5.3.2.4-4 LOS 測定点における距離特性

この結果に対し、距離の対数について直線回帰をしたものを図 5.3.2.4-5 に示す。

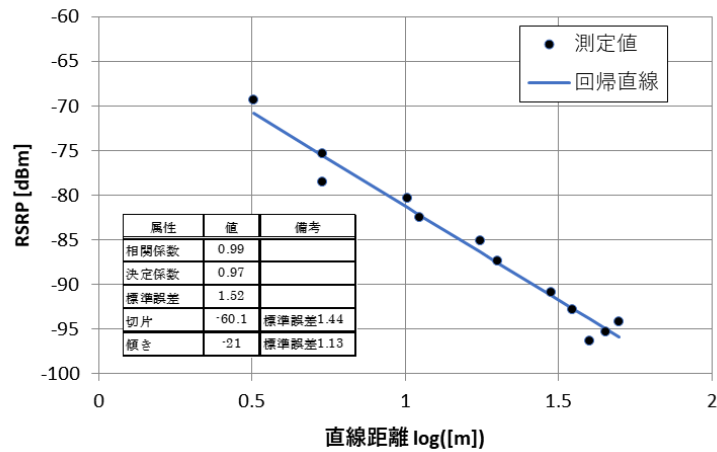


図 5.3.2.4-5 LOS 測定点の距離特性の回帰分析

この結果から本環境における伝搬特性は次の通りであると考えられる。

$$P_r[\text{mW}] \approx 10^{-6.0} \times \frac{1}{d^2}$$

次のフリスの伝達公式との比較によって、

$$\begin{aligned} P_r &= P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = \frac{250[\text{mW}]}{3276} \left(\frac{0.062[\text{m}]}{4\pi} \right)^2 \frac{G_t G_r}{d^2} \\ &= 10^{-5.73} \frac{G_t G_r}{d^2} \end{aligned}$$

LOS 測定点での電波伝搬は距離の二乗則に従うという点で自由空間に類似することが分かる。この結果は、類似調査として挙げた 28GHz 帯の伝搬特性と概ね等しい。なおここでは 3dB の差分が見られるが、これには測定誤差(図 5.3.2.4-5 から 3σ で 4.3dB)、アンテナ指向性、出力偏差などが含まれると考えられ発生源は明確には特定できない。あるいは後述するフェージングの解析もあわせると自由空間の類型として解析するのは適切ではなく CI モデルや ABG モデルを適用するのが妥当である可能性もあり更なる調査が必要である。

一方、NLOS 測定点の距離特性を図 5.3.2.4-6 に示す。この図に上述の LOS 環境における回帰直線(曲線)を重ねた。

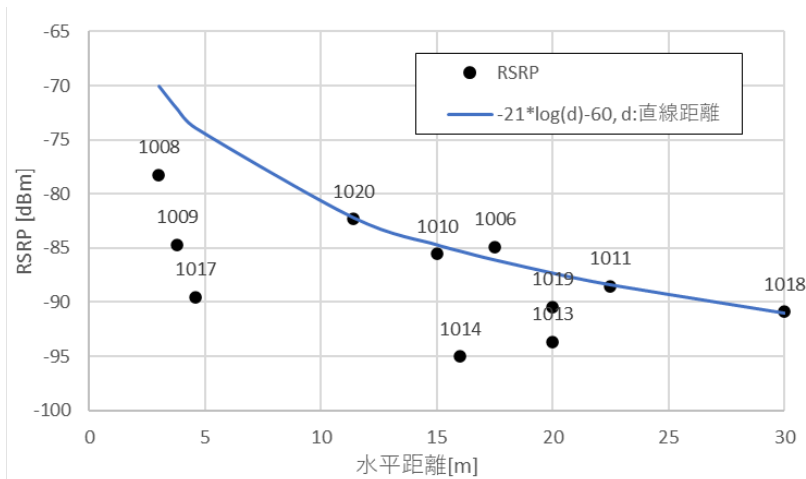


図 5.3.2.4-6 NLOS 測定点における LOS 環境の回帰直線（曲線）との比較

ここから LOS 測定点から推定されるレベルより特にレベルが低い測定点の存在が見られる。これを図 5.3.2.4-7 に示す。図の数値は回帰曲線との差を示す。この結果は、類似調査として挙げた 28GHz 帯の伝搬特性と比較すると、部分的には類似調査と同じく、自由空間伝搬損失に近い傾向が見られるポイントもあるが、ばらつきが大きい。NLOS 環境の場合は、遮蔽物や反射物の内容に依存するため、距離減衰に当てはまらないポイントがあると考えられる。アンテナにより近く、より急峻なコーナーに阻まれるとレベルが大きく低下する傾向があるように見えるが詳細については今後の検討課題である。

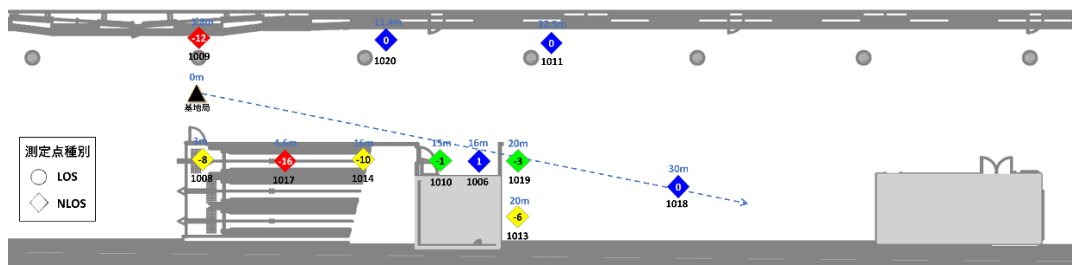


図 5.3.2.4-7 LOS 測定点から推定されるレベルより低い測定点(赤と黄)

3) MCS、CQI の様相

UE における RSRP と SINR の関係を図 5.3.2.4-8 に示す。干渉がない環境で試験をしているということもあり、おおむね直線上であることが分かった。

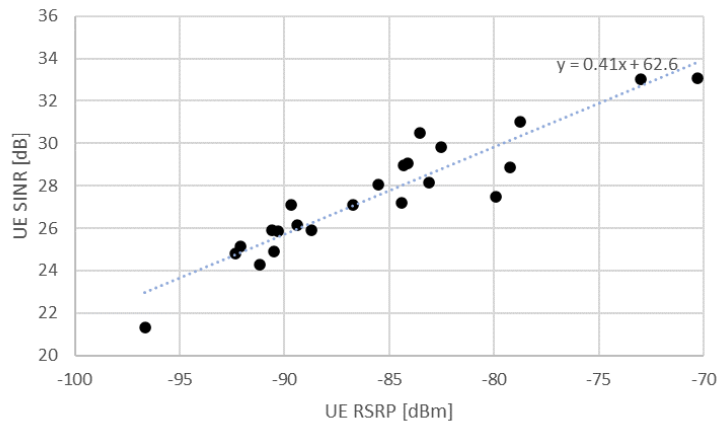


図 5.3.2.4-8 RSRP と SINR の関係

次に SINR と PDSCH MCS 及び CQI の関係を図 5.3.2.4-9 に示す。この図では後述する BLER が十分低く MCS が飽和していると考えられる測定点 1001 および測定点 1003 のデータは MCS = 27 で表される直線上にあると考えられるため省略した。 SINR の低下に伴い MCS 値及び CQI 値が減少していることが図から読み取れる。

MCS 値とスペクトル効率 η は概ね直線的($MCS = 27(\eta - 0.2344)/(7.4063 - 0.2344)$ 、256QAM テーブル)に設定されていることからシャノン・ハートレーの定理($\eta = \log_2(1 + S/N)$)を代入すると、概算として SINR[dB]と MCS の関係もほとんど直線上($MCS = 1.25 \cdot SINR - 0.882$ [SINR > 6]、 $MCS = 0.625 \cdot SINR + 2.88$ [SINR ≤ 6])となる。これを図 5.3.2.4-9 中の MCS についての直線($MCS = 1.1291 \cdot SINR - 6.7571$)と比較すると SINR で 7dB~10dB 程度の開き(測定値が大)が見られるが、これはフェージングの影響によるものだと推測できる。

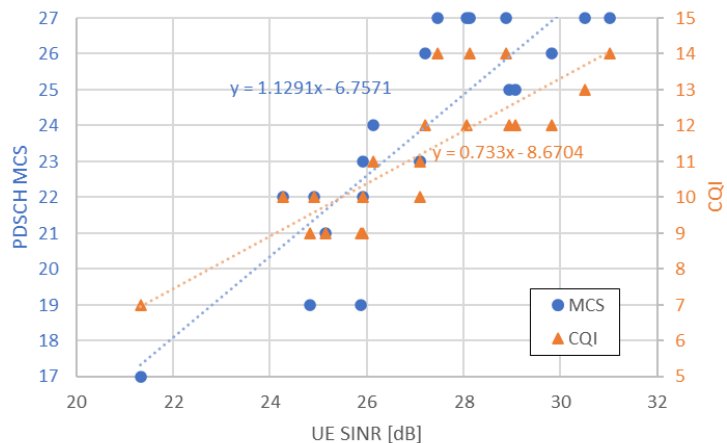


図 5.3.2.4-9 SINR と PDSCH MCS 及び CQI の関係

SINR と PUSCH MCS 及び PUSCH ReTx の関係を図 5.3.2.4-10 に示す。UL に関しては 64QAM テーブルを使用しており、変調性能に余裕があったため本技術検証の調査範囲内では最大値である 28 を使用していたと考えられる。実際に PUSCH での再送が 10%を

下回ることから UL の本技術実証最長となる 50m 離れた測定点でも無線回線が非常に良好であったことが分かる。

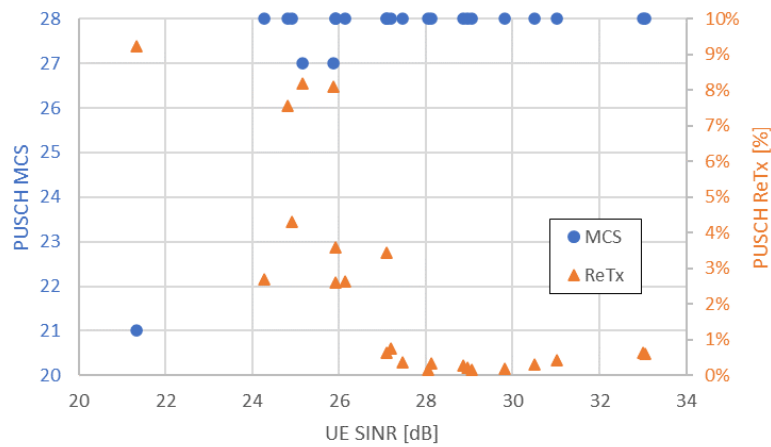


図 5.3.2.4-10 SINR と PUSCH MCS 及び PUSCH ReTx の関係

4) 再送と遅延

図 5.3.2.4-16 に示したとおり DL の平均値では大きな遅延は生じなかったが、少数の packets に多少の擾乱があったことが遅延の最大値から判明した。この原因について、遅延時間に対する MAC 層及び RLC 層での再送の状況をプロットしたものを図 5.3.2.4-11 に示す。この図から、20[ms]から 50[ms]の遅延に対しては BLER の上昇、つまり HARQ による再送の発生、50[ms]以上の遅延に対してはさらに RLC 層での再送があったと考えられる。

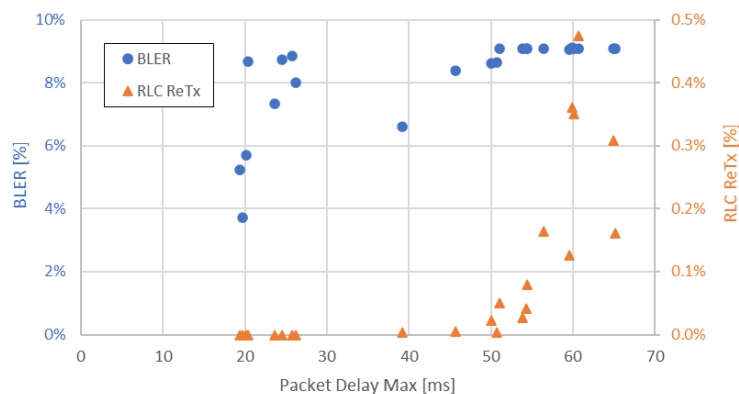


図 5.3.2.4-11 DL における遅延と再送

この状況について SINR を基準にプロットしたものを図 5.3.2.4-12 に示す。本技術実証は他のアンテナ、移動局による干渉のない環境で行ったものの、SINR が 28[dB]を下回るころから RLC 層での再送が始まっていることが分かる。従って 50ms 以上の遅延を避けるためには SINR が 28[dB]を下回らないことが一つの基準として考えられる。

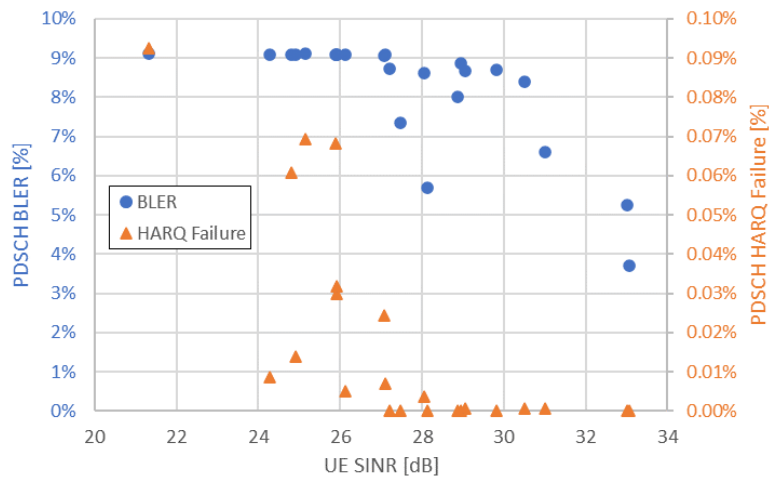


図 5.3.2.4-12 DL における SINR と再送

また UL における遅延と MAC 層、RLC 層の再送の関係を図 5.3.2.4-13 に示す。UL においても平均値では遅延が大きくないことは DL と同様であった。遅延の最大値を確認すると BLER が増加している領域ですでに非常に大きな遅延が見られた。一方 RLC 層での再送は生じなかった。本技術実証では詳細な原因について明らかになっていないため推測にはなるが、UL ではほとんど全ての帯域を使用して試験したことを考慮すると、この遅延はキューイングによるものだと考えられる。

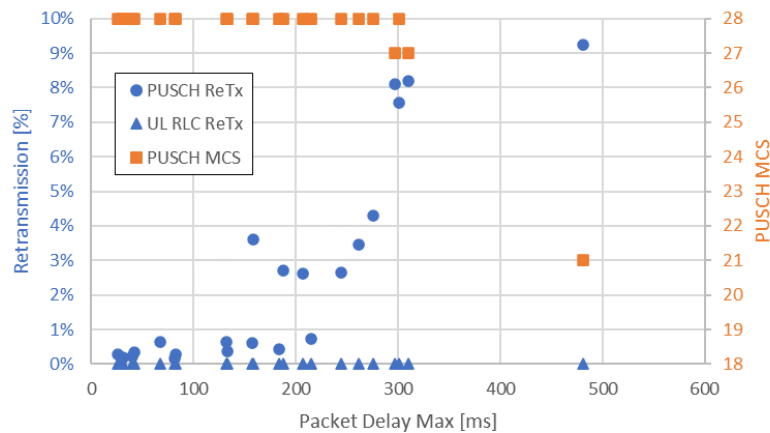


図 5.3.2.4-13 UL における遅延と再送

5) フェージングの様相

全ての測定点のエリアスキャナでの受信電界強度について累積分布関数を描いたものを図 5.3.2.4-14 に示す。図には仲上 m 分布の曲線を各 m について重ねて表示している。ここから全測定点の分布はおおむね m=1 から 4 の区間に収まっており、本実証環境はアンテナからの距離に関わらず、フェージングが支配的であったと考えられる。

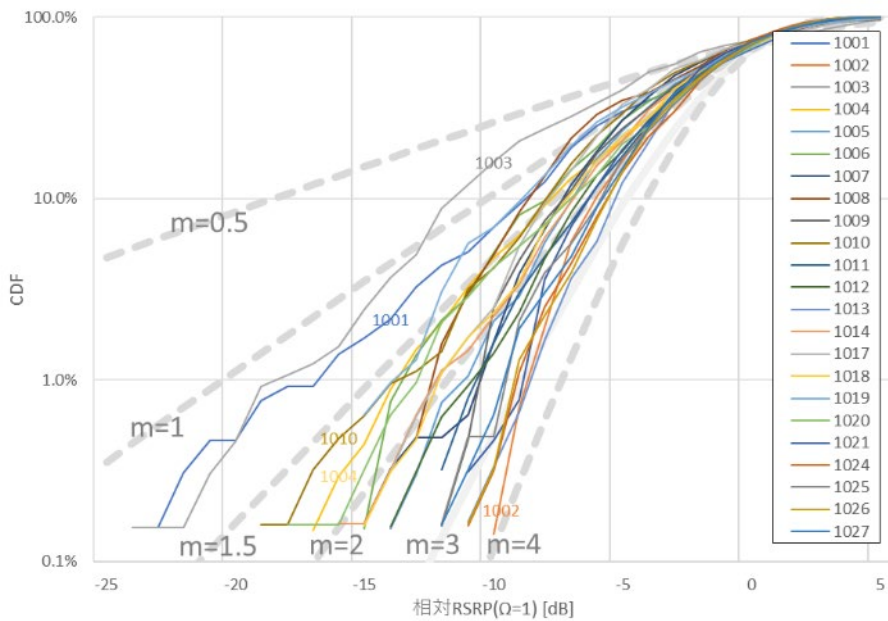


図 5.3.2.4-14 相対電界強度の累積分布と仲上 m 分布との比較

m 値の推定値をフロア図にマッピングしたものを図 5.3.2.4-15 に示す。 m 値の推定は最尤法(数値計算)による。この図から全体的にフェージングが深いことがわかるが、その中でもアンテナに近いほど深いフェージングが見られる。この現象はマルチパスにおけるパス数がアンテナから離れるほど減少するためだと考えられる。



図 5.3.2.4-15 m パラメータのマッピング

測定結果と各分布モデルとの一致度の比較を図 5.3.2.4-16 に示す。ここでは図に掲載の各モデルについてパラメータを推定の上で一致度として Kullback-Leibler 情報量を計算した。形状に関して 1 パラメータである仲上 m 分布及び仲上・ライス分布のうちもっとも一致したものを緑色で示している。その結果、おおむね仲上 m 分布に一致した。また参考に仲上・ライス分布及び仲上 m 分布の近縁となる 2 パラメータ分布の κ - μ 分布及び η - μ 分布についても、もっとも一致したものを赤色で示した。当然のことながら 2 パラメータ分布は 1 パラメータ分布よりも一致率は高いが、所感として仲上 m 分布との差異は小さい。比較のためレイリー分布との一致度及び一様分布との一致度(=対象の分布のエントロピー)も掲載している。この様子を見やすくしたものを図 5.3.2.4-17 に掲載する。なお、図中のモーメント法とあるものは Inverse normalized variation estimator($m = E[r^2]^2 / \text{Var}[r^2]$ 、 $K = \sqrt{m^2 - m} + m - 1$)により、また数値計算はモーメント法の計算結果を初期値として使用している。

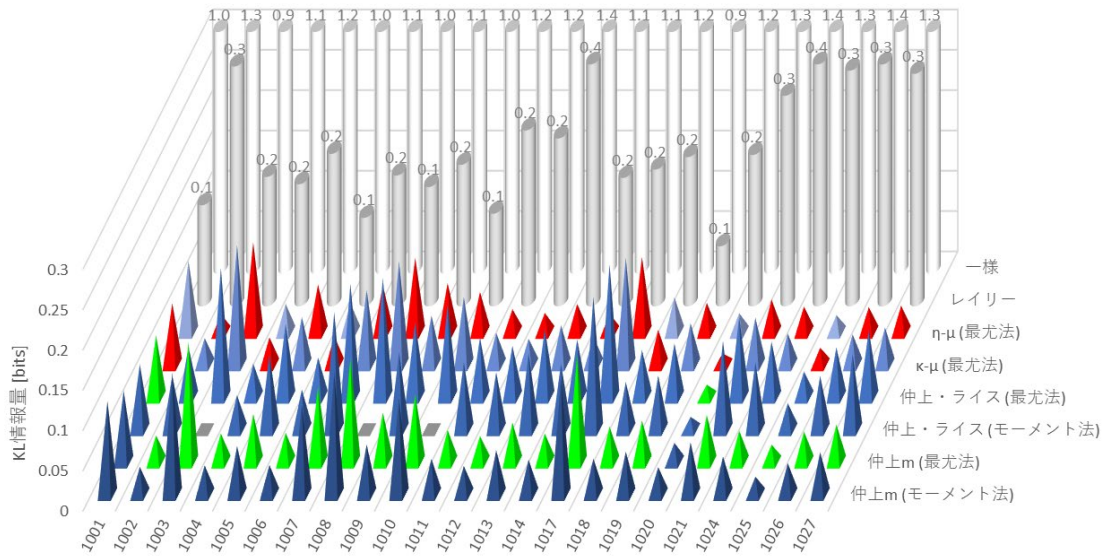


図 5.3.2.4-16 測定結果と分布モデルとの比較

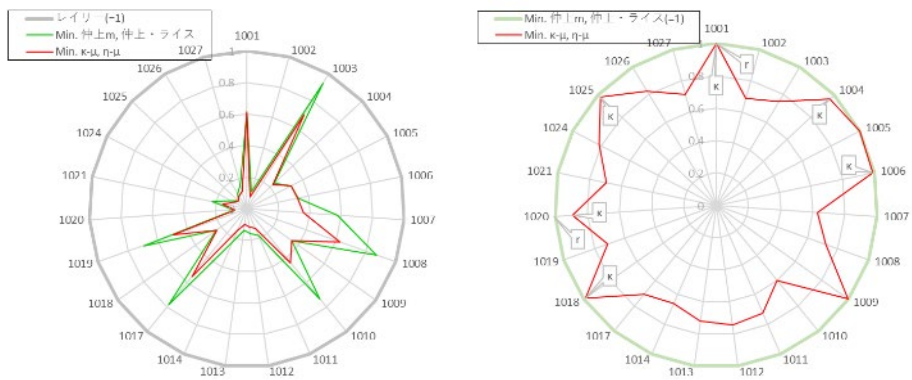


図 5.3.2.4-17 KL 情報量の比

参考に仲上・ライス分布との比較をそれぞれ図 5.3.2.4-18、図 5.3.2.4-19 に示す。

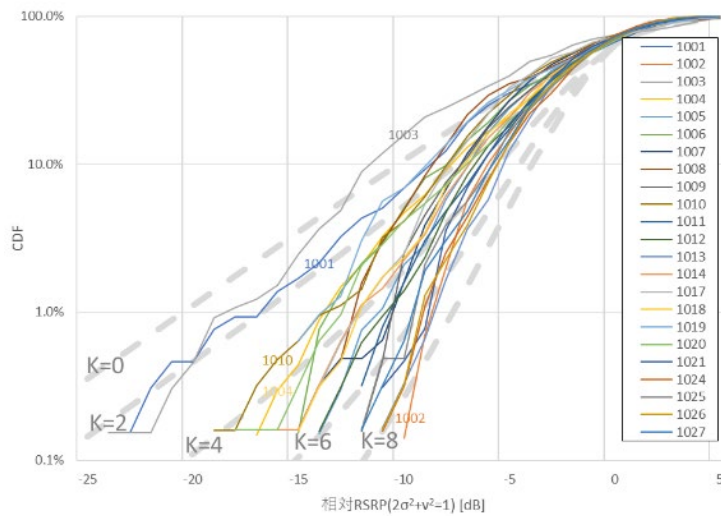


図 5.3.2.4-18 (参考) 仲上・ライス分布との比較

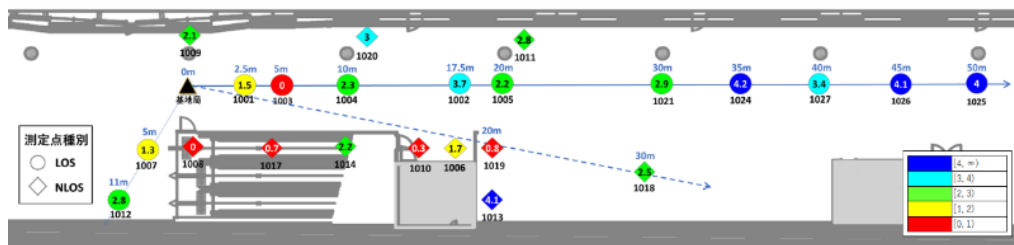


図 5.3.2.4-19 (参考) ライスファクタのマッピング

各分布への一致度に関する詳細な考察は、引き続きの検討が必要である。

5.3.2.5 技術的課題の解決策

技術的課題は、マルチパス環境における電波伝搬特性を解明および不感エリアを解消することであったが、測定エリア全域で受信電波強度は良好であった。本技術実証ではフェージングは顕著に見られたものの、LOS 環境では電波伝搬は距離の2乗則の減衰に近い傾向が見られ、NLOS 環境では遮蔽物の内容 (材質や厚み) や遮蔽物とアンテナ・UE の位置関係に依存するという傾向が見られた。技術的課題の解決策として、ユースケースのエリア構築では、LOS 環境では距離の2乗則の減衰に従うモデルを基にエリア化したい場所のアンテナ配置をするのが妥当であり、NLOS 環境ではアンテナ・UE と遮蔽物の位置関係や遮蔽物の内容によって、遮蔽物の影響を無視できる場合はLOS 環境と同様の方法で、影響を無視できない場合はNLOS 環境が可能な限り無くなるようなアンテナ配置をすることが考えられる。

5.3.2.6 更なる技術的課題

本技術実証では NLOS 環境における電波伝搬特性はアンテナ・UE と遮蔽物の位置関係や遮蔽物の内容に依存するものだとわかった。従ってアンテナ・UE 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、その結果を踏まえて NLOS 環境でのエリア構築を行う必要がある。そのため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。電波伝搬モデルにおける最適な係数・補正項についても、LOS 環境に関しては距離の 2 乗則の減衰に従うモデルを基にしたエリア設計が適当であると考えられるが、NLOS 環境に関しては本技術実証では明らかになっていないため、NLOS 環境における伝搬特性に焦点を当てた調査・検討が必要である。

またユースケースを想定した際に、駅において最も大きな遮蔽物として列車が考えられる。列車の移動・停止による電波伝搬特性への影響を調査・検討する必要がある。列車停止時は、アンテナを設置したホームとは反対側のホーム上に UE がある場合、列車が遮蔽物となるため NLOS 環境の電波伝搬特性を得られると考えられ、またアンテナを設置したホームと同じホーム上に UE がある場合は、列車が遮蔽物となりホーム上から軌道側へ抜けていく電波が列車に当たり反射し、より閉所なマルチパス空間が形成されることが考えられる。

5.3.3 技術実証 2(回折と反射)

5.3.3.1 評価・検証項目

アンテナ高を可変したことによる通信への影響を評価する。遮蔽物となるエスカレータの脇にアンテナを設置し、エスカレータによって遮蔽される 6 箇所の測定点にて以下 4 評価項目を測定した。さらに同設置場所において、床面を基準としたアンテナ高が 1m の場合と 3m の場合のそれぞれで、以下 4 評価項目を測定した。

- 受信電力
- 伝送スループット (UL)
- 伝送スループット (DL)
- 伝送遅延時間

5.3.3.2 評価・検証方法

(1) 実験環境構成

技術実証 2 の実験環境構成を図 5.3.2.2-1 に示す。

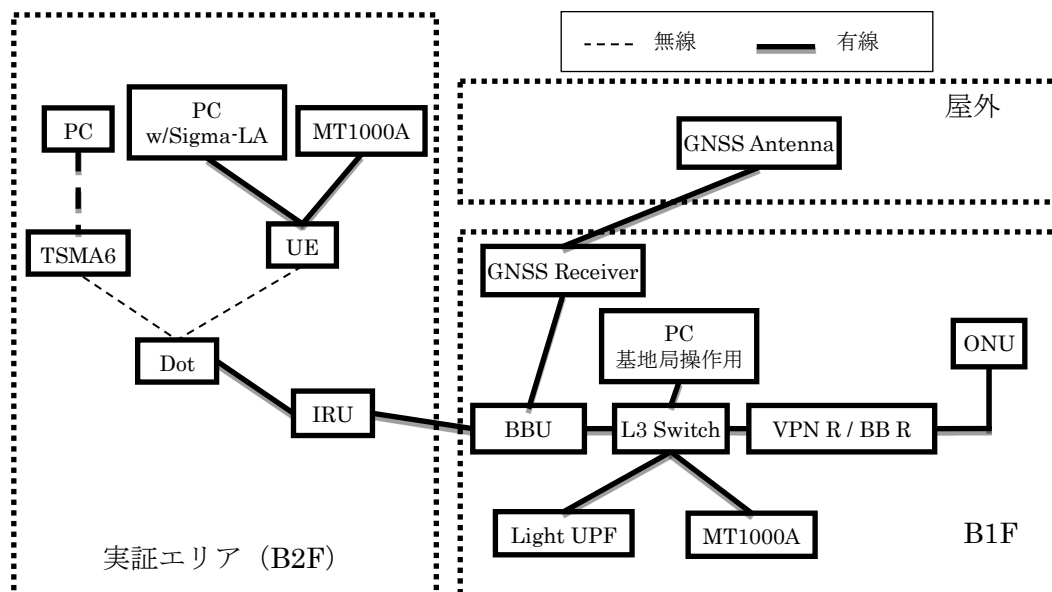


図 5.3.3.2-1 技術実証 2 の実験環境構成

注)UE… 5 G 陸上移動局、Dot… 5 G アンテナ(空中線)、BBU…Baseband 装置、L3 Switch…L3 SW、5 G Core… 5 GC、VPN R / BB R…ブロードバンド兼 VPN 終端装置

(2) 実施方法

実施方法を次に示す。B2F の測定点及び測定環境をそれぞれ図 5.3.3.2-2、図 5.3.3.2-3 に示す。

- ① トラヒック試験機及び試験用 PC の時刻同期を確認する。
- ② 基地局アンテナを図 5.3.3.3-2 に示す位置に表 5.3.3.2-1 に示すアンテナ高で設置する。
- ③ 測定機及びトラヒック試験機を表 5.3.2.2-3 及び表 5.3.2.2-6 で示される項目が取得できるよう設定する。
- ④ 試験を行う測定点を表 5.3.3.2-2 から選択する。
- ⑤ 基地局アンテナ高の変更が必要な場合はこれを変更する。
- ⑥ UE を当該測定点に移動する。測定点の具体的な位置は図 5.3.3.2-2 及び図 5.3.3.2-3 に示す。位置決めの方法は 5.1.3.2、5.1.3.2 (2) に従うものとする。
- ⑦ 測定機及びトラヒック試験機の測定を開始する。
- ⑧ 表 5.3.2.2-7 で示す時間が経過するのを待つ。
- ⑨ 測定機及びトラヒック試験機を停止する。
- ⑩ 取得したデータを保存する。
- ⑪ 必要な測定項目が取り終わるまで、手順④に戻る。

表 5.3.3.2-1 技術実証 2 アンテナ高

項目	値
基地局アンテナ高	1m (プラットフォーム基準)
	3m (プラットフォーム基準) (技術実証 1 参照)
移動局アンテナ高	1m (プラットフォーム基準)

表 5.3.3.2-2 技術実証 2 測定点

項番	測定点	フロア	見通し	距離	想定	備考
2001	1	B2F	LOS	17.5m	直接波	基地局仕様上の推奨エリア端
2002	2	B2F	LOS	20m	-	基地局仕様上の推奨エリア外
2003	3	B2F	LOS	10m	直接波	
2004	4	B2F	NLOS	3m	透過波	
2005	5	B2F	NLOS	4.6m	反射波	エスカレータ上
2006	6	B1F	NLOS	16m	反射波	エスカレータ上推奨エリア

アンテナ高 3m の測定値には技術実証 1 の測定結果を使用する。技術実証 2 の各測定点に対応する技術実証 1 の項番は表 5.3.3.2-3 のとおりとする。

表 5.3.3.2-3 技術実証 2 測定点—技術実証 1 項番 対応表

測定点	技術実証 1 項番	技術実証 2 項番	備考
1	1002	2001	推奨エリア端
2	1005	2002	
3	1004	2003	
4	1008	2004	基地局・移動局間にガラス扉有り
5	1017	2005	エスカレータ中段
6	1014	2006	エスカレータ上段

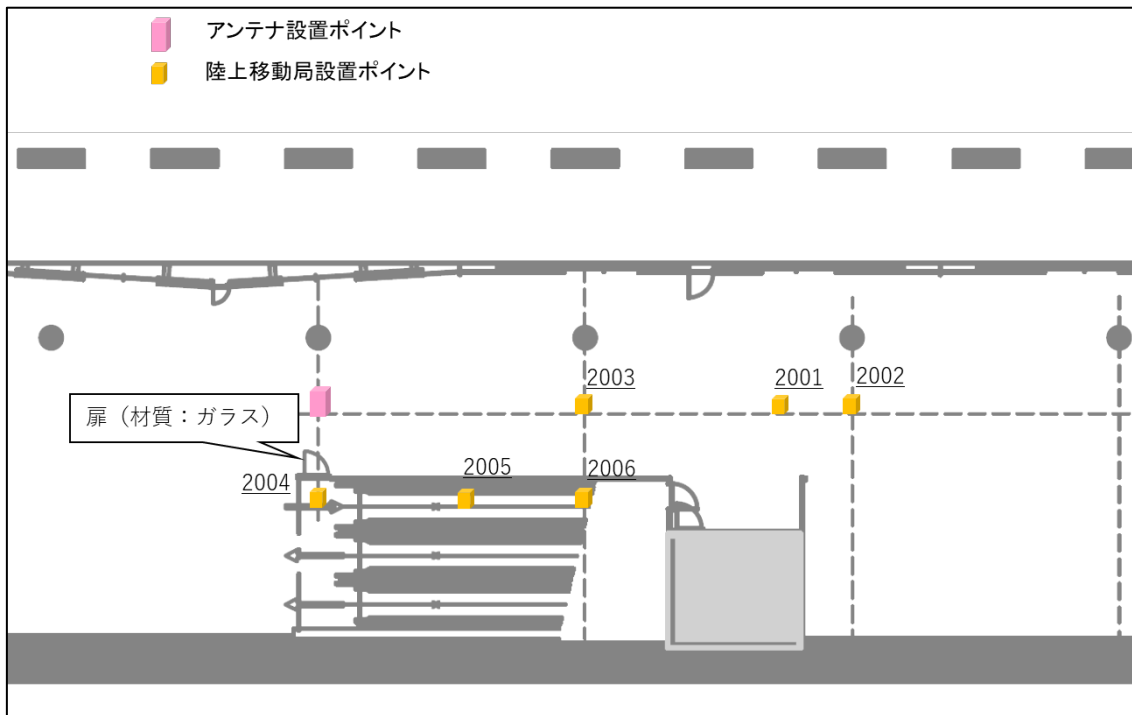


図 5.3.3.2-2 技術実証 2 B2F 測定点



図 5.3.3.2-3 技術実証 2 測定環境

5.3.3.3 性能評価結果

(1) エリアスキャナによる SS-RSRP 測定結果

エリアスキャナによる SS-RSRP の測定結果を図 5.3.3.3-1 に示す。測定点 2006 では特に電波の減衰が見られた。

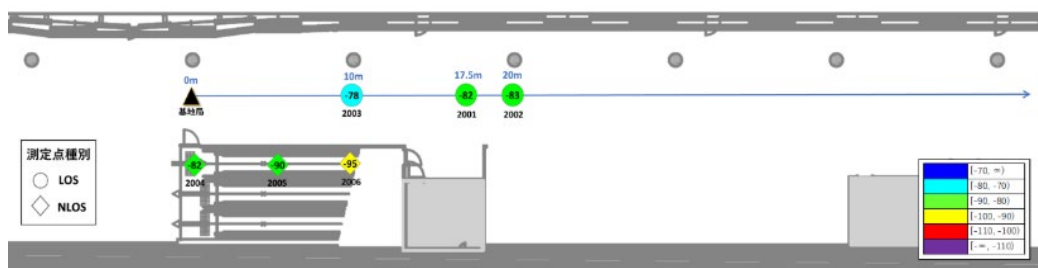


図 5.3.3.3-1 技術実証 2 エリアスキャナによる SS-RSRP(平均値[dBm])

(2) UE による SS-RSRP 測定結果

UE による SS-RSRP の測定結果を図 5.3.3.3-2 に示す。エリアスキャナによる測定結果と同様の傾向が見られた。

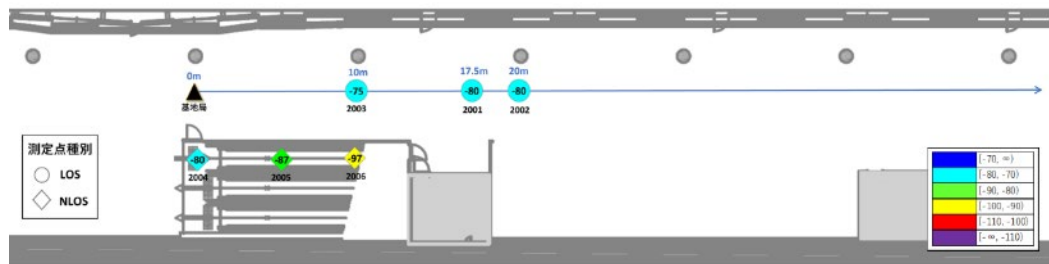


図 5.3.3.3-2 技術実証 2 UE による SS-RSRP(平均値[dBm])

(3) エリアスキャナによる SS-SINR 測定結果

エリアスキャナによる SS-SINR の測定結果を図 5.3.3.3-3 に示す。技術実証 1 における同じ測定点での値より、全体的に劣化が見られた。

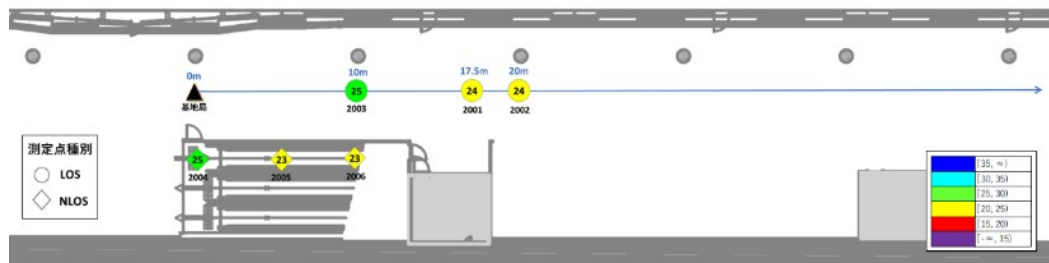


図 5.3.3.3-3 技術実証 2 エリアスキャナによる SS-SINR(平均値[dB])

(4) UE による SS-SINR 測定結果

UE による SS-SINR の測定結果を図 5.3.3.3-4 に示す。こちらもエリアスキャナと同様に技術実証 1 のものより劣化が見られた。

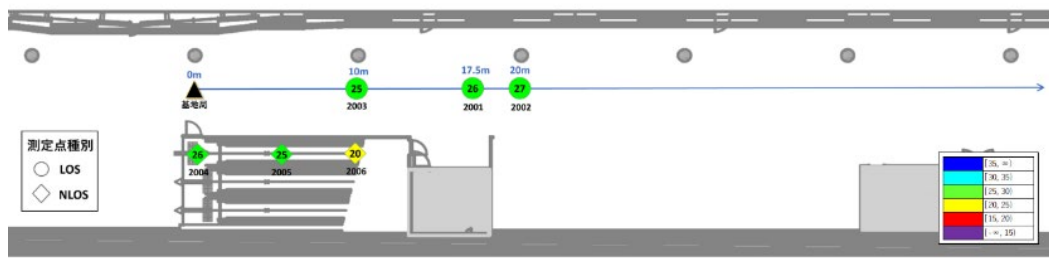


図 5.3.3.3-4 技術実証 2 UE による SS-SINR(平均値[dB])

(5) PDSCH MCS 測定結果

PDSCH MCS の測定結果を図 5.3.3.3-5 に示す。技術実証 1 における同じ測定点での値より、全体的に劣化が見られた。

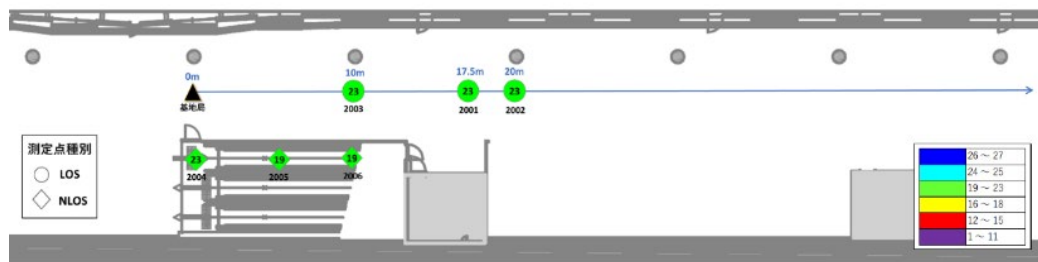


図 5.3.3.3-5 技術実証 2 PDSCH MCS(最頻値)

(6) PUSCH MCS 測定結果

PUSCH MCS の測定結果を図 5.3.3.3-6 に示す。測定点 2006 を除いたすべての測定点で最高値を記録した。

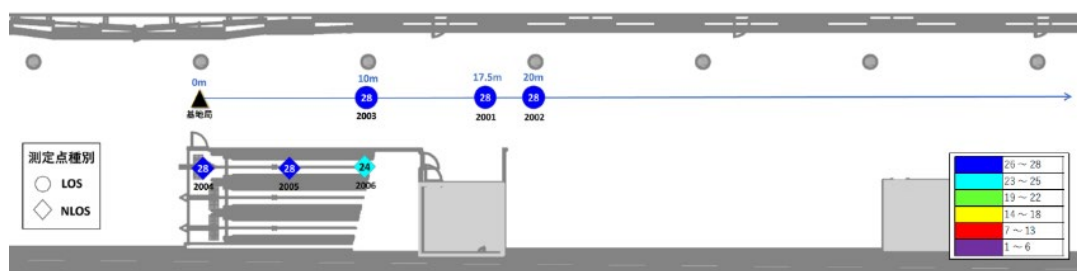


図 5.3.3.3-6 技術実証 2 PUSCH MCS(最頻値)

(7) CQI 測定結果

CQI の測定結果を図 5.3.3.3-7 に示す。技術実証 1 と比較すると、LOS 環境では劣

化が見られ、NLOS 環境においてはそれほど差が見られなかった。

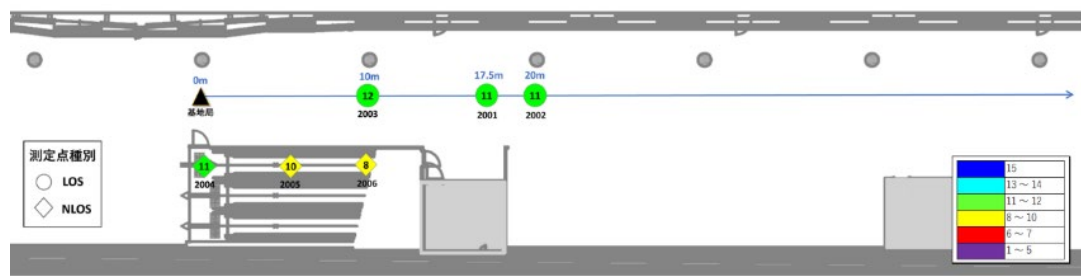


図 5.3.3.3-7 技術実証 2 CQI(最頻値)

(8) PDSCH BLER 測定結果

PDSCH BLER の測定結果を図 5.3.3.3-8 に示す。技術実証 1 と同様に、測定点全体で 10%未満に制御できていることが確認できた。

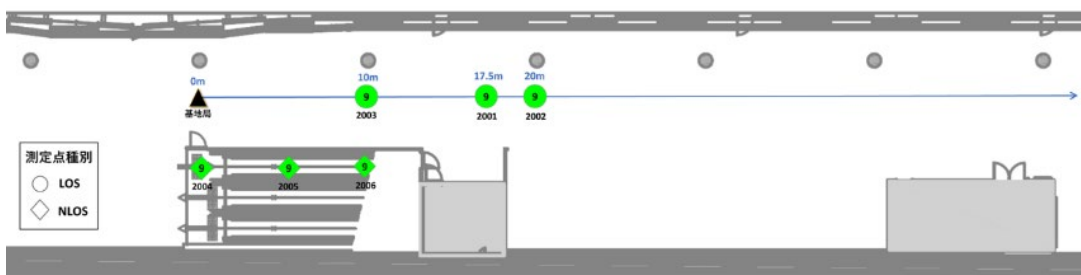


図 5.3.3.3-8 技術実証 2 PDSCH BLER(平均値[%])

(9) DL スループット測定結果

DL スループットの測定結果を図 5.3.3.3-9 に示す。技術実証 1 と同様に、すべての測定点で 80Mbps のトラヒックが通過する結果が見られた。

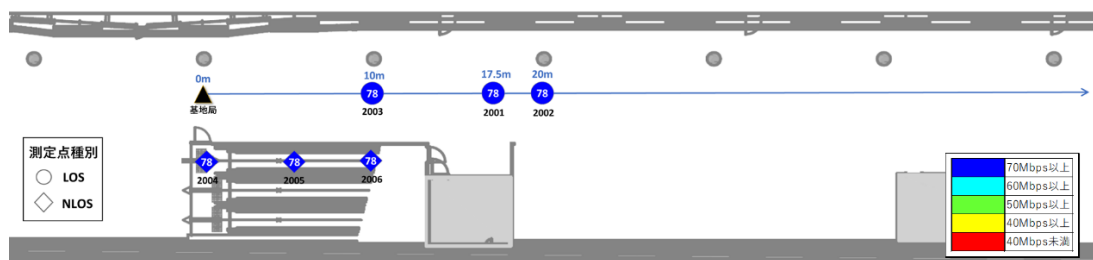


図 5.3.3.3-9 技術実証 2 DL スループット(平均[Mbps])

(10) UL スループット測定結果

UL スループットの測定結果を図 5.3.3.3-10 に示す。技術実証 1 と同様の傾向が見られた。

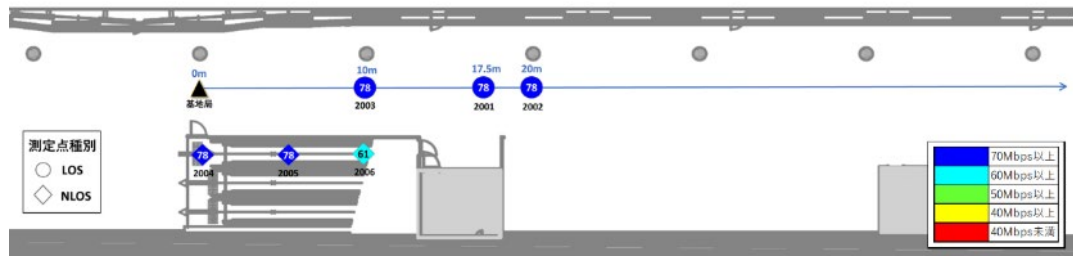


図 5.3.3.3-10 技術実証 2 UL スループット(平均[Mbps])

(11) DL パケットロス率測定結果

DL パケットロス率の測定結果を図 5.3.3.3-11 に示す。全測定点で DL パケットロスは発生しなかった。

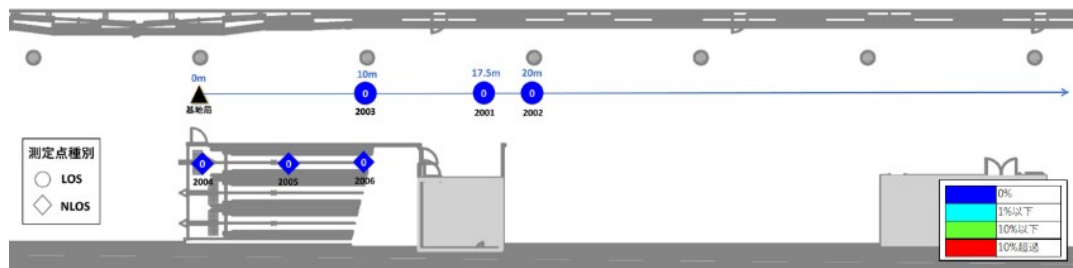


図 5.3.3.3-11 技術実証 2 DL パケットロス(%)

(12) UL パケットロス率測定結果

UL パケットロス率の測定結果を図 5.3.3.3-12 に示す。技術実証 1 とは異なり、測定点 2003 (アンテナとの距離 10[m]) でパケットロスが見られた。また測定点 2006 では特にパケットロス率が高く 22.3 %だった。

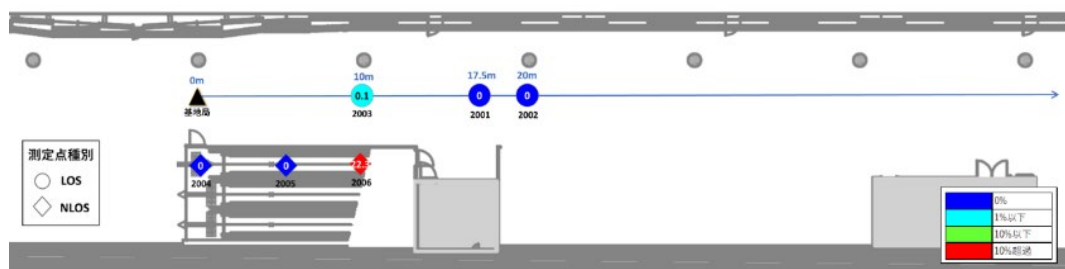


図 5.3.3.3-12 実技術証 2 UL パケットロス率(%)

(13) DL 遅延測定結果

DL 遅延の測定結果の平均値、最大値、最小値をそれぞれ図 5.3.3.3-13、図 5.3.3.3-14、図 5.3.3.3-15 に示す。技術実証 1 と比較すると概ね同じような値を記録した。

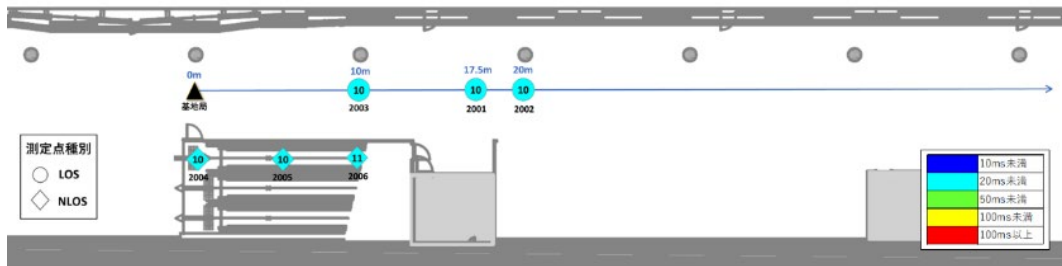


図 5.3.3.3-13 技術実証 2 DL 遅延(平均[ms])

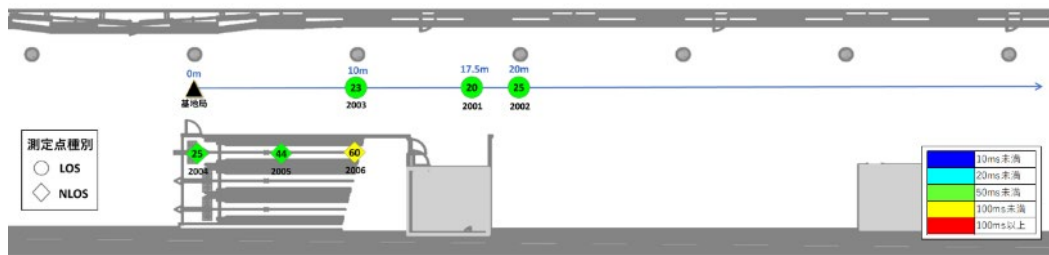


図 5.3.3.3-14 技術実証 2 DL 遅延(最大[ms])

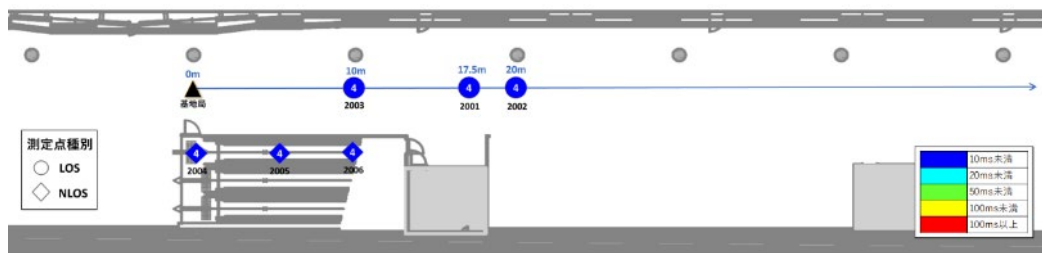


図 5.3.3.3-15 技術実証 2 DL 遅延(最小[ms])

(14) UL 遅延測定結果

UL パケット遅延の平均値、最大値、最小値をそれぞれ図 5.3.3.3-16、図 5.3.3.3-17、図 5.3.3.3-18 に示す。技術実証 1 と比較すると、測定点 2003 においては劣化が見られるものの、他の測定点では概ね同様の結果が得られた。

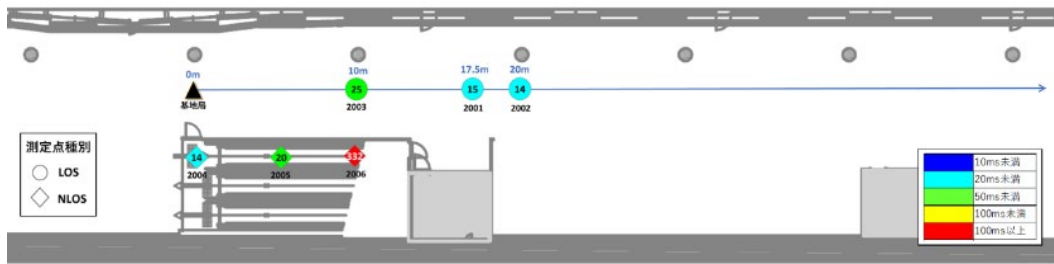


図 5.3.3.3-16 技術実証 2 UL 遅延(平均[ms])

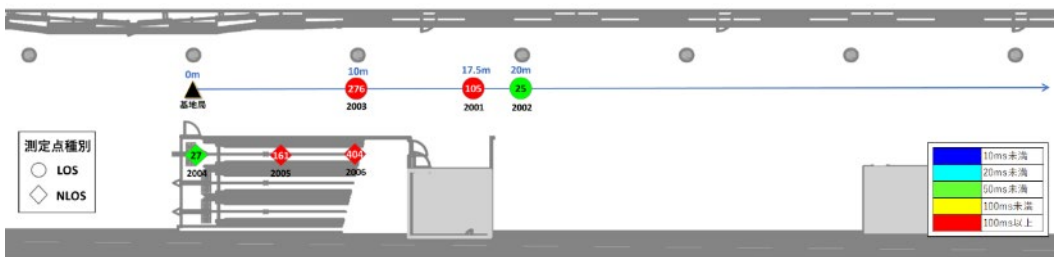


図 5.3.3.3-17 技術実証 2 UL 遅延(最大[ms])

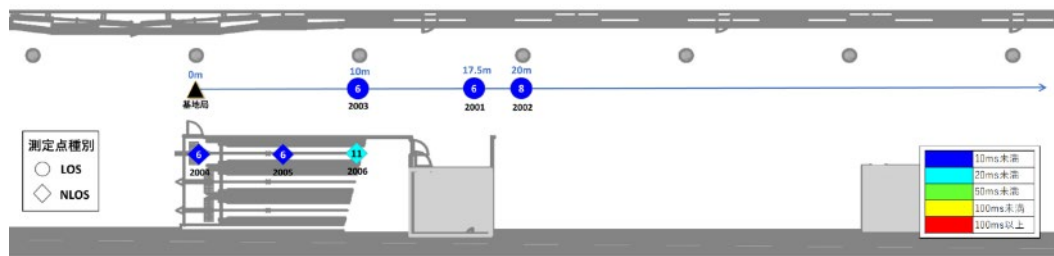


図 5.3.3.3-18 技術実証 2 UL 遅延(最小[ms])

(15) DL ジッタ測定結果

DL ジッタの測定結果を図 5.3.3.3-19 に示す。技術実証 1 と概ね同様の結果が得られた。

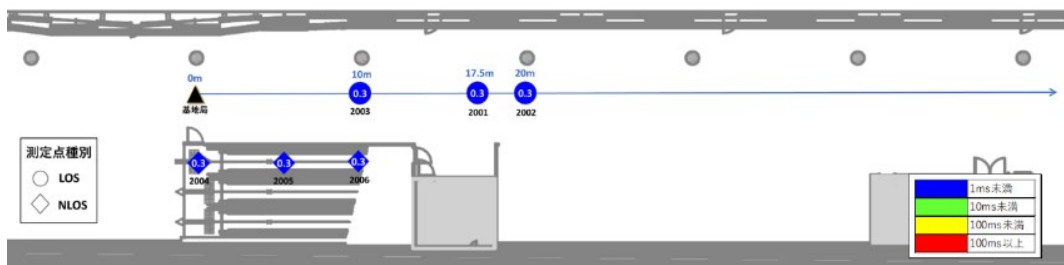


図 5.3.3.3-19 技術実証 2 DL ジッタ(平均[ms])

(16) UL ジッタ測定結果

UL ジッタの測定結果を図 5.3.3.3-20 に示す。技術実証 1 と概ね同様の結果が得られた。

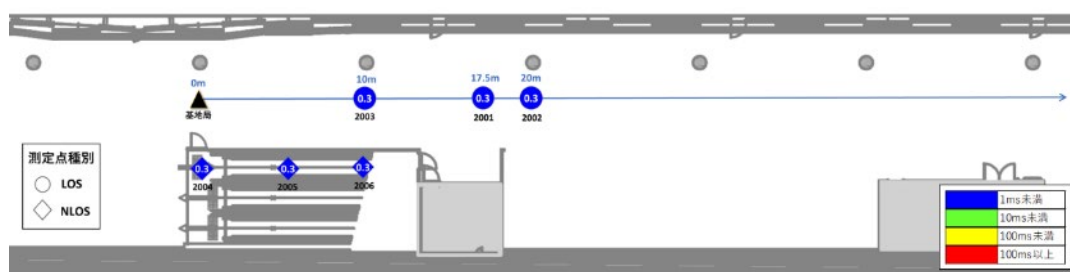


図 5.3.3.3-20 技術実証 2 UL ジッタ(平均[ms])

5.3.3.4 性能評価結果を踏まえた考察

(1) 比較対象とする類似調査のサーベイ結果

トンネル内における多数同時接続通信を実現するための 4.7GHz 帯電波伝搬測定を実施した「多数の端末からの同時接続要求を処理可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」に関する調査検討報告書を技術実証 2 の比較対象とし、アンテナ高を変化させた場合の電波伝搬特性の変化を比較の視点とした。

この類似調査では、北海道余市郡赤井川村の北海道新幹線トンネル内にて、中心周波数 4.845GHz、帯域幅 100MHz の周波数帯で電波伝搬測定を実施している。送信アンテナおよび受信アンテナのアンテナ利得は 2.15[dBi]、水平面内無指向性のオムニアンテナを使用していた。送信アンテナ高として 2.56m、6.3m の 2 種類の高さで測定を行っており、受信アンテナは電測車のルーフトップに設置し、受信アンテナ高は 2.31m にしていた。試験の結果、伝搬損失としては、自由空間伝搬損失より小さくなる、すなわち受信電力が高くなる領域(場所)が存在することがわかった。これはトンネルが工事中だったため、いたるところに重機や看板などが置かれており、それらの反射波の影響だと考えられる。送信アンテナ高 2.56m、6.3m のそれぞれの伝搬損失の測定値と自由空間伝搬損失との誤差を累積確率で確認すると、送信アンテナ高 2.56m の場合は誤差-1.5dB、送信アンテナ高 6.3m の場合は誤差-1.2dB であり、どちらの場合も自由空間伝搬損失とよく一致していることがわかった。

出所)「多数の端末からの同時接続要求を処理可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」、令和 2 年 3 月 31 日、Wireless City Planning 株式会社

(2) 性能評価結果を踏まえた考察

RSRP と SINR、PDSCH MCS と PUSCH MCS、CQI と BLER について、技術実証 1 と技術実証 2 の測定結果を比較したものを、それぞれ図 5.3.3.4-1～図 5.3.3.4-3 に示す。

LOS 環境における RSRP の比較結果を見ると、アンテナ高を 3m から 1m に下げた場合の方が -5dBm ほど高くなっていることがわかる。アンテナ高が低くなったことにより、アンテナと UE が近づいたため RSRP が増加したと考えられる。NLOS 環境においては、アンテナ高 1m、3m とともに同じような値を記録した。アンテナ高を低くしても反射波の場合は伝搬経路が短くなるとは言えないため、ほとんど同じ RSRP になったと考えられる。SINR については技術実証 1 の方が、良い傾向が見られた。PDSCH MCS については差が顕著であり、技術実証 1 の方が良い結果が得られた。PUSCH MCS については技術実証 1 も 2 もほとんど最高値を記録した。これはどちらも 64QAM テーブルが用いられているためであると考えられる。CQI については LOS 環境では技術実証 1 の方が良い結果だが、NLOS 環境については似たような傾向が見られた。また、測定点 1008 (2004) についてはアンテナと UE との間にあった遮蔽物がガラスの薄い扉だけだったため、ほとんど直接波と見なせるため LOS 環境の特性が見られたと考えられる。BLER に関しては、どちらについても全測定点で 10%以下なので、正常に制御できていたと言える。

無線回線の品質に関するパラメータについては技術実証 1 の方が技術実証 2 よりも良い結果が得られた。今回使用したアンテナは屋内用であり天井等への設置が望ましいためアンテナ高を 1m にした場合は、垂直面内指向性が原因で通信品質が劣化した。類似調査では、アンテナ高を変えたことによる電波伝搬特性に大きな変化は見られなかった。これは使用しているアンテナの垂直面内指向性の違いや電波伝搬する空間の違いが原因として考えられる。

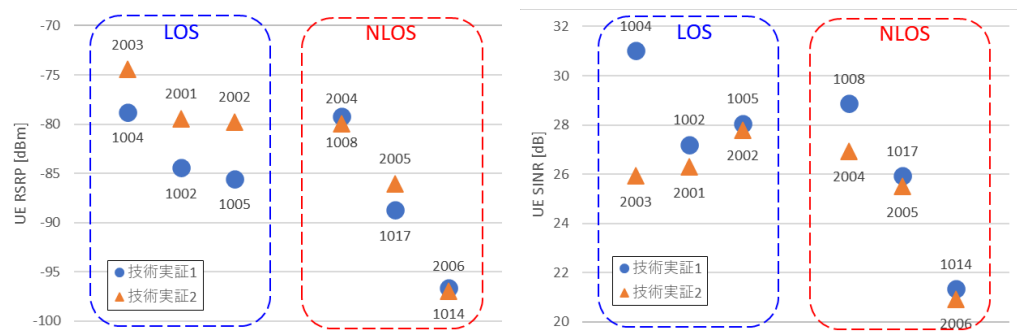


図 5.3.3.4-1 技術実証 1 と技術実証 2 における RSRP 及び SINR の比較

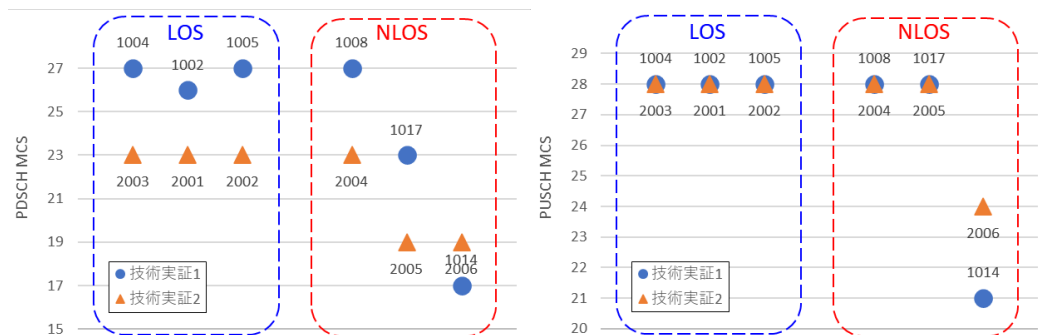


図 5.3.3.4-2 技術実証 1 と技術実証 2 における MCS の比較

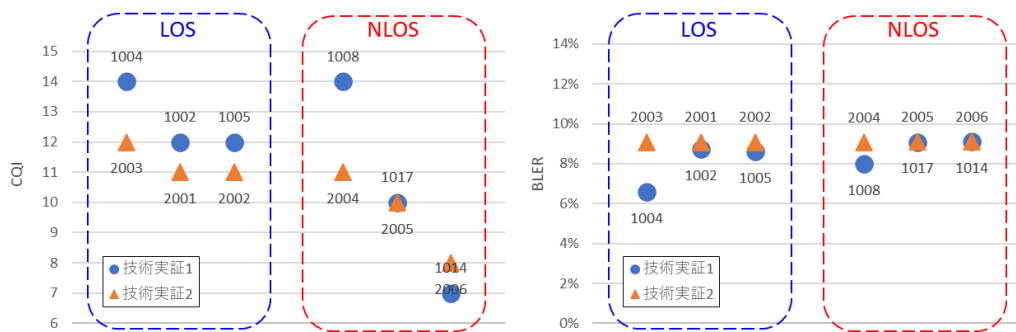


図 5.3.3.4-3 技術実証 1 と技術実証 2 における CQI および BLER の比較

5.3.3.5 技術的課題の解決方策

アンテナ高を変えることによって電波伝搬経路が変化するため、反射、回折、透過の回数が変化する。パケットロスが発生する場所を不感エリアとすると、アンテナ高 1m の場合は、アンテナと UE 間の距離が 10m という比較的近距離かつ LOS 環境で UL のパケットロスが発生している。従って、アンテナ高 1m の場合は、一概に距離だけでは不感エリアの推定ができず、エリアカバーをする上では不相当である。またアンテナ高 3m の場合は、LOS 環境ではアンテナと UE 間の距離が 35m のところまでパケットロス無しで通信できた。不感エリアを減らすためには、今回使用したアンテナが屋内用であり天井等への設置が望ましいことから、本技術実証エリアで取り得る高さのアンテナ高 3m が相当であると考えられる。またアンテナの垂直面内指向性を考慮すると、利用環境においてより高所に設置することが有用と考えられるが、最も有用なアンテナ高については更なる技術的課題として検討する必要がある。

5.3.3.6 更なる技術的課題

技術実証 2 では、アンテナ高を 1m では無く 3m で運用するのが望ましいということがわかったが、設置場所を変更したり、他の駅でのユースケースを想定した場合、天井位置が 3m より低かったり高かったりすることが想定される。アンテナ高のパターンを増やして、通信品質への影響を調査検討する必要があると考えられる。

また他のローカル 5 G システムへの干渉を低減するためにアンテナ高を低くしてカバーエリアを縮小したり、広いエリアで通信品質を確保するためにアンテナ高を高くしてカバーエリアを拡大したりする必要がある。そのために、アンテナ高を変えた時のカバーエリアの変化を測定し、要求するカバーエリアを満たす最適なアンテナ高について検討する必要がある。

5.3.4 技術実証 3(直線移動)

5.3.4.1 評価・検証項目

ドローン端末は統制席に映像転送を行いながら、通常速度(～時速 5km 程度)で被写体を追尾する。その時の映像転送性能は表 5.3.1-1 の性能要件を維持する必要がある。このドローンの追尾特性において、ドローン端末が被写体を追尾していると想定し、直線移動す

る移動体に対する通信性能を評価する。駅ホームの品川側に設置した5G基地から見通し測定点(LOS)と見通し外測定点(NLOS)の2箇所において、警備用ドローンの通常速度(～時速5km程度)でUEを移動させながら、以下4評価項目の測定を行った。なお、UEがアンテナに近づく場合と遠ざかる場合の両方について測定を行った。移動を伴う試験における位置の精度は歩行速度の揺らぎに依存するため正確な言及は困難であり、1割程度の歩行揺らぎ、すなわち20m歩行する試験において1m未満の誤差を目標とした。

- 受信電力の推移
- 伝送スループット(UL)の推移
- 伝送スループット(DL)の推移
- 伝送遅延時間の推移

5.3.4.2 評価・検証方法

(1) 実験環境構成

技術実証3の実験環境構成を図5.3.4.2-1に示す。

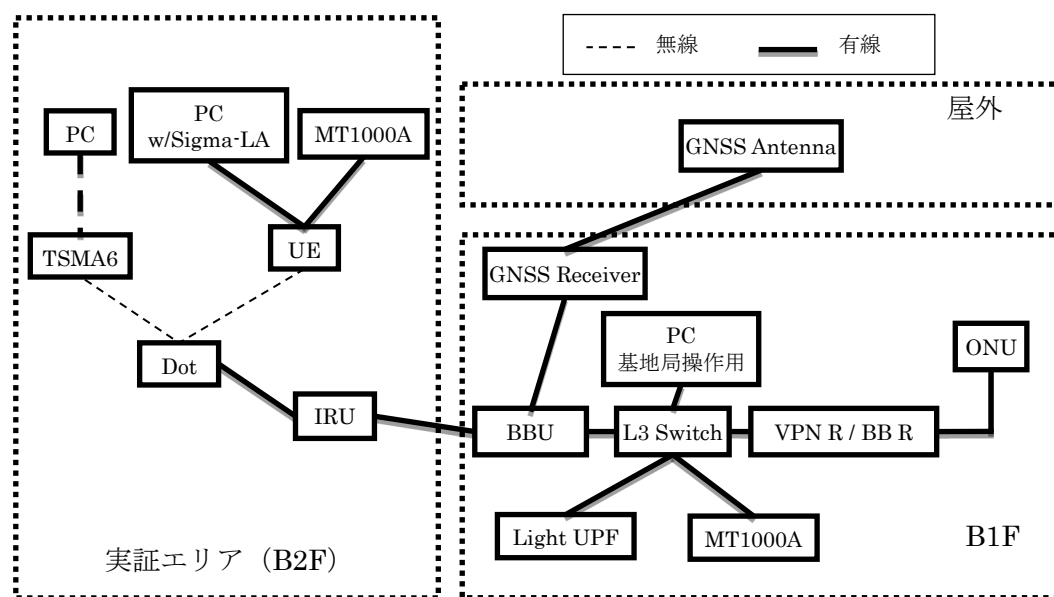


図 5.3.4.2-1 技術実証3の実験環境構成

注)UE…5G陸上移動局、Dot…5Gアンテナ(空中線)、BBU…Baseband装置、L3 Switch…L3 SW、VPN R / BB R…ブロードバンドルータ兼VPN終端装置

(2) 実施方法

実施方法を次に示す。B2Fの測定点を図5.3.4.2-2に示す。

各試験を5回繰り返した。5回の測定値のうち最も高い測定値と最も低い測定値を除い

た3回分の測定値を平均したものを、測定結果として評価する。

- ① トラヒック試験機及び試験用PCの時刻同期を確認する。
- ② 基地局アンテナを図5.3.4.2-2に示す位置に表5.3.4.2-1に示すアンテナ高で設置する。
- ③ 測定機及びトラヒック試験機を表5.3.2.2-3及び表5.3.2.2-6で示される項目が取得できるよう設定する。
- ④ 試験を行う測定点を表5.3.4.2-2から選択する。
- ⑤ UEを当該開始点に移動する。開始点の具体的な位置は図5.3.4.2-2で示される中間点から5m程度線路方向に品川より(遠ざかる場合)、または羽田空港より(近づく場合)に移動する。位置決めの方法は5.1.3.2(2)に従うものとする。
- ⑥ 測定機及びトラヒック試験機の測定を開始する。
- ⑦ 試験で示される方向に対して歩行する。歩行速度はおおむね秒速1.4m(秒間2歩に相当)とし、歩行距離は約10mとする。
- ⑧ 歩行が完了したら測定機及びトラヒック試験機を停止する。
- ⑨ 取得したデータを保存する。
- ⑩ 同一の試験を5回実施するまで手順⑤に戻る。
- ⑪ 必要な測定項目が取り終わるまで、手順④に戻る。

表 5.3.4.2-1 技術実証3 アンテナ高

項目	値
基地局アンテナ高	3m(プラットフォーム基準)
移動局アンテナ高	1m(プラットフォーム基準)

表 5.3.4.2-2 技術実証3 B2F 測定点

項番	見通し	距離	想定	移動速度
3001, 3003, 3005, 3007, 3009	LOS	12.5~22.5m	直接波	近づく方向 1.4m/s
3002, 3004, 3006, 3009, 3010		12.5~22.5m	直接波	遠ざかる方向 1.4m/s
3021, 3023, 3025, 3027, 3029	NLOS	12.5~22.5m	反射波	近づく方向 1.4m/s
3022, 3024, 3026, 3028, 3030		12.5~22.5m	反射波	遠ざかる方向 1.4m/s

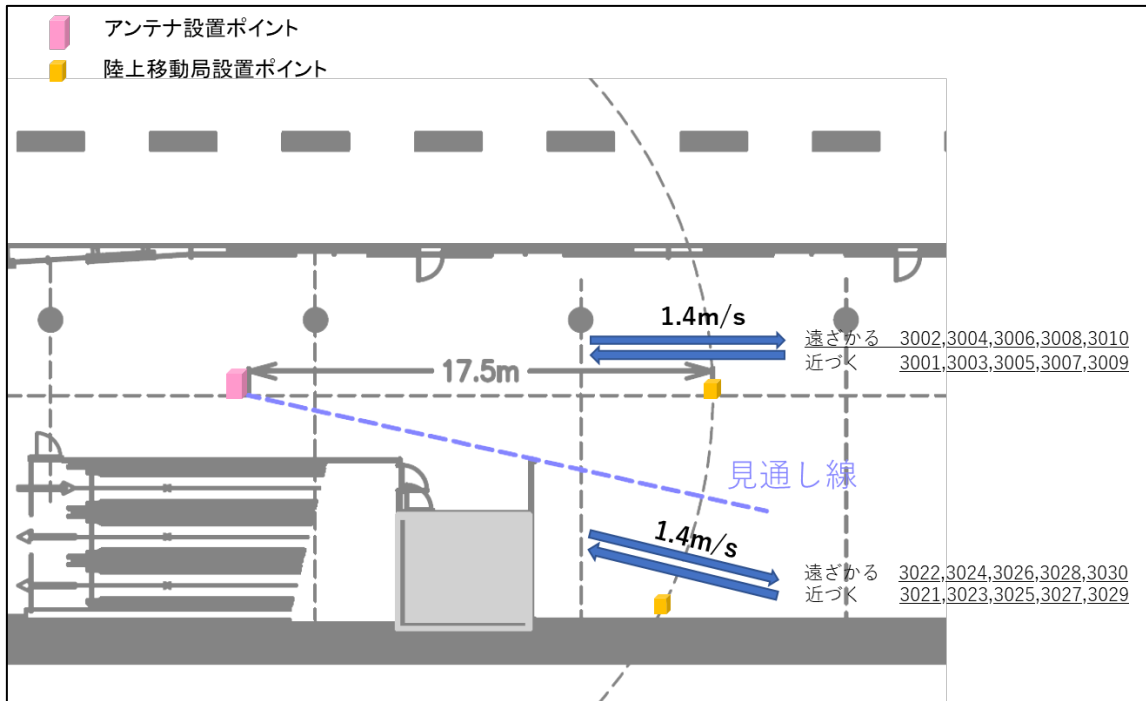


図 5.3.4.2-2 技術実証 3 B2F 測定点

5.3.4.3 性能評価結果

(1) 各指標の時間推移

RSRP、PDSCH MCS、PUSCH MCS、SINR、PDSCH BLER、PUSCH ReTx の測定結果を図 5.3.4.3-1～図 5.3.4.3-6 に示す。経過時刻 0[s]の時が移動範囲の中央を通過した時刻である。

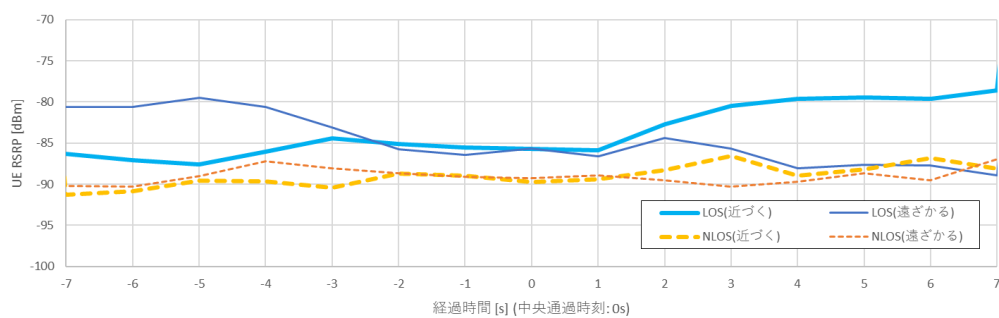


図 5.3.4.3-1 RSRP の時間推移

LOS 環境の RSRP の結果を見ると、アンテナに近づく場合も遠ざかる場合も、距離による測定値の違いはあるが、傾向としては大きな違いは見られなかった。また NLOS 環境では、変動が少なくほとんど一定の傾向が見られた。

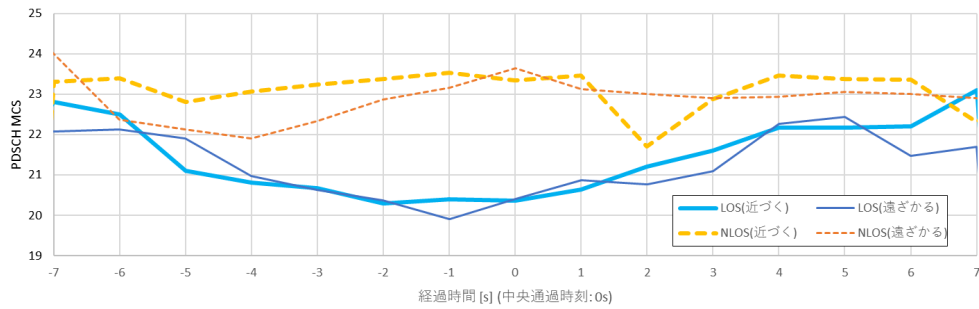


図 5.3.4.3-2 PDSCH MCS の時間推移

PDSCH MCS に関しては、LOS 環境より NLOS 環境の方が良い結果が得られたが、近づく場合と遠ざかる場合で大きな違いは見られなかった。

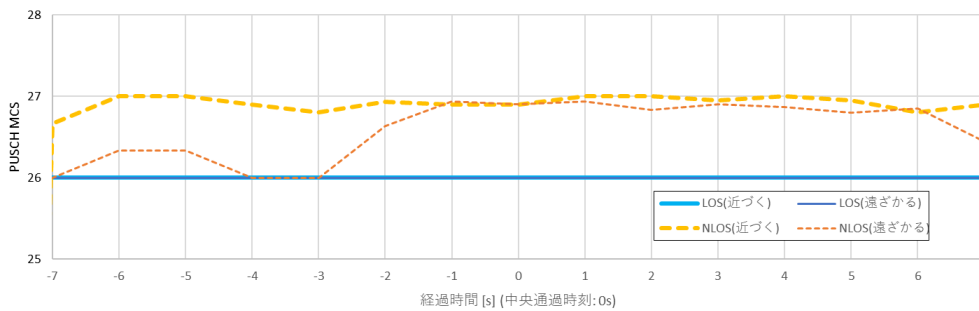


図 5.3.4.3-3 PUSCH MCS の時間推移

PUSCH MCS に関しては一見 NLOS 環境の方が良い結果が得られているように見られるが、LOS 環境の方が安定している。

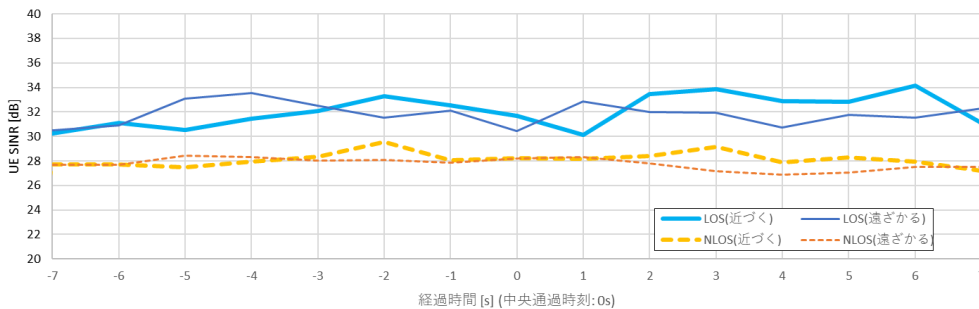


図 5.3.4.3-4 SINR の時間推移

SINR や PUSCH ReTx については、LOS 環境の方が良い結果が得られたが、近づく場合と遠ざかる場合で大きな違いは見られなかった。

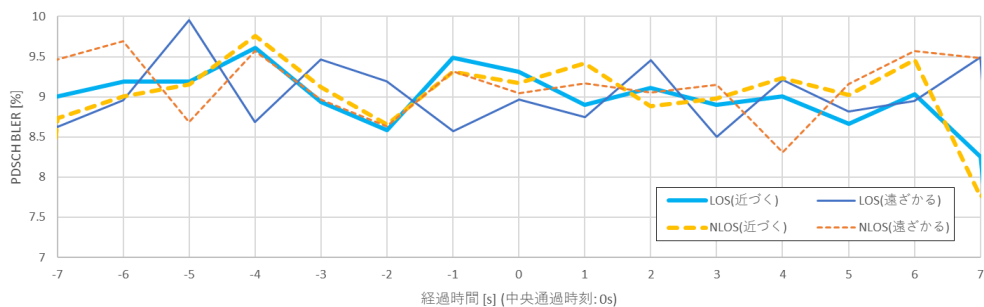


図 5.3.4.3-5 PDSCH BLER の時間推移

PDSCH BLER については、LOS 環境と NLOS 環境、近づく場合と遠ざかる場合の全てで同様の傾向が見られた。

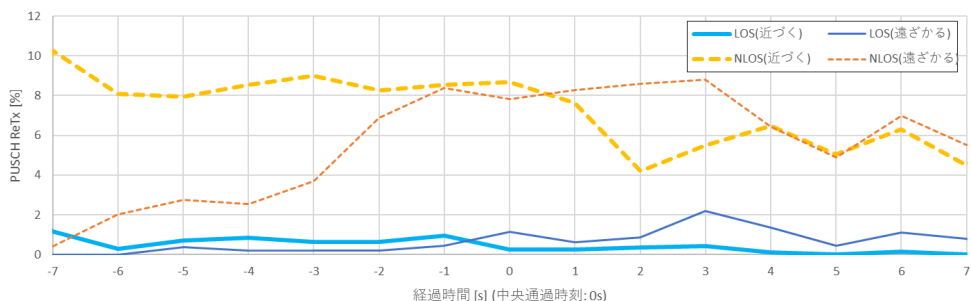


図 5.3.4.3-6 PUSCH Retx の時間推移

DL スループット、UL スループット、DL パケットロス、UL パケットロス、DL 遅延、UL 遅延、DL ジッタ、UL ジッタの測定結果を図 5.3.4.3-7～図 5.3.4.3-16 に示す。

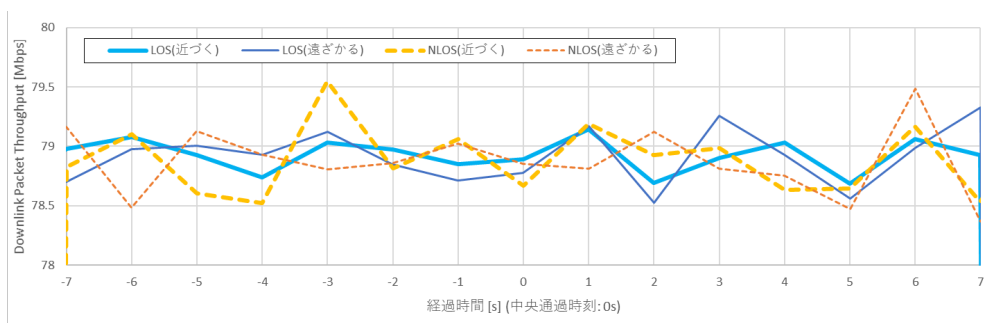


図 5.3.4.3-7 DL スループットの時間推移

DL スループットに関しては、LOS 環境と NLOS 環境、近づく場合と遠ざかる場合の全ての条件で似たような傾向が見られた。

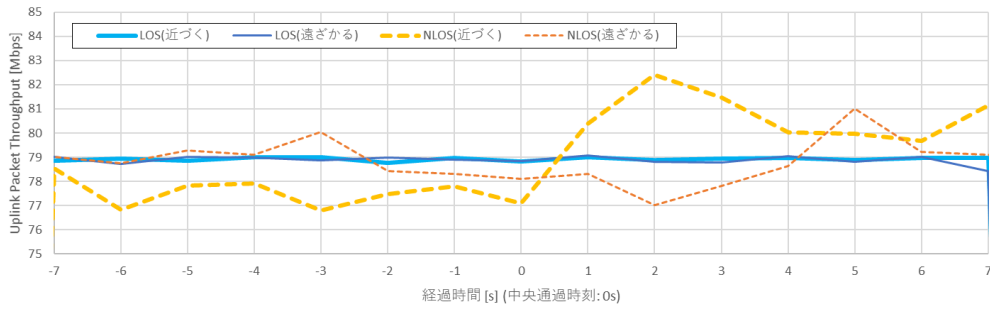


図 5.3.4.3-8 UL スループットの時間推移

UL スループットに関しては、LOS 環境の場合は安定していたが、NLOS 環境の場合は変動が見られた。

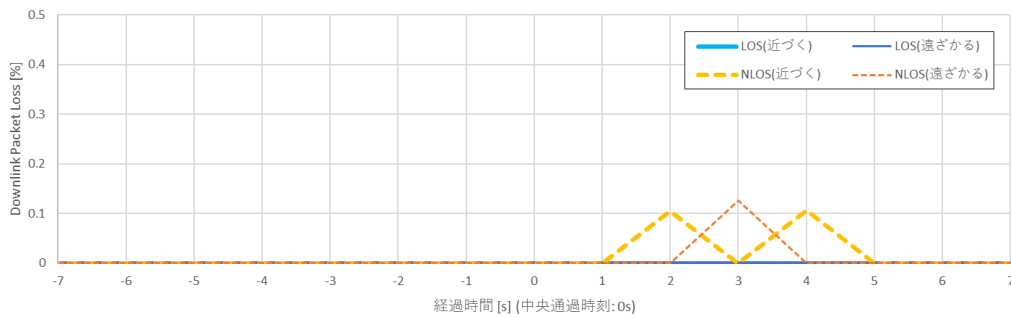


図 5.3.4.3-9 DL パケットロスの時間推移

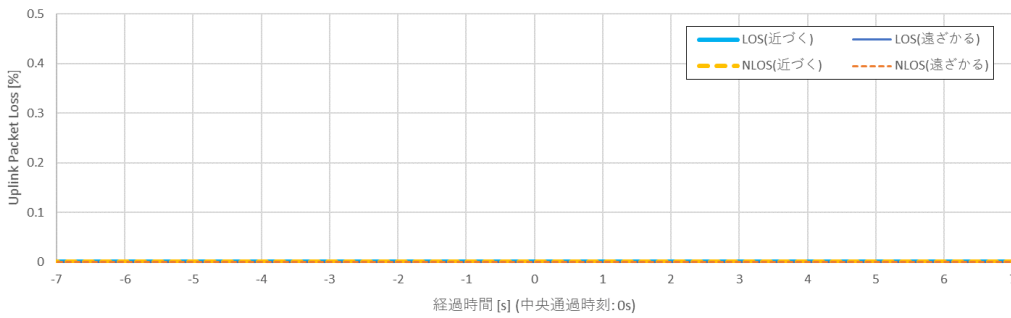


図 5.3.4.3-10 UL パケットロスの時間推移

パケットロスに関しては、NLOS 環境の DL でのみパケットロスが発生した。

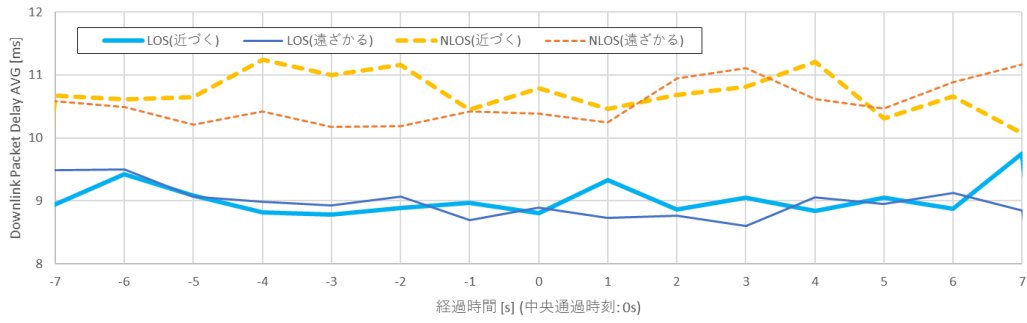


図 5.3.4.3-11 DL 遅延の時間推移(平均[ms])

DL 遅延の平均値に関しては、LOS 環境と NLOS 環境の違いは見られるものの、近づく場合と遠ざかる場合で特に違いは見られなかった。

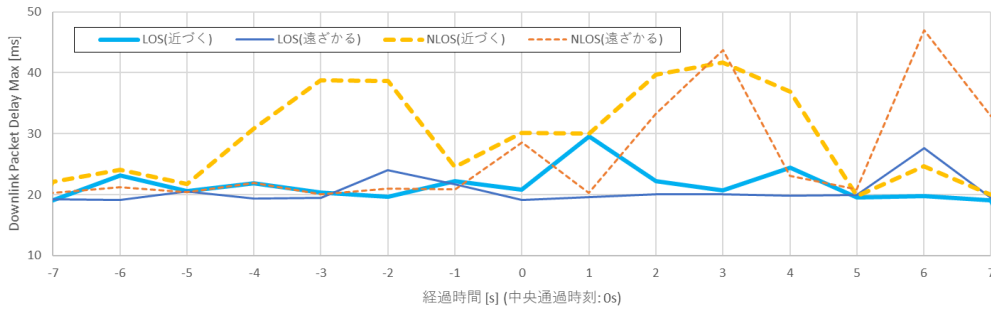


図 5.3.4.3-12 DL 遅延の時間推移(最大[ms])

DL 遅延の最大値に関しては、NLOS 環境では遅延の増加が見られた。

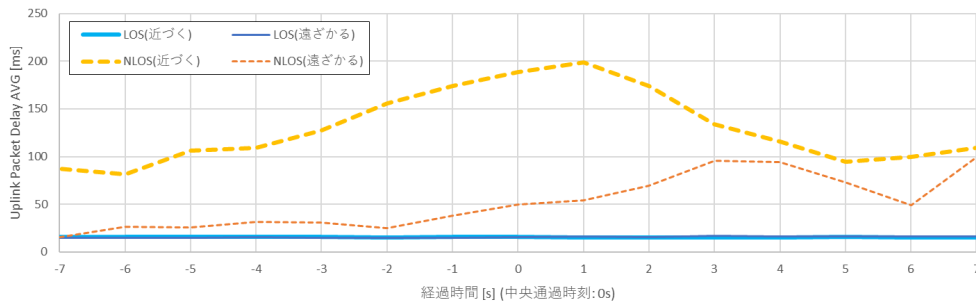


図 5.3.4.3-13 UL 遅延の時間推移(平均[ms])

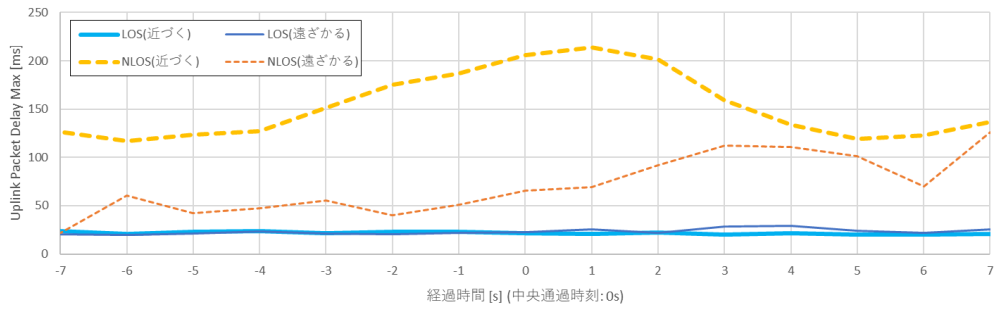


図 5.3.4.3-14 UL 遅延の時間推移(最大[ms])

UL 遅延に関しては、平均値も最大値も同様の傾向が見られ、LOS 環境では低い値で一定だったが、NLOS 環境では遅延の増加が見られ、また近づく場合で最も大きな遅延が見られた。

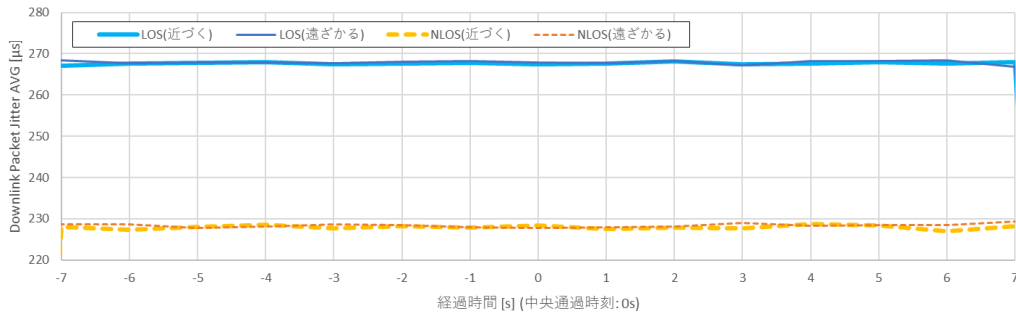


図 5.3.4.3-15 DL ジッタの時間推移

DL ジッタに関しては、どの条件でもほとんど一定値を記録した。

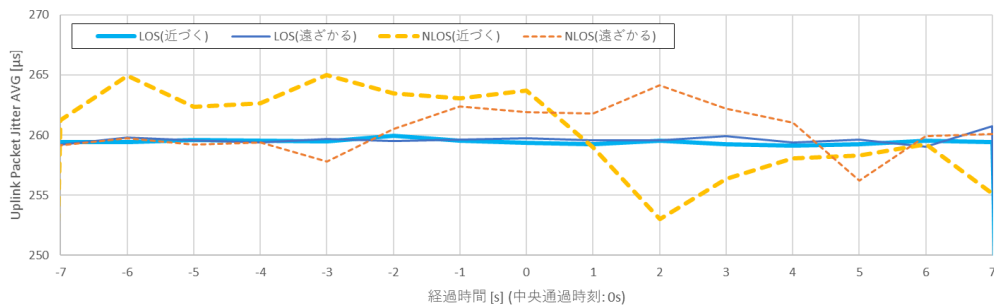


図 5.3.4.3-16 UL ジッタの時間推移

UL ジッタに関しては、NLOS 環境では大きな変動が見られたものの、全体的にジッタは非常に小さいものであった。

5.3.4.4 性能評価結果を踏まえた考察

(1) 比較対象とする類似調査のサーベイ結果

屋内環境における 28GHz 帯の電波伝搬特性の検討を行った「屋内において平均 2Gbps を超える超高速通信を可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」に関する調査検討報告書を技術実証 3 の比較対象とし、UE がアンテナに近づく場合と遠ざかる場合の電波伝搬特性の変化について、4.7GHz 帯と 28GHz 帯の傾向の違いを比較の視点とした。

この類似調査の中で、デンソー九州の北九州工場にて UE を移動させながら連続的な測定により 28GHz 帯の電波を利用した 5G の伝送特性を調査している。工場内には工作機器が存在し、測定点によっては遮蔽物となっている。LOS 環境と NLOS 環境でそれぞれ UE を移動させた場合の測定を実施した。結果として、LOS 環境における RSRP は電波照射範囲に近づくにつれて品質が良くなり、距離が離れるほど下がっていく傾向が見られていた。LOS 環境における SINR は受信レベルが大きすぎることによって生じた無線機の仕様による歪みを除いてはおおむね RSRP と同様の傾向が見られた。NLOS 環境においては、RSRP 及び SINR は局所的に良くなる箇所があるものの全体的にはあまり変動が見られなかった。と報告がされている。

出所)「屋内において平均 2Gbps を超える超高速通信を可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」に関する調査検討報告書、平成 31 年 3 月、株式会社国際電気通信基礎技術研究所

(2) 性能評価結果を踏まえた考察

技術実証 3 において LOS 環境ではパケットロスもなく、また RSRP についても良好な値を記録した。また、スループットについては UL も DL も安定しており遅延時間も低い値で安定していた。従ってドローンの直線移動を想定した場合、通信品質に与える影響はほとんど無いものと考えられる。また UE がアンテナに近づいたり遠ざかったりした場合でも、それぞれ大きな違いは見られなかったことから、ドローンが監視対象を追尾するため近づくとき、また追尾している監視対象が移動してドローンから遠ざかったときにも通信品質に与える影響はほとんど無いものと考えられる。

また NLOS 環境では、RSRP は -90 [dB]あたりを記録しているものの、近づく場合も遠ざかる場合も DL パケットロスが発生した。これは技術実証 1 と同様に NLOS 環境であることが原因であるため、UE が移動したことによる通信品質への影響はほとんどないと考えられる。類似調査では移動局が移動した場合、アンテナと UE の距離や周囲の遮蔽物等の影響があったものの、移動したことによる通信品質の劣化は特に見られなかった。本技術実証と類似調査では使用している周波数帯がそれぞれ 4.7GHz 帯と 28GHz 帯という違いはあるものの、測定結果については同様の傾向が見られた。

5.3.4.5 技術的課題の解決方策

ドローンが直線移動した場合の通信品質への影響はほとんどないことがわかったが、NLOS 環境ではパケットロスが発生しており、パケットロスにシビアなアプリケーションに対するエリア全体の性能を高めるためには可能な限り LOS 環境エリアでカバーすることが好ましいといえる。解決方策としては、遮蔽物により NLOS 環境となる場所にアンテナを追加設置することが考えられる。

5.3.4.6 更なる技術的課題

技術実証 3 ではドローンが直線移動することを想定して実証を行ったが、ドローンの高度が変化した場合はアンテナとドローン間の電波伝搬経路が変わるため、通信品質に影響を及ぼす可能性がある。また、アンテナ側とドローン側のそれぞれのアンテナの垂直面内指向性による影響も考えられる。従って、ドローンの高度を変化させた場合の通信品質への影響について、測定結果を用いて評価・検討する必要があると考えられる。また今回は警備用ドローンの通常速度（～時速 5km 程度）を想定した技術実証を行ったが、通信品質への影響はほとんど見られなかった。技術実証 3 は各試験の測定時間が短く、定量的な評価は難しいものの、これは、マルチパスフェージングにより受信電力が落ちる瞬間があったとしても、移動することによりすぐにそのタイミングを抜け出せるからと考えられる。従って、移動速度がさらに遅くなった場合は、マルチパスフェージングにより受信電力の低い信号を受信するタイミングが長く続き通信品質が劣化する可能性があると考えられるため、移動速度が遅くなったことによる通信品質への影響を測定し、評価・検討する必要がある。

5.3.5 技術実証 4(ハンドオーバ)

5.3.5.1 評価・検証項目

ハンドオーバ時の通信性能を評価した。駅ホームの品川側と羽田空港側のそれぞれにアンテナを設置し、その間で UE を移動させることによりハンドオーバを発生させる。UE を移動させている間、下記 4 評価項目の推移を測定した。

なお移動を伴う試験における位置の精度は歩行速度の揺らぎに依存し正確な言及は困難であるため、1 割程度の歩行揺らぎ、すなわち 20m 歩行する試験において 1m 未満の誤差を目標とした。

- 受信電力の推移
- 伝送スループット (UL) の推移
- 伝送スループット (DL) の推移
- 伝送遅延時間の推移

5.3.5.2 評価・検証方法

(1) 実験環境構成

技術実証 4 の実験環境構成を図 5.3.5.2-1 に示す。

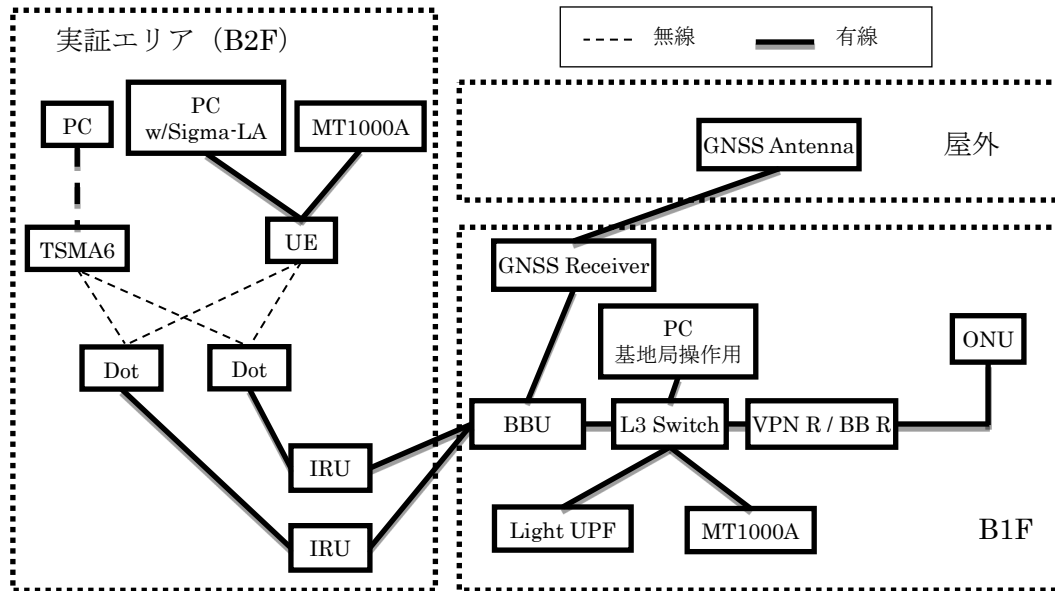


図 5.3.5.2-1 技術実証 4 の実験環境構成

注)UE… 5 G 陸上移動局、Dot… 5 G アンテナ(空中線)、BBU…Baseband 装置、L3 Switch…L3 SW、VPN R / BB R…ブロードバンドルータ兼 VPN 終端装置

(2) ハンドオーバーの確認

ハンドオーバーが実行されると接続先のセクタが変更される。よって信号品質に関する表 5.3.2.2-3 の KPI に加えて表 5.3.5.2-1 に示す KPI も測定対象とした。またハンドオーバーはセッションが確立しトラフィックが存在する状態で成立した。よってセッションが確立していることや、ハンドオーバーが正しく成立したことを確認するために表 5.3.5.2-2 に示すプロトコルのメッセージも記録の対象とした。ハンドオーバーが正常に成立したことを確認するために事前にセッションが成立していること、SSC モードが 1 であったことを確認した。その上で PCI が変化した時点で RRC Reconfiguration によりハンドオーバーが成立したことをシグナリングから確認した。この様子を図 5.3.5.2-2 及び図 5.3.5.2-3 に示す。またその時にトラフィックにロスがないことを確認した。

表 5.3.5.2-1 ハンドオーバー測定対象 KPI

測定項目	種類	ソース	説明
NR PCell PCI	瞬時値	UE	接続先基地局の識別子
NR PCell SSB Index	瞬時値	UE	接続先基地局のビーム番号

表 5.3.5.2-2 ハンドオーバー確認対象プロトコル

取得プロトコル	ソース	説明
RRC	UE	無線制御プロトコル
PDU Session User Plane	UE	セッション制御プロトコル

The screenshot displays a protocol analyzer window titled 'プロトコル メッセージ: SigmaLA_2021_01_16_01_17_28-4001-LA.siz'. The left pane shows a list of messages:

Time	Mode	Channel	Direction	Type	Details
01:18:07.341	NRS5	UL DCCH	UL	measurementReport	
01:18:07.360	NRS5	DL DCCH	DL	rrcReconfiguration	
01:18:07.399	NRS5	UL DCCH	UL	rrcReconfigurationComplete	
01:18:07.435	NRS5	BCCH DL SCH	DL	systemInformationBlockType1	
01:18:07.653	NRS5	BCCH BCH	DL	mib	
01:18:07.675	NRS5	BCCH DL SCH	DL	systemInformationBlockType1	

The right pane shows the detailed structure of the RRC Reconfiguration message:

```

DL_DCCH_Message
├─ message
│ └─ c1
│   └─ rrcReconfiguration
│     └─ criticalExtensions
│         └─ rrcReconfiguration
│             └─ radioBearerConfig
│                 └─ measConfig
│                     └─ nonCriticalExtension
│                         └─ masterCellGroup
│                             └─ cellGroupId = 0
│                                 └─ rrc_BearerToAddModList0
│                                     └─ rrc_BearerToAddModList1
│                                         └─ rrc_BearerToAddModList2
│                                             └─ mac_CellGroupConfig
│                                                 └─ physicalCellGroupConfig
│                                                     └─ spCellConfig
│                                                         └─ servCellIndex = 0
│                                                             └─ reconfigurationWithSync
│                                                                 └─ spCellConfigCommon
│                                                                     └─ physCellId = 720
│                                                                         └─ downlinkConfigCommon
│                                                                             └─ frequencyInfoDL

```

図 5.3.5.2-2 RRC Reconfiguration の例

The screenshot shows a protocol message analysis window titled 'プロトコルメッセージ: SigmaLA_2021_01_16_01_17_28-4001-LA.sigz'. The window has a toolbar with various icons and a dropdown menu set to 'phone'. Below the toolbar is a table with columns: Time, Mode, Channel, Direction, Type, and Details. The table contains several rows, with the row for '01:18:07.399' highlighted in blue. To the right of the table is a detailed view of the selected message, showing a tree structure of the message content.

Time	Mode	Channel	Direction	Type	Details
01:18:07.341	NR5G	UL DCCH	UL	measurementReport	
01:18:07.360	NR5G	DL DCCH	DL	rrcReconfiguration	
01:18:07.399	NR5G	UL DCCH	UL	rrcReconfigurationComplete	
01:18:07.435	NR5G	BCCH DL SCH	DL	systemInformationBlockType1	
01:18:07.653	NR5G	BCCH BCH	DL	mib	
01:18:07.675	NR5G	BCCH DL SCH	DL	systemInformationBlockType1	

The detailed view on the right shows the following structure:

```

0800
├─ UL_DCCH_Message
│  └─ message
│     └─ c1
│        └─ rrcReconfigurationComplete
│           └─ rrc_TransactionIdentifier = 0
│              └─ criticalExtensions
│                 └─ rrcReconfigurationComplete

```

図 5.3.5.2-3 RRC Reconfiguration Complete の例

(3) 実施方法

実施方法を次に示す。B2F の測定点について、LOS 測定点と NLOS 測定点をそれぞれ図 5.3.5.2-4、図 5.3.5.2-5 に示す。またアンテナ設置環境を LOS 環境の場合と NLOS 環境の場合をそれぞれ図 5.3.5.2-6、図 5.3.5.2-7 に示す。なお NLOS 環境の測定については、移動範囲を NLOS 環境にするためにアンテナの設置位置を LOS 環境の測定から変更した。またその際のアンテナ設置位置の天井高が 3m 未満であったため、アンテナ高として取り得る最大値の 2.7m をアンテナ高とした。

各試験を 5 回繰り返した。5 回の測定値のうち最も高い測定値と最も低い測定値を除いた 3 回分の測定値を平均したものを、測定結果として評価した。

- ① トラヒック試験機及び試験用 PC の時刻同期を確認する。
- ② 異なる IRU に収容されているアンテナ 2 つを図 5.3.5.2-4 に示す位置に表 5.3.5.2-1 に示すアンテナ高で設置する。
- ③ 測定機及びトラヒック試験機を表 5.3.2.2-3、表 5.3.2.2-6、表 5.3.5.2-1、表 5.3.5.2-2 で示される項目が取得できるように設定する。
- ④ 試験を行う試験点を表 5.3.5.2-4 から選択する。
- ⑤ UE を当該開始点に移動する。開始点の具体的な位置は図 5.3.5.2-4 で示される中間点から 10m 程度線路方向に品川より、または羽田空港よりに移動する。位置決めの方法は 5.1.3.2 (2) に従うものとする。
- ⑥ 測定機及びトラヒック試験機の測定を開始する。
- ⑦ 試験で示される方向に対して歩行する。歩行速度は秒速約 1.4m(秒間 2 歩に相当)であり、歩行距離は約 20m とする。
- ⑧ 歩行が完了したら測定機及びトラヒック試験機を停止する。
- ⑨ 取得したデータを保存する。
- ⑩ 同一の試験を 5 回実施するまで手順⑤に戻る。ただし続く試験は逆方向に行うものとする。
- ⑪ 試験を尽くしていなければ手順④に戻る。



図 5.3.5.2-7 技術実証 4 アンテナ設置環境 (NLOS 環境)

5.3.5.3 性能評価結果

(1) LOS 環境でのハンドオーバー結果

LOS 環境におけるハンドオーバー時の RSRP、SS-SINR 及び RSRQ、MCS、BLER の時間推移をそれぞれ図 5.3.5.3-1～図 5.3.5.3-4 に示す。いずれの図においてもアンテナ間の中間点を通じたのはおよそ経過時間軸における-5[s]時点であり、また経過時間軸の 0[s] 時点がハンドオーバーポイントである。

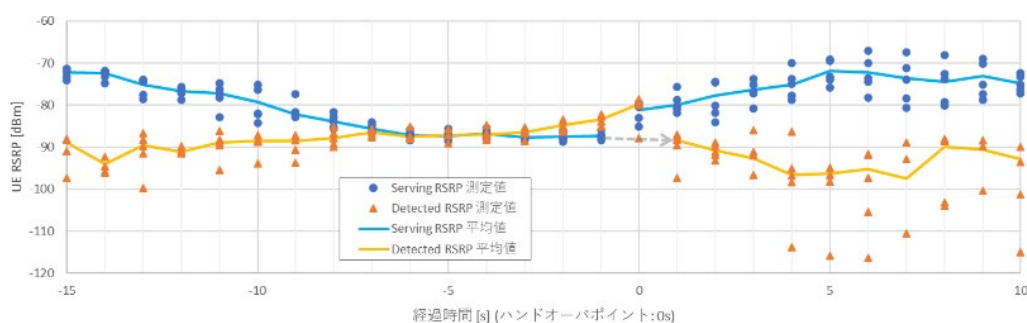


図 5.3.5.3-1 LOS 環境ハンドオーバー時の RSRP の推移

図 5.3.5.3-1 から各 RSRP はアンテナからの距離に応じて減少または増加しており、Serving と Detected の交差点では依然としてハンドオーバーはなされず、その後 5 秒程度経過した後にハンドオーバーしていることが見て取れる。

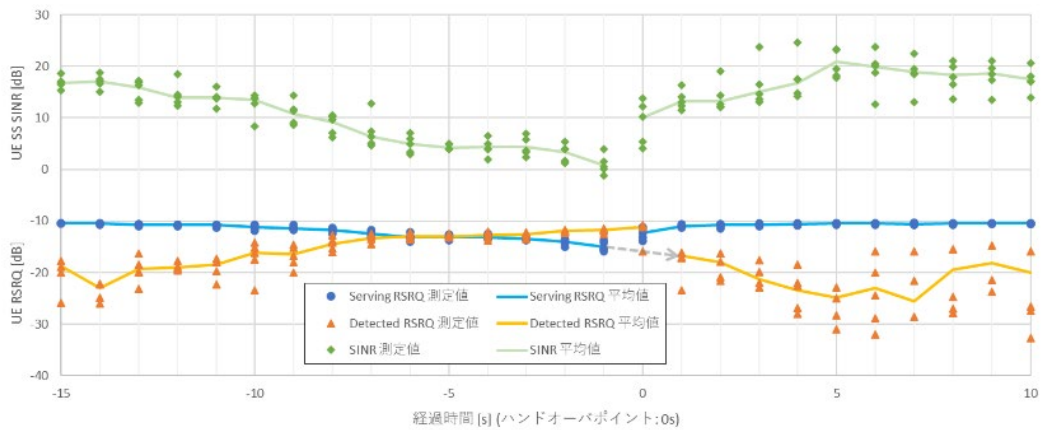


図 5.3.5.3-2 LOS 環境ハンドオーバー時の SS-SINR 及び RSRQ の推移

図 5.3.5.3-2 によると SS-SINR に関しては、0[dB]になった次のタイミングでハンドオーバーしているため本システムの挙動としては SS-SINR が 0[dB]になったらハンドオーバーしているように見える。RSRQ に関しては RSRP と同じ傾向が見られる。

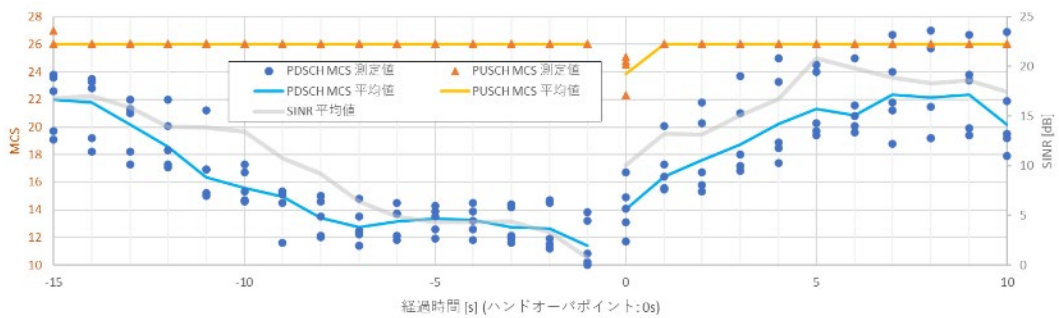


図 5.3.5.3-3 LOS 環境ハンドオーバー時の MCS の推移

図 5.3.5.3-3 から MCS に関しては、PUSCH MCS はほとんど 26 であるのに対して、PDSCH MCS はハンドオーバーポイントに近づくにつれて、つまり双方のアンテナの中間地点に近づくにつれて大きな劣化傾向が見られる。また図 5.3.5.3-4 から PDSCH MCS の劣化している中でも BLER が継続して 10%付近を保っていることから、単に同期信号において SINR が劣化しているだけでなく、UE において実際に PDSCH 信号が劣化していると判断できる。

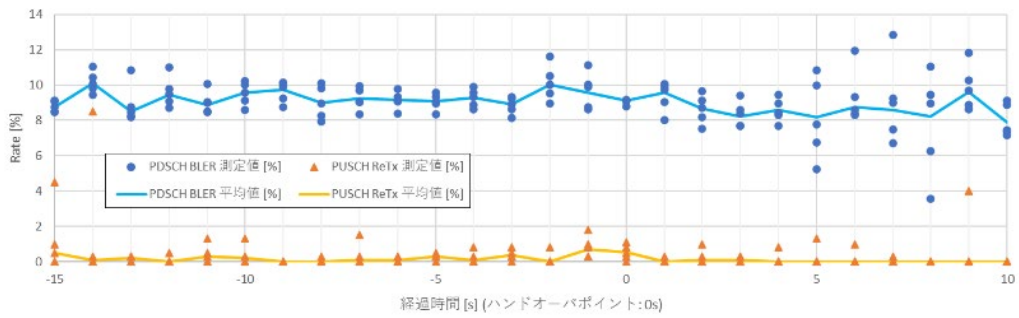


図 5.3.5.3-4 LOS 環境ハンドオーバー時の BLER の推移

LOS 環境におけるハンドオーバー時のスループット、パケットロス、DL 遅延、UL 遅延、ジッタの時間推移をそれぞれ図 5.3.5.3-5～図 5.3.5.3-9 に示す。これらも同様にアンテナ間の中間点を通じたのはおよそ経過時間軸における -5[s] 時点であり、また経過時間軸の 0[s] 時点がハンドオーバーポイントである。

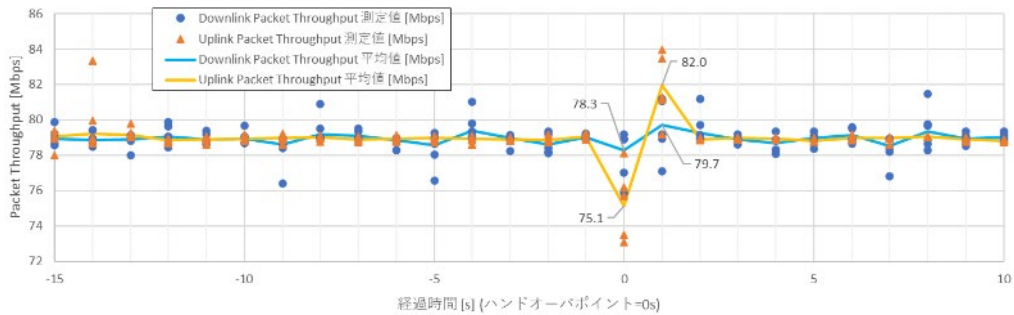


図 5.3.5.3-5 LOS 環境ハンドオーバー時のスループットの推移

スループットに関しては 80[Mbps] のトラフィックを印加して測定を行った。図 5.3.5.3-5 によると UL のスループットはハンドオーバー時に一時的ながら有意に低下し、その後 80[Mbps] を上回って増加していることが分かる。この高低差は 7Mbps にも及んでいる。よって何らかのバッファリングが生じたと考えられる。

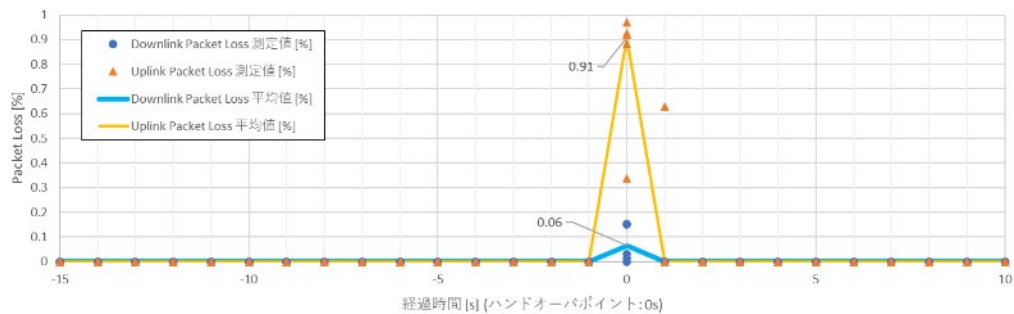


図 5.3.5.3-6 LOS 環境ハンドオーバー時のパケットロスの推移

図 5.3.5.3-6 からハンドオーバー時に UL では 0.91[%]、DL では約 0.06[%]、それぞれパケットロスが発生した。これらのロスが一定時間にわたるトラフィック断として起こったと

仮定すると、時間にして UL ではおよそ 10[ms]、DL ではおよそ 0.5[ms]の断があったことに相当する。

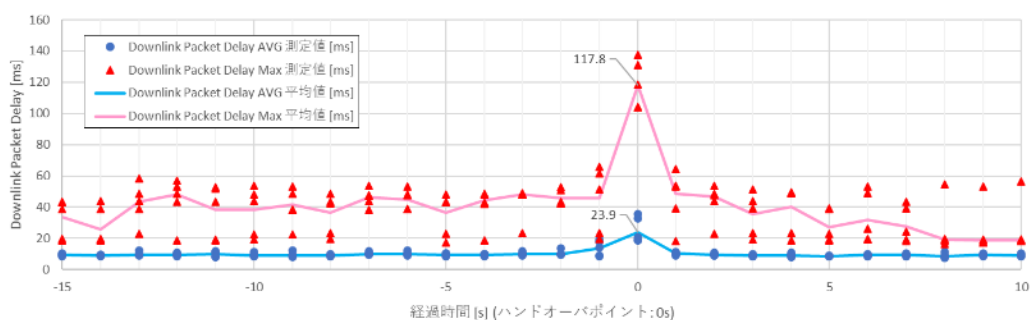


図 5.3.5.3-7 LOS 環境ハンドオーバ時の DL 遅延の推移

遅延に関しては、UL 及び DL ともにハンドオーバ時に遅延が増加している。

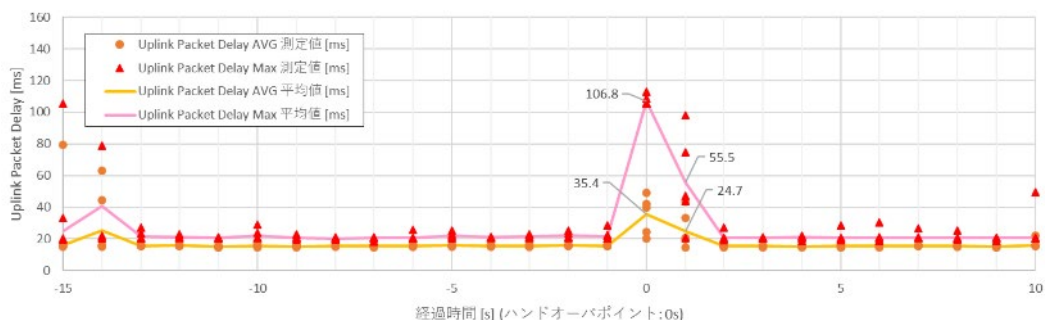


図 5.3.5.3-8 LOS 環境ハンドオーバ時の UL 遅延の推移

ジッタに関しては、UL のジッタはハンドオーバ時とその直後に増減がみられ、DL のジッタは全体的にほとんど一定の傾向が見られた。

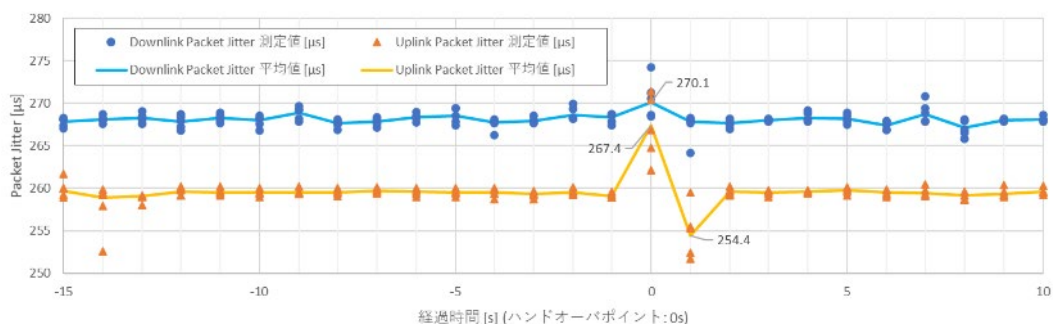


図 5.3.5.3-9 LOS 環境ハンドオーバ時のジッタの推移

(2) NLOS 環境でのハンドオーバ結果

NLOS 環境におけるハンドオーバ時の RSRP、SS-SINR および RSRQ、MCS、BLER の時間推移をそれぞれ図 5.3.5.3-10～図 5.3.5.3-13 に示す。アンテナ間の中間点を通過し

たのはおよそ経過時間軸における-5[s]時点であり、また経過時間軸の 0[s]時点がハンドオーバーポイントである。

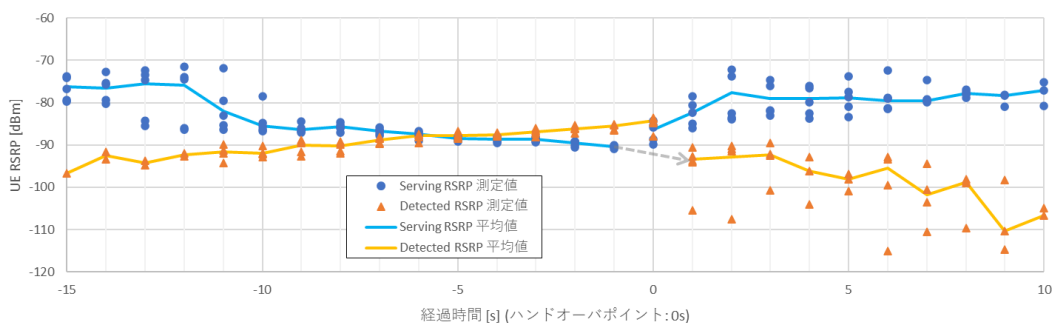


図 5.3.5.3-10 NLOS 環境ハンドオーバー時の RSRP の推移

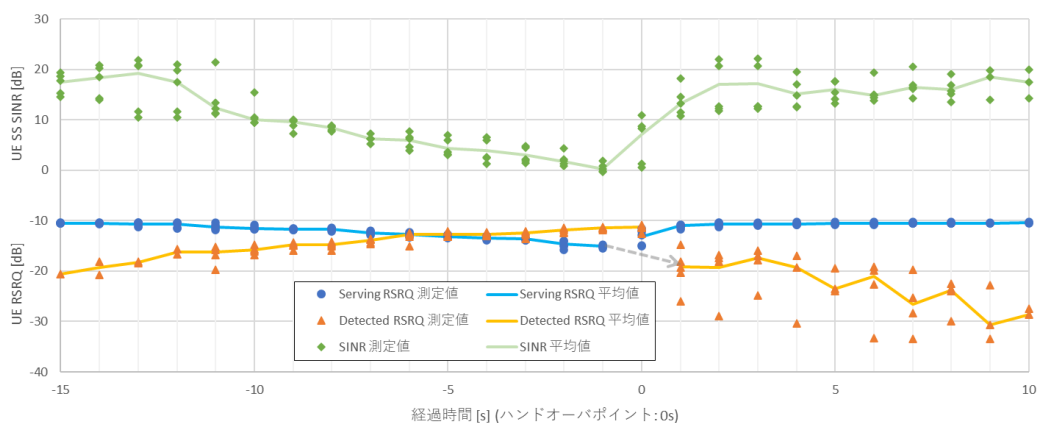


図 5.3.5.3-11 NLOS 環境ハンドオーバー時の SS-SINR および RSRQ の推移

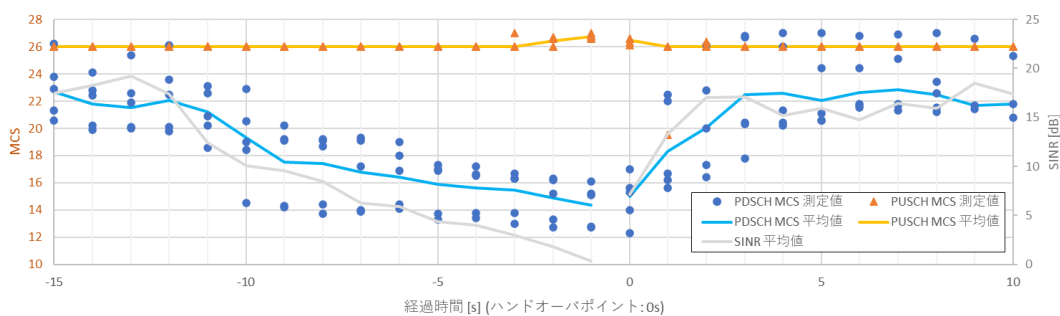


図 5.3.5.3-12 NLOS 環境ハンドオーバー時の MCS の推移

RSRP、SS-SINR、RSRQ、MCSに関しては、LOSの場合と同様の傾向があることが確認できた。

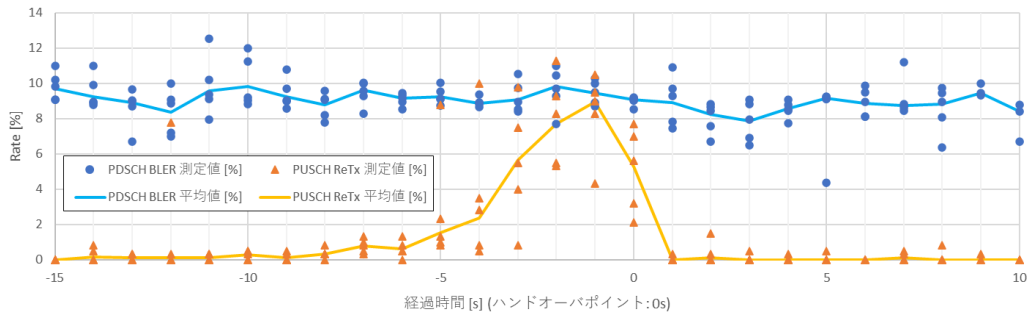


図 5.3.5.3-13 NLOS 環境ハンドオーバー時の BLER の推移

BLER に関しても同様の傾向が見られるが、PUSCH ReTX に関しては LOS の場合は 2[%]以内に収まっていたが、NLOS 環境においては信号の劣化のためか 8[%]を超えるポイントがあった。

NLOS 環境におけるハンドオーバー時のスループット、パケットロス、DL 遅延、UL 遅延、ジッタの時間推移をそれぞれ図 5.3.5.3-14～図 5.3.5.3-18 に示す。アンテナ間の中間点を通過したのは経過時間軸においておよそ-5[s]時点であり、また経過時間軸の 0[s]時点がハンドオーバーポイントである。

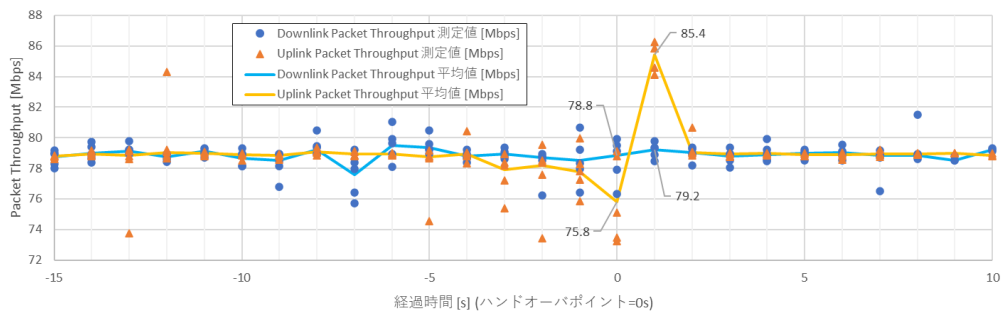


図 5.3.5.3-14 NLOS 環境ハンドオーバー時のスループットの推移

スループットに関しては 80[Mbps]のトラフィックを印加して測定を行った。LOS 環境の場合と比較すると、ULスループットはハンドオーバー時とその直後の瞬時的な変動が大きくなった。

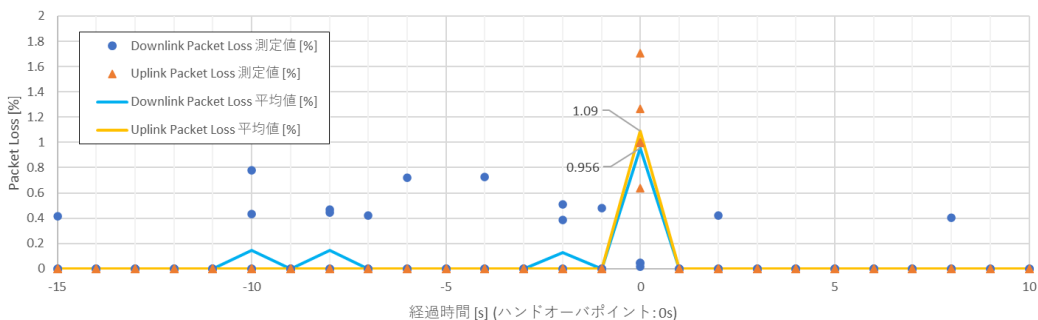


図 5.3.5.3-15 NLOS 環境ハンドオーバー時のパケットロスの推移

パケットロスに関しては、ハンドオーバー時に UL では 1.09[%]、DL では約 0.956[%]、それぞれパケットロスが発生した。LOS 環境の場合と比較すると、特に DL パケットロスの増加が見られた。

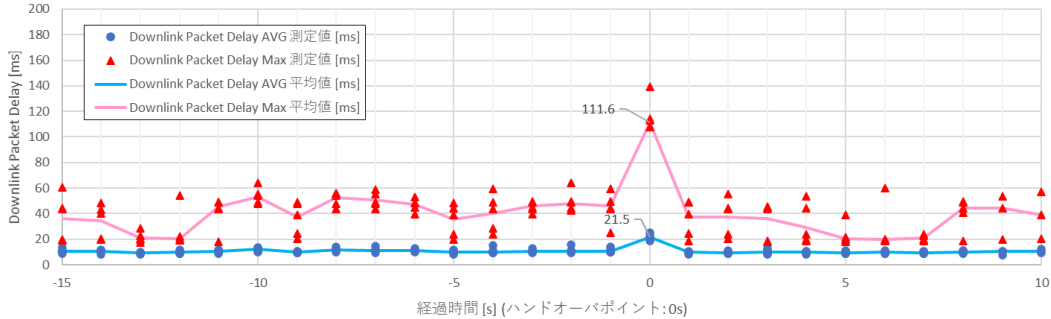


図 5.3.5.3-16 NLOS 環境ハンドオーバー時の DL 遅延の推移

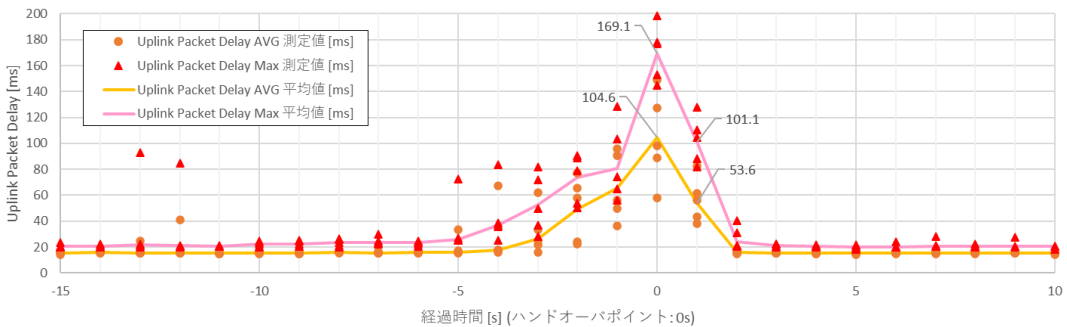


図 5.3.5.3-17 NLOS 環境ハンドオーバー時の UL 遅延の推移

遅延に関しては、UL 及び DL ともにハンドオーバー時に遅延が発生している。LOS 環境の場合と比較すると、特に UL 遅延が増加していることがわかった。

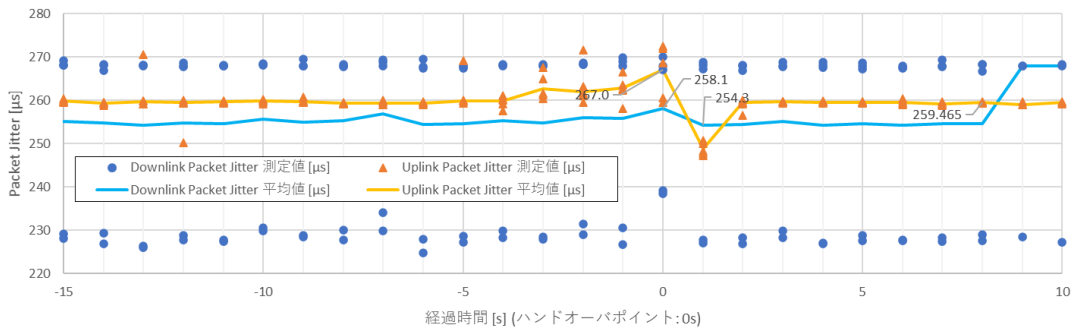


図 5.3.5.3-18 NLOS 環境ハンドオーバー時のジッタの推移

ジッタに関しては、UL ジッタは LOS 環境の場合と同様にハンドオーバー時とその直後に増減がみられ、DL ジッタも LOS 環境の場合と同様の傾向が見られるが全体的にジッタが小さくなった。

5.3.5.4 性能評価結果を踏まえた考察

(1) 比較対象とする類似調査のサーベイ結果

都市またはルーラル環境における時速 60km-120km のユーザ端末移動時の 28GHz 帯を用いた高速通信に関する 5G の性能評価を行った「高速移動時において平均 1Gbps を超える高速通信を可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件に関する調査検討の請負」を技術実証 4 の比較対象とし、通信性能を劣化させることなくハンドオーバーを行えるかどうかを比較の視点とした。

この類似調査では 28GHz 帯 5G 無線装置を用いて、東武スカイツリーラインにて、線路沿いに 2 つの基地局装置を配置し、UE を運転台に設置することで 5G 伝送を実施している。無線伝送試験では、時速 90km で高速移動中に 2 基地局間のハンドオーバーに成功している。

また、JR 京都線にて行った試験では、線路沿いの 600m 区間に 4 つの基地局装置を配置し、特急こうのりの客室窓側に UE を配置することで 5G 伝送を行っており、4 つの基地局装置全ての間で途切れのないハンドオーバーを試みているが成功しなかった。成功しなかった原因として高速移動環境であることと、端末の観点ではアンテナ素子が窓と並行となる形で設置しているために角度の条件が厳しくなりアタッチのタイミングが取れなかったことが考えられるとしている。また基地局の観点でも 5G 基地局と端末との距離を十分にとり、カバーエリアを広く取ることで、端末が 5G 基地局に早めにアタッチできるようなエリア設計が重要であるとする。基地局同士の距離においても、効果的なハンドオーバーを考えた場合、途切れのないハンドオーバーのために更なる実験により、基地局と端末間の距離を併せて検証が必要であると述べていた。

出所) 高速移動時において平均 1Gbps を超える高速通信を可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負、2019 年 3 月、エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社

(2) 性能評価結果を踏まえた考察

実証結果から、ハンドオーバー特性として LOS 環境と NLOS 環境で傾向に大きな違いは無いことがわかった。LOS 環境と NLOS 環境の両方とも RSRP が -90[dBm] を下回るあたりではハンドオーバーできている。また SINR が 0[dB] になった次のタイミングでハンドオーバーしていることから、SINR が 0[dB] になることがハンドオーバーを実施するトリガーになっていると考えられる。PDSCH MCS については、技術実証 1 や 2 と比較すると大きく劣化していることがわかった。また、ハンドオーバーをする際に必ずパケットロスが発生することがわかった。類似調査では、高速移動環境であったことや、ハンドオーバー先の基地局とのアタッチのタイミングが取れなかったことがハンドオーバーの成功しなかった原因として挙げられていた。しかし本技術実証ではそれらの要件は満たしていると考えられるため、別に原因があると考えられる。原因を調査したところ本技術実証で使用した製品の仕様に依存するものであると判明した。具体的には基地局側が対応しているハンドオーバーの方式が 3GPP

仕様で定義される Full Configuration 方式を実装しており、RRC 再構成における Full Configuration という制御において、PDCP レイヤ以下を再確立する(reestablishPDCP)を UE にシグナリングすることにより発生しているものである。ハンドオーバーは成功しているが、処理待ちの packets が失われることにより、ユーザトラフィックを保持することができず、結果としてパケットロスが発生している。

(3) ハンドオーバーが課題実証システムに与える影響

ハンドオーバー発生時における課題実証システムからの UL 映像の品質への影響に関して、パケットロスや伝送遅延の発生により、各実証システムの映像の乱れを確認した。ハンドオーバーとカメラシステムのパラメータの関係について整理する。

- ・ 従来の無線通信カメラにおけるパラメータ
無線通信によるカメラ映像を用いた警備運用においては、パケットロスや伝送遅延の影響による映像の乱れや停止に対応するため、受信側においてバッファ時間を長く設定するが、これにより映像のリアルタイム性が低下する。移動体であるドローンやロボットにおいては、映像を確認しながら遠隔での制御を行う必要があることから、受信バッファを最小に設定可能であることが望ましい。
 - ・ 課題実証システムにおけるハンドオーバー時の映像品質の検証
 - 本技術実証の結果、ハンドオーバー時には平均約 35ms の遅延が発生している。
 - 各実証システムにおける映像設定・受信バッファ設定・通信プロトコルと映像品質への影響は次のとおりであった。
- 1) ロボットカメラ (4K・5fps・200ms・RTSP)
 - : 映像に乱れは全く発生なし。
 - 2) ロボット FV (HD・30fps・200ms・UDP)
 - : 映像に大きな乱れが発生した。
通信方式を UDP としていた FV においてはハンドオーバー時に映像が乱れが発生したが、通信プロトコルが UDP であったためによる影響と考えられる
 - 3) ドローン② (4K・20fps・バッファ 30ms・RTSP)
 - : 映像に乱れ (ブロックノイズ) が若干発生した。
バッファ値 30msec では、わずかながら映像にブロックノイズが発生したが監視において大きな支障はなかった。

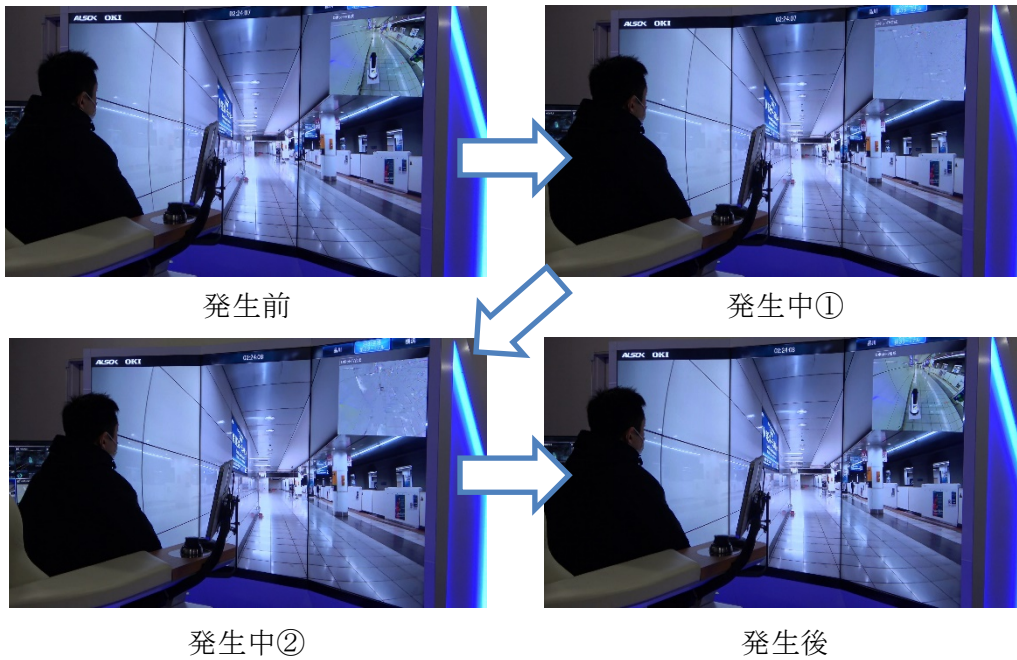


図 5.3.5.4-1 ロボット・FV (FV に大きな映像乱れ)

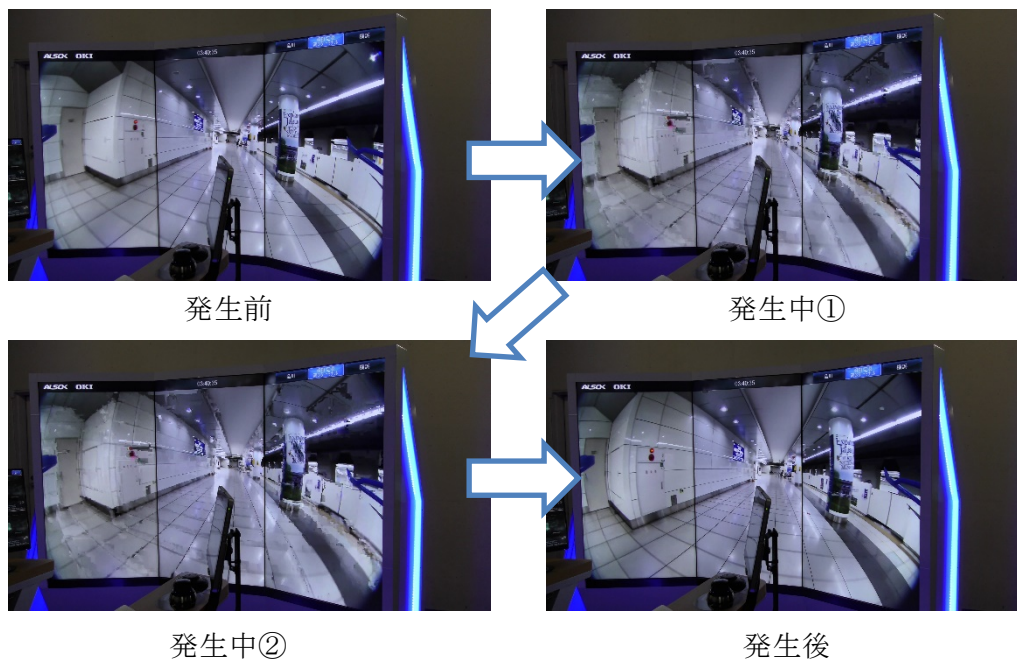


図 5.3.5.4-2 ドローン② (若干の映像乱れ)

- ハンドオーバーの影響
 ハンドオーバー時間が短く、伝送遅延が少なければカメラシステムの受信バッファ時間短く設定することが可能となる。映像の乱れや停止が発生しないことにより、リアルタイム性が重視される遠隔操作を伴う監視システムにおいては5Gシステムが有用であることがわかった。

5.3.5.5 技術的課題の解決方策

本技術実証で使用した製品の仕様上、ハンドオーバー時にパケットロスが発生してしまうため、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、ハンドオーバーをさせずにエリアをカバーすることが解決方策として考えられる。この構成に関しては、後述の技術実証 8 にて性能評価を実施した。

5.3.5.6 更なる技術的課題

今後の課題として、パケットロスを発生させないようにハンドオーバーするためには、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ーを実施できる機能を実装する必要がある。

5.3.6 技術実証 5(ドップラー効果)

5.3.6.1 評価・検証項目

本件と類似した調査との比較検証・評価を行った。移動環境下における通信試験として2019年度 総務省「5G総合実証実験」にて、NTTドコモ・ダンディライオン・NTTコミュニケーションズ・日本電信電話の4社が「超高速移動環境における電波伝搬特性に関する実証実験」を実施した。類似調査結果の実施時期は2019年10月25日(金)、12月4日(水)、12月5日(木)の延べ3日間にて実施されたものである。同実験では、高速の移動体に対する4.6GHz帯の5G通信においてドップラー効果による影響が検証された。技術実証5では、技術実証3の測定結果を用いて、警備ドローンの通常速度において、ドップラー効果による通信への影響について評価を行った。本件実証では警備用ドローンの通常速度ではドップラー効果による通信影響がないことを受信電波強度、パケットロス、レイテンシ、ジッタ値をもって確認した。

5.3.6.2 評価・検証方法

技術実証3のスループット測定結果を用いてドップラー効果の影響について評価を行った。

5.3.6.3 類似の調査

技術実証3において、ドップラー効果による通信影響の有無を確認するために、都市またはルーラル環境における時速60km-120kmのユーザ端末移動時の4.5GHz帯等電波伝搬特性の検討を行った「高速移動通信時において平均1Gbpsを超える高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」の報告書を参照した。

この類似調査では、都市またはルーラル環境を前提に、鉄道車両内(東武電鉄)においてドップラーспекトルの移動測定(最大時速100km程度)を実施し、測定エリア内の最大ドップラー周波数、ドップラーズプレッド、спекトル形状の分布を解析している。測定諸元を表5.3.6.3-1に示す。

表 5.3.6.3-1 ドップラーспекトル測定諸元

周波数	4.7GHz
送信信号	CW
基地局及び移動局アンテナ	スリーブアンテナ
基地局アンテナ高	3.1m
移動局アンテナ高	1.4m

結果からは、LOS環境においては移動速度に応じた最大ドップラー周波数が観測された。一部、最大ドップラー周波数を超える成分が観測されたが、これは多重反射の影響により発生している可能性が今後の課題である。最大ドップラー周波数としては、移動速度に応

じた最大ドップラー周波数を利用して良いと考察がされている。

出所) 高速移動時において平均 1Gbps を超える高速通信を可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負、2019 年 3 月、エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社

5.3.6.4 性能評価結果

技術実証 3 の測定結果からドローンが移動した場合のドップラー効果の影響について、受信電波強度、パケットロス、レイテンシ、ジッタ値を確認したところ、ドップラー効果による影響は見られなかった。

また技術実証 3 におけるドップラー効果による通信影響の評価として、類似の調査結果より移動速度に応じた最大ドップラー周波数を利用した。技術実証 3 における移動速度は $v = 1.4[\text{m/s}]$ 、中心周波数 $f = 4.85[\text{GHz}]$ なので最大ドップラー周波数 f_D は

$$f_D = \frac{v}{\lambda}$$
$$f_D = \frac{1.4}{\left(\frac{3.0 \times 10^8}{4.85 \times 10^9}\right)}$$
$$f_D \cong 22.6[\text{Hz}]$$

今回使用する中心周波数 $f = 4.85[\text{GHz}]$ と比較すると

$$\frac{f_D}{f} = \frac{22.6}{4.85 \times 10^9}$$
$$\frac{f_D}{f} \cong 4.66 \times 10^{-9}$$

従って最大ドップラー周波数は十分小さいため、ドップラー効果の影響は無視できると考えられる。

5.3.6.5 類似調査の結果及び性能評価結果を踏まえた考察

技術実証 3 の測定結果及び算出した最大ドップラー周波数から、ドローンが通常速度で移動する場合に、ドップラー効果による通信品質への影響は無いと考えられる。

5.3.6.6 技術的課題の解決方策

マルチパス環境における不感エリアの解消という観点では、ドローンやロボットの移動速度ではドップラー効果による通信品質への影響は無いと考えられるため、ドップラー効果はエリア設計をする上で重要な要素ではないと考えられる。

5.3.6.7 更なる技術的課題等

ユースケースにおいてドップラー効果は重要な要素ではないことがわかったため、現状では更なる技術的課題は無いと考えられる。

5.4 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等(調査検討事項イ)

遮蔽物の多い屋内環境における最適なローカル5Gのエリア構築やシステム構成について、取得した各種データを用いて検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行った。また、複数のローカル5G同士の共用を前提としたエリア算出法と取得データを用いた比較検証を行った。エリア設計の基本的な考えとして、防犯目的の映像伝送のためには精細な情報を伝送する必要があり、パケットロスが発生させないことが重要であり、そのために各項目(受信電力・スループット・遅延)を総合的に評価した。

5.4.1 技術実証6(屋内環境におけるエリア設計)

5.4.1.1 評価・検証項目

遮蔽物の多い屋内環境は、マルチパスの影響が非常に大きいため、壁や柱などによるマルチパスを考慮したエリア構築を行った。

5.4.1.2 評価・検証方法

「(ア)ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価」で得られた結果をもとに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、エリア設計(ローカル5G基地局の配置)に関する考察を行った。

5.4.1.3 検証結果

(1) 実証および考察の前提となる電波環境

エリア考察の元となるデータの前提条件として本実証環境には他に干渉するキャリアが本ローカル5Gシステムの使用するバンドに存在しないことを、電波発射前の状態においてエリアスキャナを用いて確かめた。この様子を図 5.4.1.3-1 のエリアスキャン状況および、図 5.4.1.3-2 の周波数アナライザ測定結果に示す。

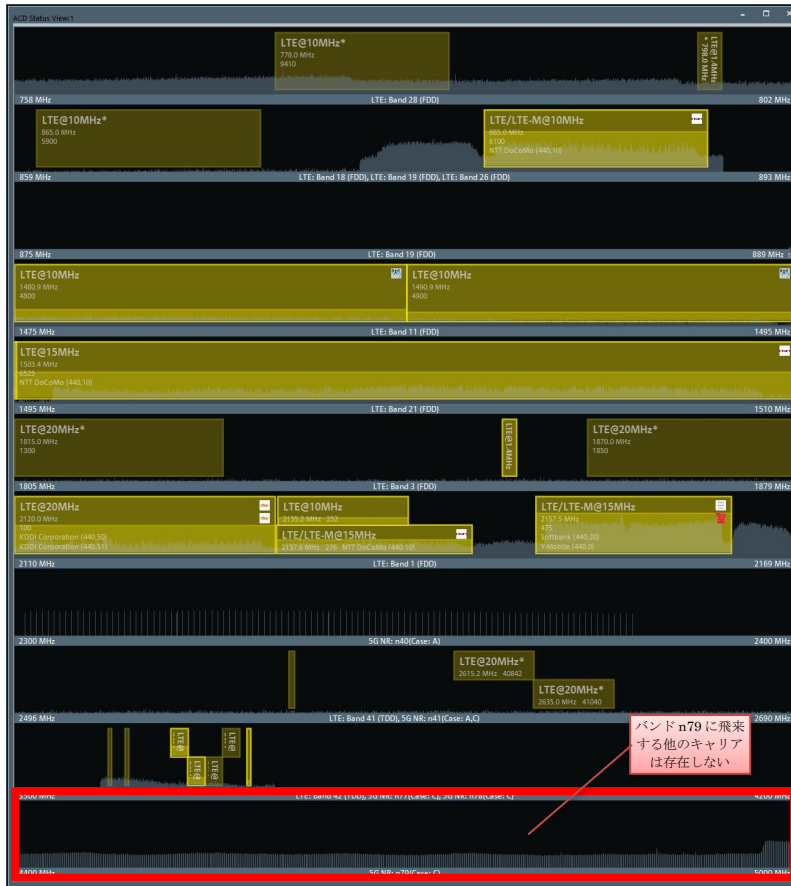


図 5.4.1.3-1 電波発射前の周波数使用状況



図 5.4.1.3-2 電波発射前の周辺周波数帯の状況

また電波発射状態において本システムで使用する予定だった帯域のみを使用していることを同様の方法で確認した。この様子を図 5.4.1.3-3～図 5.4.1.3-5 に示す。

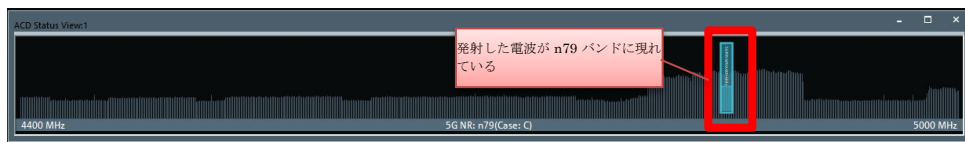


図 5.4.1.3-3 電波発射後の n79 バンドの使用状況



図 5.4.1.3-4 電波発射後の周辺周波数帯の状況

トラフィック印加時にバンド全体が使用されていることが確認できた。



図 5.4.1.3-5 電波発射後の周辺周波数帯の状況(トラフィック印加時)

(2) 基地局の同期状態の確認

2 アンテナで構成される PCI 720 及び 1 アンテナの PCI 722 のセクタを同時に電波発射し、この時の信号の同期状況についてエリアスキャナを用いて確認した。これを図 5.4.1.3-6 に示す。



図 5.4.1.3-6 同期状態(2セクタ、2アンテナ)

測定環境としては2セクタ構成で、1つのセクタは2アンテナ構成、もう1つのセクタは1アンテナ構成であるが、マルチパスの影響で同期信号の電力ピークは多数に分離していることがわかる。その一方でこれらの到着タイミングの遅延はもっとも早いものから概ね $1.3[\mu s]$ 以内となっており、SCS 30kHzにおけるサイクリックプレフィクス長である $2.4[\mu s]$ に収まっている。従って同期状態に問題はないと考えられる。

(3) アンテナ1台設置時のウォークテスト

技術実証1の構成(ホーム中央付近にアンテナを配置)においてエリアスキャナを用いたウォークテストを行った。この結果を図5.4.1.3-7に示す。この測定は列車の往来のない深夜帯に行った。

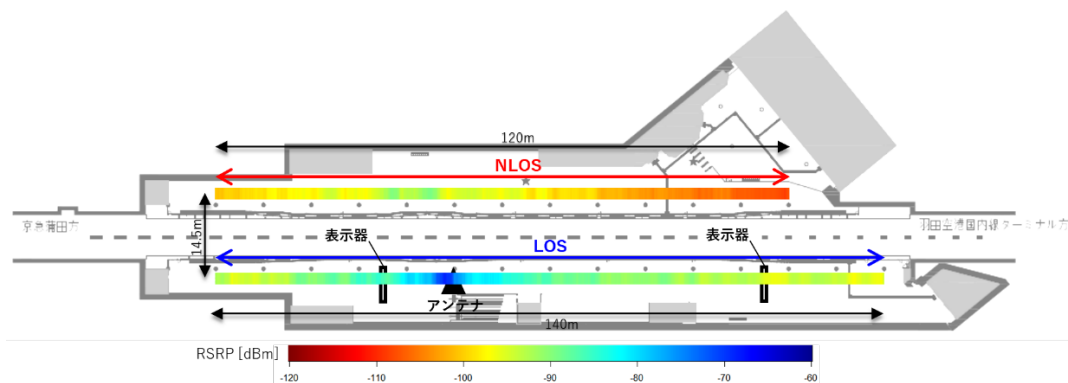


図 5.4.1.3-7 アンテナホーム中央部設置時のウォークテスト結果(フロア図)

図から分かるようにLOS環境でアンテナから概ね50m程度は電波状況が良好である。一方で線路を挟んで向かい側ホームにおいてはアンテナからの距離が同等であっても10[dB]程度の劣化が見られる。これは両ホーム間に図5.4.1.3-8に示すとおり、中柱が大きな遮蔽物として存在するためだと考えられる。



図 5.4.1.3-8 両ホーム間の中柱およびホームドアの様子

従って昼間に列車が入線した場合はこれよりもさらに大きな減衰が生じることが予測され、実用的には両ホームそれぞれにセクタの設置またはアンテナの配分が必要であると考えられる。

またこのウォークテストにおける最遠端(対向ホーム端)においても $-105[\text{dBm}]$ が確保されており、エリア境界(約 $-120[\text{dBm}]$)の観点からすると、同一バンドを使用する他のローカル5Gシステムとの共用はできないと考えられる。

次にアンテナと同一ホームにおけるウォークテスト結果をグラフで表したものを図 5.4.1.3-9 に示す。ここには自由空間とした時の推定値および、アンテナの左右それぞれを $a + b \log_{10} d$ の曲線にフィッティングした結果も重ねて図示する。

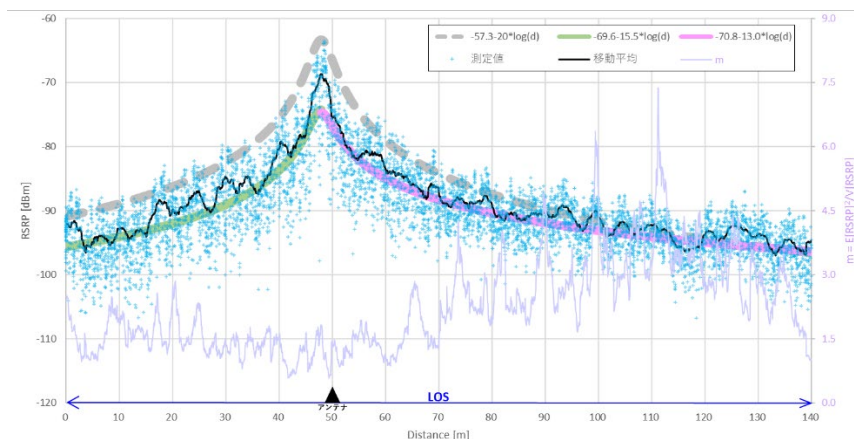


図 5.4.1.3-9 アンテナホーム中央部設置時のウォークテスト結果(グラフ)

このウォークテストはおおむね 0.5m/s で歩行しており 10m ごとに位置を補正しているものの、測定位置には最大 2m 程度の誤差がある。そのため予測値の中心位置は実際に計測されたピークに合わせて描画している。

図からは技術実証 1 の結果と同様に本環境での電波伝搬が概ね距離に対して二乗則に従っていること、またアンテナから遠い場所ではフィッティング曲線が二乗則よりも良くなっており、技術実証 1 でも述べたように CI モデルや ABG モデルの適用が適切である可能性がある。

また図からはアンテナからの距離に関わらずフェージングの影響が大きい環境であるこ

とも読み取れる。参考にエリアスキャナを用いたパスの分散の様子を測定したものを図 5.4.1.3-10、図 5.4.1.3-11 に示す。

C	PCI	SSRef [MHz]	Power [dBm]	P total [dBm]	Delay [μs]	BTS ID
722	4850.40	-104.31	-69.88	1409.27	64	
722	4850.40	-115.96	-69.88	1409.34	64	
722	4850.40	-93.14	-69.88	1409.42	64	
722	4850.40	-71.08	-69.88	1409.46	64	
722	4850.40	-76.44	-69.88	1409.48	64	
722	4850.40	-90.42	-69.88	1409.53	64	
722	4850.40	-106.83	-69.88	1409.61	64	
722	4850.40	-98.29	-69.88	1409.69	64	
722	4850.40	-99.94	-69.88	1409.72	64	
722	4850.40	-104.38	-69.88	1409.76	64	
722	4850.40	-104.16	-69.88	1409.82	64	
722	4850.40	-109.36	-69.88	1409.88	64	
722	4850.40	-109.69	-69.88	1409.95	64	
722	4850.40	-111.28	-69.88	1409.98	64	
722	4850.40	-120.29	-69.88	1410.04	64	
722	4850.40	-116.28	-69.88	1410.25	64	

図 5.4.1.3-10 アンテナ付近のマルチパスの様相

C	PCI	SSRef [MHz]	Power [dBm]	P total [dBm]	Delay [μs]	BTS ID
722	4850.40	-116.94	-92.78	1409.35	64	
722	4850.40	-124.69	-92.78	1409.39	64	
722	4850.40	-113.18	-92.78	1409.45	64	
722	4850.40	-96.38	-92.78	1409.54	64	
722	4850.40	-96.41	-92.78	1409.59	64	
722	4850.40	-118.48	-92.78	1409.67	64	
722	4850.40	-113.35	-92.78	1409.71	64	
722	4850.40	-108.24	-92.78	1409.77	64	
722	4850.40	-112.01	-92.78	1409.82	64	
722	4850.40	-117.57	-92.78	1409.93	64	
722	4850.40	-113.23	-92.78	1409.99	64	
722	4850.40	-112.59	-92.78	1410.08	64	
722	4850.40	-121.98	-92.78	1410.21	64	
722	4850.40	-126.28	-92.78	1410.53	64	

図 5.4.1.3-11 アンテナから 80m 付近のマルチパスの様相

(4) アンテナ 3 台設置時のウォークテスト

次にアンテナ 3 台をホーム上に約 50m 間隔で設置した状態でのウォークテストを行った。2 つのアンテナが同一のセクタに属し、残りの 1 つのアンテナは異なるセクタに属している。フロア図上の配置を図 5.4.1.3-12 に示す。

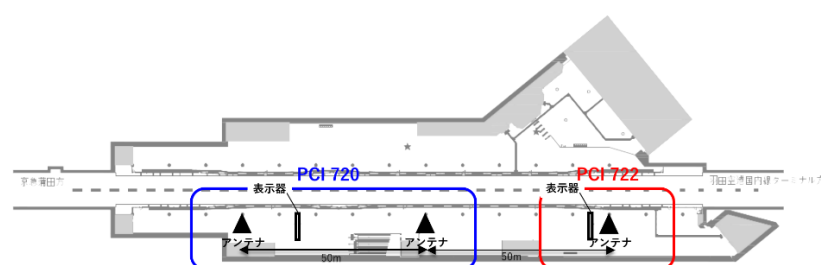


図 5.4.1.3-12 2 アンテナの配置

フロア図に図示してある 2 つの表示器は図 5.4.1.3-13 に示す情報表示器であり、天井から約 1m の高さにわたって懸垂しており、アンテナの見通しに対する遮蔽物となっている。

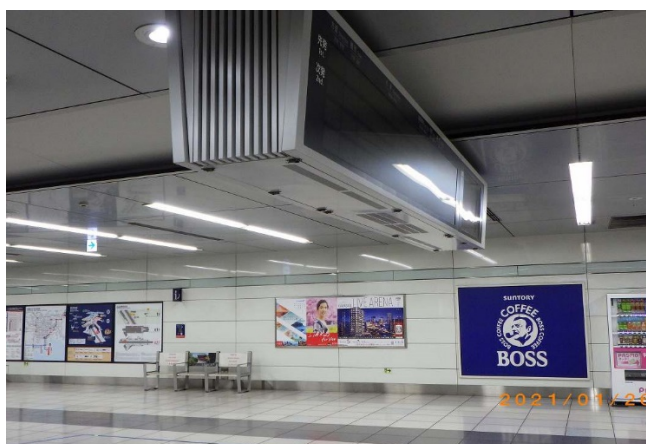


図 5.4.1.3-13 情報表示器

まず PCI 722 で示されるアンテナに対する測定結果を図 5.4.1.3-14 に示す。このアンテナは図のとおり傍に表示器が存在するため、品川方向に対してはほとんどが NLOS 環境となる。

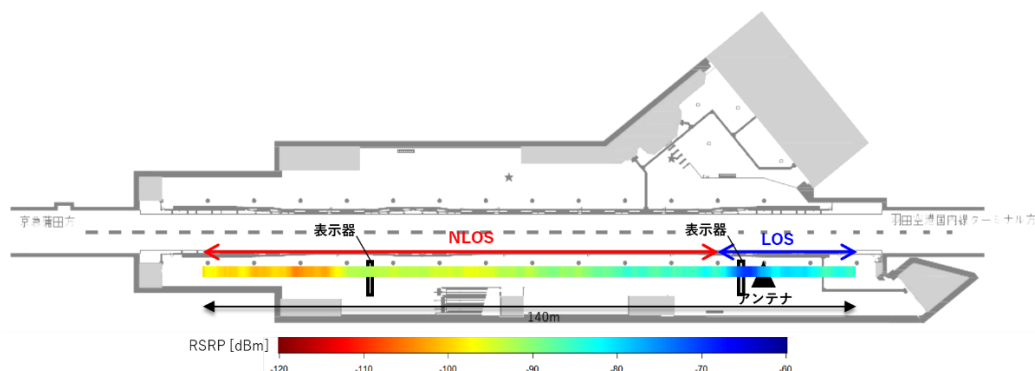


図 5.4.1.3-14 ホーム端設置アンテナに対するウォークテスト結果(フロア図)

図より、アンテナから 120m 離れたホーム遠端においても $-100[\text{dBm}]$ 程度の受信電力が測定され、依然としてカバーエリア内であることが分かる。従ってアンテナをホーム端に設置したとしても他のローカル 5G システムとの共用は困難であるということがアンテナ 1 台設置時のウォークテスト結果と同様に考えられる。

次にアンテナと同一ホームにおけるウォークテスト結果をグラフで表したものを図 5.4.1.3-15 に示す。ここには自由空間とした時の推定値および、アンテナの左右それぞれを $a + b \log_{10} d$ の曲線にフィッティングした結果も重ねて図示している。

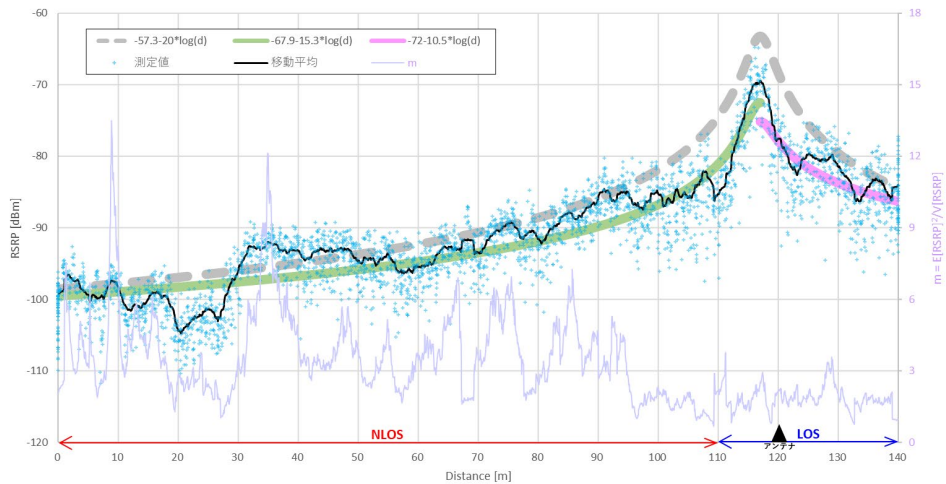
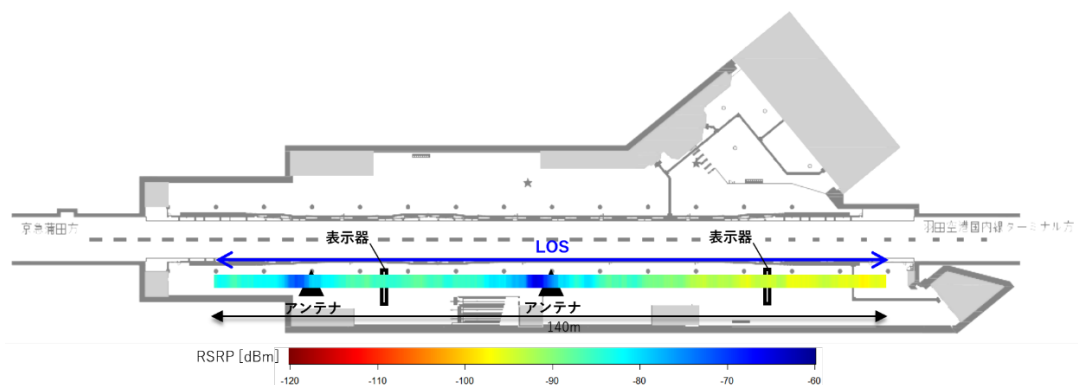


図 5.4.1.3-15 ホーム端設置アンテナに対するウォークテスト結果(グラフ)

このウォークテストは約 1m/s で歩行しており最大 2m 程度の誤差が見込まれることは前ウォークテスト結果と同様である。この図から 2 つの表示器のどちらについても、表示器を挟んで 10m 以内程度に 10dB 以上の減衰が見られる。従って表示器による遮蔽の影響が考えられる。しかしこの減衰は一時的なものでアンテナが表示器から離れると距離の二乗則から推定される電波強度への回復が見られる。NLOS 環境ということもあり、滑らかに減衰しているとは言い難いが、本ウォークテスト対象となったアンテナから 120m の範囲内では概ね距離の二乗則と同様の傾向が見られる。

最後に PCI 720 の同一セクタで構成された 2 アンテナに対する測定結果を図 5.4.1.3-16 に示す。表示器から離れているため NLOS 環境となる区間は存在しないが、品川方面プラットホーム端のエリアカバー状況を改善するためにホーム幅が狭まる直前にもアンテナを設置した。なお、これら 2 アンテナはビーム ID が同一であり UE からは完全に一つの基地局として認識されていた。



5.4.1.3-16 同一セクタ 2 アンテナに対するウォークテスト結果(フロア図)

エリアカバー状況については前述の結果と同様であるが、アンテナを増設しているためホーム端において電波強度の大きな改善が見られた。

5.4.1.4 検証結果を踏まえた考察

(1) フェージングおよびシャドウィングの考慮

本技術実証環境はマルチパスの影響が大きいことが判明している。図 5.3.2.4-14 などから本技術実証における m パラメータはアンテナ近傍で 1 以上、一定距離(約 30m)以上で 2 以上であった。そこで右図 5.4.1.4-1 を考慮すると 99% カバーエリアとするためのフェードマージンは近傍で 20[dB]、一定距離以上で 10[dB]となる。アンテナ近傍では十分に電波強度があることからここでは 10[dB]を採用する。

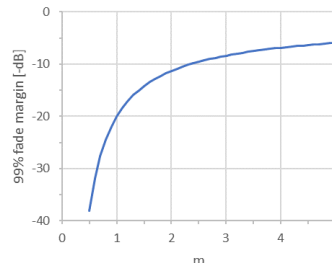


図 5.4.1.4-1 仲上 m 分布 1%点

人体によるシャドウィングの影響について、本技術実証では試験を行っていないが、人体遮蔽マージンの参考値として 8[dB]を使用する。

また、アンテナから一定距離以上遠い領域での NLOS 環境への侵入損として図 5.3.2.4-7 から 6[dB]を採用する。

これらの損失は同時に発生するがそれぞれ発生原因が異なるため変動の空間スケールが異なる。よって合成された損失は単純な和となって現れると考えられる。よって実用的な用途で必要とされるマージンは最大で 24[dB]=10[dB]+8[dB]+6[dB]と計算される。

(2) カバーエリアについて

ここまで述べたようにマージンを考慮しなければ、アンテナ 1 局で B2F の実証エリア全体がカバーされている。従って干渉を及ぼす領域の限界は B2F の実証エリア内には存在せず、この意味ではエリア境界は存在しない。

次に実用的なエリアとして前述したマージンを考慮し $-96[\text{dBm}] = -120[\text{dBm}] + 24[\text{dB}]$ をカバーエリアとすると、図 5.4.1.3-9 からホーム中央付近にホーム長辺方向直線上が高さ 1m の UE に対して LOS 環境となるようにアンテナを設置した場合、アンテナ設置側ホーム全体が実用エリアとなることが分かる。このエリアが全域にわたって本技術実証の性能要件を満たすかを次に検討する。

(3) 性能要件を満たすエリア設計について

まず、ダウンリンクのスループットの性能要件について本技術実証で印加した 80[Mbps](実測値で PDSCH 115[Mbps])を基準として考えると、本技術実証の構成における PDSCH のスループットは次の式(3GPP TS 38.306 に TDD 比を乗じたもの)で概算されることから

$$\begin{aligned} \text{PDSCH Throughput[bps]} &= \text{Layers} \cdot \text{SpectralEfficiency} \cdot 273[\text{PRBs}] \cdot 12[\text{REs/PRB}] \cdot 28 \\ &\quad \times 10^3[\text{REs/s}] \cdot \frac{104}{140}[\text{DL TDD Ratio}] \cdot 0.86 \end{aligned}$$

本技術実証で満たさなければならない条件は次のようになる。

$$\text{Layers} \times \text{SpectralEfficiency} \geq 1.97$$

これを MIMO ランク基準に表にすると表 5.4.1.4-1 のようになる。

表 5.4.1.4-1 ランクに応じた PDSCH MCS(TDD 比 104:32)

Rank	最低 PDSCH MCS	スペクトル効率
1	8	2.1602
2	4	1.1758
3	3	0.8770
4	2	0.6016

次にアップリンクのスループットについても PUSCH スループットの実測値 80[Mbps]をもとに次の式を用いて同様の計算を行うと、

$$\begin{aligned} \text{PUSCH Throughput[bps]} &= 1[\text{Layer}] \cdot \text{SpectralEfficiency} \cdot 273[\text{PRBs}] \cdot 12[\text{REs/PRB}] \cdot 28 \\ &\times 10^3[\text{REs/s}] \cdot \frac{32}{140}[\text{UL TDD Ratio}] \cdot 0.92 \end{aligned}$$

次の条件が求まる。

$$\text{SpectralEfficiency} \geq 4.15$$

これは PUSCH MCS が 23(スペクトル効率 4.2129)以上でなければならないことを意味する。

ここからはアンテナ中央設置時を基準として考察を進めたい。しかし遠端におけるホーム遠端の電波強度が-96[dBm]であることから、ここからシャドウィングによる損失 14dBを考慮した-110[dBm]における測定データが必要であるが今回の測定点には存在しない。そこで電波強度が最低であった技術実証 1 測定点 1014 の結果を参考にすると、この測定点では RSRP 平均値が-96[dBm]、UE SINR 平均値 21[dB]、PDSCH MCS 最頻値は 17、PUSCH MCS 最頻値は 21 である。

ダウンリンクについて図 5.3.2.4-8 中の式および図 5.3.2.4-9 中の式を参考にして RSRP のマージン 24[dB]を考慮した時の MCS 値の低下幅を推測すると 11 となることから PDSCH MCS の推定値は 6 となる。表 5.4.1.4-1 からランク 2 以上であればこれは満たされ、結論としてダウンリンクについては最悪のシャドウィングを経験した場合でも 90m 程度はカバーできると考えられる。

一方、アップリンクについては技術実証 1 測定点 1014 の段階ですでに性能要件を満たしていない。一方、次善の測定点 1013 および 1025 では PUSCH MCS は 27 および 28 と非常に良好であることから、測定点 1014 はアンテナにおける UE から発射される電波の状態に何らかの問題があったということが考えられる。この原因としては UE の送信アンテナは 1 つのみでありまた測定点 1014 はエスカレータ上の狭い空間であったため UE と基地局のアップリンクの電波的結合が単に基地局との距離から計られるものよりも弱かった可能性が挙げられる。

技術実証 1 のほとんど全ての測定点で PUSCH MCS が最高値であったことからアップリンクの MCS の変動については、これ以上の説明は困難であると考えられる。従って、これより先は推測になるが、アップリンクの MCS のマージンの小ささからするとアンテナからの距離 50m と 90m の中間のどこかに性能要件を満たさなくなる境界がありそうだと、また 50m 地点でもシャドウィングの発生状況によっては性能要件を満たさな

くなりそうだということが考えられる。以上から性能要件を満たすエリア境界を推定するためには測定点を増やしたさらなる検証が必要である。

5.4.1.5 技術的課題の解決策

(1) アンテナの追加配置による解決方法

前項の考察からプラットフォーム中央付近にアンテナを 1 台のみ設置した場合、最悪のシャドウィングを経験するとホーム端点においてダウンリンク性能はかろうじて保たれるが、アップリンク性能はシャドウィングの影響が小さかったとしても要求性能を満たさない可能性が示された。そこで一つ目の解決策としてアンテナを 2 台設置するならばどのように配置すべきかを検討した。この配置を図 5.4.1.5-1 に示す。図中で NLOS と推定される領域を赤で示している。

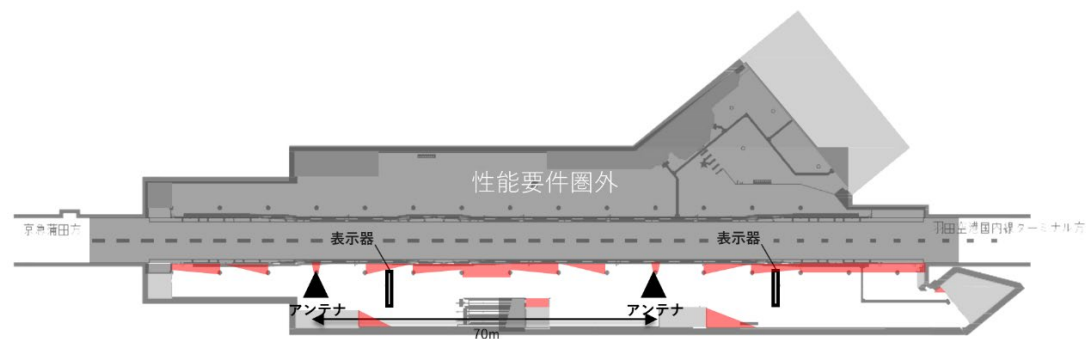


図 5.4.1.5-1 ホーム端の性能を改善するためのアンテナ 2 台の配置

この配置ではコーナーや柱の影を除いて全体にわたって LOS 環境が確保されること、アンテナからの距離がどの地点でも 50m 程度に収まることを目指している。なお図の右側のアンテナをこれ以上右に寄せると情報表示器の存在によりホーム端が NLOS 環境となってしまう。本技術実証のシステムは離れた 2 か所にアンテナを配置するにあたって、これを全く別のセクタとすることも、同じセクタとすることもできる。技術実証 8 の結果を踏まえると、図 5.4.1.5-1 の配置においてはどちらの方式を採用しても問題はない。ただし、2 セクタとした場合はハンドオーバーポイント前後で PDSCH MCS が最悪 10 程度まで劣化することが明らかになっており、1 つのセクタを 2 アンテナとした方が性能は良好である。

(2) TDD 比の変更による解決方法

考察ではアップリンクの MCS のマージンが非常に小さいことが示された。これはアップリンクの TDD 比が小さくまた MIMO が使用されていないためである。一方で同一の性能要件を設定しているダウンリンクは回線容量にかなりの余裕があり、TDD 比を多少アップリンクに寄せることでアップリンク性能にかなりの改善が見込まれる。

そこで情報通信審議会にて提案されている準同期 TDD パターンを参考にして TDD 比を 68:64(現行は 104:32)とし、5.4.1.4 と同様にダウンリンクについて計算すると、次のようになる。

$$\text{Layers} \times \text{SpectralEfficiency} \geq 3.01$$

これについて表 5.4.1.4-1 と同様の表を作成する表 5.4.1.5-1 のようになる。

表 5.4.1.5-1 ランクに応じた PDSCH MCS(TDD 比 68:64)

Rank	最低 PDSCH MCS	スペクトル効率
1	12 (現行 8)	3.0293
2	6 (現行 4)	1.6953
3	4 (現行 3)	1.1758
4	3 (現行 2)	0.877

従って、過去の実証から十分な電波強度の得られる状況でランクが 1 となることはほとんどないことを併せて考えるとダウンリンクに対するこの TDD 比変更の影響は小さいと言える。

一方、アップリンクについても同様に計算すると次のようになる。

$$\text{SpectralEfficiency} \geq 2.07$$

従って PUSCH MCS の最悪値は現行の 23 から 14(スペクトル効率 2.1602)に大幅に改善できる。技術実証 1 の測定点 1014 での PUSCH MCS 最頻値が 21 であったことからすると、これによりアップリンクの性能要件についても 1 台でホーム上のほとんど全域をカバーすることができるかと予測される。

5.4.1.6 更なる技術的課題

今後の課題として、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ことが考えられる。本技術実証においてはエレベータを測定対象外とし、ホーム上及びエスカレータ数カ所を測定対象としたが、駅全体における最適なエリア設計を行うためには、エリア設計が困難な環境も含めてシステム構成や設置場所の検討をする必要があり、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。

5.4.2 技術実証 7(エリア算出)

5.4.2.1 評価・検証項目

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を行った。総務省様提供のエリア算出法に基づき、基地局のカバーエリア及び調整対象区域の図を作成し、複数のローカル5Gシステムを共用した場合について検討した。加えてエリア端における実際の受信電力を測定した。また当該算出式のカバーエリア及び調整対象区域の閾値と実測値が異なっている場合は、それぞれの閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認を実施した。

5.4.2.2 評価・検証方法

エリア算出法により計算された値と技術実証 1、2 の結果を用いて閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認を行った。エリア算出法は以下の情報を基準とした。また本技術実証では実際に 2 つの異なるローカル5Gシステムを用いた実証は行わずに、本技術実証のシステム構成のみの検証結果を用いて、複数のローカル5Gシステムを共用する場合のアンテナ同士の離隔距離を算出し、評価・検証を実施した。

出所) 無線局免許手続規則に基づく無線局の設置する地域に関する告示案等に係る意見募集、
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000472.html、2020年12月9日取得
出所) 別紙 2 電波法関係審査基準(平成13年総務省訓令第67号)の一部を改正する訓令案、
https://www.soumu.go.jp/main_content/000711787.pdf、2020年12月9日取得

資料に掲載された屋内ローカル5Gに対する伝搬損失の算出の基準となる式を転載すると次の通りである。

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) + R$$
$$R = 16.2 \quad \text{侵入(出)損}$$

また、カバーエリアと調整対象区域の閾値となる受信電力の表を本技術実証と一致する100MHzシステムについて表 5.4.2.2-1 に抜粋する。表にはRSRPに換算した受信電力もあわせて記載している。

表 5.4.2.2-1 100MHzシステムにおける各エリアの閾値

	受信電力	受信電力(RSRP換算)
カバーエリア	-84.6[dBm]	-119.8[dBm]
調整対象区域	-91.0[dBm]	-126.2[dBm]

5.4.2.3 検証結果

評価・検証方法に掲載したエリア境界の算出式($L = 20 \log_{10}(4\pi d/\lambda) + R$)から、カバーエリアをフロア図に重ねた図を図 5.4.2.3-1 に示す。

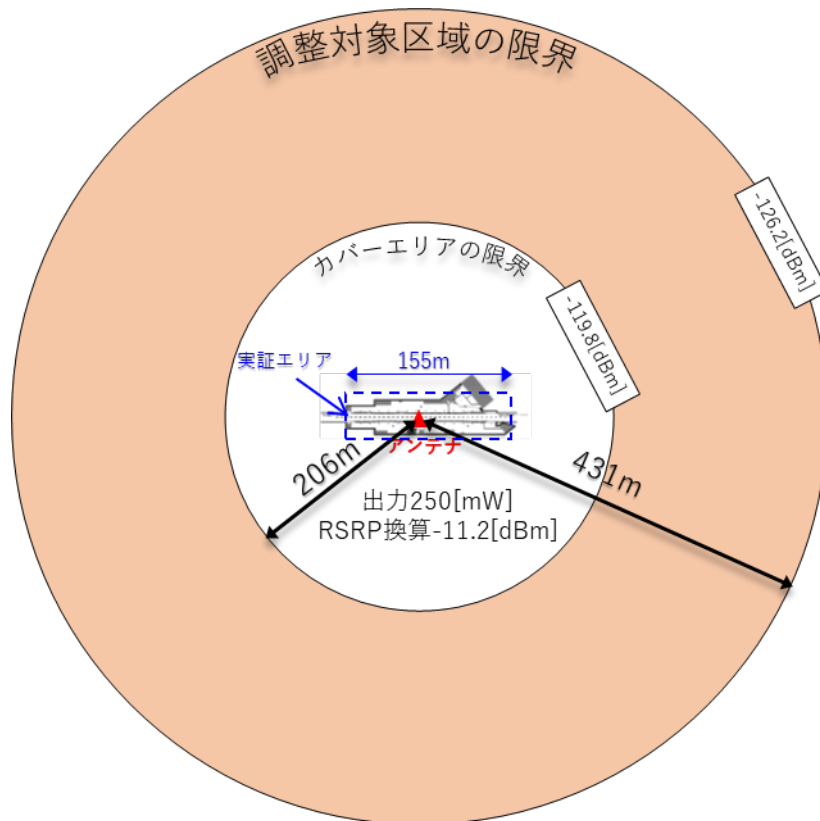


図 5.4.2.3-1 カバーエリアと調整対象区域のプロット(R=16.2)

図 5.4.2.3-1 から、本技術実証のアンテナの出力 250[mW]は実証の対象となるエリアを大幅に越えるカバーエリアを持つということが分かる。

しかしながら本技術実証の調査検討事項としてエリア端における実際の受信レベルの測定を挙げていたものの、図 5.4.2.3-1 のようにカバーエリア限界が実証エリアの外になってしまい立ち入りができなかったため、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端での特性取得が不可能であった。そのため取得可能であった実証エリアの範囲内で測定を行った。

表 5.4.2.3-1 に実証エリア端点における受信レベル (RSRP) を示す。この表から LOS 環境での端点における受信レベルが技術実証 1 から得られた算出式から予測される受信レベル(50m 点および 90m それぞれ-91[dBm]および-96[dBm])と相違ないことが分かる。

表 5.4.2.3-1 ウォークテスト端点での RSRP

	品川方面端		国内線方面端	
	基地局距離	RSRP	基地局距離	RSRP
基地局設置ホーム(LOS)	50[m]	-92[dBm]	90[m]	-95[dBm]
対向ホーム(NLOS)	92[m]	-100[dBm]	71[m]	-107[dBm]

そこで、エリア端における実測の代替方法として技術実証 1 から得られた算出式にて考

察を行った。技術実証 1 から得られた算出式に侵入(出)損を考慮した式 $RSRP[dBm] = -57.3 - 20 \log_{10} d - R$ をもとにアンテナからのカバーエリア境界および調整対象区域境界までの距離を算出すると、それぞれ 206m および 431m となる。エリア算出式による計算結果と実測に基づく算出式によるカバーエリア境界、調整対象区域境界で同様の結果が得られた。

なお、伝搬損失の基準式の第一項 $20 \log_{10}(4\pi d/\lambda)$ については、図 5.4.1.3-9 (LOS 環境の場合)および図 5.4.1.3-15 (NLOS 環境の場合)に重ねて示したとおり、実測したエリア内の受信レベルに対して LOS 環境、NLOS 環境に関わらず妥当であると考えられる。ただし、本技術実証環境は地下の閉鎖空間であるため技術実証エリア外部への実際の電波の漏出はほとんどない($R = \infty$)と考えられる。電波漏出の外部での測定は今回の実証では行っておらず今後の検討課題である。

5.4.2.4 検証結果を踏まえた考察

今回の技術実証エリアにて得られた結果から、カバーエリアは半径約 206m にも及ぶことが想定され、調整対象区域としては半径約 431m であることが想定される。一方で 5.4.1 項の性能要件と性能の安定性の考察から、250[mW]は実際に必要な出力でもある。従ってこの区域を出力の調整で縮小することは困難である。従って、ホーム上に他のローカル 5 G システムを運用すると電波干渉を引き起こすことが想定されるため、ホーム上での共用は望ましくないと考えられる。また、他のローカル 5 G システムのアンテナとの離隔距離 R は、他のローカル 5 G システムのカバーエリアの限界半径が 206m 以下の場合、

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

と考えられ、他のローカル 5 G システムのカバーエリア限界が 206m 以上の場合、

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

と考えられる。しかし、ユースケースを想定するとこれだけの離隔距離を確保するためには、本技術実証の実証エリアの外になってしまう。そして実証エリアの外に出るためには、建物の壁に阻まれているためかなりの電波減衰が考えられる。従って実証エリア外に他システムを導入する場合は、この離隔距離をそのまま適用するのではなく、建物を出入りする際の電波減衰量を考慮する必要がある。

5.4.2.5 技術的課題の解決方策

本技術実証の検証結果から、他のローカル 5 G システムの共用のためには、単に離隔距離を確保するという解決方策を採るのが困難であることがわかった。また送信出力を下げた基地局のカバーエリアを狭くし、干渉を低減することが考えられるが、通信品質を満たしつつ、他のローカル 5 G 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と考えられる。その代替案として、使用する周波数帯域幅の 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それぞれ割り当てて供用する方法が考えられる。3GPP において、FR1 は 100MHz 幅以外も定義されており、それらを使うことで、ガードバンドを設定することは可能だと考えられる。しかし、どの幅をサポートしているか

は機器の実装依存となる。また帯域幅を分割することでスループットが減少することが考えられるため、TDD 比のさらなる調整が必要となり、これも併せて検討していく必要がある。

5.4.2.6 更なる技術的課題

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、異なるローカル5Gシステム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。

また実証エリア内に他のローカル5Gシステムを導入した場合、電波干渉を引き起こす可能性があることがわかったが、別の階層や、屋外に他のローカル5Gシステムを導入する場合について、実際に屋外や別の階層での測定を行い、実測値を用いた離隔距離の検討をすることが今後の課題である。

5.5 その他ローカル5Gに関する技術実証(調査検討事項ウ)

ドローンによる巡回警備を行う上では、複数の基地局間を移動し運用を行うことが想定され、映像に途切れが発生しないことが理想である。一方、ローカル5Gの導入コストを低減するため、基地局の数を極力減らす（間隔を極力広く取って配置する）ことが求められる。以上のことから、基地局間での電波干渉を踏まえたハンドオーバーに最適な基地局配置について検証、考察を行った。

5.5.1 技術実証8(ハンドオーバー限界)

5.5.1.1 検証内容

同一チャンネルを設定したローカル5G基地局を2つ、駅ホーム中央付近に設置し、基地局間を移動するローカル5G端末におけるハンドオーバーの性能評価を行った。基地局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基地局間の距離について検証を行った。検証においては以下4評価項目の推移を測定した。なお、ローカル5G端末は警備用ドローンの通常速度（～時速5km程度）で移動させた。また、セクタを跨ぐハンドオーバーに加え、同一セクタ内のアンテナ間を推移する場合についても検証・評価を行った。なお移動を伴う試験における位置の精度は歩行速度の揺らぎに依存するため正確な言及は困難であるため、1割程度の歩行揺らぎ、すなわち20m歩行する試験において1m未満の誤差を目標とした。

- 受信電力の推移
- 伝送スループット（UL）の推移
- 伝送スループット（DL）の推移
- PER

5.5.1.2 検証方法

(1) 実験環境構成

技術実証8の実験環境構成を図5.5.1.2-1及び図5.5.1.2-2に示す。

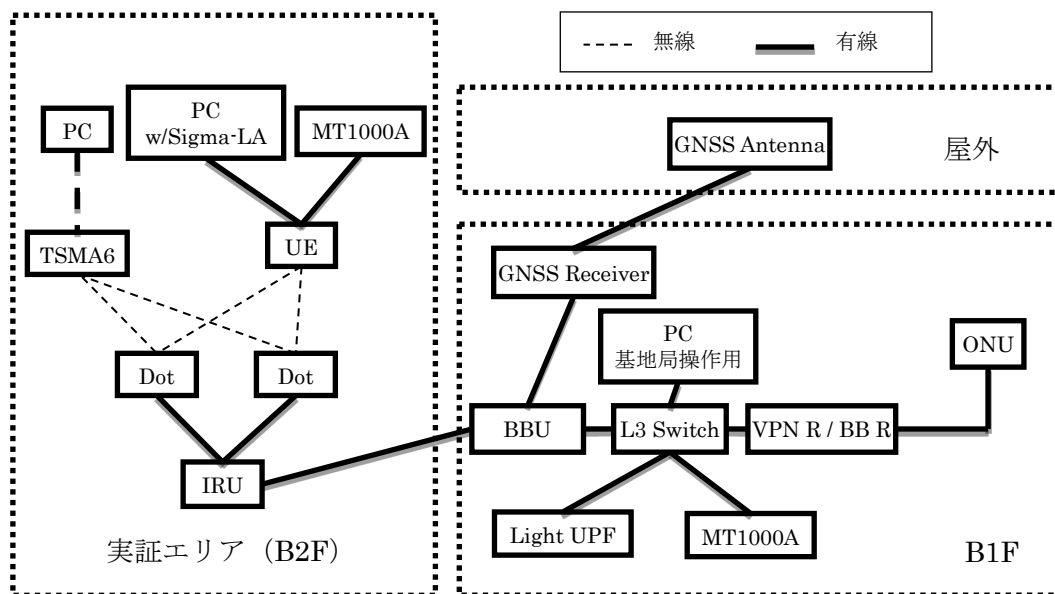


図 5.5.1.2-1 技術実証 8 の実験環境構成 (同一セクタ内の基地局間移動)
 注)UE…5 G 陸上移動局、Dot…5 G アンテナ(空中線)、BBU…Baseband 装置、L3 Switch…L3 SW、
 VPN R / BB R…ブロードバンドルータ兼 VPN 終端装置

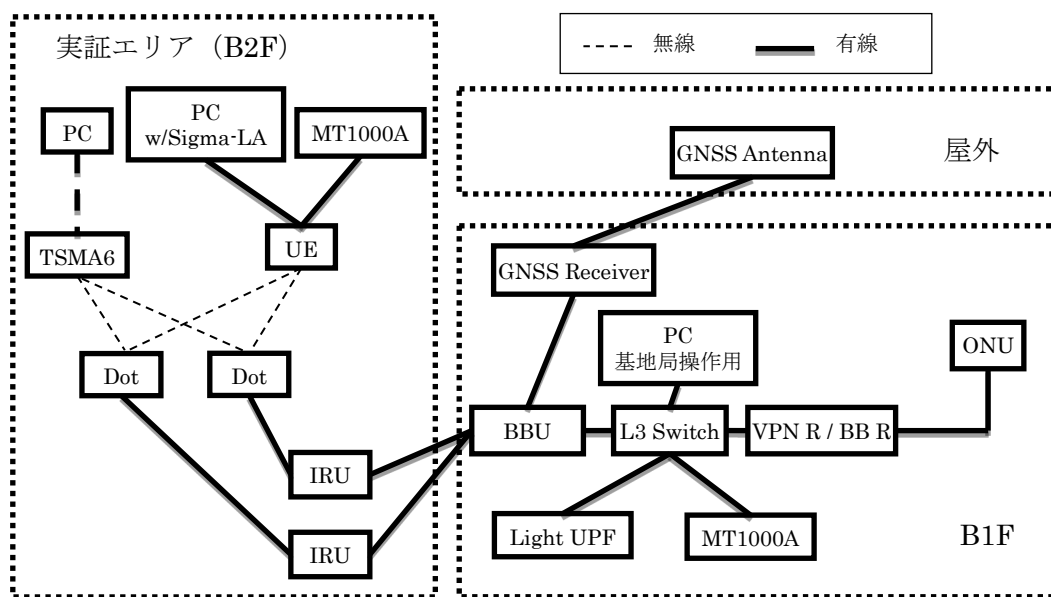


図 5.5.1.2-2 技術実証 8 の実験環境構成(IRU が異なる場合のハンドオーバ)
 注)UE…5 G 陸上移動局、Dot…5 G アンテナ(空中線)、BBU…Baseband 装置、L3 Switch…L3
 SW、VPN R / BB R…ブロードバンドルータ兼 VPN 終端装置

(2) 実施方法

実施方法を次に示す。

- ① トラフィック試験機及び試験用 PC の時刻同期を確認した。異なる IRU に收容されてい

るアンテナ 2 つを表 5.5.1.2-2 に示す隔離距離から実施する試験を選択し、トラヒック試験機及び試験用 PC の時刻同期を確認した。異なる IRU に収容されている基地局アンテナ 2 つを表 5.5.1.2-2 に示す隔離距離から実施する試験を選択し、その隔離距離に応じて図 5.5.1.2-3 または図 5.5.1.2-4 の位置に表 5.5.1.2-1 に示すアンテナ高で設置した。

- ① 表 5.3.5.2-1、表 5.3.5.2-2、表 5.3.2.2-3、表 5.3.2.2-6 で示される項目が取得できるよう設定する。
- ② UE を開始点に移動する。開始点の具体的な位置は基地局中間点からおおむね 10m 一つの基地局側に遠ざかった位置とする。
- ③ 測定機及びトラヒック試験機の測定を開始する。
- ④ もう片側の基地局の方向に向かって歩行する。歩行速度は秒速約 1.4m(秒間 2 歩に相当)であり、歩行距離は約 20m とする。
- ⑤ 歩行が完了したら測定機及びトラヒック試験機を停止する。
- ⑥ 取得したデータを保存する。
- ⑦ 同一の試験を 5 回実施するまで手順④に戻る。ただし続く試験は逆方向に行うものとする。
- ⑧ 必要な測定項目が取り終わるまで、手順②に戻る。
- ⑨ 同一の IRU 配下に接続された基地局アンテナ 2 つについても同様に試験を行う。

表 5.5.1.2-1 技術実証 8 アンテナ高

項目	値
基地局アンテナ高	3m (プラットホーム基準)
移動局アンテナ高	1m (プラットホーム基準)

表 5.5.1.2-2 技術実証 8 測定点

項番	基地局間距離	IRU	移動方向	移動速度
5011, 5013, 5015	70m	異なる IRU	A⇒B	1.4m/s
5012, 5014			B⇒A	
5031, 5033, 5035	80m	異なる IRU	A⇒B	1.4m/s
5032, 5034			B⇒A	
5131, 5133, 5135	80m	同一 IRU	A⇒B	1.4m/s
5132, 5134			B⇒A	
5141, 5143, 5145	90m	同一 IRU	A⇒B	1.4m/s
5142, 5144			B⇒A	

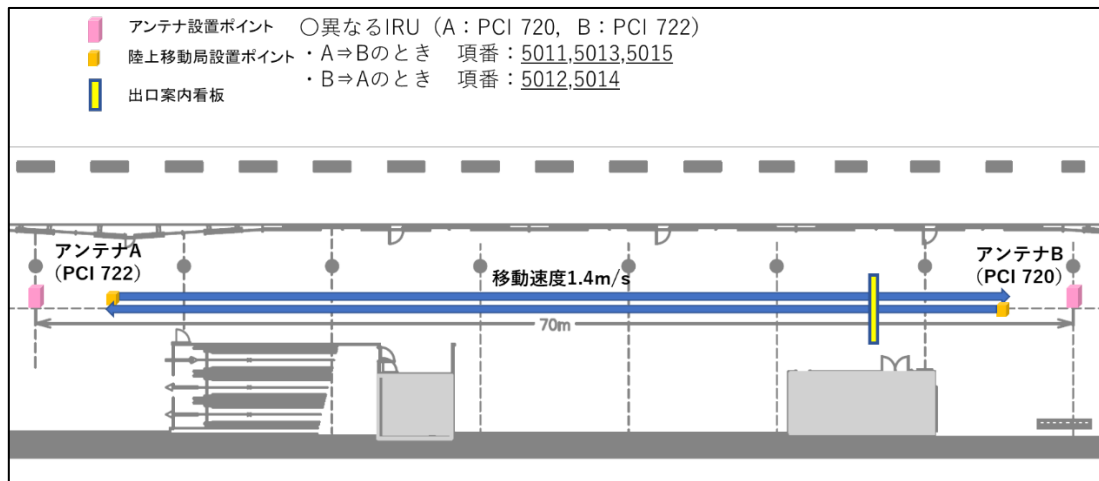


図 5.5.1.2-3 技術実証 8 測定点(アンテナ間距離 70m)

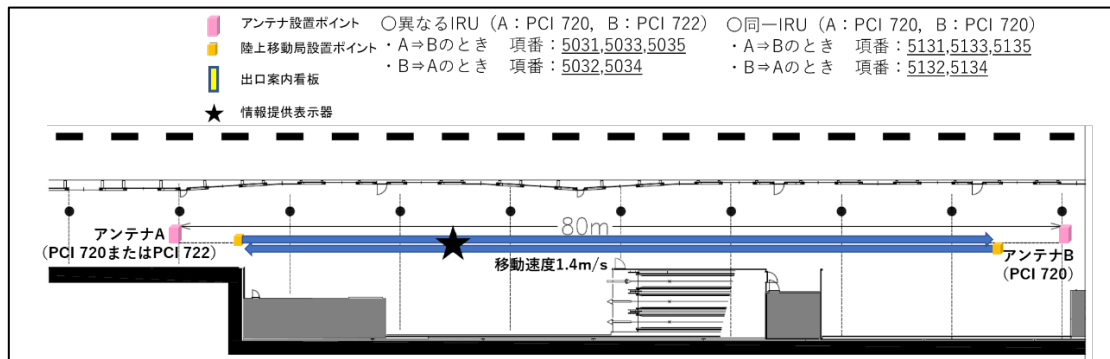


図 5.5.1.2-4 技術実証 8 測定点(アンテナ間距離 80m)

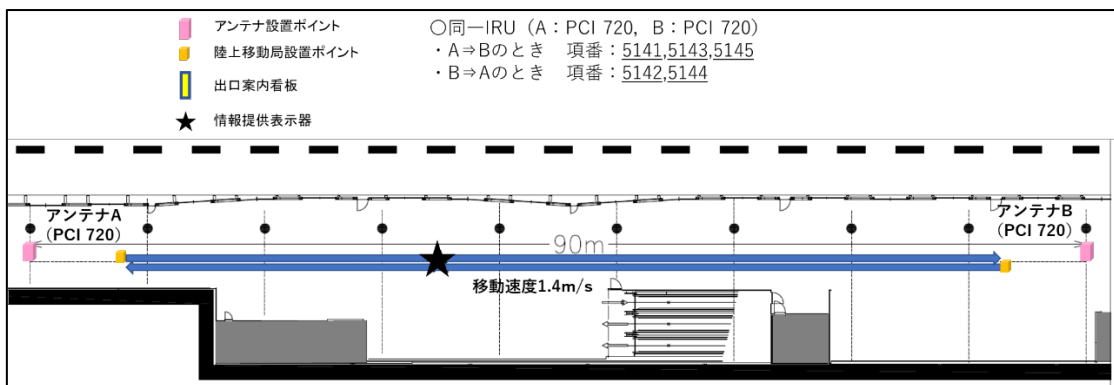


図 5.5.1.2-5 技術実証 8 測定点(アンテナ間距離 90m)

5.5.1.3 検証結果

(1) 異なる IRU のアンテナ間距離 70m

異なる IRU のアンテナ間距離 70m における RSRP、SINR 及び RSRQ の時間推移の測

定結果をそれぞれ図 5.5.1.3-1、図 5.5.1.3-2 に示す。経過時間軸の 0[s]の時間がハンドオーバーポイントである。

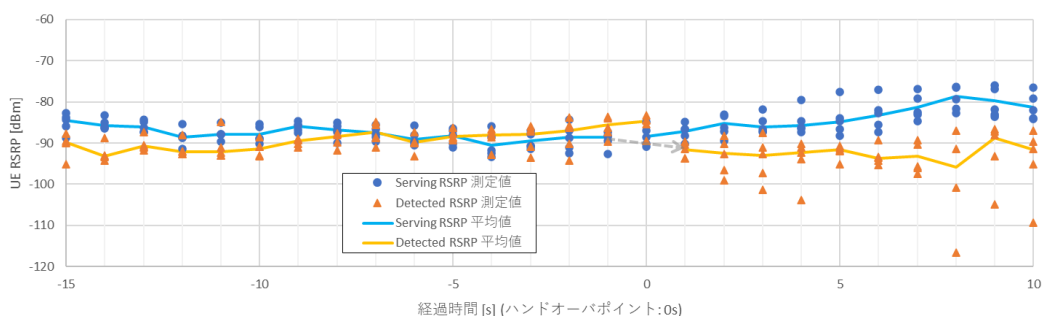


図 5.5.1.3-1 RSRP の時間推移(アンテナ間距離 70m)

RSRP に関しては Serving RSRP、つまり通信をしているアンテナからの受信電力はハンドオーバーポイントに近づくにつれて緩やかに減少し、 $-90[\text{dBm}]$ を下回る前にハンドオーバーした。

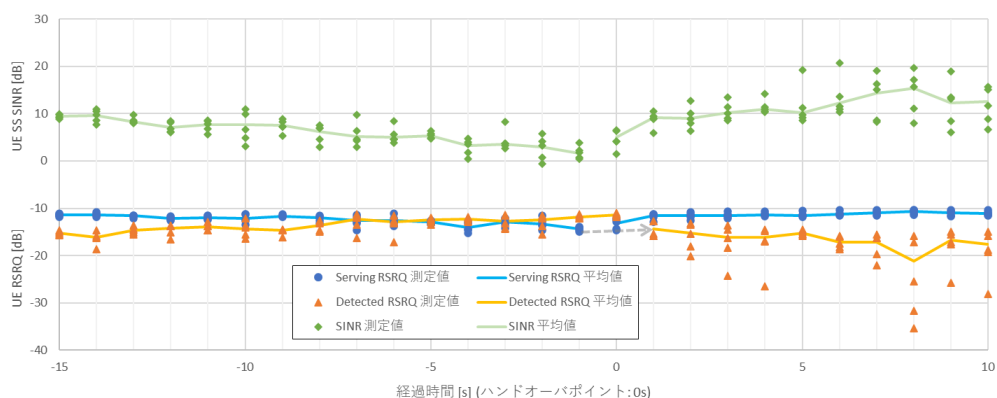


図 5.5.1.3-2 SINR 及び RSRQ の時間推移(アンテナ間距離 70m)

SS-SINR に関しては、 $0[\text{dB}]$ になった次のタイミングでハンドオーバーしているので挙動としては SS-SINR が $0[\text{dB}]$ になったらハンドオーバーしているように見える。RSRQ に関しては RSRP と同様の傾向が見られ、劣化し始める頃にハンドオーバーすることで概ね一定値を保っていた。

(2) 異なる IRU のアンテナ間距離 80m

異なる IRU のアンテナ間距離 80m における RSRP、SINR 及び RSRQ の時間推移の測定結果をそれぞれ図 5.5.1.3-3、図 5.5.1.3-4 に示す。経過時間軸 0[s]の時間がハンドオーバーポイントである。測定結果それぞれについて、異なる IRU のアンテナ間距離 70m における測定結果と同様の傾向が見られた。

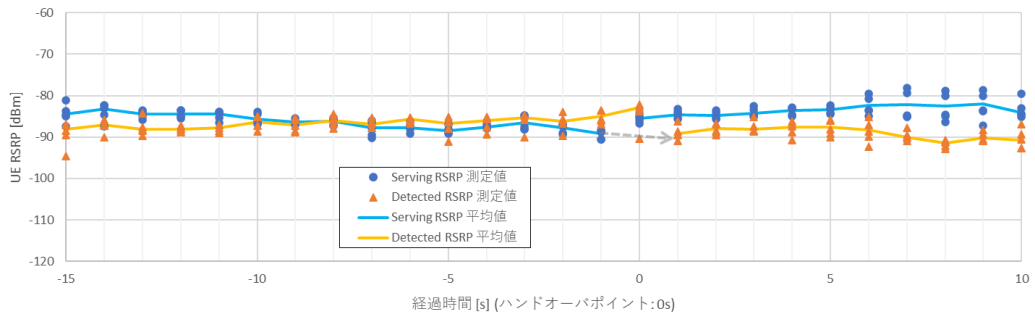


図 5.5.1.3-3 RSRP の時間推移(アンテナ間距離 80m)

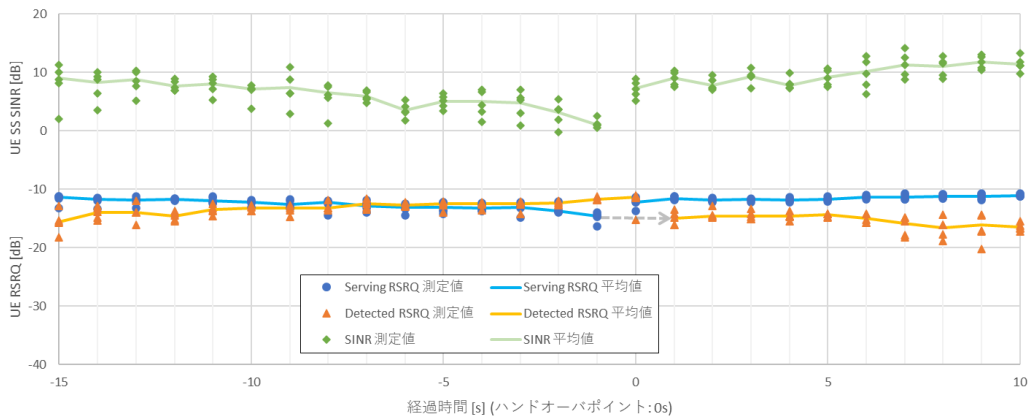


図 5.5.1.3-4 SINR 及び RSRQ の時間推移(アンテナ間距離 80m)

(3) アンテナ間の条件による指標の比較

技術実証 4 の測定結果も含め、アンテナ間距離 35m の LOS 環境、アンテナ間距離 32m の NLOS 環境、アンテナ間距離 70m の LOS 環境、アンテナ間距離 80m の LOS 環境における SINR、PDSCH MCS、BLER、PUSCH MCS、PUSCH ReTx の時間推移の測定結果を図 5.5.1.3-5～図 5.5.1.3-9 に示す。経過時間軸 0[s]の時がハンドオーバーポイントである。

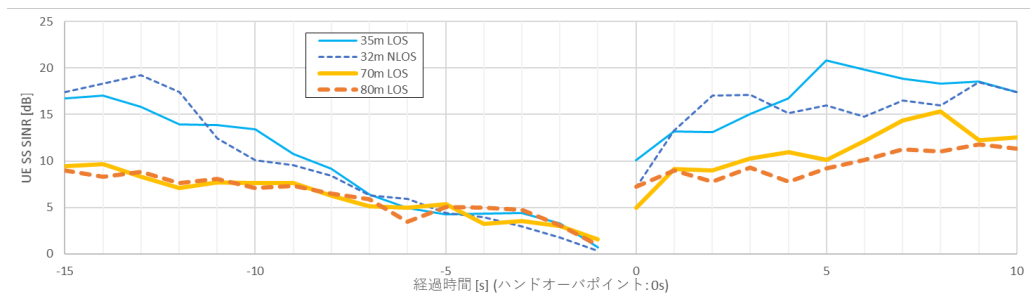


図 5.5.1.3-5 SINR の時間推移

SINR に関しては、どの条件においても一様に 0[dB]になった次のタイミングでハンドオーバーしている。

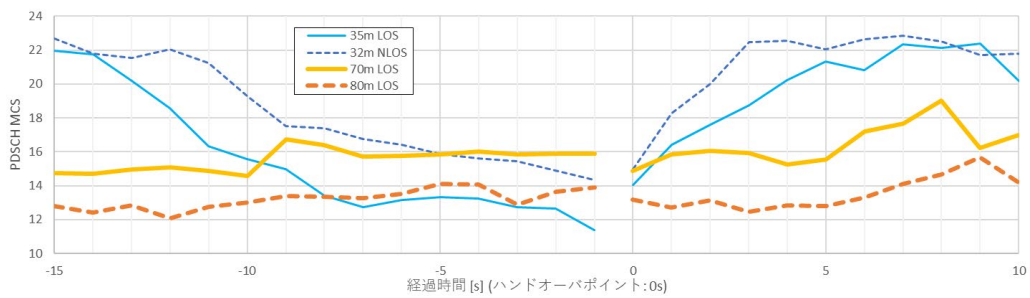


図 5.5.1.3-6 PDSCH MCS の時間推移

PDSCH MCS に関しては、ハンドオーバと直接的な相関は無いように見られるが、ハンドオーバーポイント付近ではかなりの劣化が見られた。

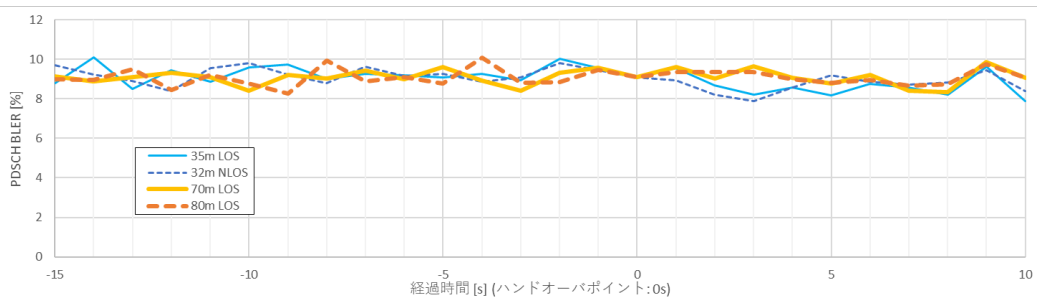


図 5.5.1.3-7 PDSCH BLER の時間推移

BLER に関してはどの測定条件においても 10[%]以下に制御できていることがわかった。

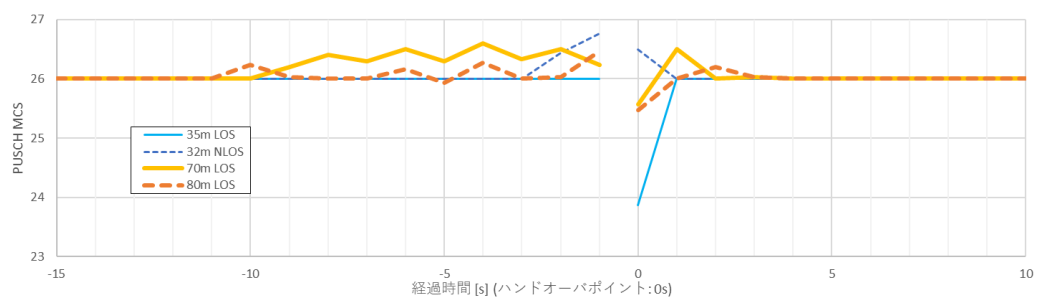


図 5.5.1.3-8 PUSCH MCS の時間推移

PUSCH MCS に関しては、ハンドオーバ時には劣化が見られるものの、全体としてはほとんど一定で良好な値を記録した。

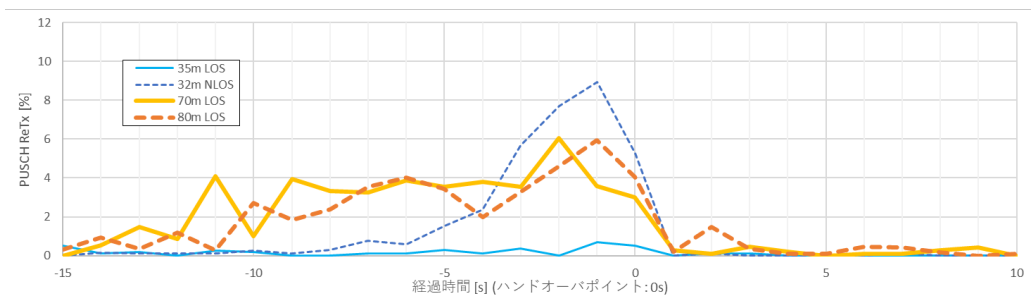


図 5.5.1.3-9 PUSCH ReTx の時間推移

PUSCH ReTx に関しては、BLER と同様に 10[%]以下に制御できていることがわかった。

技術実証 4 の測定結果も含め、アンテナ間距離 35m の LOS 環境、アンテナ間距離 32m の NLOS 環境、アンテナ間距離 70m の LOS 環境、アンテナ間距離 80m の LOS 環境における DL パケットロス、UL パケットロス、DL スループット、UL スループット、DL 遅延、UL 遅延、DL ジッタ、UL ジッタの測定結果を図 5.5.1.3-10～図 5.5.1.3-19 に示す。経過時間軸 0[s]の時間がハンドオーバーポイントである。

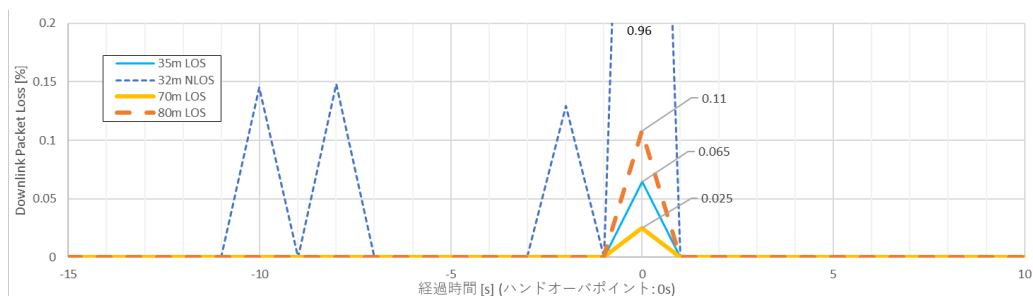


図 5.5.1.3-10 DL パケットロスの時間推移

DL パケットロスに関しては NLOS 環境では、度々パケットロスが発生しているが、他の条件ではハンドオーバ時のみパケットロスが発生している。

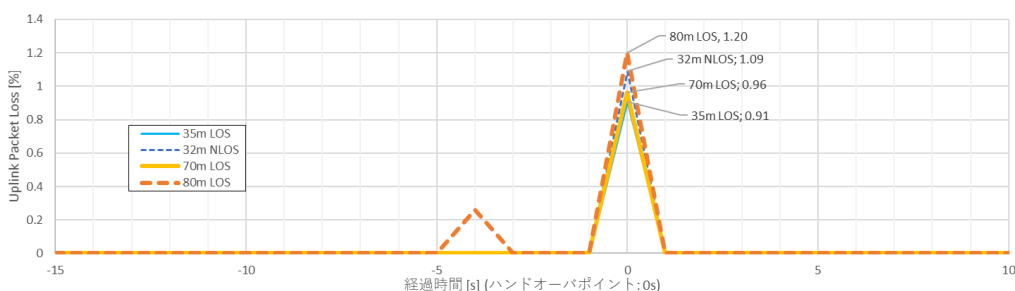


図 5.5.1.3-11 UL パケットロスの時間推移

また UL パケットロスに関しては、アンテナ間距離が 80[m]の場合はハンドオーバ時以外にもパケットロスが見られ、他の条件ではハンドオーバ時のみパケットロスが発生した。DL、UL のパケットロスの結果として、ハンドオーバ時には必ずパケットロスが発生し、

また NLOS 環境及びアンテナ間距離 80[m]の場合の LOS 環境ではハンドオーバーポイント以外にもパケットロスが発生した。

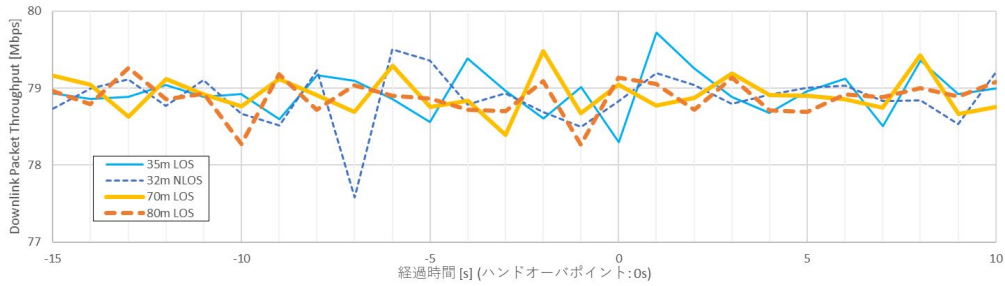


図 5.5.1.3-12 DL スループットの時間推移

DL スループットについては大きな特徴は見られなかった。

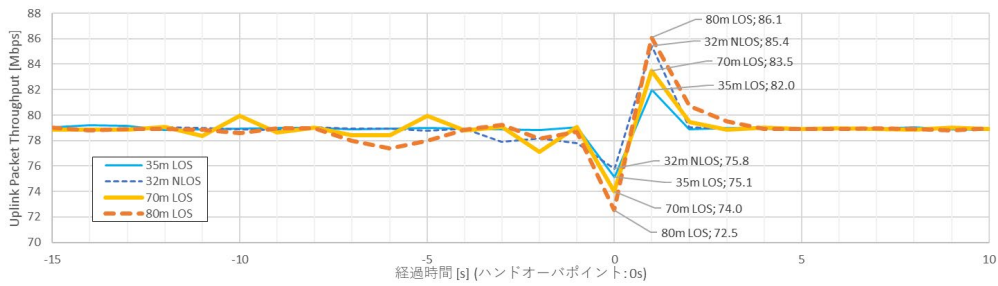


図 5.5.1.3-13 UL スループットの時間推移

UL スループットに関しては全ての条件で、ハンドオーバー時に減少し、次のタイミングで印加しているトラフィック 80[Mbps]を超える結果が見られた。技術実証 4 の結果でも述べたが、これはバッファリングが働いたと考えられる

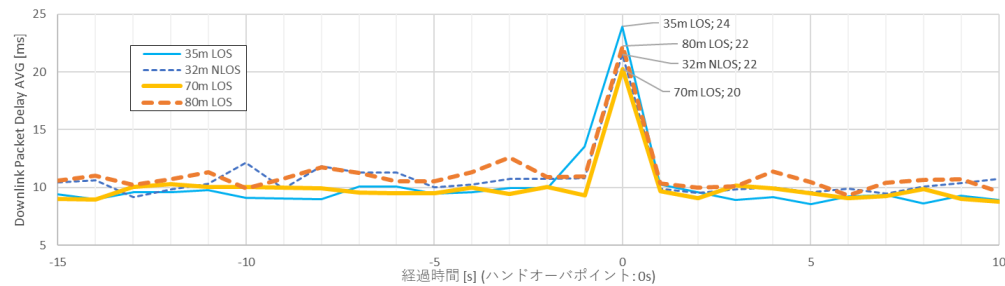


図 5.5.1.3-14 DL 遅延の時間推移

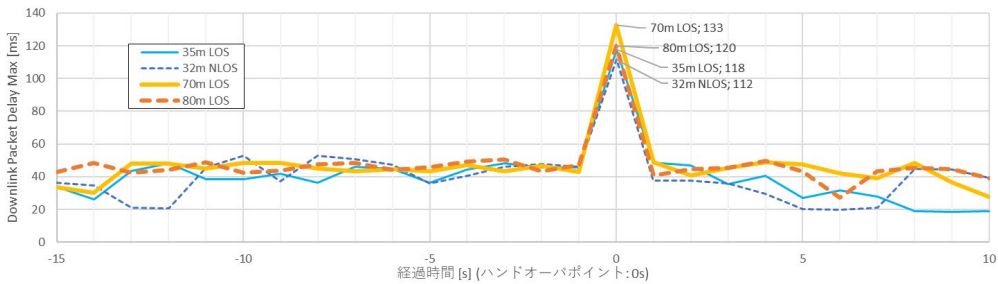


図 5.5.1.3-15 DL 遅延の時間推移

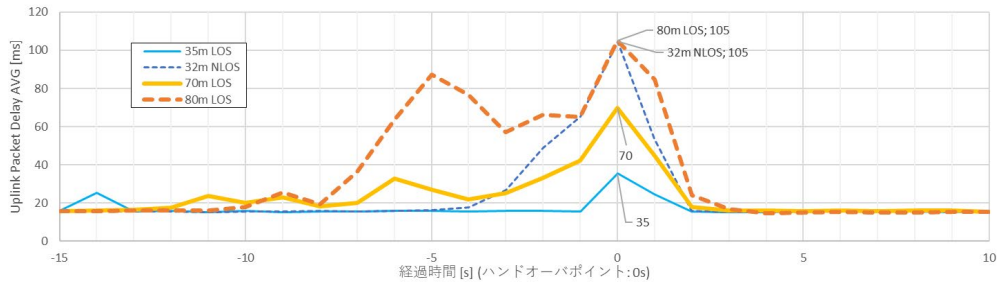


図 5.5.1.3-16 UL 遅延の時間推移

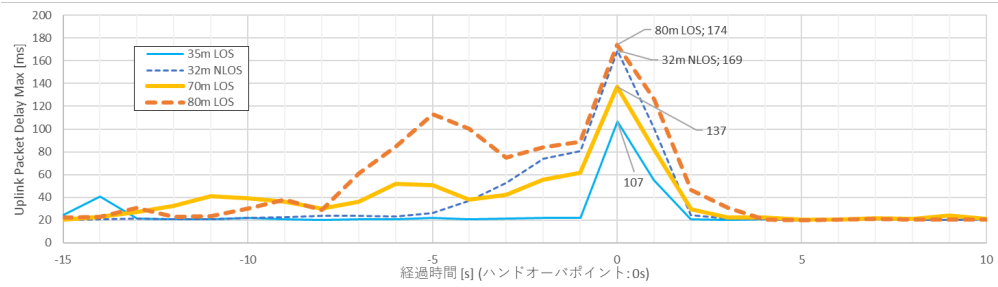


図 5.5.1.3-17 UL 遅延の時間推移

遅延に関しては、UL、DL ともにハンドオーバーポイントで大幅な増加が見られた。

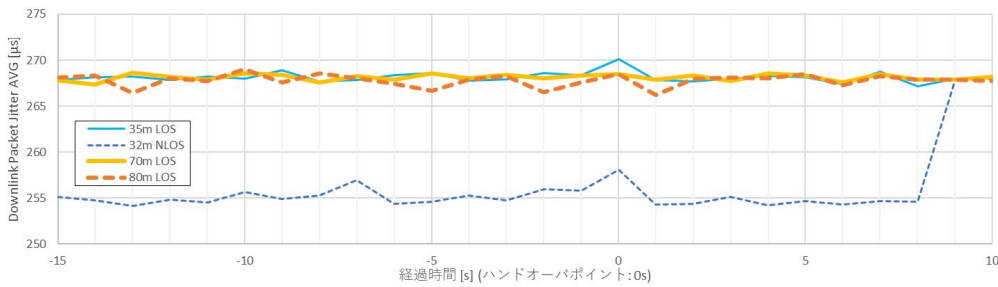


図 5.5.1.3-18 DL ジッタの時間推移

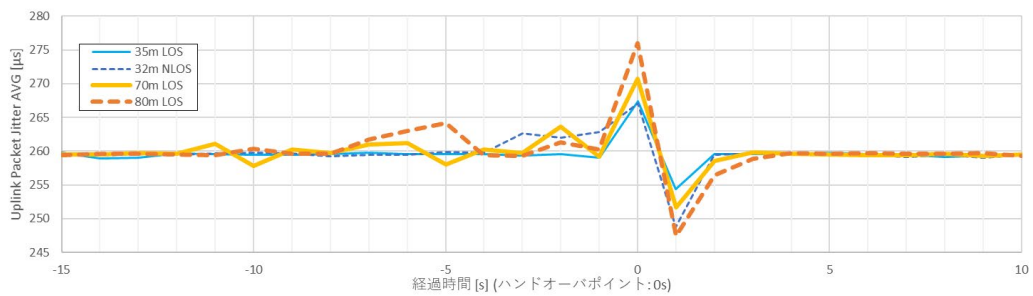


図 5.5.1.3-19 UL ジッタの時間推移

ジッタに関しては、DL の場合は低いところでほとんど一定であった。また UL の場合はハンドオーバーポイントとその次のタイミングで大幅な増減が見られるものの全体として低い値であった。

(4) 同一セクタ内のアンテナ間の推移

同一セクタ内のアンテナ間の推移の RSRP、RSRQ、SINR、PDSCH MCS、PUSCH MCS の測定結果を図 5.5.1.3-20～図 5.5.1.3-24 に示す。経過時刻軸が 0[s]の時間がハンドオーバーポイントであり 2つのアンテナの中間地点である。

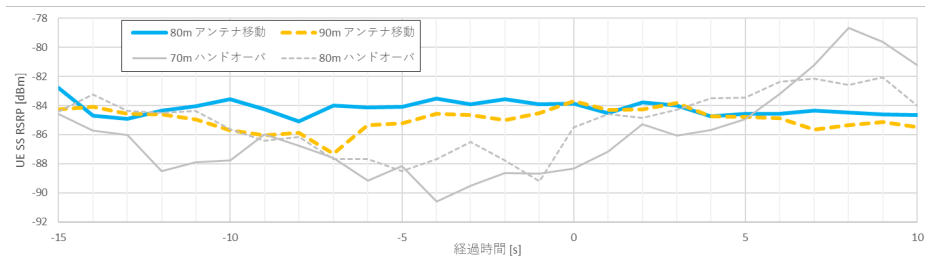


図 5.5.1.3-20 RSRP の時間推移

RSRP に関しては、異なる IRU (ハンドオーバー) と比較すると同一セクタ内 (アンテナ移動) の場合の方が全体的に高い値で安定していることがわかった。

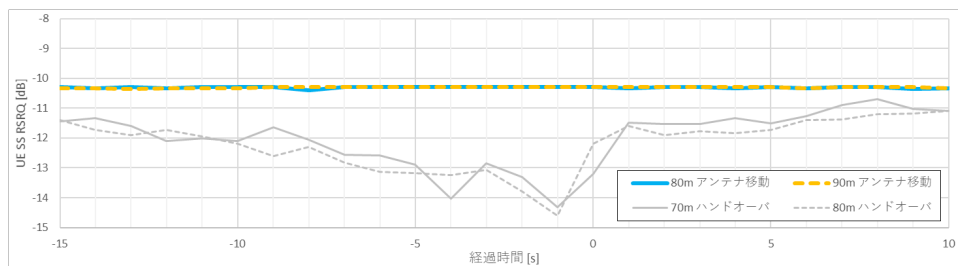


図 5.5.1.3-21 RSRQ の時間推移

RSRQ に関しては RSRP の傾向と同様に、同一セクタ内 (アンテナ移動) の場合は高い値で安定していることがわかった。

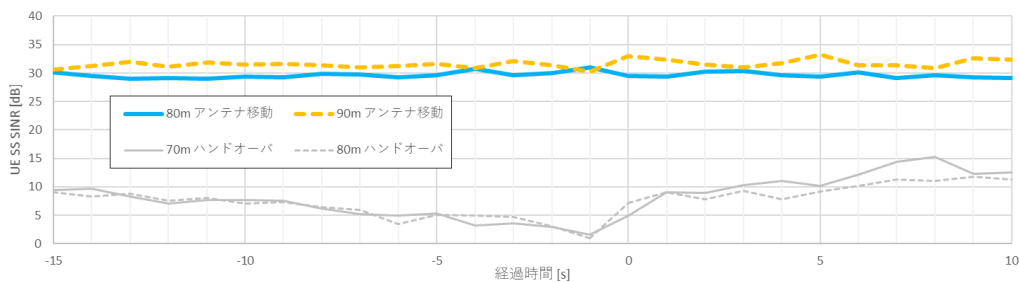


図 5.5.1.3-22 SINR の時間推移

SINR に関しても、同一 IRU 内の場合は高い値で安定していることがわかった。

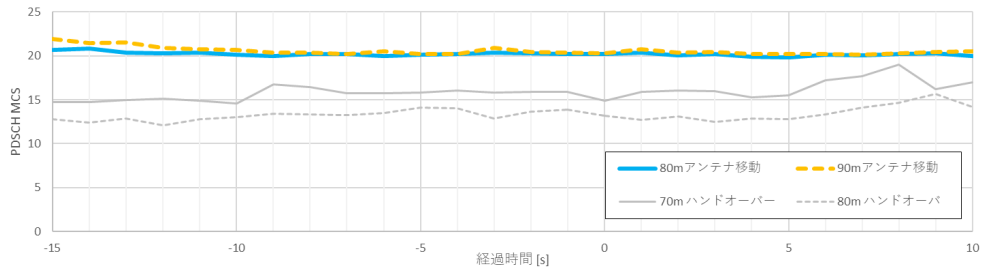


図 5.5.1.3-23 PDSCH MCS の時間推移

PDSCH MCS についても、同一セクタ内（アンテナ移動）の場合は高い値で安定していることがわかった。

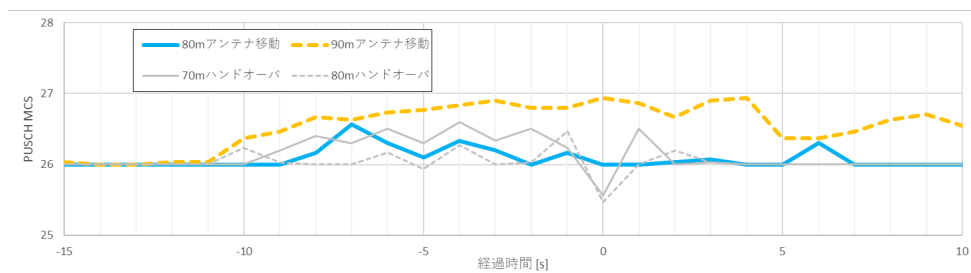


図 5.5.1.3-24 PUSCH MCS の時間推移

PUSCH MCS に関しては、異なる IRU（ハンドオーバー）の場合はハンドオーバーポイントで劣化が見られたが、同一セクタ内（アンテナ移動）の場合は常に 26 以上の値を保っていた。

UL、DL それぞれのパケットロス、スループット、遅延、ジッタの測定結果を図 5.5.1.3-25～図 5.5.1.3-34 に示す。

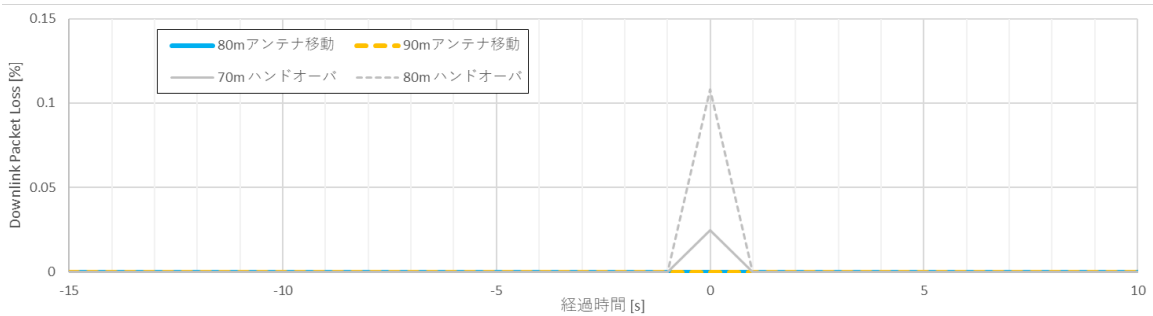


図 5.5.1.3-25 DL パケットロスの時間推移

DL パケットロスに関しては、ハンドオーバーをする際にパケットロスが生じていることがわかったがそれ以外ではパケットロスが見られなかった。

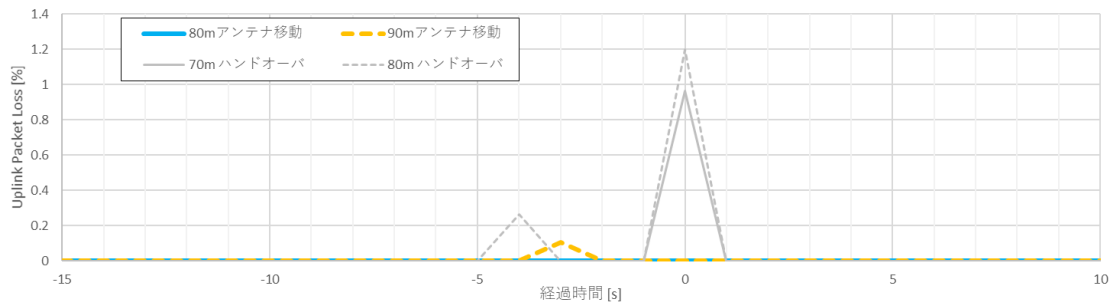


図 5.5.1.3-26 UL パケットロスの時間推移

UL パケットロスに関しては、ハンドオーバをする際にパケットロスが生じているもの以外に、異なる IRU (ハンドオーバ) のアンテナ間距離 80m の場合と同一セクタ内 (アンテナ移動) アンテナ間距離 90m の場合でそれぞれパケットロスが発生しているの、パケットロスせずに通信できる距離の限界を超えたと考えられる。

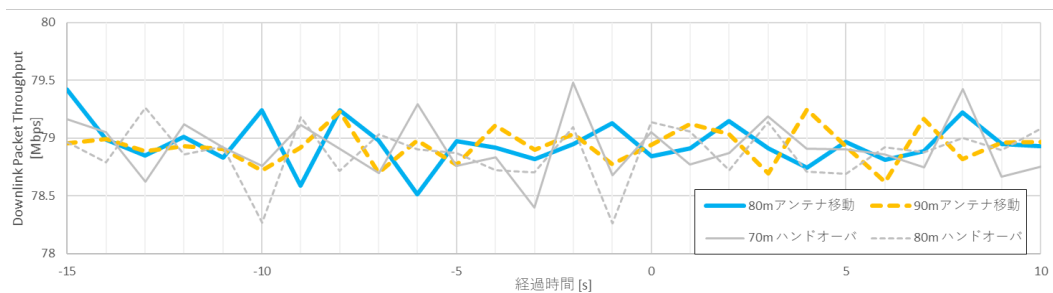


図 5.5.1.3-27 DL スループットの時間推移

DL スループットに関しては、異なる IRU (ハンドオーバ) の場合の方が、多少ばらつきが多く感じられるが特に大きな傾向の違いは見られなかった。

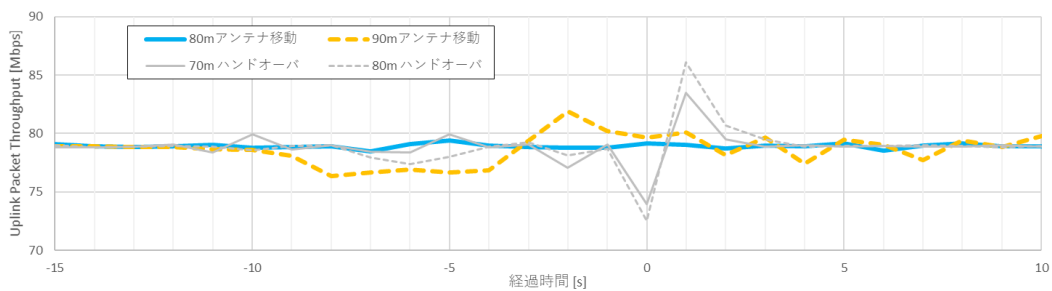


図 5.5.1.3-28 UL スループットの時間推移

UL スループットに関しては、ハンドオーバをするタイミングとその次のタイミングで値の増減が見られるが、ハンドオーバをしない部分に関しては概ね一定値であった。

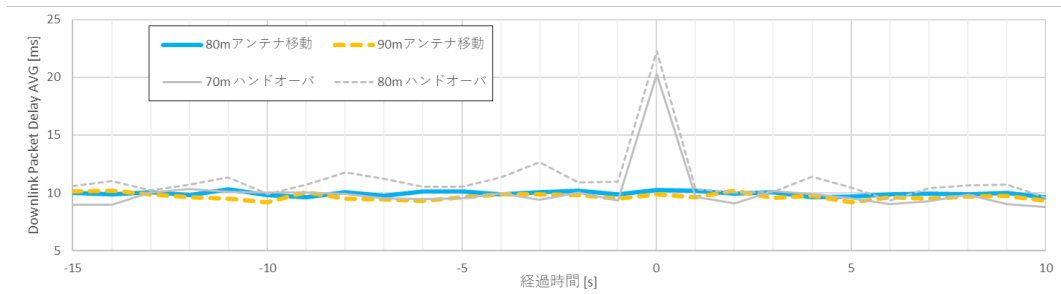


図 5.5.1.3-29 DL 遅延の時間推移

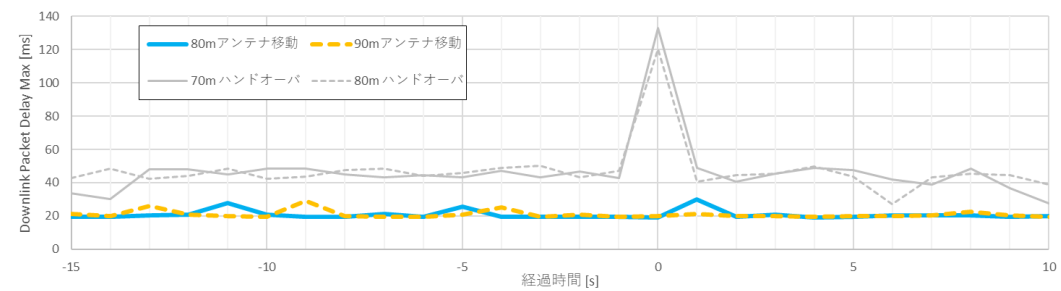


図 5.5.1.3-30 DL 遅延の時間推移

DL 遅延に関しては、ハンドオーバをするタイミングで遅延の増加が見られたが、その他の部分に関しては概ね一定値であった。

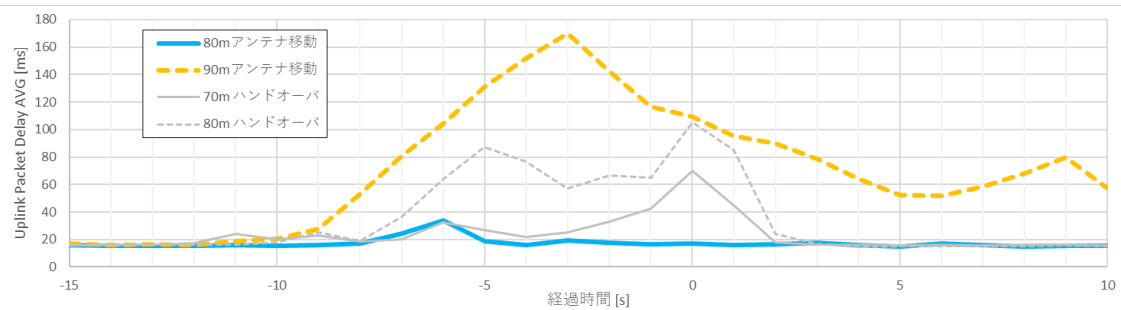


図 5.5.1.3-31 UL 遅延の時間推移

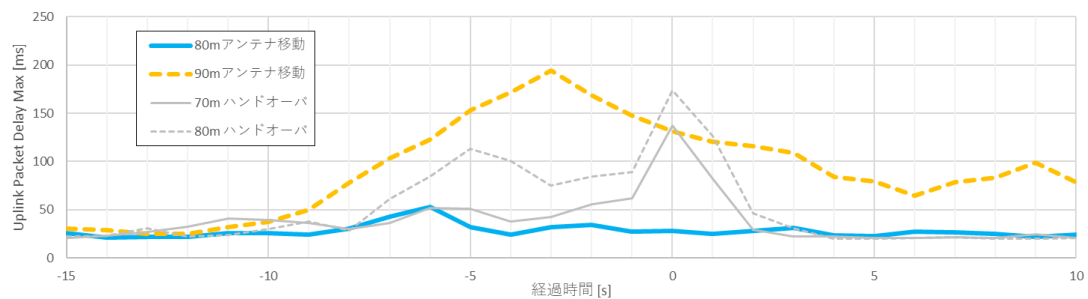


図 5.5.1.3-32 UL 遅延の時間推移

UL 遅延に関しては、同一セクタ内（アンテナ移動）のアンテナ間距離 90m の場合に大きな遅延の増加が見られた。遅延のピークを記録した経過時間 3[s]では UL パケット

ロスが発生していた。またハンドオーバをするタイミングで遅延の増加が見られた。

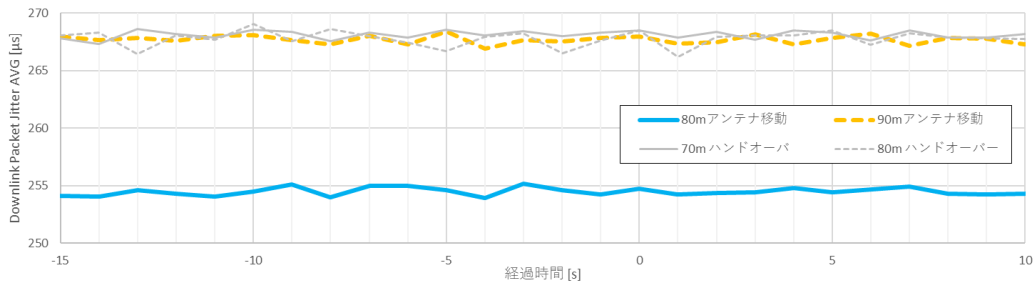


図 5.5.1.3-33 DL ジッタの時間推移

DL ジッタに関しては、同一セクタ内（アンテナ移動）のアンテナ間距離 80m の場合は、他の条件と比較するとジッタが小さかったが、どの条件においても概ね一定値であった。

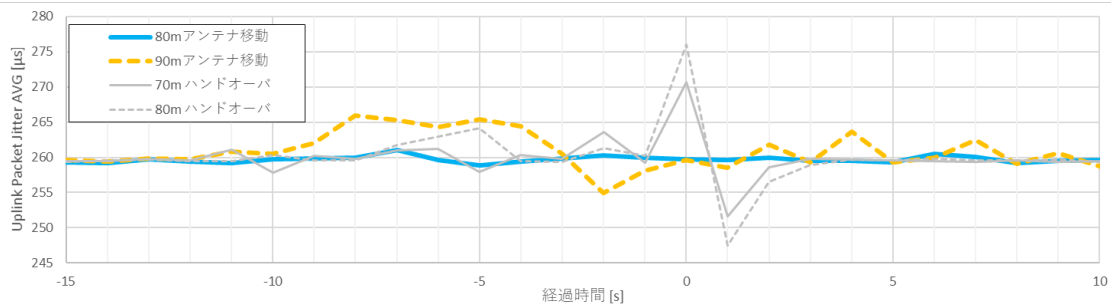


図 5.5.1.3-34 UL ジッタの時間推移

DL ジッタに関しては、ハンドオーバをするタイミングとその次のタイミングで値の増減が見られるが、ハンドオーバをしない部分に関しては概ね一定値であった。

5.5.1.4 検証結果を踏まえた考察

検証結果から、RSRP、SINR、PDSCH MCS、RSRQ、DL 遅延に関して同一セクタ内（アンテナ移動）の場合は異なる IRU（ハンドオーバ）の場合と比較すると、良好な値を安定して記録していた。またハンドオーバ時にパケットロスが発生する事象が見られた。これらの原因は前述の 5.3.5.4 (2) に述べた通りである。

また、アンテナ間距離に関しては、異なる IRU（ハンドオーバ）のアンテナ間距離 80m の場合と同一セクタ内（アンテナ移動）アンテナ間距離 90m の場合でそれぞれパケットロスが発生しているので、パケットロスせずに通信できる距離の限界としては、異なる IRU（ハンドオーバ）の場合はアンテナ間距離 70m、同一セクタ内（アンテナ移動）の場合はアンテナ間距離 80m が適当であると考えられる。

5.5.1.5 技術的課題の解決方法

通信品質を保持しつつ、極力少ない基地局でエリアカバーをするためには、ハンドオー

バ時にパケットが発生するため同一セクタ内（アンテナ移動）によるエリアカバーを採用し、またアンテナ間距離 90m の場合でパケットロスが発生したため、パケットロスが発生しなかったアンテナ間距離 80m が適当であると考えられる。

5.5.1.6 更なる技術的課題

ハンドオーバをさせずにエリアをカバーするために同一セクタ内（アンテナ移動）によるエリアカバーを採用した場合、1 台の IRU に接続できるアンテナの数には限りがあるので、エリアのカバーに限界がきてしまう。また IRU に不具合が発生したときにエリア全体が通信できなくなってしまうリスクがある。それらの課題を解決するために、ユーザトラフィックを保持したままハンドオーバできる機能を実装及び異なる IRU（ハンドオーバ）を設置した際に見られた通信品質の劣化の原因を調査することで、複数の IRU によるエリア構築の実現が今後の課題として考えられる。

また本技術実証では、BBU1 台のシステム構成におけるセクタ間移動のハンドオーバの試験を実施した。より広いエリアをカバーする必要がある場合は、複数の BBU を使用したシステム構成を検討する必要がある。そのために複数の BBU を使用したハンドオーバの試験を実施し、性能評価を実施することが今後の課題として考えられる。

5.6 5 章を通じた考察・まとめ

5 章では課題解決システムの実装及び実証地域以外の地域での利用においても有益な成果を得るために、羽田空港国際線ターミナルビルに直結する京浜急行電鉄の「羽田空港第 3 ターミナル駅」において、ローカル 5 G (4.7GHz 帯)無線通信システムを利用したドローンを活用した遠隔巡回、ロボットを活用した遠隔巡回、監視用カメラ及び AI を活用した遠隔監視による高度な警備システムをユースケースとして想定して技術実証を行った。

マルチパス環境における 4.7GHz 帯の電波伝搬特性に関しては、LOS 環境において電波伝搬は距離の 2 乗則に従い減衰する傾向が見られたため、伝搬モデルとして距離の 2 乗則に従うモデルを基にするのが適当であると考えられる。NLOS 環境の場合は、遮蔽物となるものの内容（材質や厚みなど）及び遮蔽物と基地局・UE の位置関係に依存して受信電力が変動することがわかったため、今後は遮蔽物の内容と位置関係が伝搬特性にどのような影響を及ぼすのかに焦点を当てた調査・検討が必要である。

ドローンが被写体を追尾していることを想定した UE の直線移動による性能評価実験に関しては、RSRP やパケットロスに大きな変化は見られなかった。また移動したことによるドップラー効果の影響はほとんど見られないため、ユースケースにおいては重要な要素ではないということを確認した。

ハンドオーバ時の性能評価実験に関しては、ハンドオーバ時のパケットロスの発生や PCI の異なる基地局を 2 台設置したことによる通信品質の劣化が見られた。これらの原因としてハンドオーバに関しては機器の仕様によるものであるが、基地局を 2 台設置したことによる通信品質の劣化についてはその詳細を明らかにして解決方策を検討する必要がある。

エリア設計に関しては、フェードマージンを 10[dB]、人体遮蔽マージンを 8[dB]、基地局から一定距離以上遠い領域での NLOS 環境への侵入損として 6[dB]をそれぞれ採用し、実用的な用途で必要とされるマージンは最大で $24[\text{dB}] = 10[\text{dB}] + 8[\text{dB}] + 6[\text{dB}]$ と考えられる。また、性能要求を満たすエリア設計をするためには、アップリンクの性能要求を満たすことが課題であり、片側のホーム上全体をカバーするためには、NLOS 環境を作らないようにアンテナを 2 台設置する必要があると考えられる。もしくは TDD 比を変更した場合、ダウンリンクの性能要求にほとんど影響を出すことなく、アップリンクの性能を大幅に改善できることがわかった。その場合は、アンテナ 1 台で片側のホーム全体をカバーできると考えられる。

他のローカル 5 G システムとの共用に関して、電波干渉を引き起こさない最適な離隔距離については、本システムのカバーエリア限界が約 206m であるため、実証エリアであったホーム上での他システムとの共用は困難であることがわかった。別の階層や建物外に他システムを導入する場合について、実際にそれらのポイントで測定を行い、最適な離隔距離を検討する必要がある。また離隔距離を確保する以外の方法として、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それぞれ割り当てて供用する方法が考えられるが、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ため、干渉により発生するノイズの影響について調査する必要がある。

カバーエリアの方法とアンテナ間距離に関しては、ハンドオーバー時の性能評価実験で述べた課題が残っているため、同一セクタ内（アンテナ移動）によるエリアカバーを採用し、またアンテナ間距離は 80m 離すことが適当であると考えられる。

また本技術実証で 1 秒平均として測定した KPI からピックアップしたものについて、全試験データを通して見られた相関を図 5.6-1 に示す。なお図では p 値 0.01 について検定を行った結果をバツマークで示しているが、データ数が大きいためほとんど有意性ありとなっている。

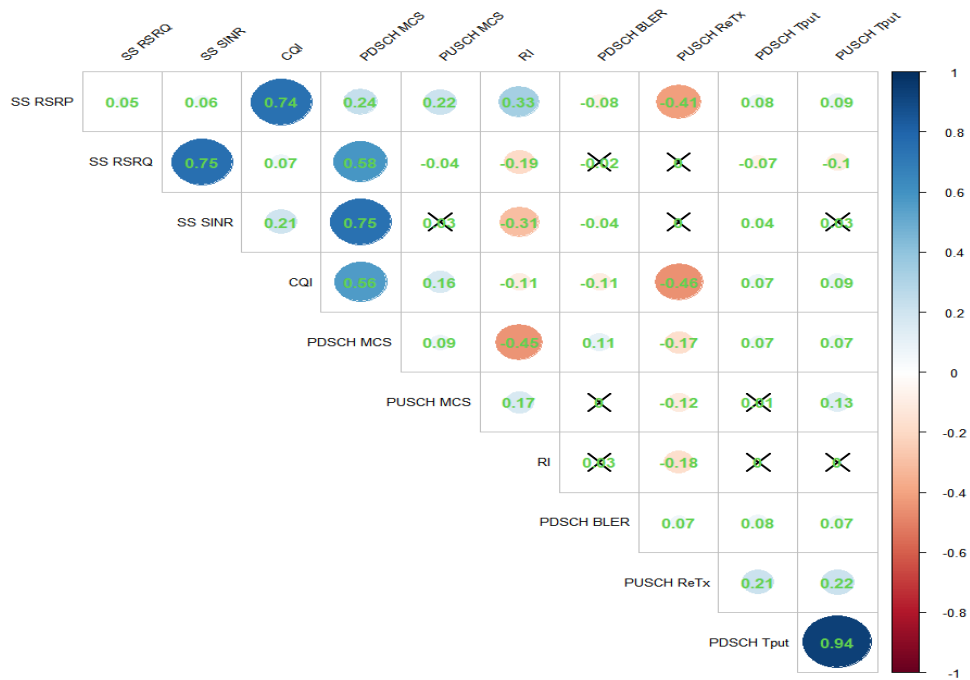


図 5.6-1 全試験データ相関表

図で大きな相関を示しているものは概ね本章で取り上げた事項に一致するが、想定外の相関も見られる。まず原因が分かるものとして PDSCH Throughput-PUSCH Throughput は試験においてダウンリンクとアップリンクのトラフィックを同時に開始したことによる人為的な相関である。一方で、RSRP-PUSCH ReTx、CQI-PUSCH ReTx、PDSCH MCS-RI などの負の相関や、値は小さいものの PUSCH ReTx-PDSCH などの正の相関は現時点では関連性が不明でありさらなる調査が必要である。

5.7 参考文献

- (1) 株式会社国際電気通信基礎技術研究所：「屋内において10Gbpsを超える超高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」に関する調査検討報告書、平成30年3月
- (2) Wireless City Planning 株式会社：「多数の端末からの同時接続要求を処理可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」、令和2年3月31日
- (3) 株式会社国際電気通信基礎技術研究所：「屋内において平均2Gbpsを超える超高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」に関する調査検討報告書、平成31年3月
- (4) エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社：「高速移動時において平均1Gbpsを超える高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討の請負」、2019年3月
- (5) 総務省：無線局免許手続規則に基づく無線局の設置する地域に関する告示案等に係る意見募集、https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000472.html、2020年12月9日取得
- (6) 総務省：別紙2 電波法関係審査基準（平成13年総務省訓令第67号）の一部を改正する訓令案、https://www.soumu.go.jp/main_content/000711787.pdf、2020年12月9日取得

6. 実装及び横展開に関する検討

6.1 前提条件

6.1.1 実装・横展開の定義

本章における「実装」とは、本実証を行った京急羽田空港第3ターミナル駅において、ローカル5Gを用いたユースケースとして高度な警備システムが実装され、警備力の向上により施設の安全・安心の確保と構造的な課題となっている人手不足の解消に資する状態となることをいう。

また「横展開」とは、京急電鉄の運営するその他駅施設に対して実装される状態となることをいう。

さらに、横展開に資する普及モデルとして、同様の鉄道事業者を始め他の業種・業態への展開を図るためのモデルを、「さらなる普及モデル」という。

6.1.2 実装・横展開に係る制約条件

6.1.2.1 警備業について

(1) 警備業務の法律上の分類

警備業法（昭和47年7月5日法律第117号）第2条1項各号に定められる法律上の警備業務の分類は次のとおりである。本実証において対象とした警備業務は第1号の業務に該当する。

表 6.1.2.1-1 警備業法第2条における警備業務の分類

1号 (空港保安・施設)	事務所、住宅等における盗難等の事故の発生を警戒し、防止する業務
2号 (雑踏・交通誘導)	人若しくは車両の雑踏する場所又はこれらの通行に危険のある場所における負傷等の事故の発生を警戒し、防止する業務
3号 (貴重品等運搬)	運搬中の現金、貴金属、美術品等に係る盗難等の事故の発生を警戒し、防止する業務
4号 (身辺)	人の身体に対する危害の発生を、その身辺において警戒し、防止する業務

さらに1号警備業務は、5つの業務に区分される。

表 6.1.2.1-2 1号警備業務の区分

①施設警備 (常駐警備)	契約先施設に警備員が常駐し、出入管理、巡回、開閉館管理、鍵の管理、防災センター業務などの各種業務を行うもの。
②巡回警備	複数の契約先施設を警備員が車両等で移動し、それぞれの施設を定期又は不定期に巡回するもの。契約先施設に警備員は常駐していない。
③機械警備	契約先施設に各種のセンサー等を設置し、警備事業者の監視センターで

	侵入者や火災等の発生を監視し、異常があった際には直ちに警備員が現場に駆け付け対処を行う。家庭向けにはホームセキュリティとも呼称される。
④空港保安警備	エックス線透視検査装置や金属探知機等を用いて、航空機内への持ち込み禁止品の不法な持ち込みを防止する業務である。
⑤保安警備	主に商業施設において、私服又は制服警備員による万引きや置き引き等の店内での各種の犯罪防止を行う業務である。

出所：一般社団法人 全国警備業協会 HP より引用し ALSOK が編集

(2) 実装・横展開における警備サービスに係る制約事項

施設に対する警備業務の分類と警備業務を提供する上で考慮すべき法律上の制約事項について整理を行う。

本実証システムの実装・横展開において警備サービスとしての提供形態として 2 通りのモデルが考えられる。

1) 警備モデル①

「本実証システムのシステム導入＋従来の人的施設警備」であり、警備会社 A が警備サービスを提供するものである。

京急電鉄では施設警備業務を警備事業者（京急サービス）へ委託し警備サービスの提供を受けている。本実証システムを使用した警備業務の実施形態としては、京急電鉄がシステムをシステム提供事業者より導入し、施設警備業務を請負う警備事業者が同システムを使用して警備行うといった形態が考えられる。本業務形態は、警備業法における施設警備業務として位置づけられる従来の警備業務であり特段的な制約を受けることはない。

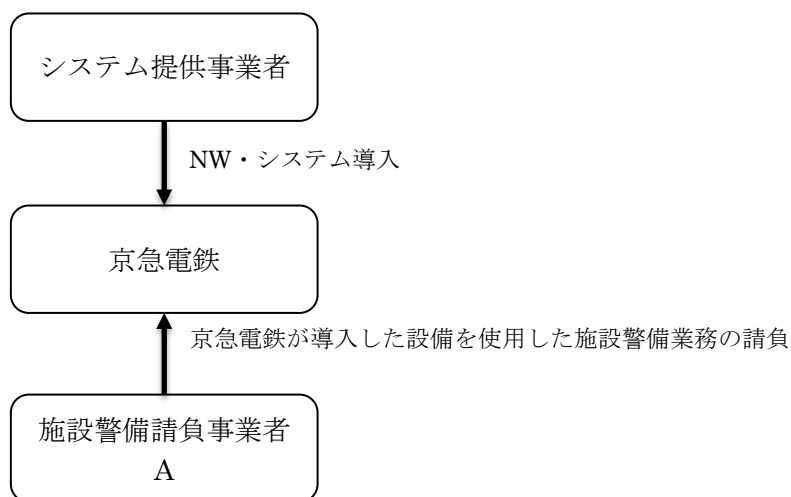


図 6.1.2.1-1 警備モデル②の提供形態

2) 警備モデル②

「システム導入+人的施設警備（A社）+遠隔監視（B社）」であり、警備会社B社が遠隔監視により発見した情報に基づき、警備会社A社に対して対処の指揮命令を行うことで警備サービスを2社によって提供するものである。

4.1.1 施設警備業務における業務プロセスに記述のとおり、従来の施設警備モデルにおいては、施設に常駐する警備員が警備力（抑止力・発見力・対処力）を提供することで警備業務が成り立っている。新たな警備モデルでは、従来モデルの提供事業者A社が施設内の人的警備業務（主として対処力）を行い、遠隔監視の提供事業者B社は（抑止力・発見力）の提供を行うといった、2社での分業によるモデルとなる。これは、警備業法に明確な定めはないと解釈されるが、施設警備業務における常駐警備と機械警備のハイブリッド型のモデルとも言い換えられる。

機械警備業務の解釈として、警備業務用機械装置の運用、警備員に対する指令、基地局からの警備員指示や待機所等の整備を機械警備業務管理者が行うよう定めている。これは、警備業務用機械装置の設置、基地局の設置から警備員への指示までを機械警備業務を行う事業者が一貫して行うべきものを想定し制定されたものであると解釈される。

本モデルの構築においては、警備事業者B社は対象施設における対処までを一貫して実施せず、警備事業者A社へ指示し対処を要請するといったフローを想定したものであり警備業法に抵触する恐れがあると考えられる。

（警備業法の解釈）

・警備業法第2条第5項において、警備業務用機械装置*を使用して行う第2条1項の警備業務（施設警備業務）を「機械警備業」と定めている。警備業務用機械装置とは、本実証システムにおけるドローン・ロボットやAIカメラが得たセンシング情報を警備対象施設以外の施設に設置する受信局（監視センタ）へ送信する機能を有するシステムであり、本実証システムはこれに該当すると解釈される。

* 警備業務対象施設に設置する機器により感知した盗難等の事故の発生に関する情報を当該警備業務対象施設以外の施設に設置する機器に送信し、及び受信するための装置で内閣府令で定めるものをいう。

・警備員が常駐する施設警備業務においては、対象施設における盗難等の発生を警戒し、防止するという業務を個々の警備員による不可分一帯の業務として行っているのが通常の状態。機械警備業務においては、対象施設からの情報を受信し、指令、通報などの措置を行う業務と指令を受けて現場に赴き、必要な警備措置を行う業務とに分業されている。

・現行の警備業法では、第42条（機械警備業務管理者）において警備業務用機械装置の運用を監督し警備員に対する指令業務を統制するとしている。また、第43条（即応体制の整備）においては、「事故の発生を警戒し、防止する業務」が警備業者に一体的な業務として行われている実情を踏まえて法の規定が構成されており、基地局において情報を受信した場合に必要な措置が講じられるよう警備員、待機所及びその他装備を適正に配置するよう定めている。

・例えば、情報処理と指令、通報などの業務のみを行うといった警備モデル②を構築しようとした場合、上記の各条文に抵触するものと考えられる。

出所) 警備業法及び書籍「警備業法の解説」（一般社団法人 警備業協会）より ALSOK が編集

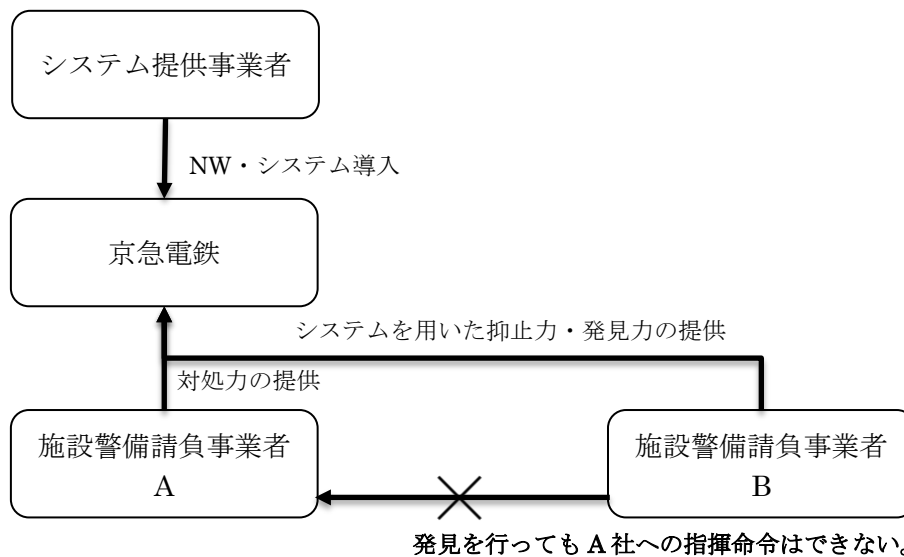


図 6.1.2.1-2 警備モデル②の提供形態

また、労働者派遣法に関係し、警備会社 B 社が遠隔画像巡回や AI 検知を遠隔地のセンター等から担い、その結果を警備会社 A 社に指示し対応を行わせることはできないと解釈される。本モデルの構築においては、警備員を統率する「指揮命令権がどこにあるのか」に留意し、次のようなケースであっても同法に抵触する点を念頭に置き警備モデルの構築が必要となる。

- ・施設警備請負事業者 A 社は、対象施設との警備請負契約において、当該警備業務を別の警備会社 C 社から人員を派遣させ同請負契約に係る業務に就かせることは、労働者派遣法に違反となる。
- ・施設警備請負事業者 A 社が、別の警備会社 C 社に請負業務の一部を再委託し請負契約を履行することは可能である。ただし、再委託先 C 社の警備員に対する指揮命令権は C 社にあり、A 社が C の警備員に指揮命令を行うことは労働者派遣法に違反となる。
- ・なお、警備会社以外の一般的な派遣会社が警備業務を請け負うこと、及び警備会社 B が派遣会社から派遣社員を受け入れ警備業務に就かせることも労働者派遣法に違反となる。

6.1.2.2 技術的な制約事項

(1) 2つのドローンの一体開発

本実証ではドローン開発における時間的・技術的制約から 2 つのドローンを用いて、ドローンが具備すべき機能に関する検証を行った。技術面では、通信モジュールの小型・軽量化、高精細カメラ映像の超低遅延でのコーディングを可能とすることがドローンへの実装に求められる要件となる。また、遠隔操作に必要な S.BUS 変換 (プロポ信号 - IP 変換) に

については技術的に実現が本実証にて確認できたものの、前者の各技術の小型・軽量化とあわせて、小型ドローンへ一体的に実装を行うことがドローンによる巡回警備モデルの確立には必須の条件となる。

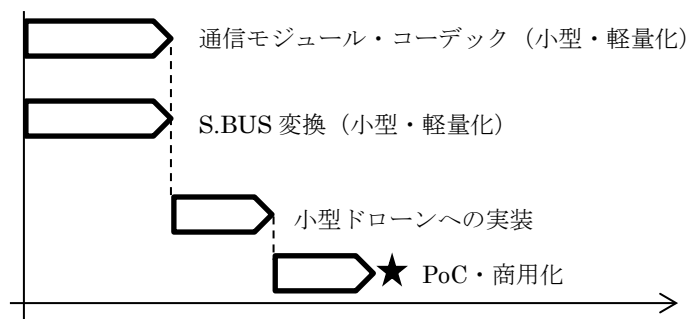


図 6.1.2.2-1 ドローン一体開発のロードマップ (ステップ)

(2) 人的警備業務の代替性

4.5 における機能検証の結果のとおり、実証フィールドにおける代表的な警備業務における本実証システムを用いた場合の各業務の代替性について検証をした。本実証では不審者発見については「代替可」とであると評価を行ったものの、「お客様補助」、「設備破損確認」、「施錠確認」や「カート回収」といった業務については「条件付き代替化」という結果となった。カート回収（空港接続駅であるため、ホーム内に手荷物搬入用カートの持ち込みを許可している。）を例とすると、カートの返却がなされていない（カート位置が不正常）ことを遠隔での画像巡回や AI の拡張によって発見することは可能であっても、カートを正しい位置に移動させるといったことは、人手による対応を行わざるを得ない。

全ての人的業務をロボット、IoT や AI により代替することは現時点では不可能であるが、自動返却されるカートやカートを所定位置に返却することで利用時に投入した利用料が返却されるなどといったカートを用いることによって代替は進むことになる。技術の進展によって代替される業務はこのほかにも存在し得るが、ここでの言及は留めることとしたい。

とりわけ、警備業務（＝警備サービス業務）とは、人命や財産の保護を必要としその被害拡大防止のための業務を最優先とするが、一方で事業者のサービス業としての側面においては、ホスピタリティといった点から現場において第一線で業務を行う警備員は、CS 向上への影響力を無視できない。よって、技術的な面においてあらゆる人的警備業務を代替、または条件付きでの代替が可能であったとしても、事業者のサービス業としての側面を考慮した業務の組み立てが必要となる。

(3) システム構築上の制約

警備モデル①では、京急電鉄においてターミナル駅施設内におけるローカル 5 G ネットワーク及び実証システムが構築される。さらに横展開においては他の駅施設に対しても同様にネットワーク及び実証システムがそれぞれ構築されることになる。これら各駅施設と

監視センター（本実証では CPT を構築し実証）間を遠隔監視・遠隔制御を行う拠点として構築する必要がある。

警備モデル②では、監視センターが自社施設外となることから、施設外に接続する通信ネットワークを構築し警備事業者が整備する監視センターと接続する必要がある。

これらの両警備モデル共通の制約事項として、ローカル 5 G で構築した広帯域・低遅延・セキュアといった優位性を損なうことなく、監視センターと接続する施設外通信を構築することが肝要となる。施設外通信の構築上の課題として、コスト面に関する課題がある。警備モデル①においては自社の施設間に敷設されているダークファイバ（未使用の光ファイバ）を活用できれば、施設外通信にかかるコストを大きく低減できる可能性がある。一方で、監視センターを自社施設外の警備事業者と接続するケースである警備モデル②においては、当該施設外通信コストが課題となる可能性が考えられる。

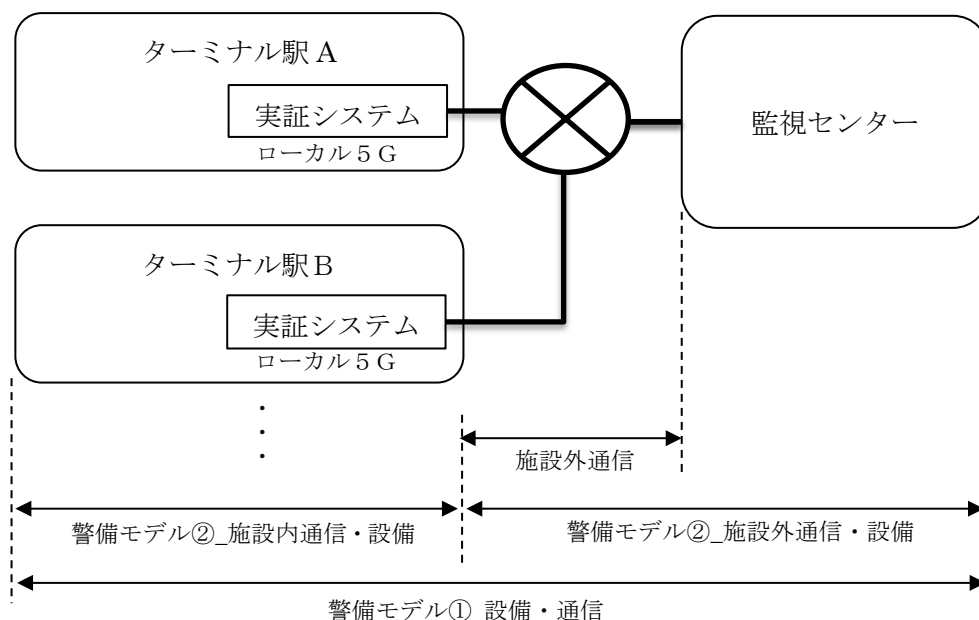


図 6.1.2.2-2 警備モデル②の提供形態

(4) 無線局免許に係る制約

本実証で利用した周波数帯（4.8~4.9GHz）においては電波干渉の可能性のある MNO 事業者・ローカル 5 G 事業者・公共業務用無線局に対して実施する必要がある。また干渉調整においては免許種別に関わらず、必要である。本実証では 4 社の MNO 事業者が対象となった。干渉調整を行い、各社へ提示した情報は、電波出力と電波発射位置、基地局アンテナパターン、同期条件、基地局のスプリアス値等である。本実証においては FDD を利用している周波数帯（2.1GHz 以下）のスプリアス基準値において、3GPP で規定されている基準とは異なり、各社で個別に決められた値を準拠するように指示があった。そのため、各社との干渉調整が難航した。従って、ローカル 5 G を利用した本事業モデルの普及には、干渉調整の円滑化が重要な論点となると考えられる。

表 6.1.2.2-1 にて各社から受領した条件を示し、表 6.1.2.2-2 にて干渉調整先 2 社から受領した基準となるスプリアス値を相対値として記載する。

表 6.1.2.2-1 本実証における共用条件とその対応

事業者	共用条件	共用条件への対応
A 社	特定の帯域において規定の共用可能スプリアス値を下回ること。 また、スプリアス値を満たせない場合は A 社のアンテナから 40m 以上の離隔距離を確保すること。	スプリアス値を提示し、合意した。
B 社	FDD を利用している周波数帯におけるスプリアス実測値が共用可能スプリアス値を下回ること。スプリアス値を満たせない場合は、一般利用客がいる時間帯は B 社のアンテナから 150m 以上の離隔を確保し、基地局から半径 6m 以内に関係者以外が入らないこと。万が一、B 社設備において干渉影響が確認された際は、一旦停波し、干渉調整方法等の見直しを実施し、今後、B 社無線局と近接する場合には個別に干渉協議を実施すること。	本実証で利用する基地局の FDD を利用している周波数帯のスプリアス値が、事業者より提示されたスプリアス基準値を満たせないため、以下の対応を実施することを説明し、干渉調整を合意した。 ・夜間帯：指定されたアンテナからの離隔距離はとれないが、電波発射区域に関係者以外立ち入らない。 ・日中帯：関係者以外立ち入り禁止区域内でのみ電波を発射する。
C 社	C 社のアンテナから 3m 以上の離隔距離を確保すること。地下の電波発射については移動通信基盤整備協会 (JMCI A) の許可を取ること。	JMCI A との調整について関東総合通信局へ問い合わせた。
D 社	条件なし	特別な対応なく干渉調整を合意した。

表 6.1.2.2-2 共用可能なスプリアス値 (3GPP 基準相当からの相対値)

周波数帯	A 社	B 社
700MHz	条件なし	3GPP 基準相当より 45dB 程度低い値にて規定
900MHz	条件なし	
1.5GHz	条件なし	
1.7GHz	3GPP 基準相当より 30dB 程度低い値	
1.9GHz		
2.1GHz		
2.5GHz	条件なし	条件なし
3.5GHz	条件なし	条件なし

6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定

6.2.1 実証終了後の継続利用

本実証終了時点において、翌年度の機器継続利用計画の策定と関連予算措置は行われていない。予算化のプロセスは、以降に示す実用に向けたステップとその工程に沿って実証・実装と、警備サービスに対する投資判断を経たのちに行われる。また、関連する事業等に係る計画についても同様に未策定である。

以下に、想定される事業モデルと実装に向けた工程を示すとともに、ローカル5Gシステム機器の継続利用が行われる時期について明確化を行う。

6.2.1.1 警備サービスのユースケース

本事業モデルは、ユーザである京急電鉄に対し前述の警備サービスとして提供されるものとなる。なお、その他ユーザに対し、警備モデル①及び②が提供されるケースは以下の通りに分類される。また、混同しやすい、その他公共向けサービスとして自治体等が行う安全・安心に関する施策についても併せて比較し整理する。

表 6.2.1.1-1 ユースケースの整理

分類	受益者	概要
(1)1号警備・ ①常駐警備	B2G	公共が保有管理する施設への警備提供業務
	B2B	民間が保有管理する施設への警備提供業務
	B2C*	個人が保有管理する施設への警備提供業務
(2)その他公共向けサービス	G2C(Citizen)	地方自治体等が市民への公共性の高い施設や空間に対し警備業者等へ外注し提供するサービス
	G2B(Business, Industry)	公共団体等が特定の産業等に対して警備事業者等へ外注し提供するサービス

* 個人が保有管理する施設（家屋等）へのサービス提供ケースは極めて少ないが分類上記載した。いわゆるホームセキュリティは常駐警備ではなく機械警備に分類される。

(1) 1号警備・常駐警備

公共や民間事業者が自らの施設に対する警備（警備業法第2条1号業務を想定）を行う背景は次の通りである。①事業継続性を高めるとともに、②施設利用者に対するサービス品質を維持し、または高めることによって安全・安心を醸成することを目的として、施設保有管理者または利用者自らの費用負担によって自主的に実施されるものである。

(2) その他公共サービス

一方、不特定多数が行き来する公共的空間においては、自治体が主体となり市民や地域で事業を営む組織・団体（商店会等）に対する行政サービスとしての事業（例：街頭カメラの整備や高齢者の見守りなど）がある G2C(Citizen)。また、公共団体等が特定の産業等やそ

の産業に従事する諸団体や事業者を支える事業（例：水産資源や漁業者の保護などを目的とした密漁対策に関する警備サービスなど）として警備事業者へのアウトソースにより提供されるものである G2B(Business, Industry)。

6.2.1.2 利用者・提供者側双方の課題認識

(1) 本事業の警備サービスとしての位置づけ

本事業は、6.2.1.1 において整理分類したとおり、民間事業者が自らの施設に対して、自らがコストを負担することで、警備事業者より警備サービスが提供されるものである。

(2) 課題認識

本実証終了後の継続利用においては、警備サービス利用者と警備サービス提供者が持つ双方の課題認識をもとに、今後どのようなモチベーションによって継続利用が検討されていくかといった観点について整理する。

1) 利用者（施設保有管理者：京急電鉄）の課題

多様化する犯罪への対応や人手不足への対応を必要とされるなか、人手不足時代に相反した従来の人的警備による対処が主であり解決策を自ら持ち合わせていない。

2) 提供者（警備サービス事業者：ALSOK）の課題

警備事業者に対する期待とニーズは高まりつつあるものの、人手不足、人件費の高騰、優秀な人材の確保が困難となり、人手に大きく依存したサービスからの脱却が必要である。人手に偏ったサービスから脱却し、高度なサービスを提供することが求められているが、技術的課題などから事業モデルを確立できていない。

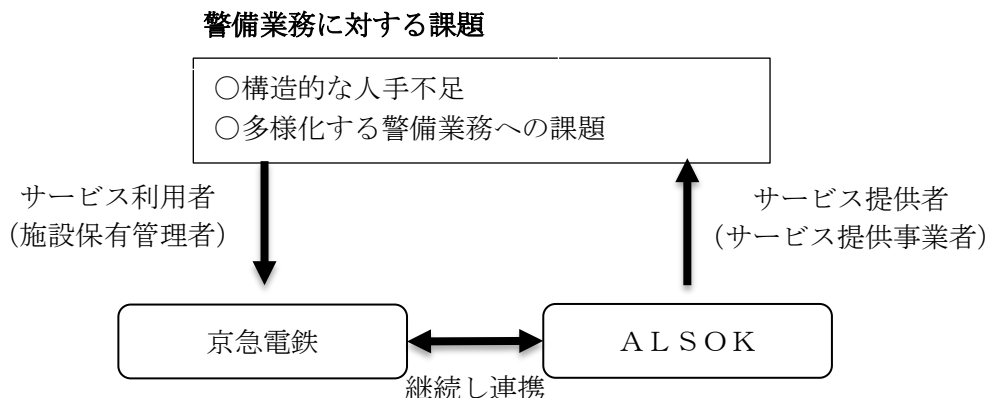


図 6.2.1.2-1 警備業務に対する課題認識

3) 共同検討

本検証を通じて浮き彫りとなった、実用に向けたステップについては後述し整理する。両社においては、本事業モデルの実用過程において継続的な検討を行うことが不可欠となる。

6.2.1.3 事業モデル

(1) 事業モデル構築に向けた継続利用計画

6.2.1.2 に示したとおり、利用者・提供事業者においては双方に継続して課題解決を図っていく必然性が存在する。しかしながら、4.3 の本課題解決システムに関する各検証結果で示したとおり、本実証終了後の翌年度より継続してさらなる課題解決に向け、実証システムを継続利用した実証を行うためには時期尚早と言える。ローカル5Gシステムの継続利用計画を含む、実用に向けた具体的工程については後述する。

(2) 想定するターゲット（ユーザ）

実装検討においては、京急羽田第3ターミナル駅への実装をターゲットとしたケースを設定する。

(3) 運営体制

サービスモデルを構築する上で関係する各要素について、それぞれ整理を行う。その上で考えられるサービルモデルについて後述する。

1) 免許人

ローカル5Gシステムの導入に伴うメリット・デメリットを整理する。

表 6.2.1.3-1 免許人（メリット・デメリット）

免許人	メリット	デメリット
施設保有管理者	<ul style="list-style-type: none">・免許取得にかかる費用を最も低く抑えられる。・ノウハウを習得することで、自社の他施設への展開計画を自ら立案でき、より高度な施設運営が可能となる。	<ul style="list-style-type: none">・免許申請に係る手間、ノウハウが必要であり煩雑な手続き自らが行う必然性が低い。
システムインテグレータ	<ul style="list-style-type: none">・免許取得に関するノウハウを有し取得がスムーズに可能であり、免許取得の遅延リスクが少ない。・免許取得後の更新手続きや電波利用料の支払代行も可能であり、ユー	<ul style="list-style-type: none">・免許取得にかかる費用を別途ユーザが負担する必要がある。

	ザの手間を削減できる。	
警備事業	・取得ノウハウを有しているケースは少ないと想定されるが、ユーザへ警備サービス提供の一部としてワンストップのソリューションでの提供が可能となりユーザメリットがある。	・取得ノウハウを有していない。

2) 機器の保有と管理

それぞれメリット・デメリットを整理する。

表 6.2.1.3-2 機器の保有と管理（メリット・デメリット）

免許人	メリット	デメリット
施設保有管理者	・自社で設備を導入することで、警備システム以外の用途においても共用でローカル5Gシステムを活用することができる。	・免許申請に係る手間、ノウハウが必要であり煩雑な手続き自らが行う必然性が低い。 ・自社資産として設備保有を行うため固定資産税が課税される。
システムインテグレータ	・設備導入に関するノウハウを有し、導入から維持管理までを含めワンストップでサービス提供が行える。	・免許取得にかかる費用を別途ユーザが負担する必要がある。
警備事業	・システムインテグレータへの外注による機器保有が想定されるが、ユーザへ警備サービス提供の一部としてワンストップのソリューションでの提供が可能となりユーザメリットがある。	・取得ノウハウを有していない。

3) 契約・費用負担の在り方

6.2.1.1 の警備サービスのユースケースとして記述のとおり、①事業継続性を高めるとともに、②施設利用者に対するサービス品質を維持、といった観点から施設保有管理者自らの費用負担によって自主的に実施されるものである。

従来型の施設警備業務は、施設保有管理者と警備事業者間の警備請負契約によるものであり外注費となる。施設警備業務の遂行に必要な施設設備の監視システム（防災、出入管理、監視カメラ等）を設備保有管理者側が用意し、また警備員が監視（防災センター）や待機を行う施設等の供用することが一般的であり、これらのコストは施設保有管理者が負担する。

本警備モデルでは、人手に偏重傾向の高い施設警備業務を代替するため、ローカル5GをはじめとしたNW設備と、本実証で構築した警備システムを導入する必要がある。これら

のコストを施設保有管理者が負担し整備することになるが、初期の設備投資が過大になることが懸念される。

本実証にて構成したクラウドコア型ローカル5Gシステムのイニシャルコストを「1.0」とした場合（ただし、1局1アンテナを初期導入の構成と仮定）において、1アンテナでのカバーエリアを超え、1アンテナを追加設置する場合の想定追加費用はおおよそ「+0.8」と想定しており、単純に面積に比例したコスト増加とはならない。これは、あくまで既存のシステムに対してエリアを追加する場合の想定であるが、費用の内訳としては、設置工事費・エリアシミュレーション、機器費、役務、免許申請の変更申請料等が必要となる。

一方で、情報システムの構築においては、昨今クラウド型の業務システムが普及している。前述の設備機器の保有と管理でも示したとおり施設保有管理者以外のサービス提供事業者が月額課金制により、事業者は設備を自前で調達整備せずにサービスを利用する形態が浸透しつつある。本警備モデルでは施設保有管理者の初期設備投資が過大になる側面もあり、設備投資（CAPEX）の負担を軽減し維持管理費（OPEX）化をする契約形態をとることで、税務面においても、固定資産税の負担が不要となるといったメリットがある。警備費用の内訳を下表に整理する。

表 6.2.1.3-3 警備費用の内訳と比較

		CAPEX 設備投資費・ 維持管理費	OPEX 外注費	備考
従来警備モデル (従来型費用構造)		<ul style="list-style-type: none"> ・監視システム ・NW 構築 ・防災センター ・待機施設等 	<ul style="list-style-type: none"> ・警備委託費 	初期投資後は維持管理費にコスト負担が偏重
本警備 モデル	従来型 費用構造	<ul style="list-style-type: none"> ・監視システム ・NW 構築 ・防災センター ・待機施設等 	<ul style="list-style-type: none"> ・警備委託費 	従来型と比較し設備投資が増大、省人化により警備委託費が減少
	CAPEX の OPEX 化	<ul style="list-style-type: none"> ・監視システム (減少) ・NW 設備構築 (減少) ・防災センター ・待機施設等 	<ul style="list-style-type: none"> ・監視システム利用費 ・NW 設備利用費 ・警備委託費 (減少) 	初期投資の維持管理費化により導入障壁を緩和

4) マネタイズ

前項のとおり、施設保有管理者の判断により自らが負担することが原則である。一方で、高度情報通信技術である5G技術等を活用することによって警備サービスの高度化が本実証結果からも認められるものの、その導入費用負担の大きさから投資対効果を得にくいいためユーザ事業者においては投資判断が困難であると言える。一方、時限的ではあるものの、公的施策の活用によって設備導入に対する税制優遇といった制度が施行されている。

- ・ 5G導入推進税制

ローカル5G設備など特定高度情報通信用認定等設備を取得し、同期間内に国内事業として適用した場合、15%の税額控除を受けることができる税制優遇制度でありその効果は大きい。ただし、現行制度では、令和4年3月31日までの間と時限的な制度であるため、引き続き設備投資を促進する制度として期日の延長が行われることが期待される。

(4) ビジネスモデル

先述の運営体制にて記述した各記載事項を踏まえビジネスモデルとして整理をする。

1) 警備モデル①

「新たな警備システム導入」 ALSOK：システムの提供

+

「従来型的警備」京急サービス：抑止力・発見力・対処力の提供

上記の組み合わせに従来通り京急サービスが警備サービスを提供するモデルである。実証システムは、新たな警備システムとして提供され、従来の人的警備を請負う事業者が同システムを運用し警備業務を行うとったモデルになる。ビジネスモデルを次のとおり図示する。

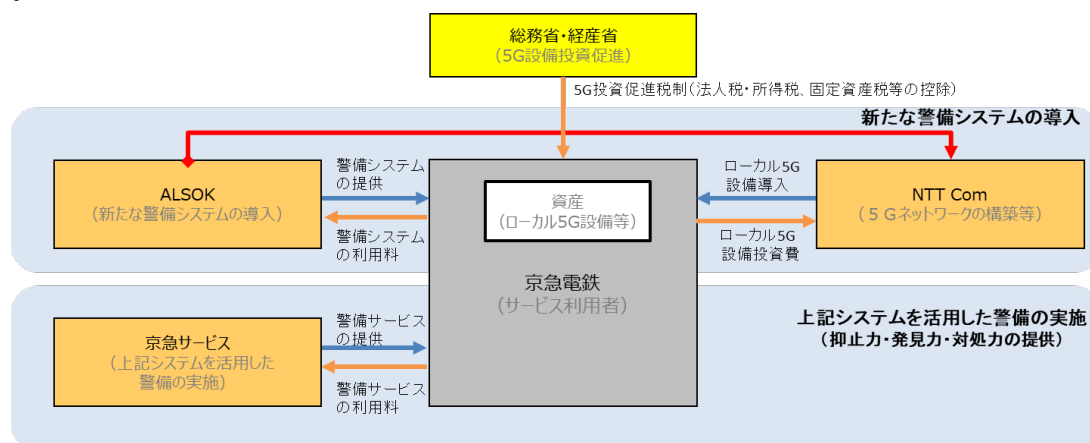


図 6.2.1.3-1 ビジネスモデル（警備モデル①）

2) 警備モデル②

「新たな警備システム導入」 ALSOK：システムの提供

+

「遠隔監視」 ALSOK：抑止力・発見力の提供

+

「従来型的警備」京急サービス：対処力の提供

上記の組み合わせにより警備サービスが提供されるモデルである。実証システムは、新たな警備システムとして提供され、ALSOK が遠隔地のセンターから遠隔巡回・遠隔監視を行

う。ALSOK が遠隔監視により発見した情報に基づき、京急サービスに対して対処の指揮命令を行うことによって、警備サービスを 2 社によって提供するものである。

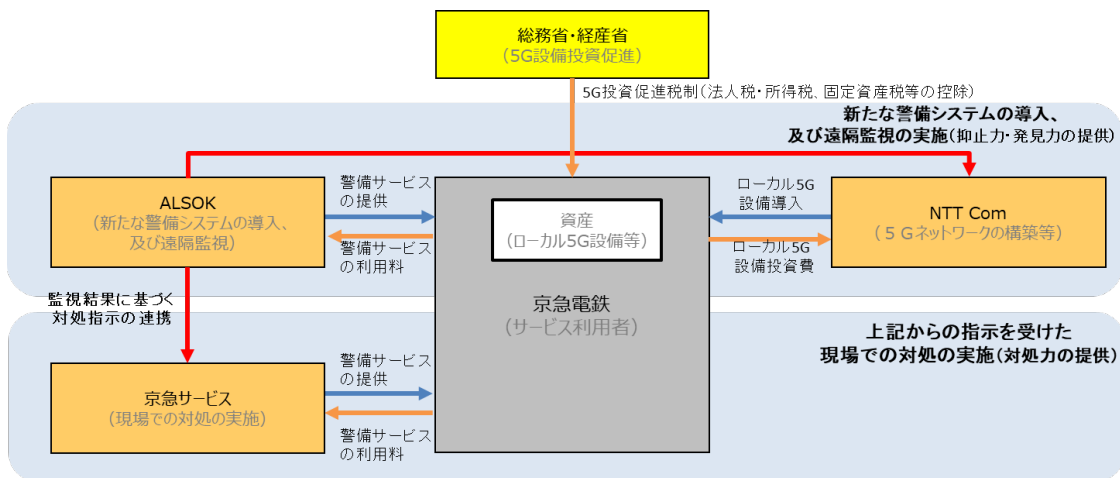


図 6.2.1.3-2 ビジネスモデル (警備モデル②)

6.2.1.4 実装計画 (実証の継続、実用に向けた工程とスケジュール等)

(1) 実用に向けたスケジュールの考え方

1) 制約事項

導入可能時期は、6.1.2 に記述の各制約事項を踏まえ実用が可能となる。また、ビジネスモデル①、及び②においてそれぞれ制約条件が異なることから改めて整理を行う。

表 6.2.1.4-1 制約事項の再整理

カテゴリ	制約事項	警備モデル	
		警備モデル①	警備モデル②
警備モデル	警備業法等	○：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

2) 実用に向けたステップ

前述の制約事項について、継続的な検討、開発や実証を要するものに加え、その他実用化に向けたステップとして必要な項目をあわせて整理を行う。実用に向け、追加開発等の実証プロセスにおいて、ローカル 5 G システムが継続的に用いられた検証が行われることとなる。

表 6.2.1.4-2 実用に向けたステップ項目

1. 制約条件（警備モデル①、②共通）		
	項目	概要
1	ドローン機能の一体開発と検証	通信モジュール、高精細カメラ・超低遅延高性能エンコーダ、S.BUS 変換（プロポ信号・IP 変換）の小型・軽量化を経て、各機能の自律飛行ドローン（ドローン①）への実装と実証を経た商用化
2	人的警備業務の代替機能の追加開発・検証	4.5 機能検証で示した代替性の検証結果にも続く「条件付き代替化」とした（お客様補助、設備損壊確認、施錠確認やカート回収）項目の機能追加検討・実証
3	NW システム構築の低廉化と詳細設計	ローカル 5 G システムの低廉化、駅施設外 NW である監視センターの要件定義、NW 構築に関する詳細設計
4	無線局免許取得	対象となる施設内における他の無線局との干渉回避
2. 制約条件（警備モデル②のみ）		
	項目	概要
1	警備業法等、関係法令への対応や抵触を回避した実現手段	警備モデル②における関係法令（警備業法、労働者派遣法）への抵触に留意した契約手法を含めた手段の確立
3. その他のステップ		
	項目	概要
1	運用時の習熟	ドローン・ロボットの遠隔操作に関する習熟訓練
2	鉄道事業者の特性を考慮した安全面の担保	ドローンの列車通過時における風圧への影響（シミュレーション、実証）など安全面の担保
3	民間事業者としての投資対効果の判断	費用対効果、顧客サービスの向上、周辺施設・地域に対する安全・安心の向上などを勘案した判断

3) 実用に向けた工程

前述の実用に向け必要となる各ステップを、各ステップの相関関係とともに工程上に表示す。各ステップにおける検証と開発を行い、PoC を経て実用性が確認された段階において実装条件が整う。各開発工程においては、ローカル5Gシステム機器を継続的に使用したPoCを想定しているものである。

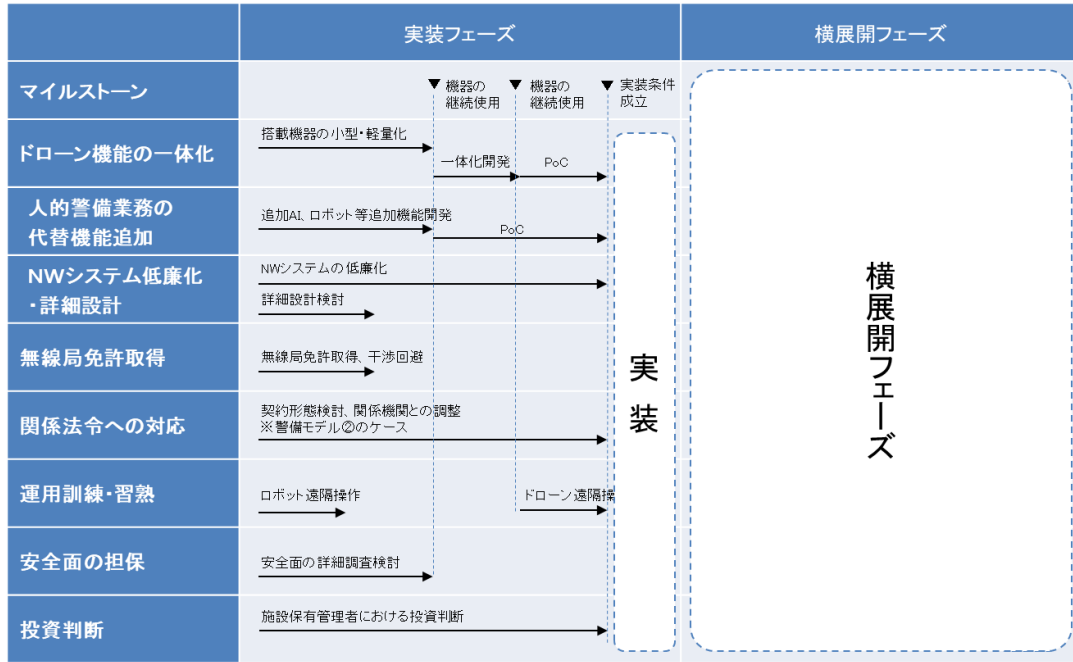


図 6.2.1.4-1 実用に向けた工程

注) 矢印の向きは時間の方向を示す。

本表は各ステップ間の相関関係を示したものであり、各矢印の長さや時間の長さは比例関係にない。

6.2.1.5 参考文献

- (1) 「警備業法の解説」、一般社団法人 全国警備業協会、2013/5/1 刊行

6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討

6.3.1.1 普及モデル

(1) 想定とするターゲット（ユーザ）

横展開検討においては、京急電鉄のその他駅施設への展開をターゲットとしたケースを設定する。

(2) サービス標準モデル

6.2.1.3 にて示した警備モデル①、または警備モデル②がサービス標準モデルとなる。京急電鉄のその他駅施設への展開を想定とした、横展開におけるビジネスモデルは実装モデル同様であるが、実装の項で述べた検証に加えて追加検証が必要な項目を列挙する。

1) 駅特性に応じたソリューション

実装検討を行った羽田空港第3ターミナル駅と、その他横展開の対象となる駅で施設では警備対象となる業務が異なることが想定される。よって、各駅施設固有の特性を考慮したソリューションの組み合わせ、警備対象業務に合わせた新たなAI開発、巡回スケジュールの配分等が駅ごとに異なる点に留意した展開検討を要する。駅の特性に応じて数パターンに分類されるものと考えられ、少なくとも駅特性数に応じたソリューションの組み合わせパターンが存在することになる。駅特性の分類例は下表のとおり。

表 6.3.1.1-1 駅特性の分類例

駅分類	駅特性（例）	ソリューション							対象 駅数
		ロボット	ドローン	A I (1)	A I (2)	…	A I (N)	他	
主要駅	空港接続駅								
	乗降客数（利用者多）								
	始発・終点・他社接続延期								
	観光地近接（土日利用者多）								
	・・・								
	その他	横展開フェーズにおいて検証すべきソリューション							
非主要駅	乗降客数（利用者少）								
	観光地近接（土日利用者多）								
	・・・								
	その他								▼
	計								計 73 駅

2) 複数駅を接続する NW

技術的な制約事項として複数駅を接続する NW の構築における課題については 6.1.2.2 にて記述のとおりである。各駅施設と監視センター（本実証では CPT を構築し実証）間を遠隔監視・遠隔制御を行う拠点として構築することから、これらを高品質かつコストを考慮した NW が要求される。この NW 構築の方策については、駅施設内のローカル 5 G システムの設計・構築、施設外通信の設計・構築ノウハウを有する NTT Com、京急電鉄の通信設備を管理する部門、監視センターを構築する ALSOK が連携し検討を行う必要がある。

6.3.1.2 横展開計画

(1) 実用に向けたスケジュールの考え方

1) 実用に向けたステップ

実装検討において示した工程（実装フェーズ）を経て、実装条件の成立を前提として、横展開において追加検討を要するステップについては前述のとおりであり、「実装モデル×対象駅施設数」では成立せず、以下に示す工程を経て横展開条件が成立することになる。

2) 実用に向けた工程

実用に向けた各ステップを工程として以下に示す。

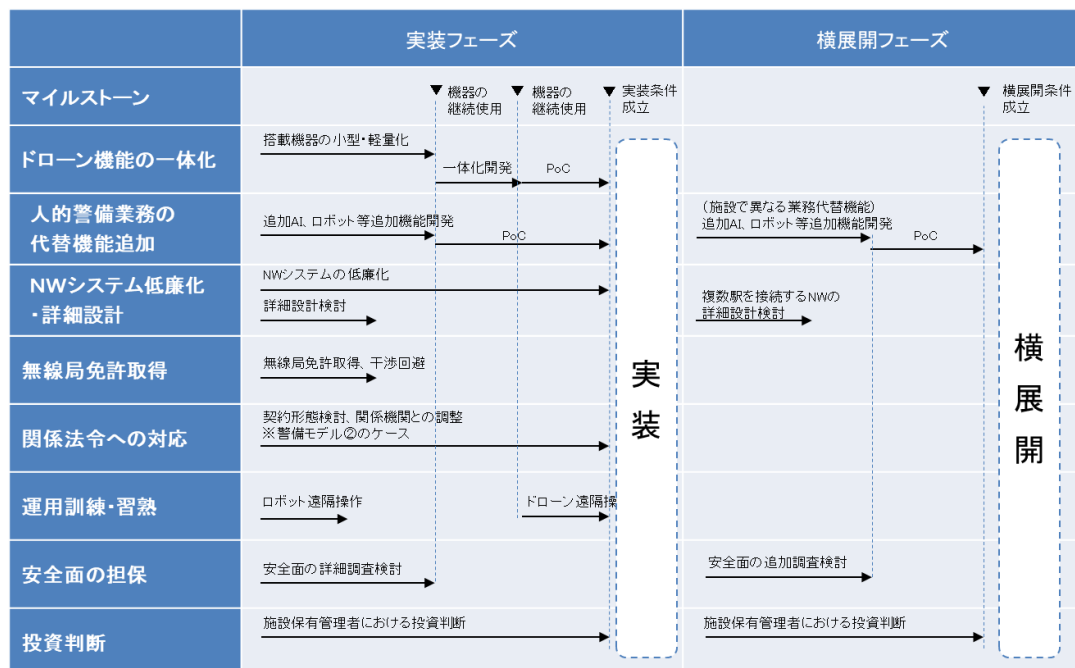


図 6.3.1.2-1 実用に向けた工程

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であり、各矢印の長さや時間の長さは比例関係にない。

6.3.1.3 推進対応方策

(1) 横展開のさらなる加速

6.2 で示した事業モデル②をベースとした普及展開が「さらなる普及モデル」として横展開の加速へとつながる。なお、施設保有管理者の事業性に応じ、事業モデル①による展開と並行しての展開も想定される。事業者の特性や分類、横展開のターゲットを分類し整理する。

表 6.3.1.3-1 ターゲットの分類と適合する事業モデル

施設保有管理者の分類	適合する事業モデル	備考
官公庁・重要インフラ事業者等	モデル① *	並行して事業展開を行う対象
他の鉄道事業者	モデル②	横展開を最も優先する対象
その他事業者	モデル②	

* 事業モデル①の適合先は施設外との通信を事業性の観点から困難とする対象先を想定

横展開先のさらなる加速期においては、事業モデル②の展開における契約等のあり方を簡素化するなどし、普及展開に係る障壁をより軽減させることが肝要となる。また、法的制約の緩和や、連携を必要とする施設警備会社（対処を行う事業者）との連携強化が欠かせないことから、全国警備業協会等の警備関係諸団体等を通じた働きかけなど、新たな警備モデルの確立に向けた活動を継続的に行うべきと考えられる。

事業体制（免許人・NW・システム構築・運用等の役割分担の在り方など）については、6.2 で示した事業モデルと同様の体制による推進が想定される。

事業モデル②を他の事業者に対しても広く展開することで、従来の施設警備業務における警備業界全体の課題である人手不足の解消に資するものと考えられる。従来の施設警備業務事を行う事業者は、施設内に常駐し警備員としての対処が求められるシーンにおいて人的対処力を中心として発揮することに注力する。遠隔監視センターでは地理的・時間的制約を排除し、遠隔から「抑止力」・「発見力」を提供し現場警備員との分業を行うことで本モデルは成立する。



図 6.3.1.3-1 横展開のさらなる展開イメージ

(2) 警備業界における普及モデル例

同業種業態や他業種へ更なる展開を図り多くのユーザを抱えることによって、単価が低減し他ユーザの導入障壁が下がり更なる横展開が加速する。警備業界における、普及展開の事例として機械警備事業モデルの契約件数と単価の推移の関係について、一例を掲載する。下表に示す通り、2003年から2020年にかけて契約件数が3倍に増加するに従って1契約あたりの単価は1/2に減少していることがわかる。

なお、本契約件数には法人向けと個人向け（比較的低単価なホームセキュリティ）の数値が合算されたものであり、それぞれ単価と契約件数の増加率が異なるため1契約先あたりの単価として正規化を行ったものではないが、契約件数の増加と単価の低下といった関係性が理解できるモデル例として掲載する。

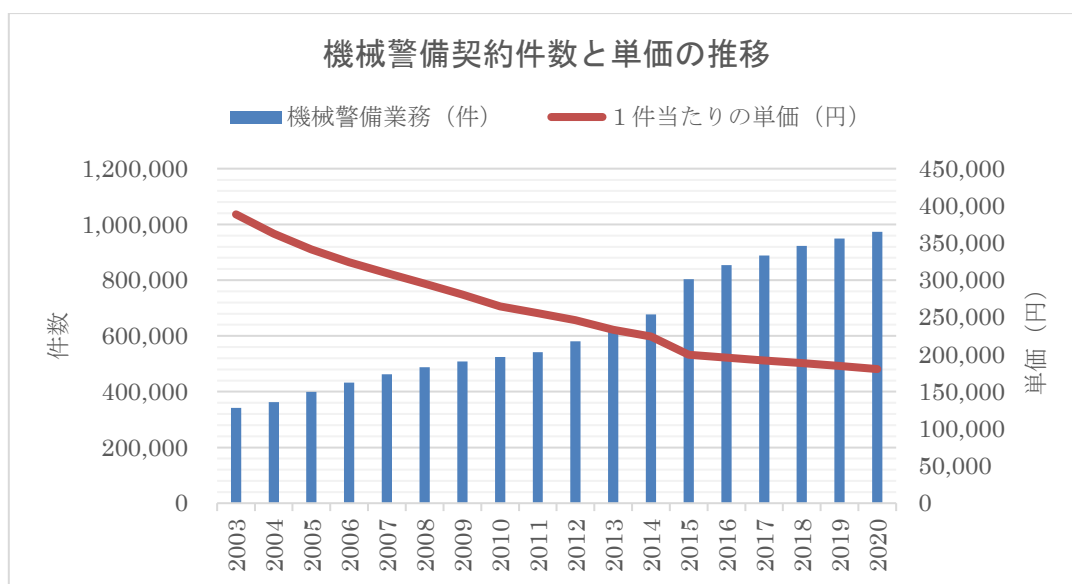


図 6.3.1.3-2 機械警備契約件数と単価の推移

出所) ALSOK Annual Report をもとに作成

(3) 施設警備業務以外での共同利用

本事業モデルにおいて構築する遠隔監視センターは、警備に関する遠隔監視や制御、現地警備員との連携を想定したものである。しかしながら、遠隔からの監視や現場との連携により課題解決を迅速化したり、安全をサポートしたりといった警備と同様なスキームが存在するまたは今後広まる可能性がある。

応用が想定されるユースケースを例示する。

- ・レベル4自動運転車両の故障、事故や社内トラブル時などにおける遠隔監視や、遠隔操縦による危険回避など。
- ・ドローンの目視外飛行実現に伴う運行管理支援といった、遠隔管制・監視や遠隔操縦も視野に入れた運行支援など。

(4) 横展開のゴール

横展開の更なる加速のためには、より多くの事業者によって利用される警備モデルへと成長を遂げることで加速的にサービス展開スピードが高まるものと想定される。また、同様な遠隔監視・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、警備サービスのみならず他の事業領域においても様々なサービスを支援する基盤として幅広く活用されることで、更なる好循環が生ずる。

顧客数が増加し、また警備領域以外へとサービス領域が拡大することで、サービス提供価格の低減と、またあらゆる分野におけるノウハウの蓄積によってサービス品質の向上も期待される。これにより、元来の目的である警備サービスの更なる浸透が見込まれ、ユーザ数が増加するにつれて点での安全・安心が面的に拡大されることによって、ひいては地域の安全・安心へとつながっていくことが展望される。

6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討

6.4.1 導入ユースケースの概要

実用に向け各種制約条件が伴うものの、警備力の向上が見込め人手不足の解消に対し有用であることを示してきた。警備サービスについては、ユーザ企業等に対する個別カスタマイズ性が非常に高く、実際の警備サービス提供にあたっては警備事業者のノウハウ提供が必須となる点に留意が必要となる。

6.4.2 システム全体構成図

実証システムを構成する SW/HW、及び NW に関するシステム全体構成については、3.1 節において詳細を記述した。全体構成図については図 3.1.2-1 を以下に再掲する。

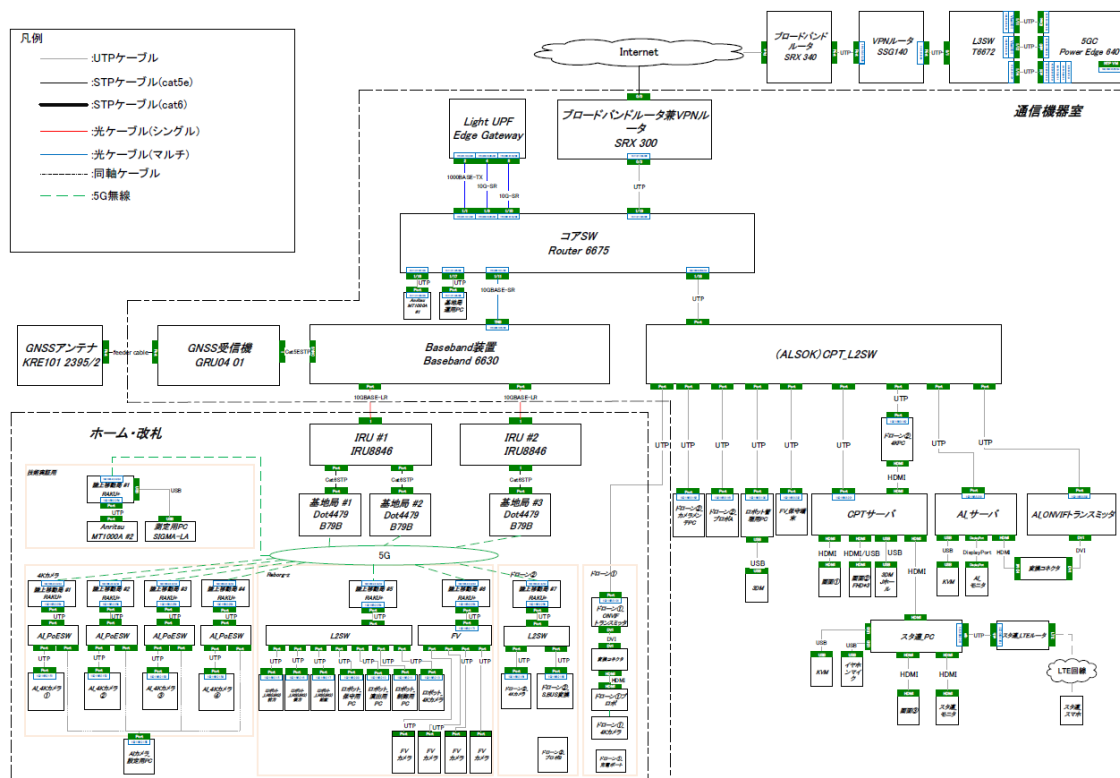


図 6.4.2-1 ネットワーク全体構成図/配置図 (図 3.1.2-1 を再掲)

6.4.3 システム基本設計ドキュメント群

各課題解決システムに関するシステム全体構成については、4.3 節において詳細を記述した。全体構成図については、図 4.3.1-2 を以下に再掲する。

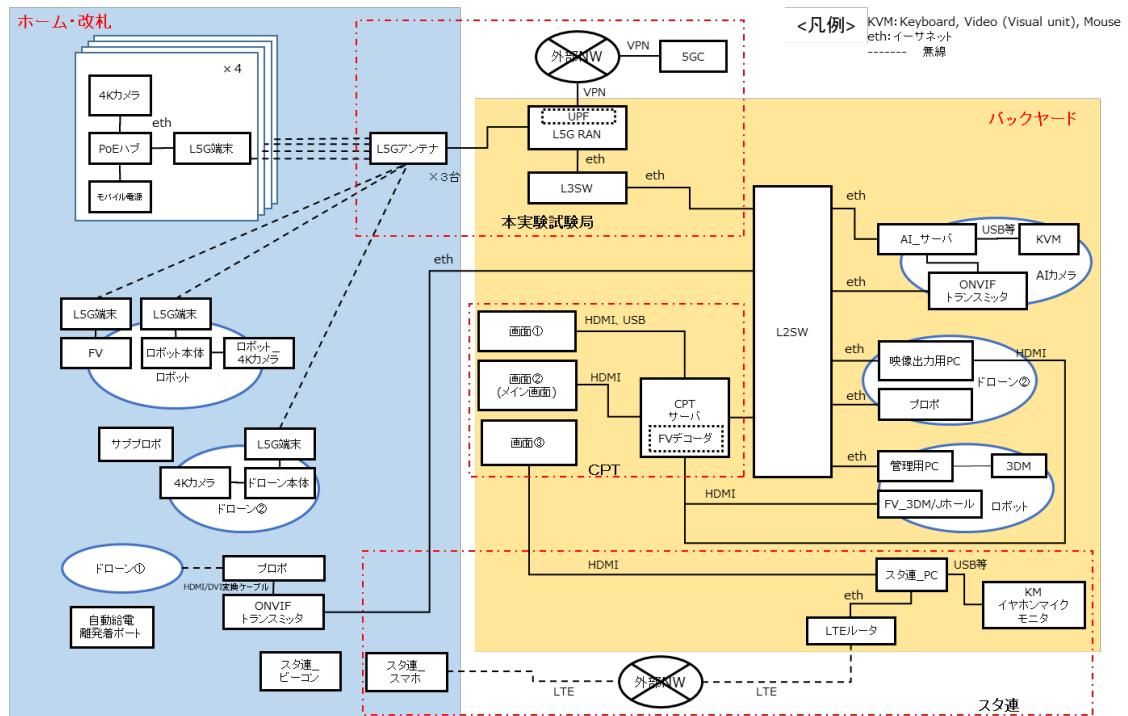


図 6.4.3-1 課題解決システムの全体構成 (図 4.3.1-2 を再掲)

6.4.4 システム詳細設計ドキュメント群

6.4.4.1 ローカル5Gネットワークシステム

構成する各機器の一覧は、表 3.2.2.1-1 を参照。各構成機器の詳細な諸元については、図 3.2.3.1 を参照のこと。

6.4.4.2 課題実証システム

構成する各機器の一覧は、3.2.2.2 に掲載の各機器一覧表を参照。各機器の詳細な諸元については、3.2.3.2 を参照のこと。

また、警備業務における異常検知等の発見から、判断や対処までの一連のプロセスを踏まえた検証及び評価・分析を行うために必要な環境として構築したシステム (CPT、スタ連) を構成する機器一覧は表 4.3.1.1-1、表 4.3.1.2-1 を参照のこと。各機器の詳細な諸元については、4.3.1.1、4.3.1.2 の各項を参照のこと。

6.4.5 試験計画、試験結果ドキュメント群

技術実証に関する詳細は第 5 章にて、課題実証に関する詳細は第 4 章をそれぞれ参照のこと。

6.4.6 実装されたソフトウェア

6.4.6.1 ロボット・ドローン

実証システムを構成するコンポーネントである、ロボット、ドローンについては HW 内に組み込まれた SW とともに提供される想定である。

6.4.6.2 監視カメラ AI

AI の判定フローについては 4.3.4 に概要を記述している。以下に不審行動 AI の判定フローを再掲する。

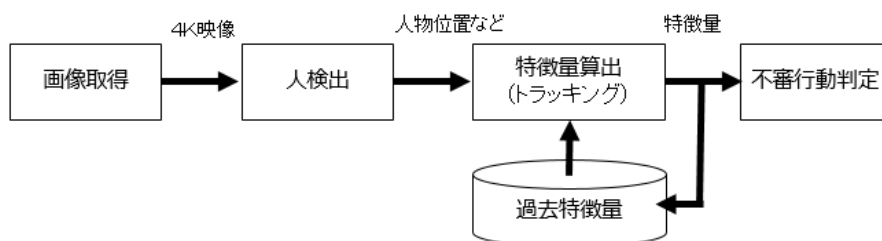


図 6.4.6.2-1 課題解決システムの全体構成 (図 4.3.4.3-3 を再掲)

AI において検出する対象 (不審行動や歩行弱者など) ごとに最適なアルゴリズムを適用し設計されることが一般的である。AI をはじめ SW アルゴリズムについては開発者側におけるノウハウであり、一般的な記述にとどめる。

AI アルゴリズムは、画像の取得から複数の検出器 (人検出、特徴量算出、不審行動判定) が組み合わせられ判定が行われる。また、本実証で用いられた AI は、設置環境に応じて過去の特徴量をフィードバックさせることで、判定に用いる閾値等を再構築し精度を向上させるといった構造となっている。

6.4.7 5Gソリューション提供センター (仮称) が具備すべき機能

本事業の課題解決システムを他の地域等で実装し横展開を加速させ、広く多くのユーザーによって利用されることが、より一層のサービス向上とサービス価格の低廉化へと繋がる。しかしながら、本課題解決システムによる警備サービスの提供モデル形態は、システム導入による遠隔監視・制御+人による対処がトータルで提供されることで成立することに留意が必要であることから、ソリューション提供センターそのものが警備サービス提供を行うことは想定し得ない。

一方で、AI 検知サービスを SaaS 型にて流通させる基盤として、マーケットプレイス (利用・決済) 機能を具備することで、AI 検知サービスに限っては単体での提供が可能であると考えられる。

6.4.8 5Gソリューション提供センター（仮称）を通じた横展開のあり方

課題解決システムによる警備サービスの提供モデル形態の特殊性から、例えばセンターを通じた次のような流通チャネルとしての在り方を期待できる。

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であるが、例えば、実証システムであるロボット・ドローン・AIカメラに加えて、警備モデル一連のプロセスを通じた検証に使用した CPT（遠隔監視センター機能）とスタ連（警備員との連携システム）をトライアルキットとして有償 PoC 提供を行うことで、ユーザ企業等における導入検討を促進できる可能性がある。ただし、本格導入にの検討フェーズにおいては警備事業者のノウハウに基づいた個別診断と設計、警備サービスの提供までの対応といった連携が必須となる。

6.5 まとめ

6章では、4章にて実施した各実証システムの検証結果を踏まえ、実装フェーズ（本実証を行った羽田空港第3ターミナル駅）を行う上で考慮すべき制約事項を踏まえたビジネスモデルのあるべき姿を示すとともに実用に向けたステップと工程を明らかにした。横展開フェーズ（その他の京急駅施設）においては、実装フェーズにおける検討に加え異なる駅特性に応じた警備業務の分析と対応ソリューションの開発を経て横展開が可能となるという結果を導き出した。

実装・横展開フェーズでは、NW設備の導入コストや複数施設の監視センターコストの低減と分散による施設当たりのコスト負担低減の必要性が明確となった。NW設備についてはローカル5Gシステムの普及とともに設備価格の低廉化が期待されるが、監視センターコストについては、横展開検討の対象とした京急駅施設以外への展開により更なるコスト分散を進める規模を拡大することで、施設当たりのコスト圧縮を図ることが必要となる。

京急施設への導入に続き検討すべき対象先は他の鉄道事業者であり、本実証において検証されたソリューションとの親和性が最も高く導入検討に要する期間を短縮できることがメリットとして考えられる。また、他の施設保有管理者に対する展開にてについては、警備員稼働の削減効果を得られやすい大規模施設（警備員を多く配置する）への展開であり、費用対効果を明確に示しやすいと考えられる大規模施設では、施設保有管理者の投資判断速度を早められる可能性がある。

さらなる展開では、遠隔監視センターのリソースを施設警備における監視以外にも開放し稼働率を上げることで、より一層の監視コスト低減が狙える。また、遠隔監視に特化し多様な遠隔監視サービス需要を取り込み、ノウハウを蓄積することで一層の低価格・高品質なサービス提供が可能となり、遠隔監視アウトソーシング事業としての自走も展望される。また、今後展開が行われるとされる5Gソリューション提供センター（仮称）を通じたサービス展開についても、新たな提供形態として一層の展開加速に向けた一助となる可能性があると考えられる。

7. 会合等の開催（該当する活動がある場合）

なし。

8. まとめ

羽田空港国際線ターミナルビルに直結する京浜急行電鉄の「羽田空港第3ターミナル駅」において、ローカル5G(4.7GHz帯)無線通信システムを利用したドローンを活用した遠隔巡回、ロボットを活用した遠隔巡回、監視用カメラ及びAIを活用した遠隔監視による高度な警備システムをユースケースと想定した実証を行った。以下に本開発実証において得た知見と課題について、技術実証・課題実証それぞれの観点からまとめる。

(1) 技術実証について

- ・ 遮蔽物の多い屋内環境において、不感エリアを解消するために4.7GHz帯の電波伝搬特性とユースケースを想定した移動体の通信品質の特性の知見を得ることが出来た。LOS環境においては距離の2乗則に従う減衰の傾向が見られたが、NLOS環境においては遮蔽物の影響が大きく、電波伝搬モデルにおけるさらなる調査・検討が必要である。
- ・ ハンドオーバーについては、ハンドオーバー時間が短く、伝送遅延も少ないことが分かった。映像伝送のユースケースにおいてはカメラシステムの受信バッファ時間短く設定することが可能であることから、映像の乱れや停止が発生しないことにより、リアルタイム性が重視される遠隔操作を伴う監視システムにおいては5Gシステムが有用であることがわかった。
- ・ 効率的なエリア構築を行う上で、実用的な用途で必要とされるマージンは最大で24[dB]であることが分かった。ユースケースの性能要求を満たすエリア設計において、TDD比を変更した場合はアップリンクの性能を大幅に改善でき、ダウンリンクの性能要求にも影響がないことを机上で確認した。複数のローカル5G同士を共用する際の最適な離隔距離については本実証エリアにおいて共用が困難であることが分かったため、周波数帯域幅を分割し、ガードバンドを各々のシステムに割り当てる方法を実施した際の干渉による影響についてさらなる調査・検討が必要である。
- ・ 映像伝送に必要なスループットを維持できる最適なアンテナ配置においては、セクタを跨ぐハンドオーバーと同一セクタ内移動(アンテナ間移動)の2種類のエリア構築方法にて検証した。通信品質の安定性とアンテナ間の距離の観点から同一セクタ内のアンテナを配置した方が良いことが分かった。

(2) 課題実証と実装・横展開について

- ・ 人手不足と多様化する警備ニーズに対応するため、新たな警備モデルによって解決を図ることを目標とし、実証を通じて検証を行った。実証システムであるドローン、ロボット、AI監視カメラシステムと、警備対処に至る一連のプロセスを確認するために必要なCPT・スタ連を構築し評価検証を構築。システム単体においては実装上の評価基準を達成、または条件付き達成という結果を得ることができた。これにより、実用に向

け各システムに対する改良や追加開発の方向性を明らかにすることができた。

- 新たな警備モデルを評価する上で、従来型の人的警備モデルとの比較検討の手法が課題となった。本実証では、実証システムの評価方法として、警備力を定義するとともに、新たなアプローチとして警備力の定量化を行った。この結果、従来型のモデルと比較し客観的に警備力向上を行うことが可能となることを示すことができた。
- 実装と横展開においては、関係法令への対応、導入コストの低廉化、ドローンの一体開発、駅（対象となる施設）ごとに異なる特性を考慮した警備業務の代替検討、複数施設間を接続する NW の在り方などといった課題を導き出すとともに、これらの過程と各ステップの相関関係を明らかにした。実装と横展開に向け、新たな警備モデルの実現と普及展開に向けた追加検証の道筋が明確となった。

9. 参考資料

(1)2020/11/20、ローカル5Gを活用した警備業務の高度化に関する実証実験を推進、ALSOK、京急電鉄、NTT Com による本実証受託に関する共同ニュースリリース

- ・ ALSOK

https://www.alsok.co.jp/company/news/news_details.htm?alpc_news.news_detail_rev2=4832

- ・ 京急電鉄

https://www.keikyu.co.jp/assets/pdf/20201119HP_20119TS.pdf

- ・ NTT Com :

<https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2020/1120.html>

(2)2021/1/12、ローカル5Gを活用した各種開発実証へソリューションを提供、協和エクシオによる本開発実証支援に関するニュースリリース

<https://www.exeo.co.jp/news/4029.html>