

令和3年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

大型複合国際会議施設におけるポストコロナを見据えた  
遠隔監視等による安心・安全なイベントの開催

成果報告書

令和4年3月25日

株式会社野村総合研究所

# 目次

<b>1. 実証概要</b> .....	<b>1</b>
1.1 背景・目的 .....	1
1.1.1 背景 .....	1
1.1.2 目的 .....	2
1.2 実証の概要 .....	3
<b>2. 実証環境の構築</b> .....	<b>7</b>
2.1 実施環境 .....	7
2.2 ネットワーク・システム構成 .....	9
2.3 システム機能・性能・要件 .....	34
2.4 免許及び各種許認可 .....	37
2.5 その他要件 .....	38
2.6 実証環境の運用 .....	40
<b>3. ローカル5 Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）</b> .....	<b>42</b>
3.1 実証概要 .....	42
3.2 実証環境 .....	44
3.3 実証内容 .....	49
3.3.1 ローカル5 Gの電波伝搬特性等の測定 .....	49
3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化 .....	100
3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化 .....	141
3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発 .....	142
3.3.5 その他のテーマ .....	179
<b>4. ローカル5 G活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）</b> .....	<b>180</b>
4.1 実証概要 .....	180
4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標 .....	181
4.2.1 「A-1.遠隔ロボット監視システム」の実装シナリオ・実証目標 .....	182
4.2.2 「A-2.混雑検知システム」の実装シナリオ・実証目標 .....	187
4.2.3 「B-1.施設内2地点での遠隔同期演奏システム」の実装シナリオ・実証目標 .....	191
4.2.4 「A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム」の実装シナリオ・実証目標 .....	196
4.2.5 マルチアプリケーションの実装シナリオ・実証目標 .....	200
4.3 実証環境 .....	204
4.3.1 実証システムの構築 .....	207
4.4 実証内容 .....	228
4.4.1 ローカル5 Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証～A-1.遠隔ロボット監視システム～ .....	232
4.4.2 ローカル5 Gを用いたソリューションの有効性に関する検証～A-2.混雑検知シス	

テム～ .....	284
4.4.3 ローカル5 Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証～B-1.施設内2地点での遠隔同期演奏システム～ .....	326
4.4.4 ローカル5 Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～ .....	357
4.4.5 ローカル5 Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証～マルチアプリケーション～ .....	375
4.4.6 ローカル5 Gを用いたソリューションの実装性に関する検証 .....	384
4.4.7 ローカル5 Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討 .....	412
4.4.8 継続利用の見通し・実装計画 .....	421
<b>5. 普及啓発活動の実施 .....</b>	<b>428</b>
5.1 映像制作への協力 .....	428
5.2 実証視察会の実施 .....	429
5.3 その他普及啓発活動.....	432
<b>6. 実施体制 .....</b>	<b>440</b>
6.1 体制及び役割.....	440
<b>7. スケジュール .....</b>	<b>442</b>

## 1. 実証概要

### 1.1 背景・目的

#### 1.1.1 背景

##### <大都市部におけるローカル 5G 導入の意義>

本実証を行う横浜市みなとみらい 21 地区は大都市部に位置しており、将来的にはキャリア 5G 回線のサービス範囲となることも十分に想定され得る。そのため、一般の利用者としては不便なく 5G 回線を活用できるようになるものと推察する。

他方、施設管理者としては、通信環境としてキャリア 5G 回線を活用しようとした場合に、その都度一定の通信料金が嵩むこと、アップリンクの通信速度に難があること等の課題があることから、キャリア 5G 回線の活用には一定のハードルがあるものと考えられる。

こうした背景下において、大都市部の施設管理者として、ローカル 5G ネットワークを自営網として構築・活用する意義が見込まれる。相応の初期投資コストはかかるものの、以降は原則運営費の負担のみで自由に管理業務、及び施設利用者側への提供サービス等での活用が可能となるのは大きなメリットとなると考えるためである。

##### <ポストコロナの施設運営を見越した、情報通信基盤の更新ニーズ>

大都市部の多くの施設管理者は、既存のイントラネットワークや Wi-Fi 設備を保有・運用しているが、一方で設備が老朽化・陳腐化し、更新時期に差し掛かってくるような施設も多数存在する。

また、施設管理者は、新型コロナウイルス感染症の感染拡大を受けて、感染予防に関わる対策の実施（例：人流誘導）、ハイブリッド型イベントの実施（例：実際のイベント会場に加え、オンラインで展開するライブ配信やバーチャルルームを併用するイベント）等を企画・対応しなければならない状況にあるが、運営上の課題として、人員要員に限られること、情報通信基盤が脆弱（特に、アップリンク通信）であること等、浮上している。

そのような折、施設管理者は、既存設備を現状通りに更新するのみならず、次世代の強固な情報通信基盤であるローカル 5G ネットワークに転換するといった方針もオプションの 1 つとして検討し始めている状況である。

##### <柔軟なレイアウト変更への対応可能なローカル 5G への期待>

さまざまな規模のイベントに利用される大型複合国際会議施設内のネットワーク機能は開催されるイベントごとの来場者数規模、利用される施設内レイアウトに最適化して短期間で柔軟に提供する必要がある。

このことから、施設内の既存の光ファイバー、同軸ケーブル接続による有線ベースの既存ネットワーク設備に加えて、有線ベースのネットワークと同等の通信性能を提供しイベントごとのレイアウト更新にも柔軟に対応できるローカル 5G システムを導入し既存有線ベースのネットワークとの共存から順次置き換えの設備更改シナリオが実際に効果的であることの確認は重要と考える。

##### <ローカル 5G を活かした、マルチアプリケーション実装への期待>

施設管理者がローカル 5G 導入に際して抱える大きな課題として、投資対効果がある。

単体のアプリケーション・サービスのためだけにローカル 5G 導入を検討するというのは採算が合いづらい。そのため、様々なアプリケーション・サービス（＝マルチアプリケーション）を稼働させるためのインフラ基盤としてローカル 5G 導入が奏功するか、この点についての検証への期待が大きい。

### 1.1.2 目的

以上を踏まえ、本実証では、横浜市みなとみらい 21 地区の象徴的な大型複合国際会議施設である「パシフィコ横浜」で開催された「お城 EXPO2021」をフィールドとし、施設管理者としてローカル 5G ネットワークを自営網として構築した場合において、課題実証の観点として、A.コロナ禍を契機とした各種施設管理業務の効率化・高度化、及び B.コロナ禍の流れを汲んだ新たな音楽パフォーマンスのモデル実現に資する成果を得ること、及び特性の異なる 2 種類のローカル 5G ネットワークを同一空間において同居させた環境下において、A、B に関する複数のアプリケーション・サービス（マルチアプリケーション）の同時運用可否・実現課題を明らかにすることを旨とする。

具体的には、パシフィコ横浜ノース（6 階建、多目的ホール及び大中小の様々な会議室で構成）に、一つのローカル 5G ネットワーク環境を構築の上、A として「A-1.遠隔ロボット監視システム」、「A-2.混雑検知システム」を、B として「B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」の計 3 つから成るローカル 5G 活用モデルを、それぞれ個別ないし同時に作動させた際の挙動を、施設管理者及び利用者（システム利用者、エンドユーザー）等の複数の視点から検証する。

加えて、技術実証の観点として、実際に開催されるイベントでマルチアプリケーション利用の技術検証を経て、まずは「既存有線ベースのネットワークとの共存シナリオ」と「順次巻き取りシナリオ」の実現性を、ネットワーク機能、性能、品質それぞれの観点から確認・検証する。また、施設内の情報基盤の更新ニーズおよびマルチアプリケーションの実装に対しては、同一エリア目的別ローカル 5G ネットワーク構成による環境を構築することで、施設管理者自らが業務利用する場合の通信機能、及び施設利用者に提供する通信機能のいずれにも対応可能となることについても検証を行う。

## 1.2 実証の概要

技術実証において、同一エリア目的別のローカル 5G ネットワーク構成は、本検証の実証場所であるパシフィコ横浜ノース 1F 多目的ホール（「お城 EXPO2021」城めぐり観光情報ゾーン）に異なる sub6 帯域 4.8-4.9GHz 100MHz 幅、4.7-4.8GHz 100MHz 幅の目的別エリアを構築し、同期 TDD 対応ローカル 5G システムと準同期 TDD ローカル 5G システムを同時に利用する場合の技術実証を以下の項目に従って実施しローカル 5G 通信機能が、お城 EXPO 実行委員会および出展者、来場者に効果的であることを検証する。

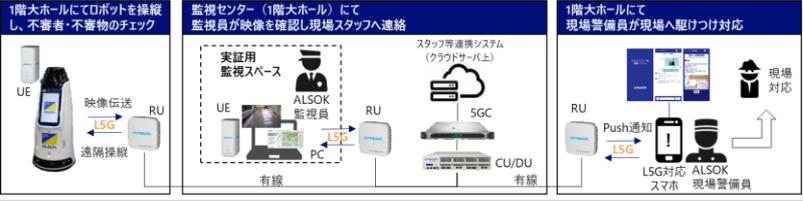
また、施設利用者の要望として施設内複数の異なる場所で超低遅延のローカル 5G 通信環境で必須となる音楽イベントにも対応可能とするようパシフィコ横浜ノース 2F の異なる 2つの小会議室にて超低遅延を提供するために、以下の項目に従って技術実証を実施する。

図表 1-1 技術実証概要

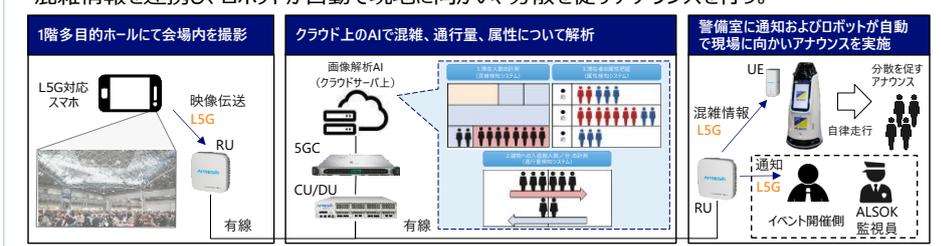
実証内容	利用システム	実施場所	目途
ローカル 5G の電波伝搬特性の測定	4.8-4.9GHz 帯域_同期対応システム	1F 多目的ホール	天井高 10m、約 6300 m <sup>2</sup> の多目的ホールにおける電波伝搬・性能の確認
	4.7-4.8GHz 帯域_準同期対応システム	2F ガーデンラウンジ B・C	ガラス壁で仕切られた複数の小規模会議室における電波伝搬・性能の確認
I. 電波伝搬モデルの精緻化	4.8-4.9GHz 帯域_同期対応システム	1F 多目的ホール	多目的ホール内をエリア化する場合の施設外への電波漏れの確認、パラメータ R 値の設定
	4.7-4.8GHz 帯域_準同期対応システム	2F ガーデンラウンジ B・C	ガラス壁で仕切られた小規模会議室をエリア化する場合の施設外への電波漏れの確認、パラメータ R 値の設定
III. 準同期 TDD の追加パターンの開発	4.8-4.9GHz 帯域_同期対応システム 4.7-4.8GHz 帯域_準同期対応システム	1F 多目的ホール	多目的ホール内を 2 システムでエリア化することで仮定した共用条件の確認

課題実証については、1) 個別ユースケースの実証、2) サービス連携の実証、3) マルチアプリケーション実証（同時並行運用時の挙動確認）の3ステップで実施する。

図表 1-2 課題実証概要

1) 個別 ユース ケース の実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 個々のアプリケーション・サービスの挙動性や実現課題を把握する。具体的には、ローカル 5G を活用することの効果や機能、ローカル 5G を活用する場合の運用についての示唆を得る。</li> <li>● A-1、A-2、A-3 いずれも、パシフィコ横浜にて毎年開催されている「お城 EXPO2021」の開催時期（準備期間、開催日の早朝・夜間時間帯等）に当該施設内での実証を行う。特に、A-1、A-2 については、「お城 EXPO2021」の開催時間帯に当該施設内での実運用（「お城 EXPO2021」の来場者に体感・評価いただく）を行う。</li> </ul>
A-1. 遠隔 ロボット 監視 システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 総合警備保障株式会社（ALSOK）が主担当。本実証は、ALSOK においてすでに開発済み（昨年度ローカル 5G 開発実証でも活用）の警備・案内ロボット（「REBORG-Z」）や「ALSOK スタッフ等連携システム」を用いて行うこととし、本事業費を活用したさらなる開発は実施していない。</li> <li>● 本実証では、遠隔操縦ロボットの 4K カメラ映像による不審者・不審物の識別の可否、混雑会場における現場警備員とのやり取りの円滑さについて、ローカル 5G 通信環境下での機能評価を行った。</li> <li>● ※昨年度とは異なり、監視員⇄現場警備員間のやり取りもローカル 5G 環境下で実施。大規模施設の警備業務において致命的ともいえる通信輻輳の回避の実現性を検証することで、本システムの実装可能性について考察を行った。また、ロボットには障害物（人を含む物体）との衝突を回避（自動減速、停止）し、走行ルートを迂回し走行を行う機能が具備されていることから、本実証専用のロボット走行レーンを設定する必要がない。</li> </ul> <p>&lt;実証ケース&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● A-1-1・・・ノース 1 階多目的ホールにて実施。</li> </ul>
<p><b>A-1.遠隔ロボット監視システム（ALSOK）</b> ※監視員⇄現場のやり取りのL5G化が昨年度との差          ・遠隔操縦ロボットの4Kカメラ映像による不審者・不審物の識別の可否、混雑会場における現場警備員とのやり取りの円滑さについて、ローカル5G環境下での機能評価を行う。</p> 	
A-2. 混雑 検知 システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NRI ソリューション部門が主担当。本実証は、NRI においてすでに開発済みの「混雑検知システム」（2021 年 3 月 5 日にパシフィコ横浜内にてキャリア 5G 回線によるデモンストレーションを実施した。）を用いて行うこととし、本事業費を活用したさらなる開発は実施していない。</li> <li>● 本実証では、L5G 対応スマートフォンで撮影した高精彩映像を、ローカル 5G 回線によりクラウドサーバー上にアップロード・AI 解析し、リアルタイムの混雑検知、混雑回避措置の効率化を実現する。</li> </ul> <p>&lt;実証ケース&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● A-2-1・・・ノース 1 階多目的ホールにて実施。</li> </ul>

	<p><b>A-2.混雑検知システム（NRI）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>スマートフォンで撮影した高精細映像をローカル5G回線によりクラウド上にアップロード・AI解析し、リアルタイムの混雑状況を、映像および混雑緩和のメッセージで会場内のサイネージに掲示する。</li> </ul>
<p>B-1. 施設内2地点での遠隔同期演奏システム</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヤマハ株式会社が担当。本実証は、ヤマハにおいてすでに開発済みの「SYNCROOM」（過去にキャリア 5G 回線を用いた実証実績有り。）を用いて行うこととし、本事業費を活用したさらなる開発は実施していない。</li> <li>本実証では、ヤマハ開発の「SYNCROOM」（音の遅延を最小化して伝送できるソフトウェア。主に PC 用だが、Android スマホ用のβ版もあり。）を用いて超低遅延での音響伝送を通じ、複数会場での同期演奏を行うことで、ローカル 5G 通信環境下での機能評価を行う。</li> <li>※ポストコロナの音楽パフォーマンスのあり方として、三密回避等の観点から、同一施設であっても複数の会場分散して実施し、演出・運用上の工夫を施すことで一体的なパフォーマンスとして成立させる、といった方向性が現実的な線として議論が進められている。本実証では、同一施設内のローカル 5G 通信環境を有効活用し、その実現性について検証・考察する。</li> <li>※加えて、現在β版である Android スマホ用の SYNCROOM が、ローカル 5G 通信環境下において機能するか否かについても確認することで、演奏者が会場内を大きく移動しながらのパフォーマンス等でも実用できるかを考察する。</li> </ul> <p>&lt;実証ケース&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>B-1-1・・・ノース 2 階ガーデンラウンジ B（PC 接続）、ノース 2 階ガーデンラウンジ C（PC 接続）にて実施。</li> <li>B-1-2・・・ノース 2 階ガーデンラウンジ B（PC 接続）、ノース 2 階ガーデンラウンジ C（スマホ接続）にて実施。</li> </ul> <p><b>B-1.施設内2地点での遠隔同期システム（ヤマハ）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ヤマハ開発の「SYNCROOM」（音の遅延を最小化して伝送できるソフトウェア）を用いてローカル 5G 環境下の2地点間の超低遅延での音響伝送を通じ、複数会場での同期演奏を行う。</li> </ul>
<p>2) サービ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>複数のアプリケーション・サービスを繋ぎ合わせることで新たなサービスメニューを構築するいわゆるサービス連携を、ローカル 5G 通信環境下において実現し得るか、確認を行う。</li> </ul> <p>A-</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>シナリオ遂行型の実証を想定する。具体的には、A-2 のシステム（NRI 開発</li> </ul>

<p>ス 連 携 の 実 証</p>	<p>3. ロ ボ ツ ト に よ る 混 雑 ア ナ ウ ン ス シ ス テ ム</p>	<p>済みの「混雑検知システム」) を用いてリアルタイムの混雑検知を実施した結果、一定閾値以上の混雑が確認された場合には、結果を監視員に通知し、A-1 の 4K カメラ搭載の遠隔操縦ロボット (ALSOK 開発済みの「REBORG-Z」) を現場に向かわせ、分散を促すアナウンスを行った。なお、「混雑検知システム」と「REBORG-Z」との連携にあたっては、外部連携インターフェースを活用することとするため、本事業費を活用したさらなる開発 (API 開発等) は実施していない。</p> <p>&lt;実証ケース&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● A-3-1・・・ノース 1 階多目的ホールにて実施。</li> </ul> <p><b>A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム (ALSOK・NRI)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 混雑検知システム (NRI)において一定の閾値を超え混雑を検知した場合に、リアルタイムでロボットに混雑情報を連携し、ロボットが自動で現地に向かい、分散を促すアナウンスを行う。</li> </ul>  <p>The diagram illustrates the A-3 system architecture in three stages: 1. A camera at the venue captures L5G-compatible smartphone footage and transmits it via L5G to a radio unit (RU). 2. The cloud AI performs image analysis (cloud server-based) to detect congestion and analyze traffic and attributes. 3. The system notifies the control room, and the robot (REBORG-Z) autonomously moves to the site to provide announcements, while staff (ALSOK operators and supervisors) monitor the situation.</p>
<p>3) マ ル チ ア プ リ ケ ー シ ョ ン 実 証</p>	<p>A- 1、 A- 2、 B- 1 ア プ リ の 同 時 並 行 運 用</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1) に示す 3 つのアプリケーション・サービスを 1 つのローカル 5G ネットワーク、同一の RU 内において同時並行運用した際の挙動性や実現課題を把握する。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>● A-1 アプリと A-2 アプリ、B-1 アプリを同一ローカル 5G ネットワーク内において同時並行運用した際、すなわち本課題実証システムにおける最大の通信負荷を掛けた際の挙動性や実現課題を把握した。</li> <li>● 上記までで記載した各種アプリケーションを同時並行運用するのみであることから、マルチアプリケーション実証を行うために、本事業費を活用した開発は発生していない。</li> </ul> <p>&lt;実証ケース&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● A-1×A-2×B-1・・・ノース 1 階多目的ホール (A-1 アプリ、A-2 アプリ、B-1 アプリスマホ接続) にて実施。</li> </ul>

以上のことから、本事業で構築したローカル 5G 活用モデルを実現するシステムを構成するソフトウェア及びハードウェア等においては、納入成果物となる発明品はない。

## 2. 実証環境の構築

### 2.1 実施環境

同期 TDD 対応ローカル 5G システム (NEC 製) および準同期 TDD 対応ローカル 5G システム (FLARE SYSTEMS 製) を導入して開発実証を実施する。今回提案のローカル 5G システム対応周波数および最大チャンネル帯域幅は以下の通りとする。

図表 2-1 同期 TDD 対応システム (NEC 製)

項目	諸元
対応周波数帯	4.8-4.9GHz (n79)
最大出力	33.6dBm (2.3W) /アンテナ 36.6dBm (4.6W) /局
最大チャンネル帯域幅	100MHz

図表 2-2 準同期 TDD 対応システム (FLARE SYSTEMS 製)

項目	諸元
対応周波数帯	2つのパターンから選択 4.7GHz-4.8GHz/4.8GHz-4.9GHz
最大出力	+23dBm (200mw)
最大チャンネル帯域幅	100MHz

大中小の空間から成る大型複合国際会議施設となるパシフィコ横浜ノース 1 階多目的ホール G1-G6 エリアおよび 2 階の小規模なイベントスペースとなるガーデンラウンジ B,C に SA 方式 sub6 ローカル 5G のエリアを構築しマルチアプリケーションの課題実証を実施した。

ノース 1 階多目的ホールは天井高 10m、面積約 6300 m<sup>2</sup>の大型複合国際会議施設で、イベント開催時に大小の展示ブースが設置される、講演会開催時には多数の観客席が設けられるなど、イベントごとに会場内のレイアウト、設置物の数、大きさ、人流パターンが異なる。この様々な状況において、イベントの内容に左右されずに複数のアプリケーションを同時に利用する場合においても最適な電波伝搬環境の提供が可能であることを検証した。

具体的には多くの展示ブースが設置され多目的ホール内の来場者数が変化する実際のイベント開催時において、混雑検知のための 4K および 2K 画像のアップロード、および会場内の警備のために遠隔操作される警備ロボットをモニタする映像等がどの地点においても一定の通信品質が確保され、マルチアプリケーション利用に支障がないことを受信電力、スループット、遅延測定により確認した。

ノース 2 階ガーデンラウンジは細長い廊下にガラスおよび壁で仕切られた小規模スペースが 3 つあり、この中のガーデンラウンジ B(137 m<sup>2</sup>) および C(110 m<sup>2</sup>) を会場として、遠隔同期演奏の実証を行った。遠隔同期演奏はローカル 5G 無線区間を含むエンドエンドの遅延が 20msec 程度を目標とするため、小規模スペースの壁の材質、レイアウトが超低遅延の通信環境を提供にどのように影響するかを事前のシミュレーション結果と実際の利用環境での受信電力、スループット、遅延測定結果の比較により評価と解析を行った。

また、超低遅延の通信環境を提供するため、異なる会場で利用するローカル 5G 端末配下の遠隔同期演奏システム間で直接 IP パケットの送受信を行うためローカル 5G ネットワーク内の端末間双方向での直接通信環境を構築して課題実証を実施した。

無線機および外部アンテナの設置は、以下のレイアウト図の通りとし、数量はパシフィコ横浜ノース 1 階多目的ホール内に NEC 製同期 TDD 対応無線機 RU 1 基、FLARE SYSTEMS 製の可搬型ローカル 5G システム準同期 TDD 対応 1 基を共存させ、パシフィコ横浜ノース 2 階の小スペース、ガーデンラウンジ部分には FLARE SYSTEMS 製の可搬型ローカル 5G システム準同期 TDD 対応 1 基で実証検証を実施した。

## 2.2 ネットワーク・システム構成

ローカル 5G システムとして同期 TDD 対応と準同期 TDD 対応の 2 つのシステムを導入し、UL スループット重視、超低遅延必須など異なる通信要件の複数のアプリケーションを同時に利用可能とする。

検証においては、UL トラフィックを重視する 4K 映像アップロードなどのユースケースおよび異なる場所での演奏を同期させる遠隔同期演奏のために準同期 TDD 対応のローカル 5G システムを用いてローカル 5G 端末間ダイレクト通信機能(peer to peer) 課題実証、技術実証を実施した。

さらに技術実証の準同期 TDD の追加パターンの開発として、同期 TDD システム及び、準同期 TDD を同時に運用した場合の共用検証として与干渉、被干渉の両方において受信電力、通信品質、伝送性能の測定を実施した。

図表 2-3 ローカル 5G システム (基地局) の概要

	基地局 A	基地局 B
	(MB5400-R7790-81)	( FW-L5G-1)
製造ベンダー	NEC 社	FLARE SYSTEMS 社
台数	1 台	1 台
設置場所 (屋内/屋外)	屋内	屋内
パシフィコ横浜 ノース設置場所	・ノース 多目的ホール (混雑検知、監視ロボット)	・ノースガーデンラウンジC (遠隔同期演奏) ・ノース 多目的ホール (混雑検知、遠隔同期演奏)
同期/準同期	同期	準同期
UL : DL 比率	1:4	準同期 TDD3
周波数帯	4.7GHz 帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA	SA
UL 周波数	4.8~4.9GHz	4.7~4.8GHz
DL 周波数		
UL 帯域幅	100MHz	100MHz
DL 帯域幅		
UL 中心周波数	4849.98MHz	4749.99MHz
DL 中心周波数		
UL 変調方式	DL:256QAM UL:64QAM	DL:256QAM UL:256QAM
DL 変調方式		
MIMO	2×2MIMO	2×2MIMO

- ・設置場所

- ・同期 TDD 対応 NEC 製システム

NEC 製システムは機能ごとに装置が分かれているため無線機 RU、無線制御装置 CU/DU サーバー、同期用 GPS アンテナ、インターネット接続環境は以下に示すようにパシフィコ横浜ノース内の適切な装置設置環境に分けて設置した。

パシフィコ横浜ノース 1 階 多目的ホール G1-G6 エリア

4.8-4.9GHz 対応屋内無線装置 RU および外部アンテナ 1 基を 1 階多目的ホール G1-G6 エリアの中央部、床から約 10m の高さにあるキャットウォーク上に固定設置して G1-G6 エリアの全域をカバーし課題実証、技術実証を実施した。

パシフィコ横浜ノース MDF 室

無線制御装置 CU/DU および GPS アンテナからの GPS 信号を受信する GMC(Grand Master Clock)装置、外部インターネット接続用 VPN ルータなどはパシフィコ横浜ノース MDF 室にサーバーラックを設置しサーバー、ネットワーク機器などを設置し 1 階多目的ホールに設置の無線装置 RU および屋上設置の GPS アンテナと同軸ケーブル、光ファイバーケーブルでそれぞれ接続を行った。

パシフィコ横浜ノース屋上

無線制御装置 CU/DU に同期用の GPS 信号を提供するために屋上に GPS アンテナを固定設置し、屋上 GPS アンテナからの GPS 信号を同軸ケーブルおよび光ファイバーケーブル変換により MDF 室に供給した。

屋上から MDF 室までのパシフィコ横浜ノース館内のケーブルルートは約 264m のため適正レベルの GPS 信号を GMC(Grand Master Clock)装置まで供給することが困難と判断し長距離の同軸ケーブル敷設に代えて GNSS 光伝送ユニット (型番: GS P15)を GPS アンテナに近い屋上と GMC 装置が設置される MDF 室の 2 カ所に設置して 2 つの GNSS 光伝送ユニット間を約 264m の SM-4C 光ファイバーで接続して GPS 信号の供給を行った。

その他

5GC はパブリッククラウド上で提供されるクラウドコアのためにパシフィコ横浜ノースの MDF 室に設置の無線制御装置 CU/DU サーバーとはインターネット経由で VPN 接続を行った。

インターネット接続回線およびインターネット接続サービスはパシフィコ横浜ノースを利用場所として以下のサービスを契約して課題実証、技術実証を行った。

光回線サービス：

NTT 東日本 フレッツ光ネクスト（ファミリーギガラインタイプ）

インターネットサービス：

NTT コミュニケーションズ OCN 光「フレッツ」IP1 ギガファミリー

NEC 製ローカル 5G のクラウド型 5GC との接続には固定 IP アドレスが必須条件のため IP1 ギガファミリーを選択した。

図表 2-4 GPS アンテナ パシフィコ横浜ノース屋上設置



図表 2-5 NEC 製 無線制御装置 CU/DU サーバー、VPN ルーターおよびサーバーラックパ  
シフィコ横浜ノース MDF 室設置



図表 2-6



図表 2-7



図表 2-8 NEC 製 無線装置 RU およびアンテナ  
パシフィコ横浜ノース 1F 多目的ホール キャットウォーク設置



・準同期 TDD 対応 FLARE SYSTEMS 製の可搬型ローカル 5G システム

可搬型ローカル 5G システムは以下に示す期間 1 ではパシフィコ横浜ノース 2 階のガーデンラウンジ C に設置し遠隔同期演奏の課題実証および技術実証を実施し、期間 2 では 2 階ガーデンラウンジ C から 1 階多目的ホールに装置を移設してマルチアプリケーション課題実証および、技術実証を実施した。

期間 1：2021 年 12 月 6 日～2021 年 12 月 10 日

設置場所：パシフィコ横浜ノース 2 階 ガーデンラウンジ C

課題実証 遠隔同期演奏、 技術実証 電波伝搬精緻化

可搬型ローカル 5G システム向けインターネット接続環境はドコモ LTE モバイルルータを可搬型ローカル 5G システムの N6 インターフェースに接続して構築した。

また同期用の GPS 信号はガーデンラウンジ C の出入口付近に GPS アンテナを仮設置して可搬型ローカル 5G システムに直接接続して同期用 GPS 信号を供給した。

図表 2-9 FLARE SYSTEMS 製 可搬型ローカル 5G システム (およびアンテナ)  
パシフィコ横浜 2 階 ガーデンラウンジ C 設置



期間 2 : 2021 年 12 月 13 日～2021 年 12 月 28 日

設置場所 : パシフィコ横浜ノース 1 階多目的ホール G1-G6 エリア

課題実証 マルチアプリケーション、技術実証 準同期 TDD 併設

可搬型ローカル 5G システム向けインターネット接続環境は NEC 製ローカル 5G システムのインターネット接続用にパシフィコ横浜ノース MDF 室に引き込みをしたフレッツ光ネクスト回線を利用するために、MDF 室から 1 階多目的ホールまで可搬型ローカル 5G システム専用に MM-2C 光ファイバー140m を敷設してフレッツ光ネクスト回線経由でインターネット接続を行った。

また多目的ホール内は建物構造上、GPS 信号が受信できる環境ではないため NEC 製ローカル 5G システム用に屋上に設置した GPS アンテナから MDF 室まで光ファイバーで供給した GPS 信号をさらに多目的ホールの可搬型ローカル 5G システム向けに供給を行った。

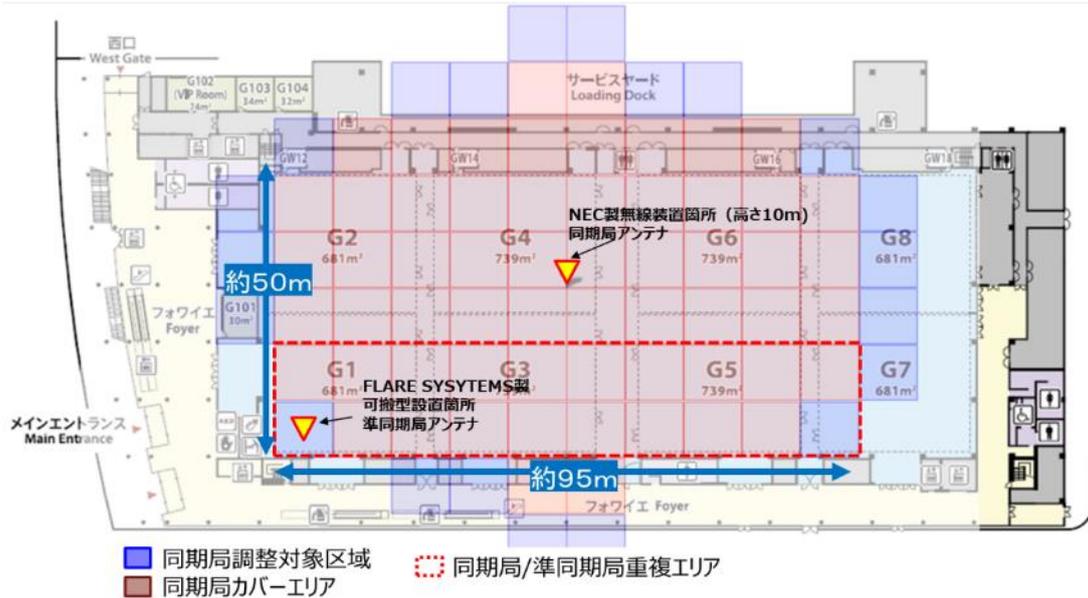
MDF 室から多目的ホールへの GPS 信号の供給は GNSS 光伝送ユニット (型番 : GS P15) にて屋上から MDF 室に光ファイバーで供給された後に MDF 室にて同軸ケーブルに変換する箇所において同軸分配器により分岐して、多目的ホール向けにフレキシブル同軸ケーブル 10D-WFLEX 140m を敷設して多目的ホールの可搬型ローカル 5G システム同期用に GPS 信号の供給を行った。

図表 2-10 FLARE SYSTEMS 製 可搬型ローカル 5G システム (およびアンテナ)  
パシフィコ横浜ノース 1 階 多目的ホール設置



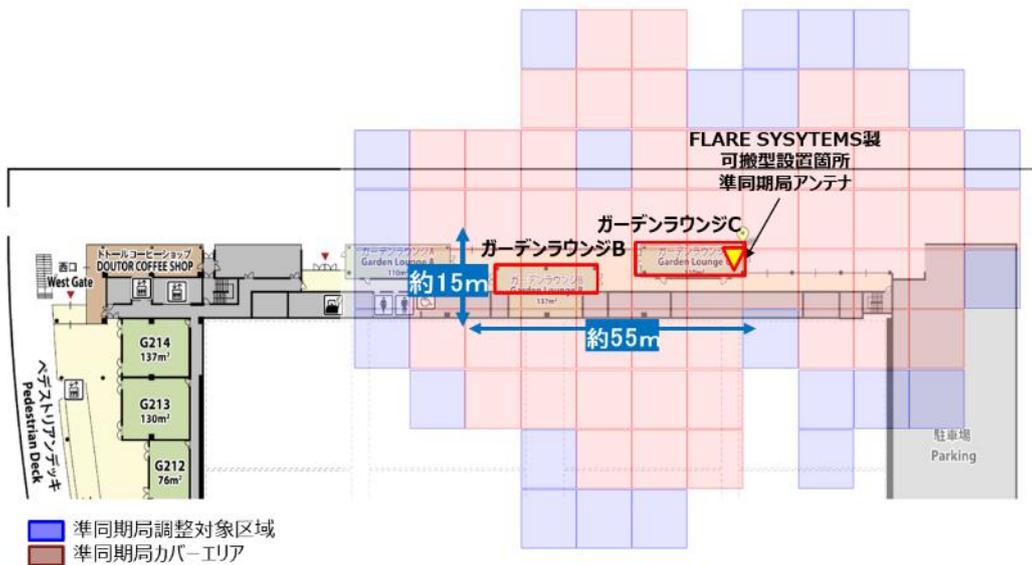
- ・ 基地局エリアカバレッジ

図表 2-11 ノース 1階 多目的ホール G1-G6



図表 2-12 ノース 2階 ガーデンラウンジ B-C

ガーデンラウンジB(137㎡) / ガーデンラウンジC(110㎡)



- ・ パシフィコ横浜ノース 1F 多目的ホール ローカル 5G sub6 エリア

「ノース 1F 実証エリア」の図に示す通り、今回の実証においてエリア 1 内に異なる目的用途のために部分的にエリア 1 とは異なる sub6 周波数帯によるエリア 2 を構成して双

方の干渉を回避してマルチアプリケーションに対応した。

エリア1：同期TDD対応 4.8GHz-4.9GHz、1階多目的ホールG1-G6全体をカバー

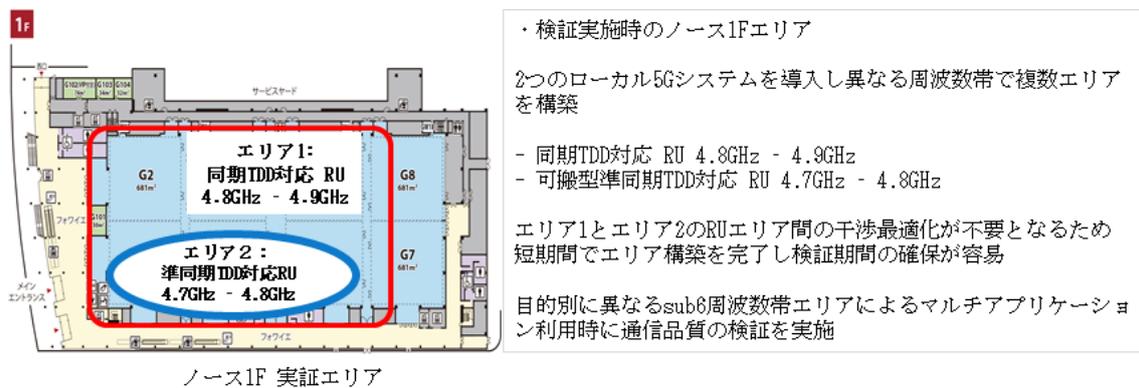
2021年12月17日から12月18日に多目的ホールG1-G6エリアで開催されたお城EXPOイベント会場にて複数の課題実証を同時に実施するためNEC製ローカル5Gシステムにてエリア1(G1-G6エリア)の全体をカバーした。

- ・多目的ホール内を移動する遠隔監視ロボット制御、会場内画像送信
- ・混雑検知のために3台の2Kスマホカメラ画像をアップロード
- ・混雑検知状況を多目的ホール会場内入口付近に設置のサイネージに表示

エリア2：準同期TDD対応 4.7GHz-4.8GHz、1階多目的ホール内UL重視エリアをカバー  
FLARE SYSTEMS製の可搬型ローカル5GシステムにてUL重視エリアをカバーした。

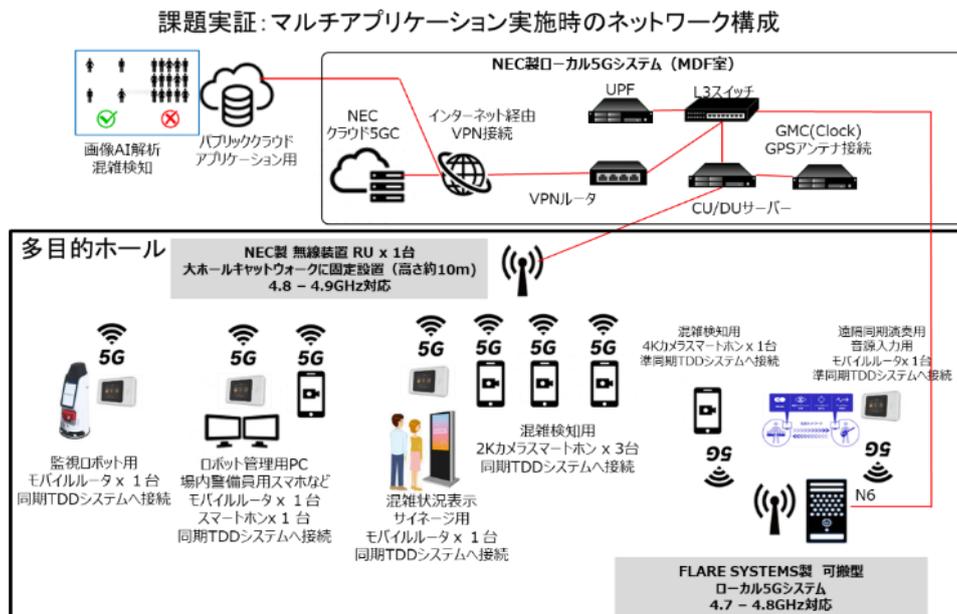
- ・混雑検知のために4Kスマホカメラ画像をアップロード

図表 2-13 ノース1F多目的ホール ローカル5G sub6 エリア



同期 TDD システムおよび準同期 TDD システムが併存のネットワーク構成図  
 ノース 1F 実証エリア図に対応するネットワーク構成図を以下に示す。

図表 2-14 ネットワーク構成



複数のローカル 5G システムが同一エリアに併存する場合の考慮点

1 階多目的ホールに 2 つのローカル 5G システムを併存して構築し、ローカル 5G 端末は同期 TDD システムに接続する端末の SIM カード、準同期 TDD システムに接続する端末の SIM カードはそれぞれ別々のローカル 5G システムに登録して課題実証前に多目的ホールにて接続試験を実施した。

その際に同期 TDD および準同期 TDD に登録している端末動作として通信開始時にそれぞれのローカル 5G システムへのアタッチが成功したり失敗したりと不安定な状況が確認されたため、解析を実施した。

アタッチ動作不安定の状況において同期 TDD システム、準同期 TDD システムそれぞれに割り当てた PLMN ID の MNC (Mobile Network Code)は 44019 で同一番号を使用していた。また異なるローカル 5G システムが同一 PLMN ID で多目的ホール内に併存していたために、端末は電波状況に応じて同期 TDD および準同期 TDD の両方のシステムにアタッチを試みる状況にあり、SIM 登録されているシステム側にアタッチする場合は認証成功し通信開始、SIM 登録されていないシステム側にアタッチする場合は、認証失敗となり通信開始不可となり通信が成功したり、失敗したりの不安定な状況になっていたことが判明した。

このため、同期 TDD システム、準同期 TDD システムに設定する PLMN ID の重複を避けるために 同期 TDD システムの MNC (Mobile Network Code)は従来通り 44019 の設定のままとし、準同期 TDD システムの MNC は 44019 から 44022 に設定変更を行い。準同期 TDD システムに登録していた端末の SIM カードも MNC が 44022 の割り当てを行っている SIM カードにすべて変更し再登録を行った。

PLMN ID MNC 44019 : NEC ネットエスアイ取得の MNC

PLMN ID MNC 44022 : JTOWER 取得の MNC

PLMN ID 重複を解消した状況で同期 TDD、準同期 TDD の併存エリアで端末接続試験を実施し、問題なく端末接続が確認できた。

今回、両システムの多目的ホールでの併存にあたり同一エリア sub6 帯域の干渉を避けるため sub6 周波数帯をシステムごとに 4.7-4.8GHz と 4.8-4.9GHz に分けて運用するなど事前の考慮は行っていたものの PLMN ID 重複は考慮不足であった。

ただし今後の併存運用時に異なる PLMN ID 割り当ておよび異なる PLMN ID を付与した SIM カードの確保が必ずしも容易ではないケースも想定されるため、今回のように異なる MNC を持つ PLMN ID を割り当てることで併存させる解決策に加えて、同一 PLMN ID にて複数のローカル 5G システムが異なる用途で併存を可能とするために端末が認識可能でローカル 5G システム運用者が個別に設定可能なローカル 5G システム識別子の検討と併存環境での検証が必要と考える。

- ・超低遅延対応

課題実証の遠隔同期演奏では同期演奏の音声、楽器の音源入力用 PC 間のエンドエンド許容遅延が 20msec であり、音源入力用の PC 間で直接 IP パケットの送受信が必須となる 2 つの条件を満たす必要がありネットワーク構成は以下の通りに構成した。

なお遠隔同期演奏はパシフィコ横浜ノース 2 階のガーデンラウンジ B および C の 2 つの部屋に分散して楽器、音声マイクを配置して同期演奏が行われた。

- ・エンド・エンド許容遅延 20msec の提供について

当初はガーデンラウンジ B および C のそれぞれに配置される音源入力用 PC の両方にモバイルルータタイプのローカル 5G 端末を接続して課題実証を行う計画を立ててたが、事前の NEC ネットズエスアイ (NESIC) 検証環境での確認においてエンド-エンド遅延が 20msec 以上となる結果となったため、パシフィコ横浜ノースで実施する課題実証では計画を変更し、可搬型ローカル 5G システムを設置したガーデンラウンジ C に配置する音源入力用 PC のみにローカル 5G 端末を接続し、ガーデンラウンジ B に配置する音源入力用 PC はローカル 5G 接続から Ether ケーブルにて有線環境で接続に変更して、ローカル 5G 通信で発生する遅延をできるだけ回避するネットワーク構成にて、双方の音源入力用 PC にて遠隔同期演奏を実施した。

- ・音源入力用の PC 間で直接 IP パケットの送受信について

ローカル 5G 端末に接続する音源入力用 PC A と可搬型ローカル 5G システム N6 インターフェースに Ethernet ケーブル (有線) で接続する音源入力用 PC B の双方で直接 IP パケットの送受信を行うため、以下のネットワーク構成図で示すように VPN ルーターを経由して双方向の直接通信環境を構築した。

今回、課題実証に用いた可搬型ローカル 5G システムは N6 インターフェースを経由する IP パケットを NAT 機能によりアドレス変換を行う仕様のため、音源入力用 PC の A および B が可搬型ローカル 5G システム N6 インターフェース経由で直接 IP パケットの送受信が不可になってしまう。このため PC A および PC B に付与した IP アドレスが変換されず双方向通信を可能とするために、N6 インターフェースおよびローカル 5G 端末に接続する音源入力用 PC の A に VPN ルーターを接続し VPN トンネル経由で双方方向 IP パケット通信を可能とした。(具体的な接続構成は以下のネットワーク構成図を参照)

## 遠隔同期演奏におけるローカル 5G システムの改善点

### ・エンド-エンド 遅延について

互いに離れた場所での遠隔同期演奏の音源をすべてローカル 5G 端末経由で送受信して同期させる場合には、エンド・エンドの遅延目標値である 20msec を超えてしまうため、2 つの音源のうち、1 つの音源のみローカル 5G 経由で遠隔同期演奏の課題実証を実施した。

また FLARE SYSTEMS 製のローカル 5G システムをパシフィコ横浜ノースに設置した場合の遅延性能を技術実証のために測定した結果においては、DL 遅延の最小値が 9.22msec に対して UL 遅延の最小値は 22.39msec となり DL/UL の遅延性能が異なることが判明した。また DL/UL とともに遅延の変動があり遠隔同期演奏を実施するためのエンド-エンド遅延の要求値である 20msec を超過するケースも多く見られた。

このために今後は実際の利用環境でエンド-エンドの遅延が 20msec 以内で安定的に運用するための事前準備として利用するアプリケーションの packet サイズ(MTU)、packet 送受信間隔、Jitter 性能要件なども十分考慮して最適なローカル 5G システムの選定を行い、実際のアプリケーションを使用した検証環境での事前評価に基づき必要に応じたローカル 5G の性能最適化、性能改善を行ったうえで、実利用開始の必要がある。

なおガーデンラウンジ C に設置した FLARE SYSTEMS の遅延、スループット測定結果詳細は 3.2.1.2 評価・検証項目に記載した。

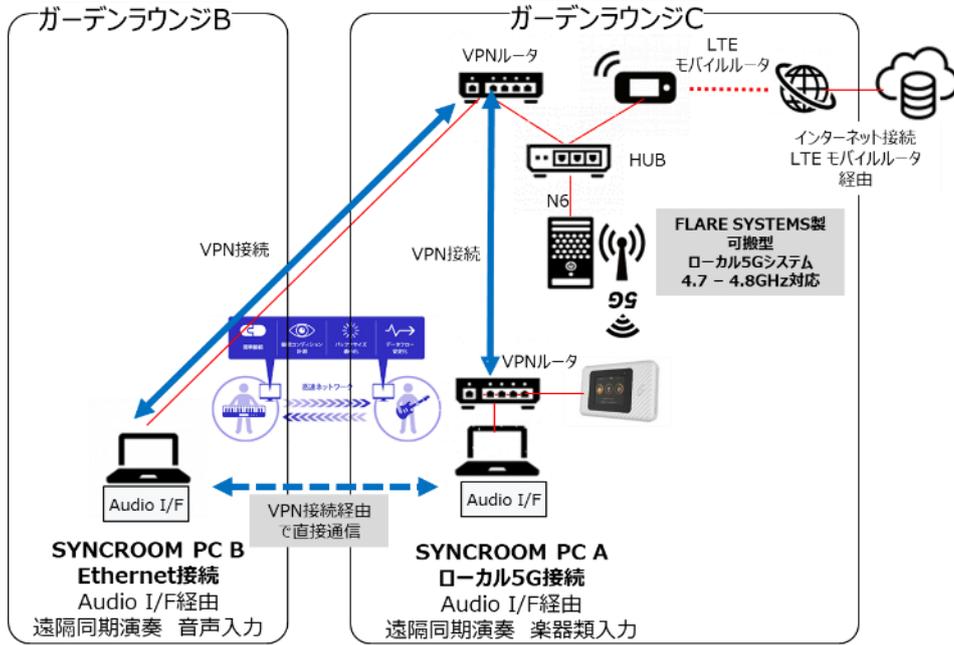
### ・ローカル 5G 端末間の直接 IP 通信について

遠隔同期演奏を実現するにあたり異なる場所に設置した音源入力用 PC 間で直接 IP packet の送受信を行うことが必須となるため、音源入力用 PC をローカル 5G 端末に接続した状態でも直接 IP packet の送受信を可能とするために VPN ルーター経由で直接通信を実現した。ただし VPN 接続のために IP packet をカプセル化するプロトコルの通信データオーバーヘッドが増加し、VPN プロトコル処理が追加的に必須となり、エンド-エンドの遅延が増加する要因となる。

このためローカル 5G ネットワークに接続する PC 間で通信データオーバーヘッド追加がなく、エンド-エンドの通信制御を行う機器において追加的な処理遅延をできるだけ回避するために、VPN 接続ではない方式で IP packet を直接送受信できることが望ましく、ローカル 5G システムのネットワーク機能追加、更新などによりローカル 5G 端末間の IP packet の直接送受信(Peer to peer)を可能とする検討が必要と考える。

図表 2-15 遠隔同期演奏時のネットワーク構成

課題実証：遠隔同期演奏実施時のネットワーク構成



・UL 重視のトラフィック対応

パシフィコ横浜ノース多目的ホールで開催されたお城 EXPO 開催中の混雑度合いを検知するために、4K 画像対応のスマホカメラを地上から 5m ほどの高さにある多目的ホールバルコニーに設置し会場内の画像をローカル 5G 経由でパブリッククラウドに伝送を行い画像 AI 解析にて混雑度合いの検知を行った。

混雑検知用のスマホカメラは ローカル 5G sub6 SA 方式の FCNT 製の Smart Device01 を使用し、アップリンクトラフィック重視に対応するために、準同期 TDD 対応の FLARE SYSTES 製の可搬型ローカル 5G システムを多目的ホールに設置した。

当初の混雑検知課題実証の計画では 4K 対応スマートフォン 4 台を 3 つのバルコニーに分散配置して会場全体の混雑度合いをモニター、画像解析する予定であったが、以下の通りの配置に変更し、1 台の 4K カメラ用スマートフォンを準同期 TDD 対応 FLARE SYSTES 製のローカル 5G システムに接続し、その他 3 台の 2K カメラ用スマートフォンは NEC 製ローカル 5G に接続して課題実施を実施した。

【12 月 18－19 日での課題実証状況】

バルコニー1:お城 EXPO2021 会場入り口に一番近い位置

4K 画像用スマホ 1 台 (UL 10Mbps) FLARE SYSTES 製ローカル 5G システムに接続

2K 画像用スマホ 1 台 (UL 5Mbps) NEC 製ローカル 5G システムに接続

バルコニー2:お城 EXPO2021 会場中央部分

2K 画像用スマホ 1 台 (UL 5Mbps) NEC 製ローカル 5G システムに接続

バルコニー3:お城 EXPO2021 場入り口から遠い部分

2K 画像用スマホ 1 台 (UL 5Mbps) NEC 製ローカル 5G システム

バルコニー1-3 の合計 UL スループット 25Mbps

【当初の実施計画】

バルコニー1:お城 EXPO2021 会場入り口に一番近い位置

4K 画像用スマホ 1 台 (UL 30Mbps) FLARE SYSTES 製ローカル 5G システムに接続

4K 画像用スマホ 1 台 (UL 30Mbps) FLARE SYSTES 製ローカル 5G システムに接続

バルコニー2:お城 EXPO2021 会場中央部分

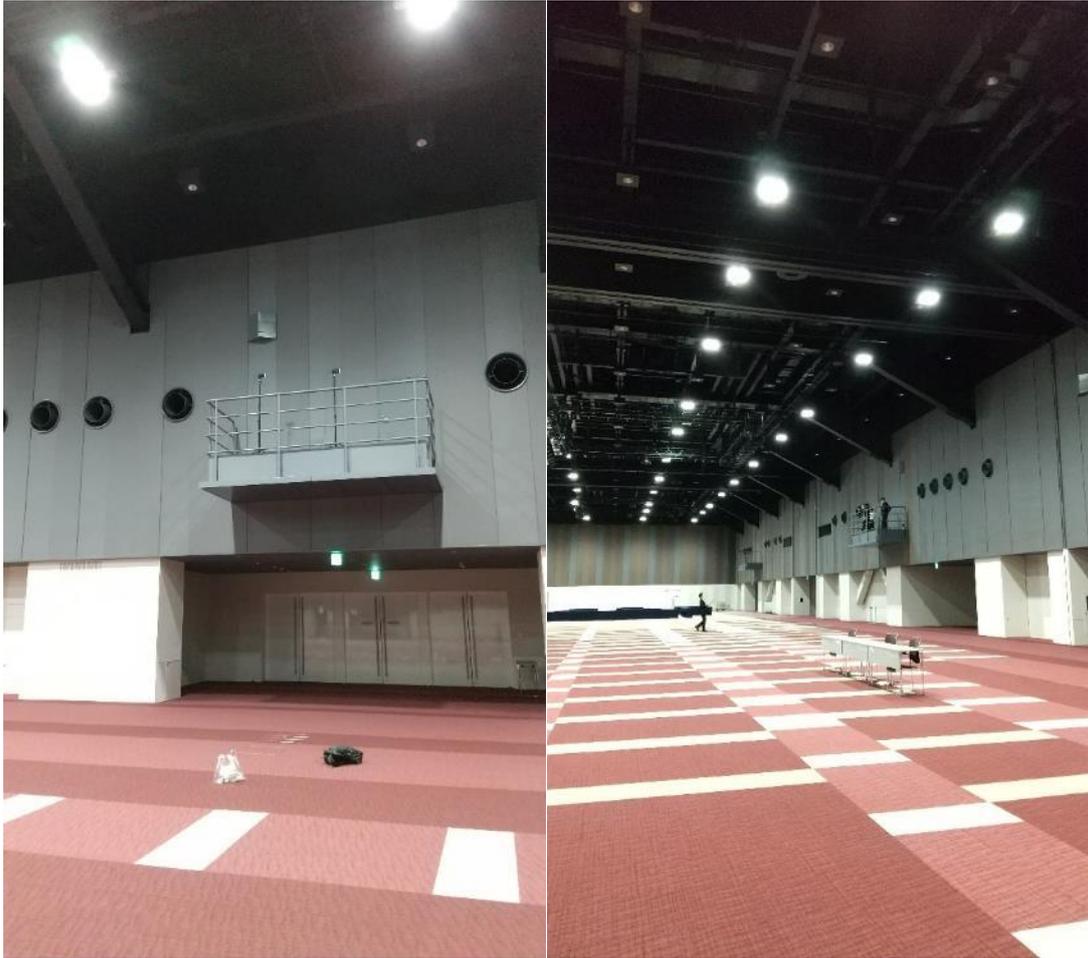
4K 画像用スマホ 1 台 (UL 30Mbps) FLARE SYSTES 製ローカル 5G システムに接続

バルコニー3:お城 EXPO2021 会場入り口から遠い部分

4K 画像用スマホ 1 台 (UL 30Mbps) FLARE SYSTES 製ローカル 5G システムに接続

バルコニー1-3 の合計 UL スループット 120Mbps

図表 2-16 混雑検知用スマートフォン設置場所：多目的ホール バルコニー1-3



準同期 TDD 対応の FLARE SYSTEMS 製のローカル 5G システムはお城 EXPO2021 開催の前の週の 12 月 10、11 日にガーデンラウンジ C に設置して遠隔同期演奏の課題実証にも対応したが、その際に技術実証にてガーデンラウンジで測定した受信電力、スループット、遅延の結果からガーデンラウンジ C よりもさらに大きなエリアとなる横幅約 95m にある高さ 5m の 3 つのバルコニーすべてを FLARE SYSTEMS 製ローカル 5G システムの 1 台でカバーし、実施計画の UL トラフィック合計 120Mbps の品質を維持することは困難と判断し UL トラフィック重視の実施対応として前述に記載の通りに変更した。

結果として当初計画した UL スループット合計 120Mbps 大きく下回る結果となった。

今回は UL 重視の課題実証実施にあたり、パシフィコ横浜ノース 1 階多目的ホールでの事前検証期間は会場となる多目的ホール利用制限などもあり 4 日間ほどの短期間であったこと、同期 TDD システムおよび準同期 TDD システムが同一エリアで混在する場合の不安定動作解析など別の不具合解析にも時間がかかったことにより、実際の設置場所での性能に関する事前調整、最適化のための時間確保が限定的であった。

このため今後は導入前の検証環境および実際の設置場所での性能、品質確認、最適化の時間を十分確保のうえ製品メーカーとの緊密な連携による課題解決の体制確保が必須となる。

なおガーデンラウンジ C に設置した FLARE SYSTEMS の遅延、スループット測定結果詳細は 3.2.1.2 評価・検証項目に記載した。

- ・ sub6 同期対応 SA 方式 システム機器数量  
本実証に導入する sub6 同期対応 SA 方式 システムの各装置数量を以下に示す。

図表 2-17 sub6 同期対応 SA 方式 システム機器数量

装置	機器	数量
RU	NEC 製 RU (MB5400-R7790-81)	1 台
	RU 備品	1 式
	オムニアンテナ (5dBi)	2 式
CU/ DU	NEC 製 Master	1 台
	NEC 製 Worker	1 台
	10GbE SFP+トランシーバ LR	1 式
UPF	NEC 製 UPF	1 台
OAM (監視)	OAM サーバー	1 台
GPS、その他	GMC 本体 (電気ポートタイプ)	1 台
	GNSS アンテナ系備品	1 式
ネットワーク装置	L3SW-HW (AS5915-18X-0-AC-S)	1 台
	L3SW-OS (OcNOS SP-CSR-120)	1 式
	1G SFP (ET4201-RJ45)	8 式
	10G SFP (ET5402-SR)	6 式
	FW & VPN Router (FortiGate-100E)	1 式
SIM カード	NESIC SIM	10 枚
5GC	NEC 5G クラウドコア	1 式

・装置性能一覧

sub6 同期対応 SA 方式 システムの各装置性能を以下に示す。

図表 2-18 sub6 同期対応 SA 方式 システムの各装置性能

装置	項目	装置性能
RU	RU1 台あたりの帯域	最大 UL 60Mbps /DL 700Mbps
	RU1 台あたりの UE 接続数	最大 64 ユーザー
DU	DU1 台あたりの RU 接続数	最大 4 台
CU	CU1 台あたりの DU 接続数	最大 1 台
	CU1 台あたりの UE 接続数	最大 256 ユーザー
クラウド 5GC	5GC 1 台あたり CU 接続数	最大 100 台以上 (拡張可能)
	5GC 1 台あたり UE 接続数	最大 10,000 ユーザー以上 (拡張可能)

・装置緒元

sub6 同期対応 SA 方式 システムの各装置緒元を以下に示す

図表 2-19 RU 装置緒元 NEC 製品 製品型番：MB5400-R7790-81

項目	諸元
対応周波数帯	4.8-4.9GHz (n79)
最大出力	33.6 dBm (2.3W) /アンテナ 36.6dBm (4.6W) /局
アンテナゲイン・EIRP	外部アンテナ
最大チャンネル帯域幅	100MHz
MIMO レイヤ数 DL, UL	DL 2 レイヤ UL 1 レイヤ
変調方式 DL, UL	DL: 256QAM UL: 64QAM
最大スループット DL, UL	DL: 700Mbps UL: 60Mbps
NW インターフェース	ORAN 準拠 Lower Layer Split (Option 7-2x) 25Gbps
搭載 SFP+	SFP28
時刻同期	PTP フロントホール
対応電源	AC100/200V, 50/60Hz
重量	約 8.5kg
サイズ (高さ×幅×奥行)	299 x 250 x 81mm(電源ケーブル除く)
動作温度	-20 °C ~ +50 °C

図表 2-20 CU / DU Master 装置緒元 NEC 製品

項目	仕様
CPU	2 x Intel Xeon Gold 6230R 2.1G, 26C/52T
メモリ	512GB (32GB x 16)
SSD/HDD	3 x 1.6TB SSD, RAID1(1台はホットスペア) / 4 x 600GB HDD, RAID5
増設ボード	なし
NIC	RJ45(1Gbps) x4ports x 1 / SFP+(10Gbps) x2ports x 2
サイズ	ラックマウント型 86.8 x 434 x 715.5 mm (2U)
電源モジュール	AC100V, 最大 500W (TYP. 390W)

図表 2-21 CU / DU Worker 装置緒元 NEC 製品

項目	仕様
CPU	2 x Intel Xeon Gold 6230R 2.1G, 26C/52T
メモリ	512GB (32GB x 16)
SSD/HDD	3 x 1.6TB SSD, RAID1(1台はホットスペア)
増設ボード	FPGA: x1 (最大 4)
NIC	RJ45(1Gbps) x4ports x 1 / SFP+(10Gbps) x2ports x 4
サイズ	ラックマウント型 86.8 x 434 x 715.5 mm (2U)
電源モジュール	AC100V, 最大 500W (TYP. 390W)

図表 2-22 5GC UPF 装置緒元 NEC 製品

項目	仕様
CPU	1 x Intel Xeon-D 2.1G 16 core
メモリ	64GB (1 x 64GB RDIMM)
SSD	1 x 960GB SSD
増設ボード	なし
追加 NIC	RJ45(1Gbps) x 4ports x 1 / SFP+(10Gbps) x 2ports x 1
サイズ	ラックマウント型 43.7 x 381 x 434 mm (1U)
電源モジュール	AC100V, 最大 311W (TYP. 206.5W)

・ sub6 準同期対応 SA 方式 システム機器数量

準同期 TDD 追加パターン開発の技術実証実施のため、FLARE SYSTEMS（東京大学開発 L5G システム / FW-L5G-1）一式を導入する。

sub6 準同期対応 SA 方式 システムの各装置緒元を以下に示す。

図表 2-23 FW-L5G-1 装置緒元（可搬型） FLARE SYSTEMS 製品

項目	諸元
対応周波数帯	2つのパターンから選択 4.7GHz~4.8GHz/4.8GHz~4.9GHz
最大出力	+23 dBm (200mw)
アンテナゲイン	指向性アンテナ 12dBi
最大チャンネル帯域幅	100MHz
MIMO レイヤ数 DL UL	DL 2*2 MIMO UL 2*2 MIMO
変調方式 DL, UL	256QAM
最大スループット DL, UL	理論値 DL:800Mbps UL:220Mbps
NW インターフェース	Ethernet 1Gbps × 1 保守用 Ethernet 1Gbps × 1 データネットワーク接続点
時刻同期	GPS
対応電源	AC100V
重量	20kg 程
サイズ（高さ×幅×奥行）	(W) 285mm x (H) 513mm x (D) 471mm
動作温度	0℃~40℃

・端末台数

本実証で使用する端末種別と台数を以下に示す

各アプリケーションでの利用状況、利用環境を考慮し端末を選定する。

図表 2-24 端末種別と台数

		Compal RAKU+	L5G スマホ FCNT Smart Device01	必要帯域等
遠隔ロボット 監視システム (ALSOK)	REBORG-Z	1台		上り 10Mbps
	警備員		1台	警備員指示
混雑検知 (NRI)	スマホカメラ		4台	上り 10Mbps スマホ カメラ 1台数 上り 5Mbps スマホ カメラ 3台数
	サイネージ用	1台		映像配信
	警備員		1台	警備員指示
遠隔同期演奏 システム (ヤマハ)	メイン会場 楽器	1台		音声 3.0-4.0Mbps/1拠点 ※要求されるエンド エンド遅延 20msec 未 満
	サブ会場 ボーカル		1台	音声 6.0-8.0Mbps/2拠点 ※要求されるエンド エンド遅延 20msec 未 満
L5G 端末合計 台数		4台	7台	

・ 端末製品概要

本実証で使用する端末製品を以下に示す。

COMPAL 製 RAKU+

モバイルルーター

図表 2-25 COMPAL 製 RAKU+



項目	仕様
製品名	RAKU+(Plus) ※CCC, CE, GCF, TELEC 取得済
バンド	5G Sub6 n79, mmWave n257, 4G B38, B41
サイズ	119 x 72 x 23.5mm
表示	2.4' タッチパネル付き
重量	228g
無線	Dual band WiFi (16 端末接続) MIMO 802.11 a/b/g/n/ac/ax
I/O	USB3.1 Gen2, Type C, Nano-SIM, RJ45
バッテリー	5300mAh(typ)
技術基準適合証明	CCC, CE, GCF, TELEC

FCNT 製 品名 : Smart Device01 、 型番 : FMP18P1L01  
ローカル 5G sub6+ミリ波 NSA/SA 対応スマートデバイス

図表 2-26 FCNT 製ローカル 5G sub6+ミリ波 NSA/SA 対応スマートデバイス



項目		仕様	
CPU/モデム		SM8250+SDX55M	
メモリ (RAM/ROM)		LPDDR5 8GB /UFS 128GB/micro SD	
OS		Android 10	
ディスプレイ		6.7 インチ (3120 × 1440), フレキシブル有機 EL	
カメラ		フロント : 32M, リア : 48M+16M( 広角 )+ 光学 3 倍ズーム	
コネクティビティ		WLAN(802. 11a, b, g, n, ac, ax 2x2MIMO)/Bluetooth 5. 1	
生体認証		指紋認証	
外部 I/O		USB Type-C(USB 3. 1 Gen2, Displayport サポート)	
センサー		位置情報, 加速度, ジャイロ, 近接, 地磁気, 照度, ToF	
電池容量		4, 070mAh	
防水/防塵		IPX5, 8 相当 /IP6X 相当 (※1)	
SIM		nano SIM(プラグイン eSIM のマルチプロファイル対応) ※DSDS/DSDA には対応していません	
NR (5G)	Sub6 (NSA/SA)	Band	[ローカル 5G] n79(4. 6GHz~4. 9GHz) [公衆] n 78, n79
		MIMO	DL: 4x4MIMO/UL: 2x2MIMO(※3)
	mmWave (NSA)	Band	[ローカル 5G] n257( 28. 2GHz 29. 1GHz) [公衆] n257
		MIMO	DL: 4CC, 2x2MIMO /UL: 2CC, 2x2MIMO
LTE	Band	[ローカル 5G] B39(※2), 41 [公衆] B1, 3, 19, 21, 42	
	CA, MIMO	[ローカル 5G]DL:CA なし, 4x4MIMO/UL:CA なし, MIMO なし [公衆]DL:5CA, 4x4 MIMO/UL:2 CA, MIMO なし	
温湿度条件		温度 5~35 °C/湿度 45%~85%RH	

### 2.3 システム機能・性能・要件

3つの異なる課題実証（ユースケース）ごとの実施内容と通信経路および必要帯域、必要要件を以下に示す。

図表 2-27 課題実証ごとの必要要件 1

ユースケース	実施内容	FROM	経路	経路	TO	必要帯域等	
遠隔ロボット監視システム (ALSOK)	REBORG-Z による映像送信	ロボット監視の映像をロボット管理 PC に送信	ノース 1 階 多目的ホール 走行ロボット	L5G	L5G	監視センター ロボット管理 PC	上り 10Mbps
	REBORG-Z の遠隔操縦	監視センターよりロボットの遠隔操作	監視センター ロボット管理 PC	L5G	L5G	ノース 1 階 多目的ホール 走行ロボット	下り 数 Mbps
	現場警備員の状態把握	監視センターからスタッフ連携システムにアクセスして確認	ノース 1 階 外部クラウド スタッフ連携システム 現場警備員 L5G スマホ	L5G	インターネット	外部クラウド スタッフ連携システム PC	上り 数 Mbps
	現場警備員への通知	監視センターより現場警備員への対応指示	ノース 1 階 監視センター スタッフ連携システム 外部クラウド	インターネット	L5G	外部クラウド ノース 1 階 現場警備員 L5G スマホ	下り 数 Mbps

※なお、本実証において「監視センター」はパシフィコ横浜ノース 1 階多目的ホール G1-G6 内、お城 EXPO2021 の城めぐり観光情報ゾーンに設置した本実証の出展ブース内に仮設した。

図表 2-28 課題実証ごとの必要要件 2

ユースケース	実施内容	FROM	経路	経路	TO	帯域 必要 要件		
混雑検知 (NRI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>4台の2kカメラの会場モニター画像を外部クラウド 画像解析サーバーへ送信するため UL スループット重視が必須 (UL 最大 25Mbps)</li> <li>可搬型の準同期 TDD 対応ローカル 5G システムにて提供する UL 重視の準同期 TDD パターン 2, およびパターン 3 にて対応</li> </ul>							
	多目的 ホールモニター用 4K スマホカメラ	4K カ メラでモ ニターし た多目的 ホールへ の来場者 の状況を 画像解析 用クラウドサーバーへ送信	ノー ス 1 階  4K ス マホカ メラ	L5G	イン ターネ ット	外部 クラウ ド  画像 解析シ ステム	UL 10Mbps  1 台  UL 5Mbps 3 台  UL ス ループ ット合 計 25Mbps	
	サイネ ージ用						UL/DL 数 10Mbps	

図表 2-29 課題実証ごとの必要要件 3

ユースケース	実施内容	FROM	経路	経路	TO	帯域 必要要件	
遠隔同期演奏システム (ヤマハ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガーデンラウンジ B および C の異なる会場間で楽器演奏とボーカルを同期演奏するためにエンドエンドでの超低遅延 20msec 未満が必須</li> <li>・可搬型の準同期 TDD 対応ローカル 5G システムにて提供するローカル 5G 端末間の peer to peer 通信機能により超低遅延に対応</li> </ul>						
超低遅延必須  遠隔同期演奏時に要求されるエンドエンド遅延 20msec 未満	遠隔同期演奏	複数会場での同期演奏  Peer to peer 通信	メイン会場、2階 ガーデンラウンジ C 楽器  サブ会場、2階 ガーデンラウンジ B ボーカル	L5G	Ether	メイン会場 2階ガーデンラウンジ C	音声 3.0-4.0Mbps/1拠点 ※要求されるエンドエンド遅延 20msec 未満
	遠隔同期演奏 SYNCROOM ユーザー認証	遠隔演奏開始前のユーザー認証	メイン会場、2階 ガーデンラウンジ C 楽器  サブ会場、2階 ガーデンラウンジ B ボーカル	L5G	インターネット	外部クラウド  ユーザー認証サーバー	UL/DL 数 10Mbps

## 2.4 免許及び各種許認可

本実証に必要な免許申請は株式会社 JTOWER よりパシフィコ横浜ノースでの開発実証を目的として関東総合通信局 陸上第一課に令和3年11月5日に申請を行い、令和3年11月16日に免許交付された。なお、免許種別については、実験試験局による対応としている。以下に申請を行った無線局の種別及び局数、識別信号を示す。

図表 2-30 無線局の種別、局数

無線局の種別及び局数	実験試験局 16 局
識別信号	パシフィコよこはまじっけんきち 1~2 パシフィコよこはまたんまつ 1~14

ローカル 5G sub6 帯域、4.8 - 4.9GHz 100MHz 幅および 4.7 - 4.8GHz 100MHz 幅の両帯域において屋内伝搬・無線性能評価を行い、大都市部の大型複合国際会議施設内での 5G 無線利用の有効性を検証する。

## 2.5 その他要件

### サイバーセキュリティ対策

ローカル 5G ネットワークおよび構成する装置はパシフィコ横浜ノース構内に閉じて独立型のクローズドネットワークとして運用する。また事前に登録した SIM カードは 5GC クラウドコアまたは可搬型ローカル 5G 5GC にて通信時の認証手順に従い認証が成功した SIM の端末のみパシフィコ横浜ノースに設置のローカル 5G ネットワーク利用を可能とした。

ローカル 5G ネットワークと外部クラウドサービスとの通信については、ローカル 5G システムとして設置する VPN ルーターfirewall 機能にて通信可能とする機器を限定し安全性を担保した。

### 採用するローカル 5G 無線システム、コア装置について

sub6 同期 TDD SA 方式に対応する開発供給計画認定を受けた NEC 製設備を選定し導入した

RU: MB5400-r7790-81

Master : Z0S-703-MM003B1

Worker : Z0S-703-MW003B1

UPF: MX4050-UL

**図表 2-31 採用するローカル 5G 無線システム、コア装置**

#### 3. 認定開発供給事業者の名称

日本電気株式会社

#### 4. 認定開発供給計画の概要

一般企業、自治体向けに、工場(スマートファクトリー)、建設(重機遠隔操作)、防災(遠隔監視)等の様々な領域に適用可能なローカル 5G システムに供する設備として以下の設備を開発供給する。

#### ・開発供給を行う特定高度情報通信技術活用システムの内容

メーカー	種別	型番・型式	主な仕様等(概要)
NEC	特定基地局以外の基地局の無線設備	MB5400-r7790-81	・ RU ・ 4.8 GHz 帯用
NEC	特定基地局以外の基地局の無線設備	Z0S-703-MM003B1 Z0S-703-MW003B1	・ CU/DU
NEC	特定基地局以外の基地局の無線設備	Z0S-703-MM004B1 Z0S-703-MW004B1	・ CU/DU
NEC	特定基地局以外の基地局の無線設備	Z0S-703-MM005B1 Z0S-703-MW005B1	・ CU/DU
NEC	特定基地局以外の基地局の無線設備	Z0S-703-MM006B1 Z0S-703-MW006B1	・ CU/DU
NEC	特定基地局以外の基地局の無線設備	Z0S-703-MM007B1 Z0S-703-MW007B1	・ CU/DU
NEC	特定基地局以外の基地局の無線設備	L5G-CUDU-M(Mv)-01 L5G-CUDU-W(Mv)-01	・ CU/DU
NEC	交換設備	MX4050-UL	・ オンプレミス型 ・ 5G SA 方式

#### (備考)

「4. 認定開発供給計画の概要」中、認定開発供給事業者の営業上の秘密に該当する部分については、これを公表の対象として記載していない。

sub6 準同期 TDD SA 方式に対応する FLARE SYSTEMS 製 L5G システム (FW-L5G-1) (可搬型) は、国際規格 3GPP に準拠して開発され、令和 2 年度の総務省ローカル 5G 開発実証の採択案件にも採用され、実証を実施した実績があることから本実証でも選定した。

これら導入するローカル 5G システムについては、システム運用者において、以下の項目を講ずることでサプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策を確保した。

コンソーシアムにおいて情報セキュリティポリシーを設定し、当該ポリシーに沿って本実証を行った。

NEC 製ローカル 5G システムおよび L3 スイッチ、VPN ルーターに関するパラメータ設定、変更およびアラーム監視、障害ログ解析などは NEC ネットエスアイ (NESIC) のパシフィコ横浜ノースの開発実証対応に従事する特定のエンジニアのみ可能とし、開発実証期間中のローカル 5G システムを管理、運用を行った。

また NEC 製ローカル 5G の 5GC はクラウドコアシステムとして提供されるためパシフィコ横浜ノース MDF 室に設置した CU/DU 装置との接続は NTT 東日本が提供するフレッツネクスト回線および NTT コミュニケーションズが提供するインターネット接続サービス OCN 光「フレッツ」IP1 ギガファミリーを利用した。なお NEC クラウドコアとの接続においては NTT コミュニケーションと契約し割り当てられた固定 IP アドレスのみに限定した。

NEC 製および FLARE SYSTEMS 製のローカル 5G システムをパシフィコ横浜ノースに搬入、設置にあたり 事前に装置品質およびシステム品質を確認するために NEC ネットエスアイ (NESIC) の検証環境にて実際に導入する装置を使用して装置間のケーブル接続、ソフトウェアインストール、パラメータ設定を行い、本番環境にて問題なく本来の性能で動作するよう端末接続確認試験、課題実証のアプリを使用した検証などを実施し出荷を行った。

## 2.6 実証環境の運用

本実証期間中はコンソーシアムメンバーの株式会社 JTOWER にて専任の運用担当者および 1 次対応窓口を配置し技術実証、課題実証実施時に発生する実証に影響のある不具合に対応し、一元的な不具合の切り分けと、早急な通常状態への復旧を行った。

運用体制期間 12月6日～12月19日（実証準備および実証実施期間）

ローカル 5G システムの通信機能提供開始後からパシフィコ横浜ノースで開催されたお城 EXPO2021 開催期間中は以下の運用体制にて課題実証の事前準備、お城 EXPO2021 での本番実証中のローカル 5G システムの不具合、障害等に対応した。

- ・ JTOWER 1 次対応窓口、障害対応 9:00 - 19:00 2 名常駐
- ・ NEC ネットエスアイ  
NEC ローカル 5G アラームモニタ監視、障害対応 9:00 - 19:00 2 名常駐
- FLARE SYSYSTEMS ローカル 5G 障害対応 9:00 - 19:00 1 名常駐

対応した主な不具合等は以下の表のとおりとなる。課題実証に大きな支障をきたす不具合は発生せず、当初に計画した通りに課題実証を完了することができた。

図表 2-32 対応した主な不具合

2022/12/10 遠隔同期 演奏実施 1 日目	9:00	ガーデンラウンジ C にてヤマハ様 課題実証時に最大遅延 350msec が 1 分回りに数回定期的に発生。 ただし最大遅延は毎回 350msec 程 度、それ以上悪化することはない 状況。	ヤマハ様課題実証後に報告いただいた ため当日は特に対応なし。類似事象の発 生頻度に応じて装置バンダーヘエスカ レーション予定。
2022/12/13 お城 EXPO 準備	15:40	多目的ホールにて NEC / FLARE 混 在環境で FLARE への UE 接続が不安 定、UE からの L5G システム接続認 証が成功しない（アタッチしない） 状況が多発	NEC/FLARE それぞれの無線機を停波して UE 接続状況を確認。混在しない状況では UE 接続成功。 NEC / FLARE の両システムに同じ PLMN ID (MNC) 重複して設定してため、異な る PLMN ID (MNC) 付与しなおし、5GC への 端末登録の SIM 入れ替えにより解決
2022/12/17 お城 EXPO 準備	9:00	NRI デジタル様 混雑検知用会場 モニター4K 画像を FCNT スマホで 撮影して AWS へインターネット経 由アップロードを実施。 FCNT スマホから VPN 接続を行わ ないとインターネット経由で 4K 画 像のアップロード不可の事象が発 生。	NRI デジタル様の 2 日間の課題実証は VPN 接続にて実施して課題実証を進める ことで解決。

2022/12/18 お城 EXPO 1日目	16:00	NEC RU アラームモニタ「UE 解析が必要」メッセージが散見。	ALSOK 様の課題実証利用の Compal モバイルルータ 2 台の電源 OFF でアラームメッセージがなくなったため、Compal モバイルルータが原因と想定。ALSOK 様課題実証には支障がなかったため切り分けは未実施。
2022/12/18 お城 EXPO 1日目	16:00	NRI デジタル様 混雑検知表示用サイネージがログイン画面に戻る現象が発生。	同じタイミングにて ALSOK 様にて突発的な高トラフィック発生し NEC 製ローカル 5G システムの帯域を圧迫したことにより、同じ NEC 製ローカル 5G システムに接続してサイネージ用モバイルルータの通信に一過性の影響があったと判断した。
2022/12/18 お城 EXPO 1日目	18:05	ヤマハ様マルチアプリケーション準備時にヤマハ様使用の Compal モバイルルータを FS アンテナより 20 - 30cm の距離に設置した場合に音の途切れ多発	Compal モバイルルータを FLARE SYSTEMS のアンテナに 10-20cm 程度接近させることで音途切れを解消。
2022/12/19 お城 EXPO 2日目	PM	FLARE SYSTEMS において、YAMAHA 様、NRI デジタル様の 2 アプリケーションを接続したところ、CPU 使用率は 97% まで上昇（通常時は、70% 台）	CPU 使用率上昇の原因特定は現地では不可のため静観とした。

### 3. ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

#### 3.1 実証概要

ローカル 5G 活用モデルとして、マルチアプリケーションの課題実証で使用する大型複合国際会議施設パシフィコ横浜ノースにおいて、周波数 4.8 - 4.9GHz、帯域幅 100MHz、同期 TDD 構成でのエリア設計のための受信電力測定、及びユースケースにおける性能評価としてスループット、遅延の伝送性能評価を実施した。

また、マルチアプリケーションの 1 つである混雑検知システムにおいて、画像解析 AI が搭載されたクラウドサーバー上に 4K、2K カメラ映像を常時アップロードし続けるため、上り高速大容量通信を必要とすることから、ローカル 5G 準同期 TDD 構成(準同期 TDD2、TDD3)に対応した装置を導入し、受信電力、スループット、遅延等の伝送性能、共用検討評価を実施した。

図表 3-1 技術実証の概要

項目			該当 (○、×)	
技術実証の 実施環境	周波数帯	4.7GHz 帯	○	
		28GHz 帯	×	
		キャリア 5G の周波数帯	×	
	屋内外	屋内	○	
		屋外	×	
		半屋内	×	
	周辺環境	都市部	○	
		郊外	×	
		開放地	×	
		その他	×	
	テーマ別 実証	I. 電波伝搬モデルの精緻化	K の精緻化	×
			S の精緻化	×
R の精緻化			○	
その他の精緻化			×	
II. 電波反射板によるエリア構築の柔軟化		実施の有無	×	
III. 準同期 TDD の追加パターンの開発		TDD2 の検討	○	
		TDD3 の検討	○	
		TDD2、3 以外のパターンの検討	×	
		追加パターンを具備した実機での検証	○	
IV. その他のテーマ		実施の有無	×	

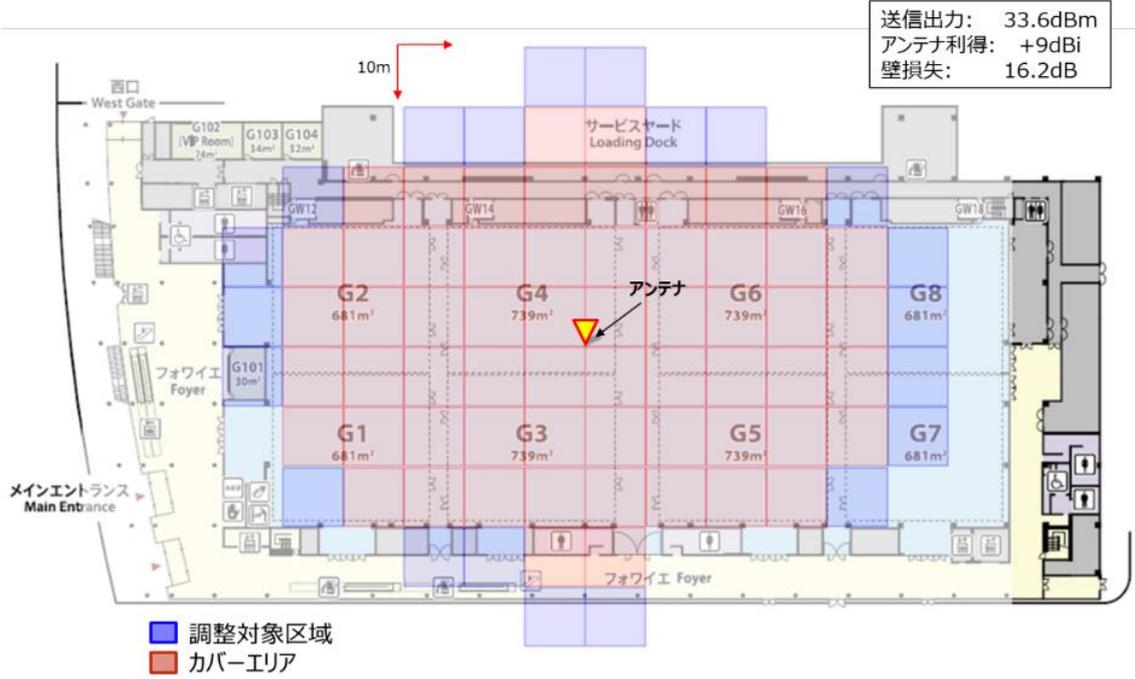
## 3.2 実証環境

以下 3 つの技術実証において使用する環境を記載する。

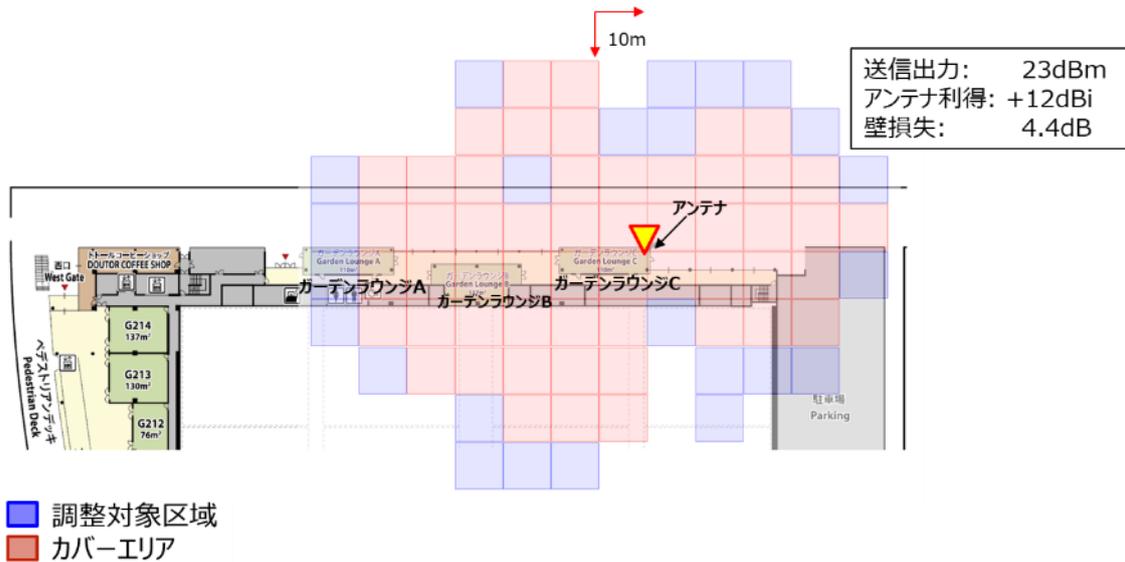
### 1. ローカル 5G の電波伝搬特性の測定

パシフィコ横浜ノース 1F 多目的ホール、2F ガーデンラウンジを使用した。電波伝搬特性等の測定を行う対象とするローカル 5G 用アンテナは、1F に 1 基、2F に 1 基、計 2 基を設置し、課題実証場所のエリア化を行った。いずれも課題実証と同様の環境を使用し、課題実証の検証に影響を与えない電波伝搬環境構築に向けた検証を実施した。

図表 3-2 ノース1階 多目的ホール G1 - G6



図表 3-3 ノース2階 ガーデンラウンジ B - C



## 2. 電波伝搬モデルの精緻化

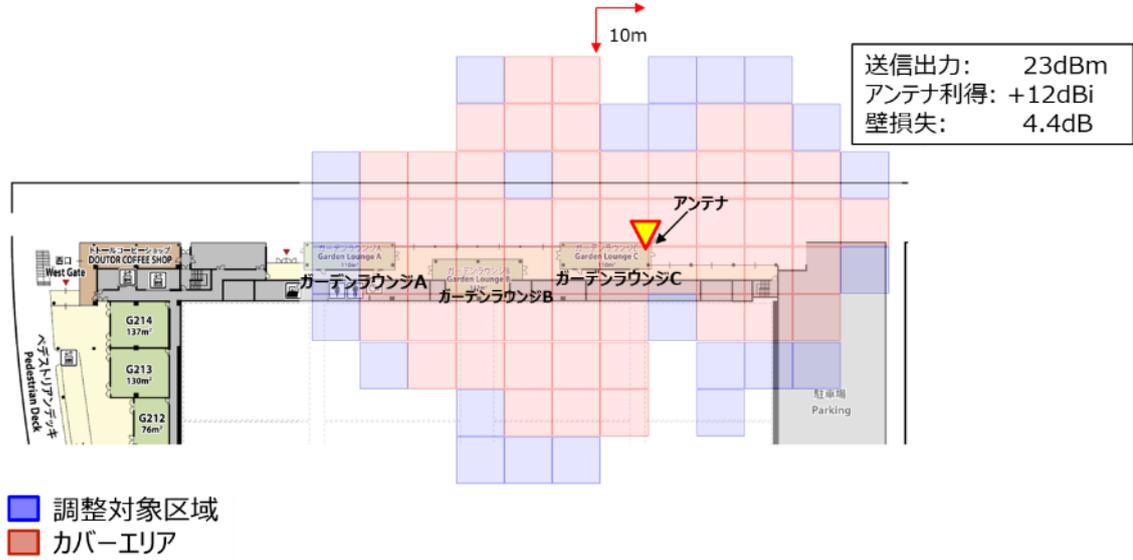
建物屋内のレイアウトによってパラメータ R の電波損失は異なるため、技術実証実施前に壁面の材質、厚さ、枚数の詳細条件を調査し、それぞれの条件における伝搬損失の仮説を算出式に落とし込むことで、カバーエリア、調整対象区域の作図を行った。

ノース 1F 多目的ホール、2F ガーデンラウンジにおけるパラメータ R の仮説を立て、算出したカバーエリア、調整対象区域を以下に示す。1F 多目的ホールについては、コンクリート壁が多い環境から電波伝搬シミュレータで使用されているコンクリート [Light] の値 16.2dB を使用し、2F ガーデンラウンジについては、ガラス窓の多い環境からこちらも電波伝搬シミュレータで使用されているガラスの値 4.4dB を使用した。なお、参考にした電波伝搬シミュレータは、iBwave Solutions 社の「iBwave Design」となる。

図表 3-4 ノース1階 多目的ホール G1 - G6



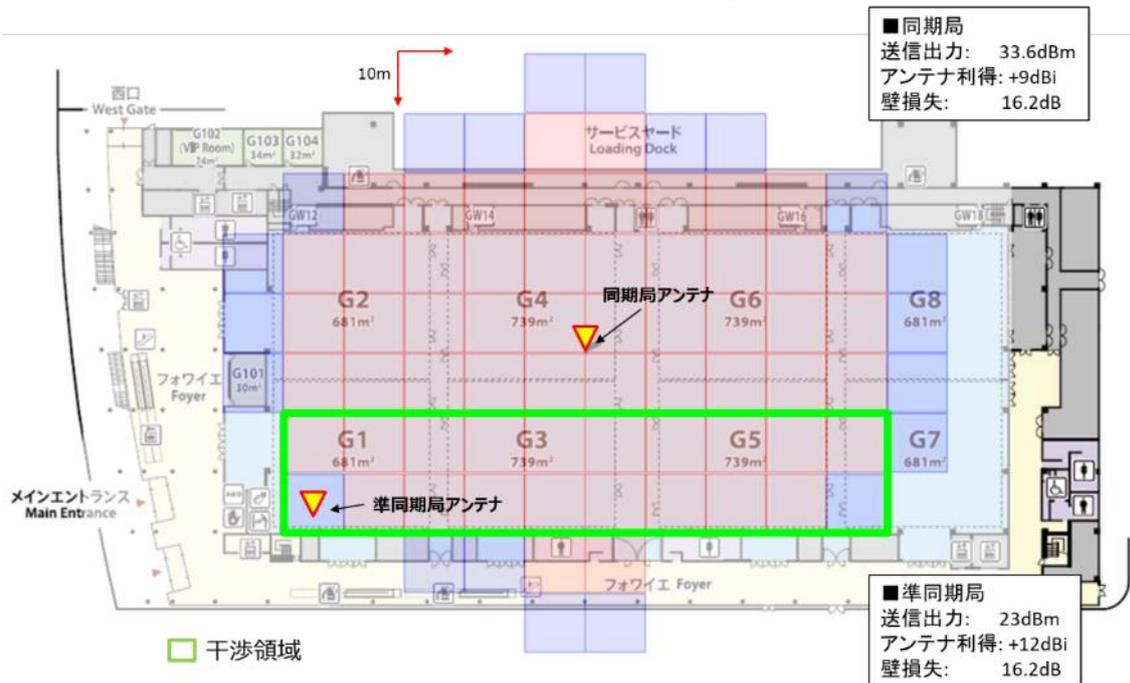
図表 3-5 ノース2階 ガーデンラウンジ B - C



### 3. 準同期 TDD 追加パターンの開発

上り高速大容量通信を必要とする混雑検知システム課題実証を行うパシフィコ横浜ノース 1F の環境を使用する。同期局 1 基、準同期局 1 基を設置し、受信電力、伝送性能評価、干渉評価を実施する。現地干渉評価では、多目的ホール天井に設置した基地局(同期局)と多目的ホール内に設置した可搬型基地局(準同期局)の離隔距離を自由に変更させることが難しく、ラボにおける干渉評価により必要最短離隔距離を導出することにした。

図表 3-6 同期局、準同期局設置場所



### 3.3 実証内容

#### 3.3.1 ローカル 5 G の電波伝搬特性等の測定

課題実証で使用する大型複合国際会議施設パシフィコ横浜ノースの特徴ある環境(防音効果のある壁、ガラス壁、高天井)にてエリア設計に必要な受信電力測定、及び伝送性能の測定を実施した。

電波伝搬特性等の測定の対象とするローカル 5G 用アンテナは、1F 多目的ホールの 1 箇所、2F ガーデンラウンジの 1 箇所の計 2 箇所とした。それぞれの場所についてエリア算出法に基づきカバーエリア、調整対象区域を算出するとともにそれぞれのエリア端において受信電力(SS-RSRP)を測定した。測定した値がエリアごとの閾値と異なる場合は、閾値が実測される基地局からの距離を確認する。

また、カバーエリア内において、受信電力、及び伝送性能(DL/UL 別のスループット、遅延)を測定し、ローカル 5G を用いたユースケースの所要性能を実現できない場合は、実測データに基づき所要性能を満たすために必要な方策(必要な帯域幅及び送信電力等)を導出する。

### 3.3.1.1 実証目標

1F 多目的ホール及び 2F ガーデンラウンジそれぞれにおけるローカル 5G システムのカバーエリア、調整対象区域の算出式より求めたエリアと実測定結果の比較、差分の検証を行う。また、この環境で実証されるユースケースごとの伝送性能(スループット、遅延)を確認し、実装する上で必要となる所要伝送性能を明確にし、同様の環境、ユースケースに展開できる指針を導き出す。

ユースケースごとに想定する伝送性能要件を以下に示す。混雑検知システムにおいては、4K、2K カメラで撮影した会場モニター画像を外部クラウド画像解析サーバーへ送信するため、UL スループットが重視され、今回の実証では、上り 10Mbps を必要とするカメラ 1 台、上り 5Mbps を必要とするカメラ 3 台を使用するため、上り合計 25Mbps が要求される。この UL 高速スループットへの対応には、可搬型の準同期 TDD 対応ローカル 5G システムにて提供する UL 重視の準同期 TDD パターン 3 を使用する。また、ガーデンラウンジ B および C の異なる 2 地点遠隔同期演奏システムにおいては、会場間で楽器演奏とボーカルを同期演奏するためにエンドエンドでの超低遅延 20msec 未満が要求される。

今回、伝送性能(スループット、遅延)の測定は、①1F 多目的ホール NEC 基地局、②2F ガーデンラウンジ FLARE SYSTEMS 製の 2 箇所で行い、それぞれの環境で実施した課題実証における所要性能との比較を行った。

図表 3-7 ユースケースごとの伝送性能要件

ユースケース	接続基地局	DL スループット要件	UL スループット要件	DL 遅延要件	UL 遅延要件	電波伝搬 精緻化 伝送性能 測定対象
遠隔ロボット 監視システム	1F 多目的ホール NEC 製	数 Mbps	10Mbps	-	-	○
混雑検知システム (スマホカメラ)	1F 多目的ホール NEC 製	-	上り 5Mbps 3 台 =15Mbps	-	-	○
混雑検知システム (サインージ用)	1F 多目的ホール NEC 製	数 10Mbps	数 10Mbps	-	-	○
2 地点 遠隔同期演奏システム	2F ガーデンラウンジ FLARE SYSTEMS 製	3Mbps/拠点 2 拠点分 合計 6Mbps	3Mbps/拠点 2 拠点分 合計 6Mbps	エンドエンド遅延 20msec 未満		○

### 3.3.1.2 評価・検証項目

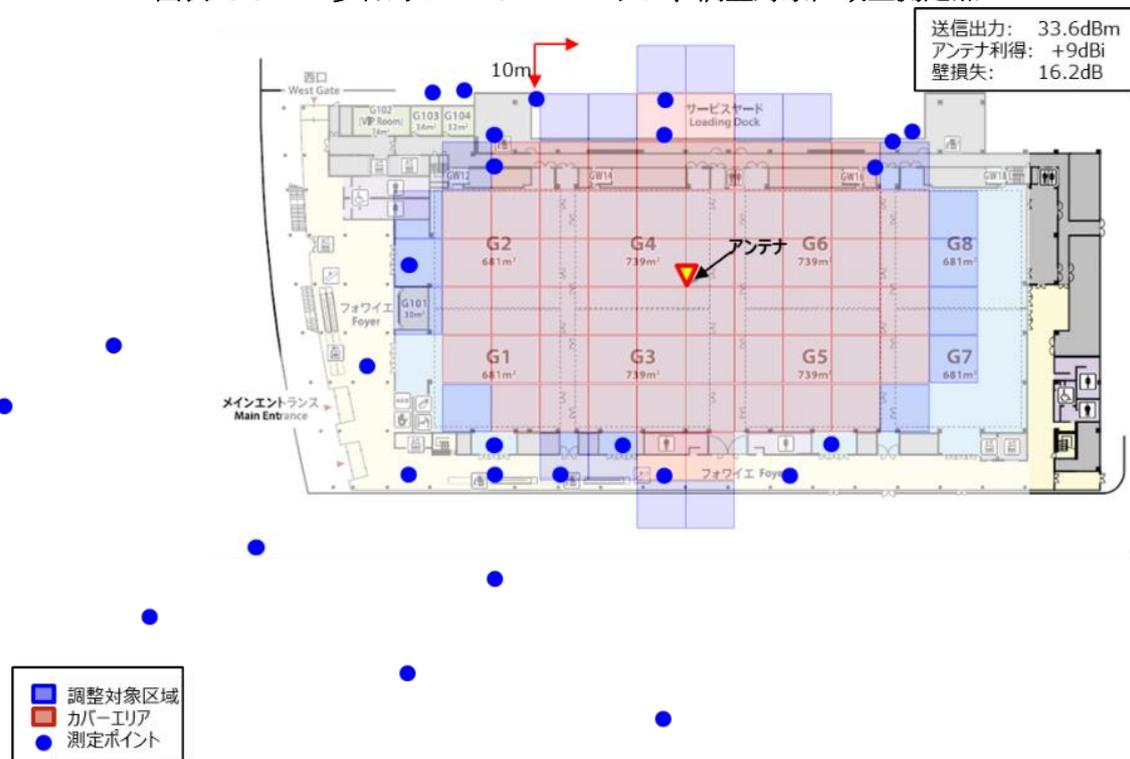
以下に評価・検証項目を記載する。

図表 3-8 ローカル5Gの電波伝搬特性評価・検証項目

評価・検証内容	Output
算出式によるカバーエリア、及び調整対象区域の図を作成する	カバーエリア、調整対象区域の図
<ul style="list-style-type: none"> <li>・カバーエリア、調整対象区域端における受信電力(SS-RSRP)を測定する</li> <li>・算出式のカバーエリア、及び調整対象区域の閾値と異なる場合は、それぞれの閾値が実測される基地局からの距離を確認する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・受信電力ヒートマップ</li> <li>・各エリアの閾値が実測される基地局からの距離を表した表</li> </ul>
カバーエリア内で下記伝送性能を測定する <ul style="list-style-type: none"> <li>- DL/UL 別のスループット</li> <li>- DL/UL 別の遅延</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DL/UL 別のスループットヒートマップ</li> <li>・DL/UL 別の遅延ヒートマップ</li> </ul>

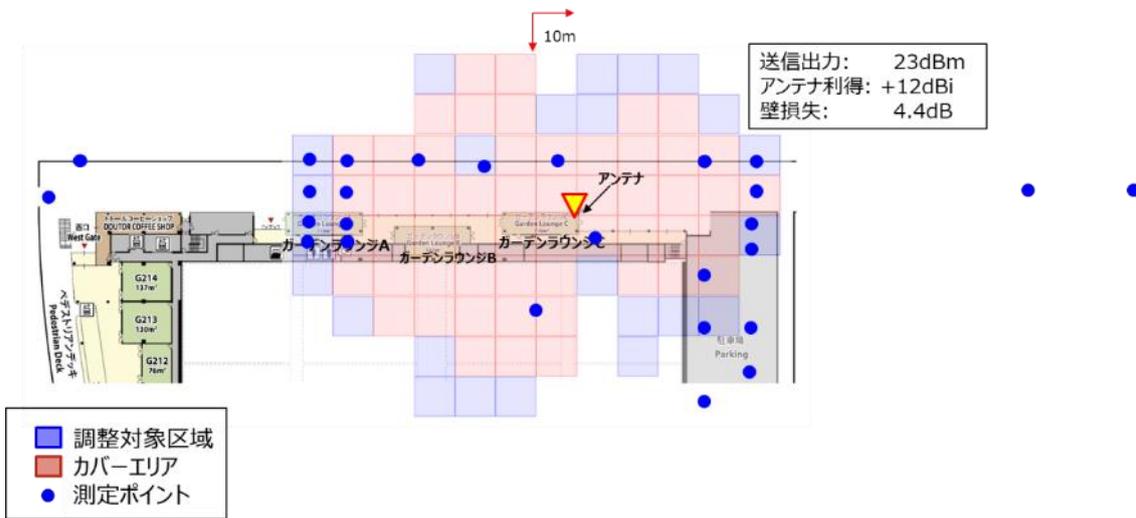
以下に 1F 多目的ホールのカバーエリア、調整対象区域、測定箇所を示す。パラメータ R 値は算出式における値 16.2 を使用している。それぞれのエリア端において受信電力を測定し、エリア閾値と異なる場合は、閾値が測定される基地局からの距離を確認する。また、エリア端での測定値と閾値が異なる原因について、基地局とカバーエリア端、調整対象区域端間の環境における遮蔽物を確認し、特定を行う。なお、以下に示す測定点はカバーエリア端、調整対象区域端のみではなく、それぞれのエリア端において算出式で定められている閾値と測定値が異なる場合も想定し、閾値が測定できるよう予め調整対象区域より外の広めの測定点で測定を実施している。

図表 3-9 1F 多目的ホールカバーエリア、調整対象区域全測定点



以下に 2F ガーデンラウンジのカバーエリア、調整対象区域、測定箇所を示す。エリア算出式におけるパラメータ R の値は 16.2 だが、本環境は周りをガラスで囲まれた環境であるため、実測との差分を極力減らすために予めパラメータ R の値を電波伝搬シミュレータで使用されているガラスの値 4.4dB に設定し、カバーエリア、調整対象区域の図を作成した。前述の確認と同様にそれぞれのエリア端において受信電力を測定し、エリア閾値と異なる場合は、閾値が測定される基地局からの距離を確認する。また、基地局 - エリア端における遮蔽物を確認し、実測値と閾値が異なる原因の調査、特定を行う。なお、以下に示す測定点は 1F 多目的ホールと同様にカバーエリア端、調整対象区域端のみではなく、それぞれのエリア端において算出式で定められている閾値と測定値が異なる場合も想定し、閾値が測定できるよう予め調整対象区域より外の広めの測定点で測定を実施している。

図表 3-10 2F ガーデンラウンジカバーエリア、調整対象区域全測定点



### 3.3.1.3 評価・検証方法

評価方法を以下に示す。

図表 3-11 ローカル 5 G の電波伝搬特性評価方法

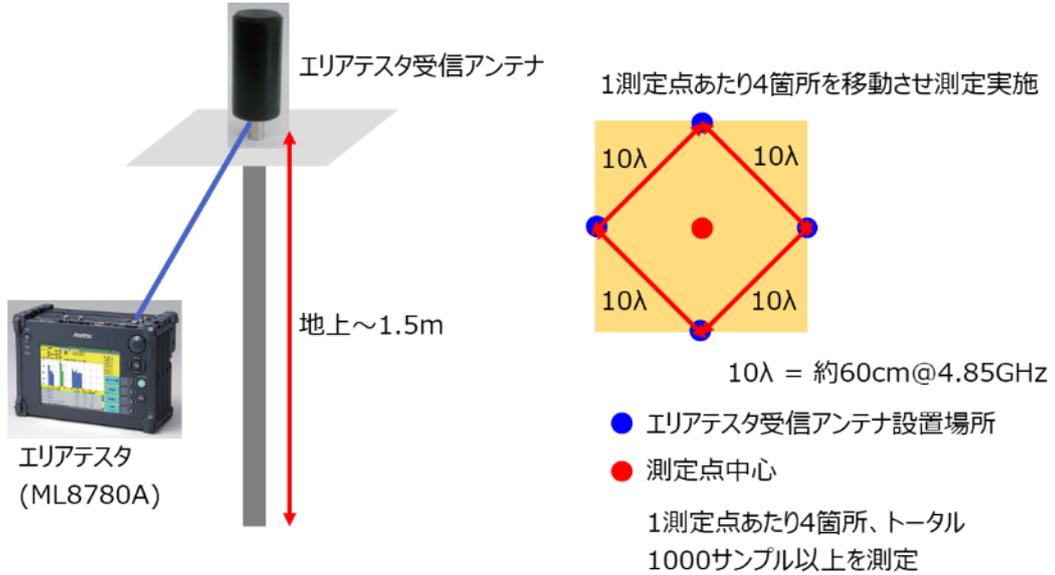
測定項目	使用測定器/ ツール	測定方法
受信電力(SS-RSRP)	エリアテスタ Anritsu ML8780A	<p>エリアテスタ ML8780A を保持し、測定箇所を歩行することで測定する</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>受信電力(SS-RSRP)測定については、定在波の影響を避けるため、1つの測定点において、<math>10\lambda</math> (<math>\lambda</math>は波長)の範囲で4箇所を測定ポイントとして移動させながら測定し、そこで得られたすべてのサンプルを統計処理する</li> <li>また1測定点あたり、合計1000サンプル以上(測定器測定周期=20ms/1サンプル、1箇所測定時間10秒、4箇所合計2000サンプル取得)の測定結果に対し、中央値、<math>\sigma</math>、上位10%値、下位10%値を算出する</li> </ul>
DL/UL スループット	ネットワークマスタプロ Anritsu MT1000A 2台	<ul style="list-style-type: none"> <li>5G コアに接続したネットワークマスタプロ Anritsu MT1000A と端末に接続したネットワークマスタプロ Anritsu MT1000A を使用し、DL/UL スループットを測定する</li> </ul>
DL/UL 遅延	ネットワークマスタプロ Anritsu MT1000A 2台	<ul style="list-style-type: none"> <li>5G コアに接続したネットワークマスタプロ Anritsu MT1000A と端末に接続したネットワークマスタプロ Anritsu MT1000A を使用し、DL/UL 個別に遅延を測定する</li> </ul> <p>実証を行うパシフィコ横浜ノースにおいて無線区間のみ遅延測定は測定環境構築の観点で困難なため、IP 通信による遅延測定に必要最小限の構成で遅延測定を実施する。この構成では構内 LAN、外部インターネットなどローカル 5G システム以外の遅延要因を排除し、ローカル 5G システムに閉じて遅延測定が可能となる</p>

それぞれの評価系について、以下に示す。

図表 3-12 受信電力(SS-RSRP)評価系



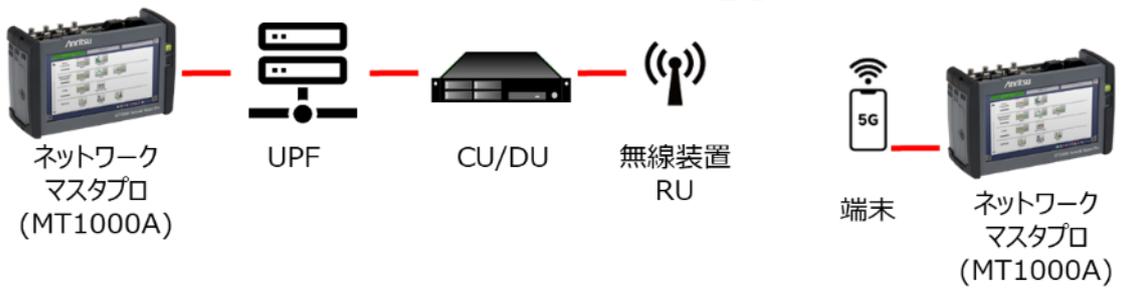
図表 3-13 エリアテスタ用アンテナ設置場所



図表 3-14 受信電力測定時写真



図表 3-15 DL/UL スループット・遅延評価系



図表 3-16 DL/UL スループット、遅延測定時写真



■ 検証方法

エリア算出式により求めたカバーエリア、調整対象区域端での受信電力(SS-RSRP)を測定し、カバーエリア端閾値-84.6dBm、調整対象区域端閾値-91.0dBm と比較する。エリア算出式における上記閾値は、帯域内全受信電力(RSSI)値であり、測定した SS-RSRP 値と比較する際は、1サブキャリア当たりの値に補正した以下表に示す SS-RSRP 換算値と比較する。

図表 3-17 エリア端における SS-RSRP 換算値

エリア	受信電力(RSSI) [dBm]	SS-RSRP 換算値 [dBm]
カバーエリア	-84.6	-119.7
調整対象区域	-91.0	-126.1

受信電力(RSSI)と SS-RSRP の換算式は以下の通りとなる

$$\text{SS-RSRP 換算値} = \text{全受信電力(RSSI)} - 10\log(\text{全サブキャリア数})$$

$$\text{全サブキャリア数} = 1 \text{ リソースブロック当たりのサブキャリア数 } 12 \times \text{全リソースブロック数 } 273 = 3276$$

比較結果から差分の大きいポイントについて基地局からエリア端までに存在する遮蔽物の確認を行い、差分要因の特定を行う。

### 3.3.1.4 実証結果及び考察

本実証におけるアウトプットを以下に示す。

図表 3-18 測定項目とアウトプット

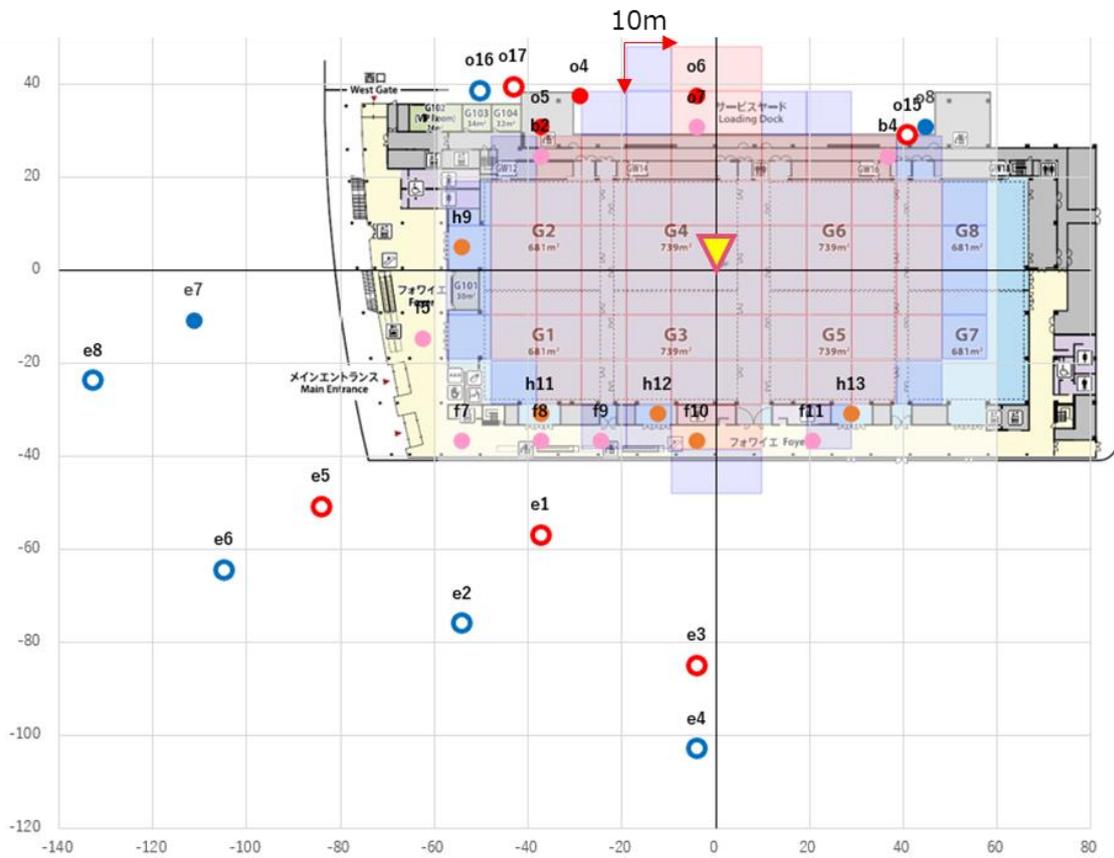
測定項目	アウトプット
受信レベル	アンテナ設置場所ごとに算出したカバーエリア、調整対象区域の図
	カバーエリア端、調整対象区域端で測定した受信電力 => 算出したカバーエリア端閾値-84.6dBm(SS-RSRP 換算値-119.7dBm)、調整対象区域端閾値-91.0dBm(SS-RSRP 換算値-126.1dBm)と比較した結果
	<算出閾値と測定値が異なる場合> ・それぞれのエリアの閾値が実測される場所の基地局からの距離 ・差分の大きい箇所から基地局との間にある遮蔽物を調査し、要因を特定する
伝送性能	ユースケースごとに要求される性能と実測定結果の比較
	<所要性能と測定結果が異なる場合> 要因を分析し、本来必要となる性能の導出 改善が必要な場合は、方策案検討結果

① 1F 多目的ホール

1F 多目的ホールにおいて算出したカバーエリア、調整対象区域の図に全測定点における SS-RSRP 受信電力測定値を表した図を示す。多目的ホール入口ドアは、閉めた状態で測定を実施し、図の左端、下端に記載の目盛りは、各測定点の場所をプロットするために使用した座標であり、20m 間隔となっている。

赤○で示すカバーエリア端付近の SS-RSRP 受信電力は、図の上部北側バックヤード外の o17、o15、図の下部南側多目的ホール屋外の e5、e1、e3 で測定されており、算出したカバーエリア端である多目的ホール内端より遠方でカバーエリア端となっている。また、青○で示す調整対象区域端についても北側の o16、南側の e8、e6、e2、e4 で測定されており、算出した調整対象区域端である多目的ホール内端と外側廊下(フォワイエ)付近より遠方で調整対象区域端となっている。

図表 3-19 1F 多目的ホール 全測定点における SS-RSRP 受信電力測定結果



アンテナ: NK085

送信出力: 33.6dBm、最大利得: +9dBi

建物侵入損: 16.2dB、その他損失: 3dB

▼ 基地局アンテナ

カバーエリア(RSRP>-119.7dBm)

調整対象区域(RSRP>-126.1dBm)

(仮説の算出式: 精緻化前)

● 橙 (-100~-80)カバーエリア

● 桃 (-110~-100)カバーエリア

● 赤 (-118.2~-110)カバーエリア

● 白赤 (-121.2~-118.2) \* カバーエリア端

● 青 (-124.6~-121.2) 調整対象区域

● 白青 (-130~-124.6) \* 調整対象端

※ -119.7 ±1.5, -126.1 ±1.5

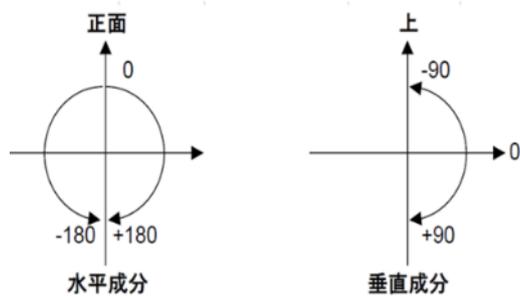
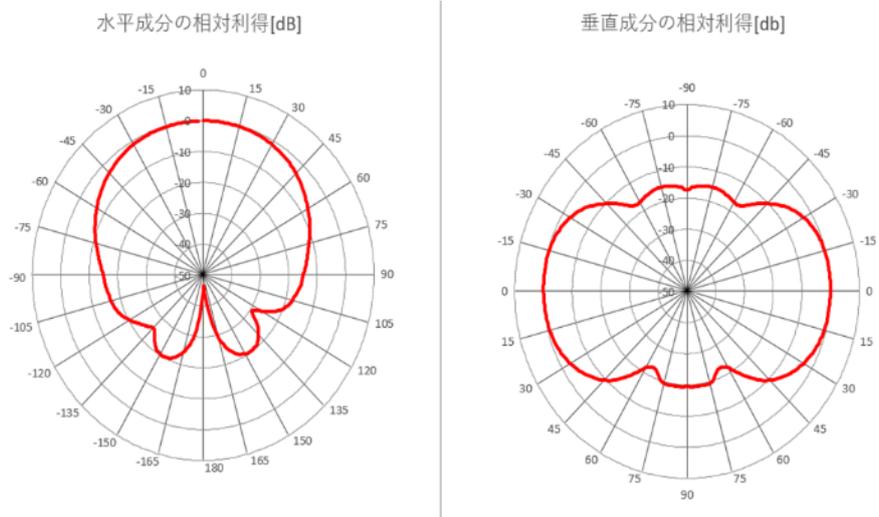
1F 多目的ホールの各測定点における基地局との距離、基地局アンテナ条件、測定機アンテナ条件、LOS/NLOS 条件を表に示す。

図表 3-20 1F 多目的ホール 各測定点における条件

測定点 ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dBi]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dBi]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
b2	46.05	44.84	0.00	12.00	33.60	-5.53	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
b4	45.38	44.15	0.00	12.00	33.60	-6.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e1	68.90	68.09	0.00	12.00	33.60	-20.74	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e2	93.78	93.19	0.00	12.00	33.60	-20.37	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e3	85.58	84.94	0.00	12.00	33.60	-10.99	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e4	103.45	102.92	0.00	12.00	33.60	-11.01	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e5	98.93	98.37	0.00	12.00	33.60	-8.16	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e6	123.56	123.12	0.00	12.00	33.60	-8.39	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e7	112.43	111.94	0.00	12.00	33.60	-5.15	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e8	135.34	134.93	0.00	12.00	33.60	-5.33	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f5	65.03	64.18	0.00	12.00	33.60	-4.27	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f7	66.25	65.41	0.00	12.00	33.60	-8.23	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f8	53.49	52.45	0.00	12.00	33.60	-10.65	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f9	45.38	44.15	0.00	12.00	33.60	-16.54	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f10	38.37	36.90	0.00	12.00	33.60	-11.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f11	43.26	41.97	0.00	12.00	33.60	-19.34	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
h9	55.40	54.40	0.00	12.00	33.60	-3.54	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0
h11	49.67	48.55	0.00	12.00	33.60	-8.27	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0
h12	34.89	33.27	0.00	12.00	33.60	-17.87	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0
h13	43.45	42.16	0.00	12.00	33.60	-10.79	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0
o4	48.65	47.51	0.00	12.00	33.60	-14.09	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o5	49.67	48.55	0.00	12.00	33.60	-8.11	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o6	39.16	37.73	0.00	12.00	33.60	-6.85	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o7	32.84	31.11	0.00	12.00	33.60	-7.13	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o8	55.21	54.21	0.00	12.00	33.60	-7.30	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o15	51.27	50.18	0.00	12.00	33.60	-7.14	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o16	64.45	63.59	0.00	12.00	33.60	-8.81	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o17	59.62	58.69	0.00	12.00	33.60	-10.98	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1

1F 多目的ホールに設置したアンテナ放射パターンを以下に示す。

図表 3-21 1F 多目的ホール アンテナ放射パターン



アンテナの水平成分と垂直成分の定義

各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力、SS-RSRP 受信電力測定値を表に示す。

図表 3-22 1F 多目的ホール SS-RSRP 測定値

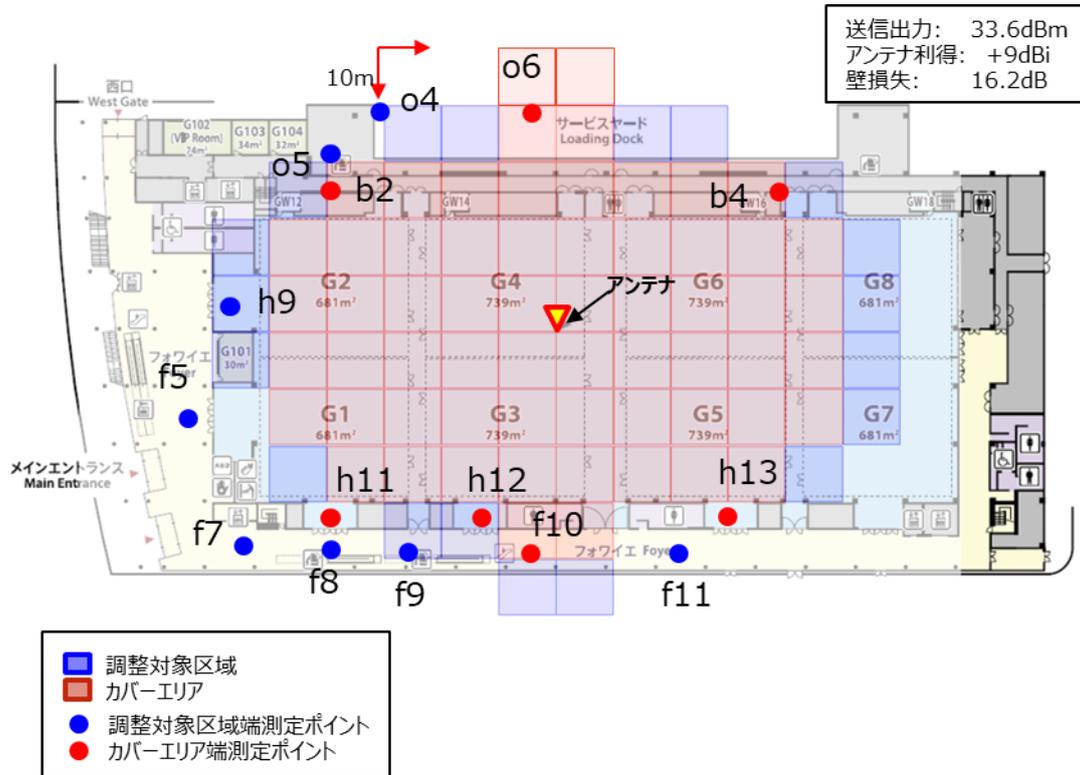
測定点ID	算出式による RSRP [dBm]	実測値RSRP [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
b2	-117.22	-105.50	-105.62	2.65	-102.10	-109.10
b4	-117.20	-105.00	-104.95	2.50	-101.60	-108.00
e1	-148.84	-119.80	-119.71	2.65	-116.30	-123.10
e2	-160.76	-125.10	-124.92	4.03	-119.34	-130.30
e3	-147.80	-119.10	-119.38	2.56	-116.30	-122.60
e4	-154.61	-125.90	-125.78	3.42	-121.30	-130.10
e5	-150.60	-120.80	-120.81	2.16	-118.00	-123.60
e6	-154.69	-127.30	-127.66	3.81	-123.10	-132.80
e7	-149.96	-122.00	-122.19	1.85	-120.00	-124.50
e8	-153.02	-125.40	-125.56	2.21	-123.00	-128.30
f5	-129.95	-100.50	-100.83	2.43	-97.80	-104.30
f7	-134.73	-103.00	-103.13	2.62	-99.90	-106.70
f8	-128.52	-100.30	-100.27	3.37	-96.00	-104.40
f9	-127.70	-101.70	-99.41	2.98	-97.60	-105.30
f10	-117.97	-97.30	-97.76	3.05	-94.40	-102.20
f11	-128.53	-100.80	-100.90	2.68	-97.50	-104.30
h9	-122.76	-80.80	-81.32	2.32	-78.70	-84.80
h11	-123.07	-83.00	-83.26	3.07	-79.60	-87.50
h12	-123.60	-81.70	-81.90	2.50	-78.80	-85.20
h13	-120.11	-82.80	-82.86	3.39	-78.40	-87.19
o4	-128.11	-115.50	-115.88	2.40	-112.90	-119.20
o5	-122.90	-114.10	-114.16	2.73	-110.50	-117.58
o6	-113.59	-113.10	-113.21	2.38	-110.20	-116.30
o7	-112.34	-107.90	-108.32	3.43	-104.28	-113.40
o8	-126.41	-123.50	-123.45	2.75	-119.80	-126.80
o15	-123.23	-119.50	-119.81	3.67	-114.90	-124.55
o16	-134.19	-125.60	-125.89	2.76	-122.70	-129.20
o17	-133.23	-120.70	-120.87	2.23	-118.30	-123.60

なお、上記算出式による受信電力は、以下のパラメータ値を使用し、算出している。

図表 3-23 受信電力算出条件

中心周波数 [GHz]	4.85
精緻化対象パラメータ	
B列算出式で使用了K	0
B列算出式で使用了S	0
B列算出式で使用了R	16.2

図表 3-24 カバーエリア端、調整対象区域端測定ポイント



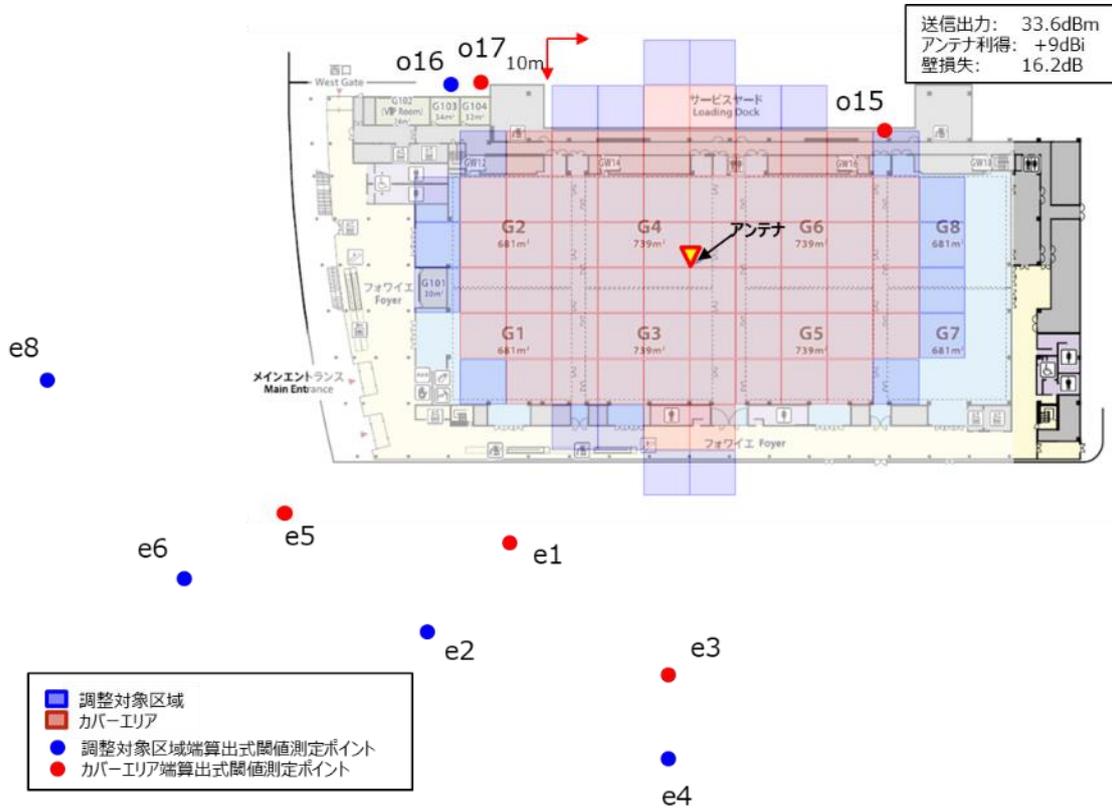
上記エリア図に示すカバーエリア端、調整対象区域端での測定結果を以下表に示す。いずれの場所においても算出式閾値とは大きな差分があり、閾値より高い受信電力が測定されている。測定受信電力が高くなっていることから環境内の遮蔽物による減衰は少なく、現地 1F 多目的ホールが自由空間に近い環境であり、基地局からの距離による減衰が支配的であると考える。

図表 3-25 カバーエリア端、調整対象区域端における SS-RSRP 測定値

エリア	測定点 ID	SS-RSRP 測定値 [dBm]	算出式エリア閾値 SS-RSRP 換算値 [dBm]	測定値-閾値 [dB]
カバーエリア	o6	-113.1	-119.7	6.6
	b2	-105.5		14.2
	h11	-83.0		36.7
	h12	-81.7		38.0
	f10	-97.3		22.4
	h13	-82.8		36.9
	b4	-105.0		14.7
調整対象区域	o4	-115.5	-126.1	10.6
	o5	-114.1		12.0
	h9	-80.8		45.3
	f5	-100.5		25.6
	f7	-103.0		23.1
	f8	-100.3		25.8
	f9	-101.7		24.4
	f11	-100.8		25.3

上記の通りエリア端での測定結果と算出式による閾値が異なるため、閾値が測定される測定点の確認を行った。赤○で示す測定点が算出式におけるカバーエリア端閾値-119.7dBm が測定されたポイント、青○で示す測定点が調整対象区域端閾値-126.1dBm が測定されたポイントとなる。

図表 3-26 エリア算出式における閾値が測定されたポイント



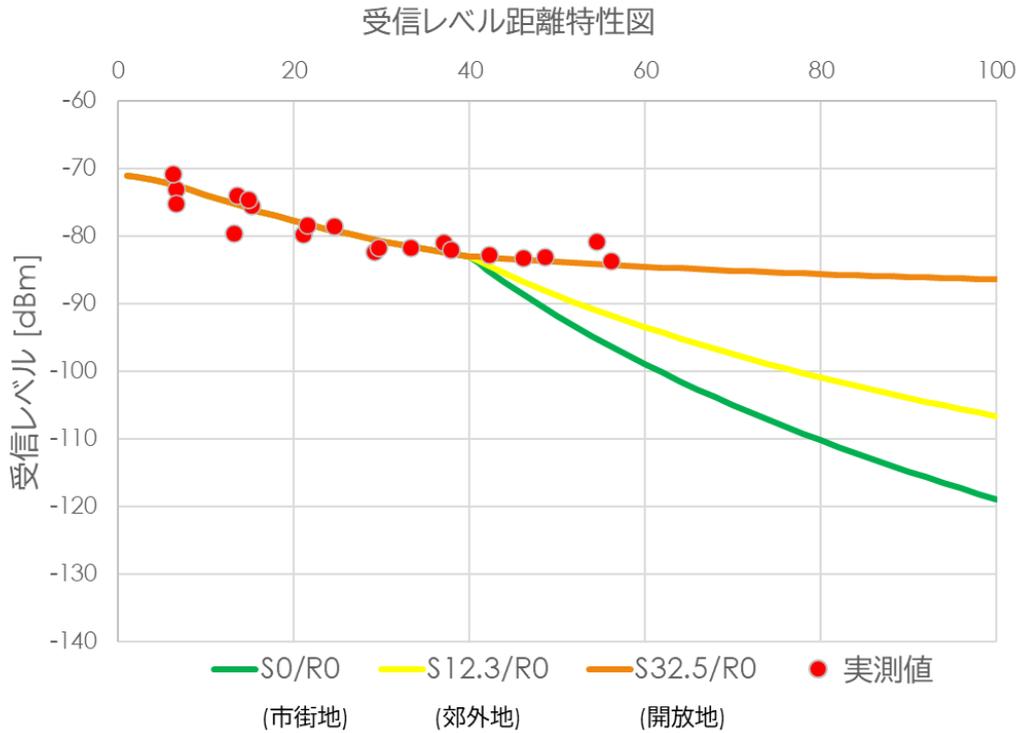
上記各測定点における SS-RSRP 測定値、基地局との水平距離を示す。また基地局との水平距離から算出される SS-RSRP 受信電力を算出し、測定結果と比較している。1F 多目的ホール北側に近接するバックヤード内測定点 ID o17、o15、o16 については、①測定値－②算出値の差分が 4～13dB 程度だが、その他については 30dB 近くの差分があり、測定値の方が算出される SS-RSRP 受信電力より大きい値となっている。また、基地局からの距離が 60m を超えると算出受信レベルとの差分が大きくなる傾向にある。

図表 3-27 エリア閾値が測定されたポイントでの SS-RSRP 測定値、基地局との水平距離

エリア	測定点 ID	①SS-RSRP 測定値 [dBm]	算出式 エリア 端閾値 SS-RSRP 換算値 [dBm]	測定値- 閾値 [dB]	基地局と の水平距離 [m]	②基地局と の水平距離 から算出さ れる SS-RSRP 受信 電力 [dBm]	① - ②
カバ エリア 端	o17	-120.7	-119.7	-1.0	58.7	-133.2	12.5
	e5	-120.8		-1.1	98.4	-150.6	29.8
	e1	-119.7		0.0	68.1	-148.8	29.1
	e3	-119.1		0.6	84.9	-147.8	28.7
	o15	-119.5		0.2	50.2	-123.2	3.7
調 整 対 象 区 域 端	o16	-125.6	-126.1	0.5	63.6	-134.2	8.6
	e8	-125.4		0.7	134.9	-153.0	27.6
	e6	-127.3		-1.2	123.1	-154.7	27.4
	e2	-125.1		1.0	93.2	-160.8	35.7
	e4	-125.9		0.2	102.9	-154.6	28.7

上記表に示す通り多くの測定点において、算出式の推定値より測定結果の方が大幅に高い受信レベルとなった。特に基地局からの距離が 60m 以上においてその差分が顕著に現れていることに着目し、算出式において考慮すべきパラメータがないか確認を行った。算出式において基地局からの距離により、現れるパラメータとして 40m 以上において市街地、郊外地、及び開放地に対して考慮する補正值 S がある。今回のパシフィコ横浜ノースにおける環境では市街地 S=0 を予め適用していたが、その値が適切か確認を行った。S 値の純粋な値を知るために基地局からの距離 40m 以内において考慮される建物侵入損パラメータ R について基地局との間に壁面を挟まない環境である 1F 多目的ホール内での受信レベル測定結果と算出式 R=0/市街地 S=0、R=0/郊外地 S=12.3、R=0/開放地 S=32.5 の 3 パターンで比較を行った。以下のグラフに示す通り算出式において S 補正值の影響がない 40m 以内では R=0 の算出式曲線(オレンジ、黄色、緑 ※R 補正值のみ影響があるため、オレンジ、黄色、緑は同一曲線)と実測値がよく似たプロットとなっているが、S 補正值の影響がある 40m 以上では当初の仮説「市街地 S=0」(緑)ではなく、「開放地 S=32.5」(オレンジ)の曲線上に実測値がプロットされ、「開放地 S=32.5」が妥当であると考えられる。基地局から観測点の間に高層ビル等の建物が建ち並ぶ環境においては、市街地 S=0 を選択する必要があるが、今回のケースのように基地局から観測点の間に建物を挟まない屋内大規模エリアにおいては、開放地 S=32.5 を適用すべきであることが分かった。

図表 3-28 算出式と実測値の受信レベル - 距離特性図



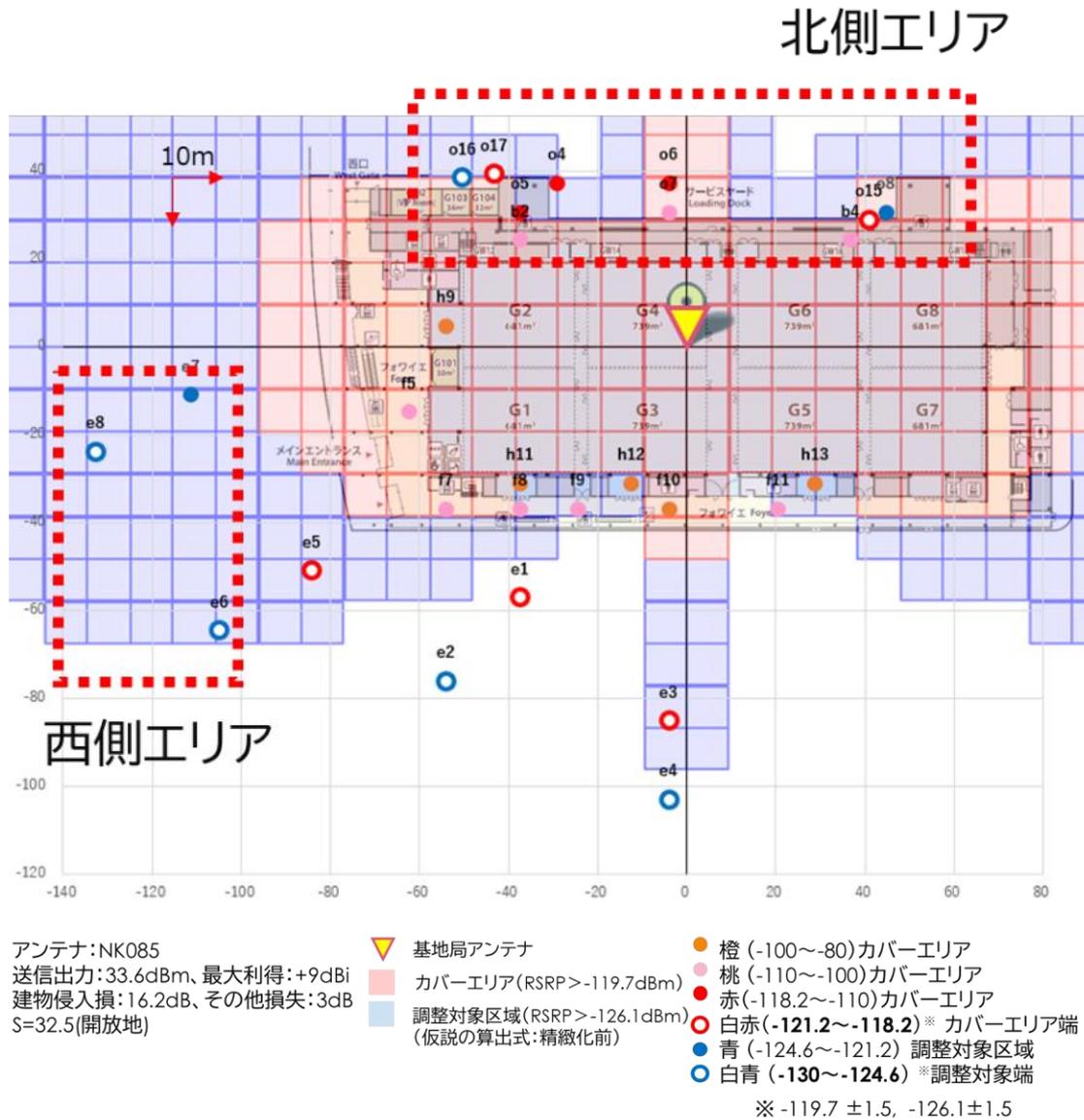
上記グラフより分かった開放地  $S=32.5$  を使用し、算出式の閾値が測定される測定点における受信電力を算出し、測定値との比較を行った。市街地  $S=0$  の時の受信レベル算出結果と比較し、①測定値と③基地局との水平距離から算出される受信電力との差は減少する結果となり、実測値に近いレベルが算出される結果となった。測定点 ID e1、e2 については、10dB 近く測定結果の方が高い値となっているが、これは、算出結果にアンテナの放射パターンを考慮した利得値が反映されており、アンテナの放射が弱い方向となるため実測との相関取りが難しいポイントとなる。

図表 3-29 開放地 S=32.5 使用時の算出式、実測値の比較

エリア	測定点 ID	①SS-RSRP 測定値 [dBm]	算出式 エリア 端閾値 SS-RSRP 換算値 [dBm]	測定値- 閾値 [dB]	基地局と の水平距離 [m]	③基地局と の水平距離 から算出さ れる SS-RSRP 受信 電力 S=32.5 [dBm]	① - ③
カバ ー エリア 端	o17	-120.7	-119.7	-1.0	58.7	-121.4	0.7
	e5	-120.8		-1.1	98.4	-122.9	2.1
	e1	-119.7		0.0	68.1	-132.4	12.7
	e3	-119.1		0.6	84.9	-124.5	5.4
	o15	-119.5		0.2	50.2	-116.2	-3.3
調 整 対 象 区 域 端	o16	-125.6	-126.1	0.5	63.6	-119.9	-5.7
	e8	-125.4		0.7	134.9	-122.8	-2.6
	e6	-127.3		-1.2	123.1	-125.1	-2.2
	e2	-125.1		1.0	93.2	-134.7	9.6
	e4	-125.9		0.2	102.9	-126.2	0.3

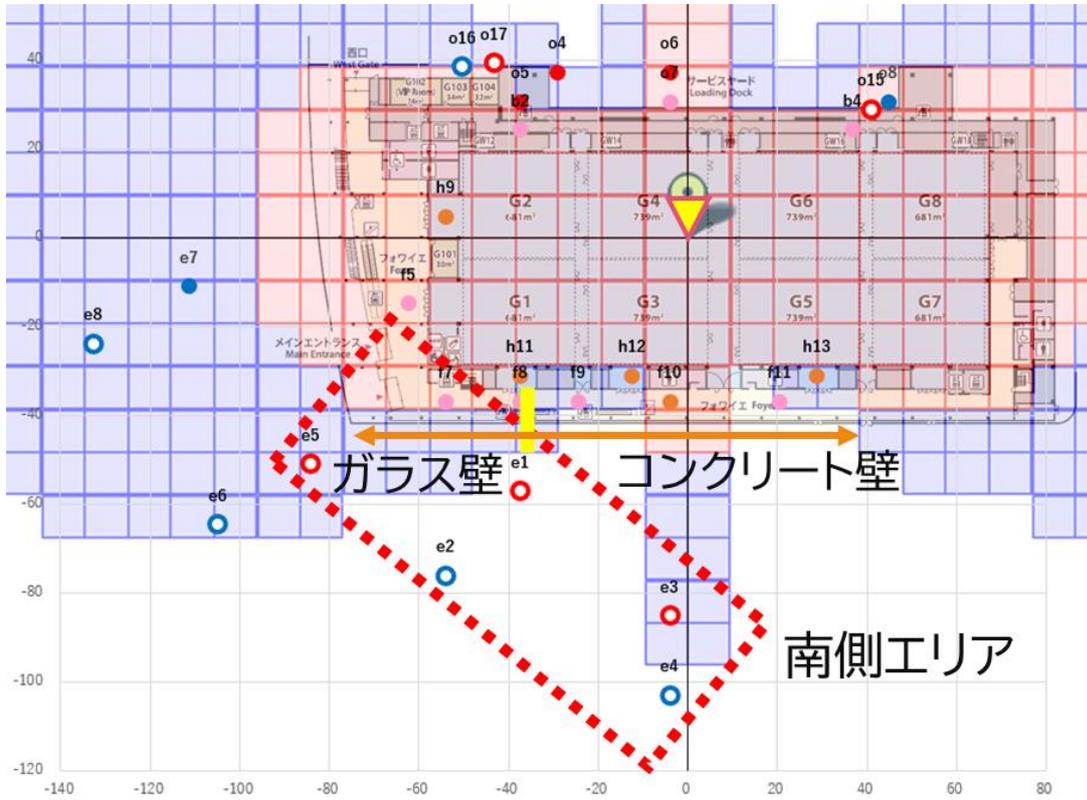
開放地 S=32.5 を使用し、再計算したカバーエリア、調整対象区域の図を以下に示す。実測値と算出式の受信レベルは近い結果になっており、多少の誤差は各測定点における環境の違いによるものと考えられる。o16、o17、o15、o8 の北側エリアは算出式より実測値の方が低くなる傾向があるが、基地局と測定点の間に複数の壁、部屋の構造物があり伝搬損失が大きいと考えられる。e6～e8 の西側エリアは算出式より実測値の方が低くなる傾向があるが、パシフィコ横浜ノースから道路を隔てた建造物のエリアであり、純粋な開放地と言えず、様々な電波的遮蔽物により伝搬損失が発生していると考えられる。

図表 3-30 開放地 S=32.5 使用時のカバーエリア、調整対象区域  
北側エリア、西側エリア



e1～e5 の南側エリアは算出式より実測値の方が高くなる傾向がある。環境的な特徴として、e1 地点辺りがコンクリート壁からガラス壁の境界でありガラス壁による損失の方が少ないこと、また、e3、e4 などの地点は、隣のパシフィコ横浜の天井がある駐車場となっており、その構造物の影響により反射、回折のマルチパス効果が発生し、高い受信レベルとなったと考えられる。

図表 3-31 開放地 S=32.5 使用時のカバーエリア、調整対象区域、南側エリア



e5からの景観



e8からの景観



e4からの景観

1F 多目的ホールにおけるスループット、遅延測定結果を以下に示す。

#### (1) 測定方法

5G コア UPF に接続したネットワークマスタプロ (MT1000A) 1 台と端末に接続したネットワークマスタプロ (MT1000A) 1 台を使用し、その間の区間のスループット、遅延を DL、UL 別に測定した。

#### (2) 測定条件

測定条件、ネットワークマスタプロ (MT1000A) に設定したフレームサイズ、回線負荷量を以下の表に示す。回線負荷量については、基地局アンテナ近傍で測定される最速のスループットを設定し、この条件下におけるスループット、遅延を測定した。

図表 3-32 1F 多目的ホール スループット、遅延測定時のネットワークマスタプロ (MT1000A) 設定条件

条件	値	単位
測定時間	60	秒
測定値集計法	平均値	-
フレームサイズ	1400	-
回線負荷量(DL)	345.07	Mbps
回線負荷量(UL)	49.29	Mbps

### (3) 測定結果

以下に測定ポイントごとのスループット、遅延測定結果を DL、UL 別に示す。

図表 3-33 1F 多目的ホール スループット、遅延測定結果

実測時の ポイント名	RSRP (dBm)	ダウンリンク				アップリンク			
		スループット (Mbps)	伝送遅延 (ms)	Jitter (ms)	フレームロス (%)	スループット (Mbps)	伝送遅延 (ms)	Jitter (ms)	フレームロス (%)
H5	-80.9	344.5	22.79	0.01	0.26	48.59	67.97	0.41	1.87
H9	-80.8	231.5	223.76	0.03	32.52	9.99	2017.71	1.74	79.19
H10	-83.2	295.97	161.18	0.05	13.95	15.71	1299.69	1.17	67.77
H12	-81.7	345.05	10.32	0.04	0.007	49.29	13.77	0.4	0
H13	-82.8	340.05	22.14	0.01	0.08	49.28	15.4	0.4	0
H14	-75.1	326.41	109.71	0.04	5.39	49.34	15.14	5.89	0
F1	-112.7	0	N/A	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
F2	-104.8	0	N/A	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
F3	-101.1	19.52	325.24	0.99	94.25	0.1	9519.34	135.41	0
F4	-98.7	25.05	325.83	0.79	92.61	0.14	10270.48	109.61	0.25
F5	-100.5	21.12	325	0.91	93.78	0.17	9718.05	88.4	5.08
F6	-99.6	32.21	328.87	0.55	90.51	0.28	9917.96	49.27	0.64
F7	-103	60.09	326.34	0.28	82.3	0.58	11403.57	27.63	97.99
F8	-100.3	144.44	312.1	0.09	57.68	2.17	8983.35	7.96	95.07
F9	-101.7	329.94	128.1	0.01	4.24	17.41	1172.56	1.07	64.31
F10	-97.3	343.71	23.8	0.01	0.44	24.08	850.65	0.8	50.81
F11	-100.8	344.63	25.44	0.01	0.24	23.95	850.78	0.8	51.04
F12	-108.6	151.73	310	0.08	55.51	3.93	5042.66	4.28	91.31
F13	-115.4	103.08	317.18	0.18	69.78	1.06	12405.55	17.46	97.81
F14	-113.3	116.97	311.5	0.15	65.73	2.38	7885.75	7.09	94.43
F15	-122.9	42.66	328.04	0.41	87.45	0.63	10041.93	23.51	97.38
F16	-125	0	N/A	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
B1	-125.65	0	N/A	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
B2	-105.5	129.43	317.64	0.1	62.03	1.87	9847.87	8.87	95.37
B3	-98.5	344.85	23.15	0.01	0.05	41.66	491.06	0.47	15.28
B4	-105	176.79	282.12	0.1	48.3	3.37	5979.86	5.12	92.56
B5	-118.3	48.96	326.23	0.39	85.6	0.57	11297.27	25.53	96.19
O1	-113.4	97.8	322.91	0.15	71.3	1.52	11931.64	10.72	95.97
O2	-115.1	83.25	316.87	0.23	75.54	1.03	11301.55	16.58	96.85
O6	-113.1	112.44	313.87	0.16	67.04	1.54	11396.58	11.24	95.99
O7	-107.9	238.83	216.04	0.03	30.29	11.09	1804.2	1.58	76.78
O7-2		166.83	298.65	0.07	51.17	4.9	4174.24	3.59	89.84

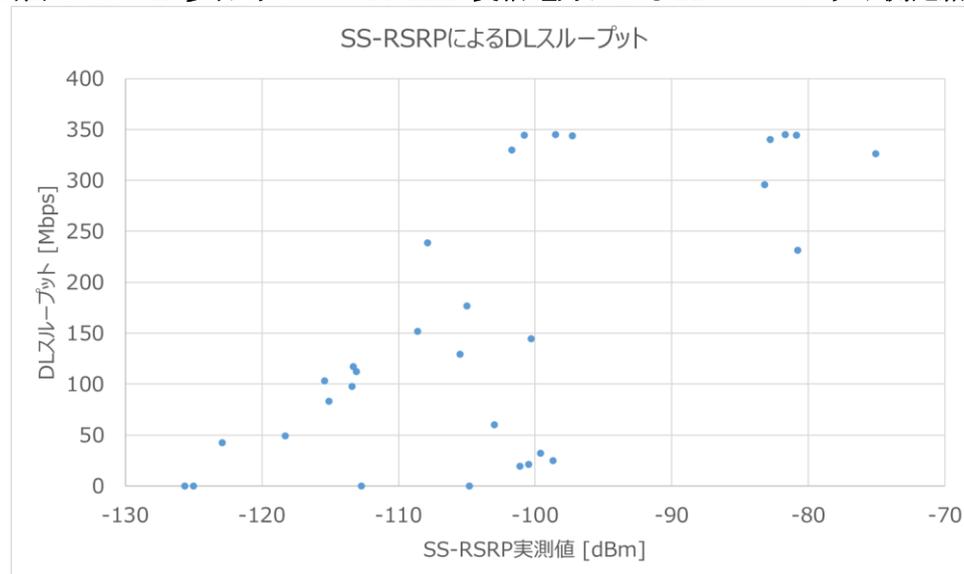
上記スループット、遅延測定結果をヒートマップ化した図を示す。DL スループットは、カバーエリア内となる多目的ホール内において 326~345Mbps と良好な結果を得ることができた。

図表 3-34 1F 多目的ホール DL スループット測定結果



以下に受信レベル(SS-RSRP)による DL スループット測定結果のグラフを示す。SS-RSRP が -100dBm 以上になると良好なスループットが得られることが分かる。

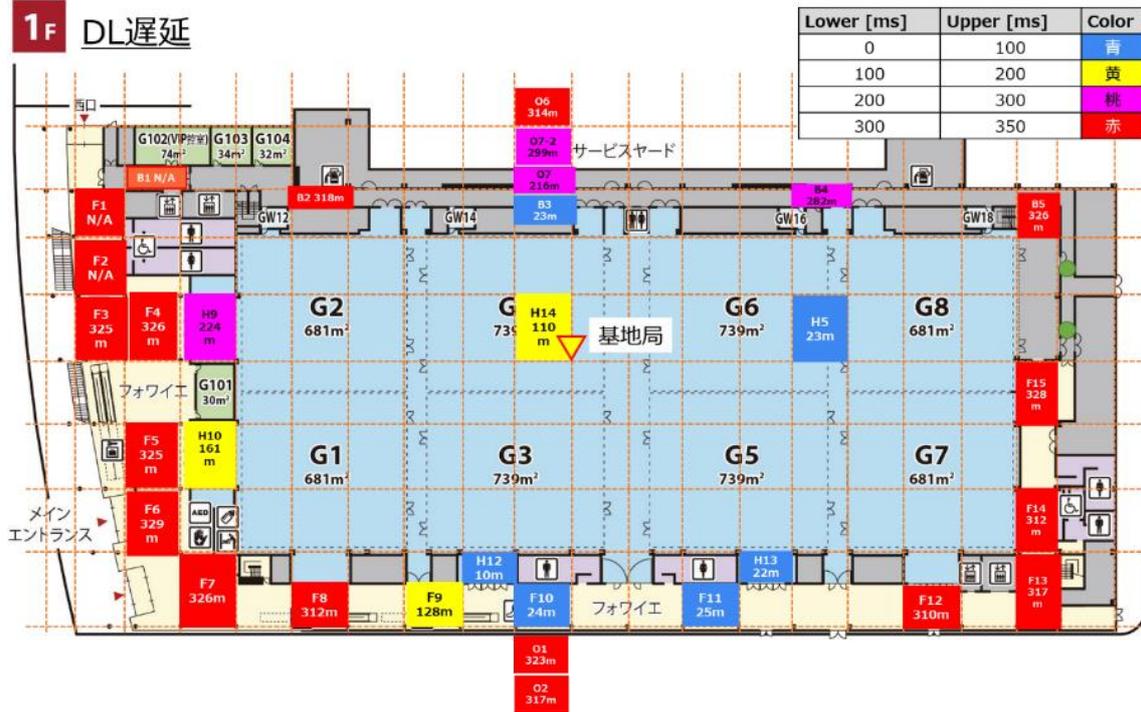
図表 3-35 1F 多目的ホール SS-RSRP 受信電力による DL スループット測定結果



DL 遅延は、カバーエリア内となる多目的ホール内において概ね 10~20ms だが、基地局に最も近接する測定点 ID H14 において、110ms と値が大きい結果となった。これは、遅延測定前に測定器ネットワークマスタプロ (MT1000A) に設定する負荷量を決めるために大きな

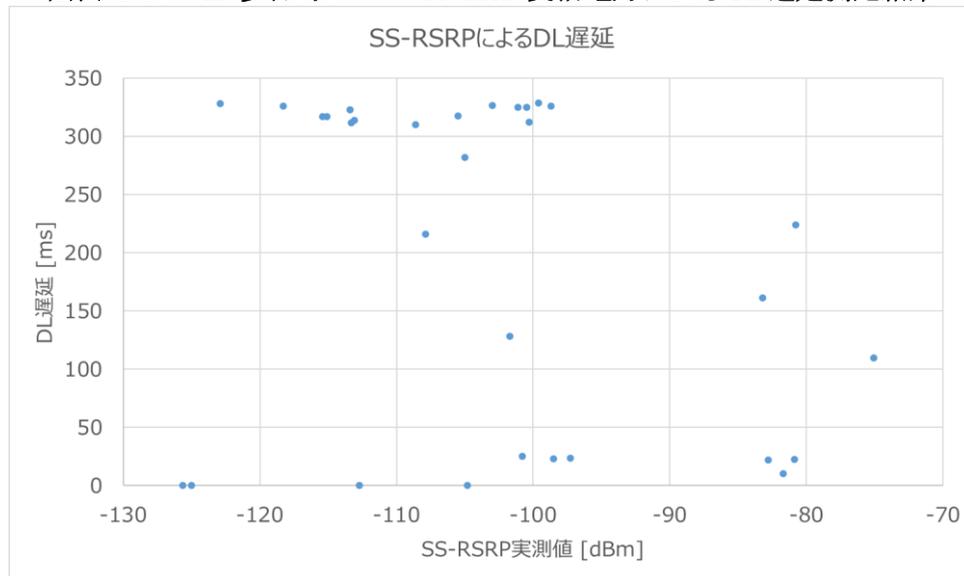
負荷量設定においてスループットを測定しており、その状態が基地局側に残存し、その影響により遅延量が大きくなったのではないかと推測している。対策としては、大きな負荷を掛けた直後に遅延測定を実施するのではなく、時間を置いてから、もしくは基地局再起動後に測定すべきであった。また、測定データの確認をその都度行い、測定値に問題が発生した場合は、即、基地局側、測定器側のログ解析を行い、その原因を特定する試験手順が必要だった。

図表 3-36 1F 多目的ホール DL 遅延測定結果



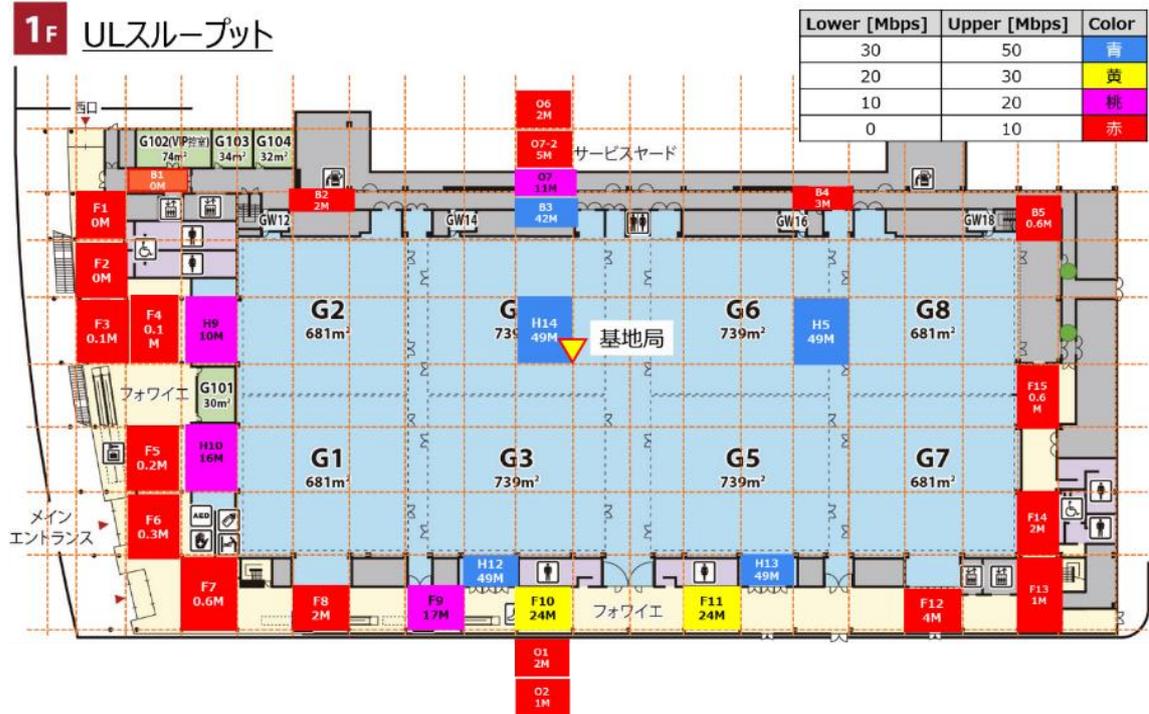
以下に受信レベル(SS-RSRP)によるDL遅延測定結果のグラフを示す。こちらもSS-RSRPが-100dBm以上になると50ms以下の良好な遅延が得られることが分かる。

図表 3-37 1F 多目的ホール SS-RSRP 受信電力によるDL遅延測定結果



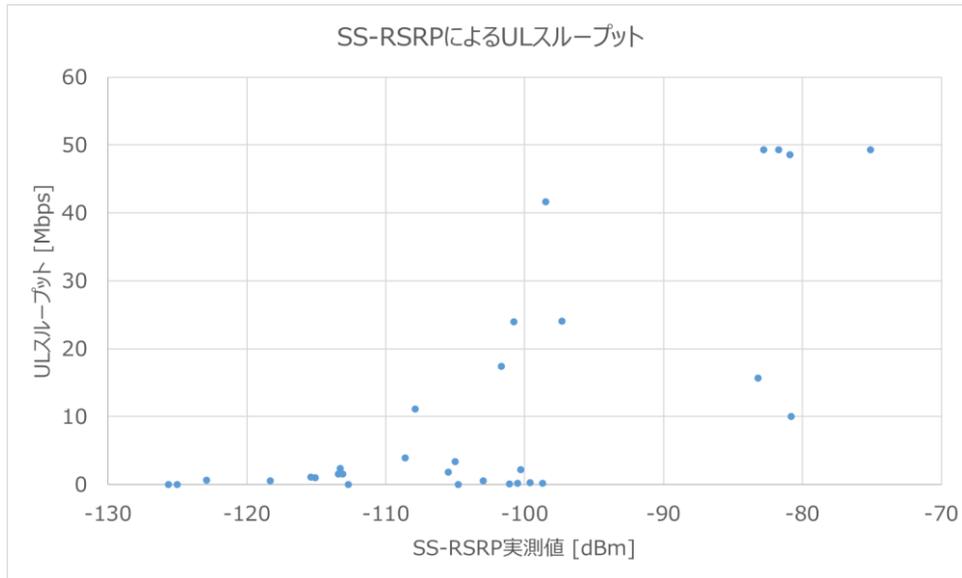
UL スループットは、カバーエリア内となる多目的ホール内において 42~49Mbps と良好な結果を得ることができた。

図表 3-38 1F 多目的ホール UL スループット測定結果



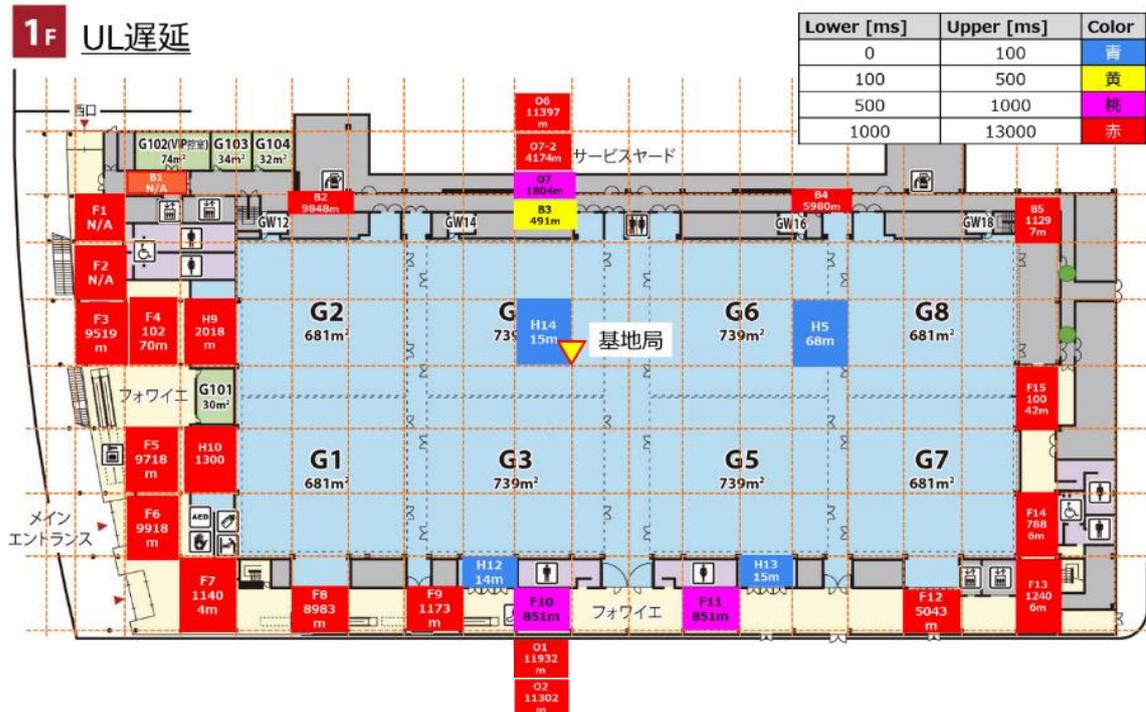
以下に受信レベル(SS-RSRP)によるUL スループット測定結果のグラフを示す。SS-RSRP が -95dBm 以上になると良好なスループットが得られることが分かる。

図表 3-39 1F 多目的ホール SS-RSRP 受信電力による UL スループット測定結果



UL 遅延は、カバーエリア内となる多目的ホール内において 14~68ms の結果となった。多目的ホール外では受信電力が低下し、UL スループット性能も低下するため、多目的ホール内基地局直下で測定し、設定したネットワークマスタプロ (MT1000A) の負荷量が過剰な負荷設定となり、大きな遅延となって測定されている。

図表 3-40 1F 多目的ホール UL 遅延測定結果



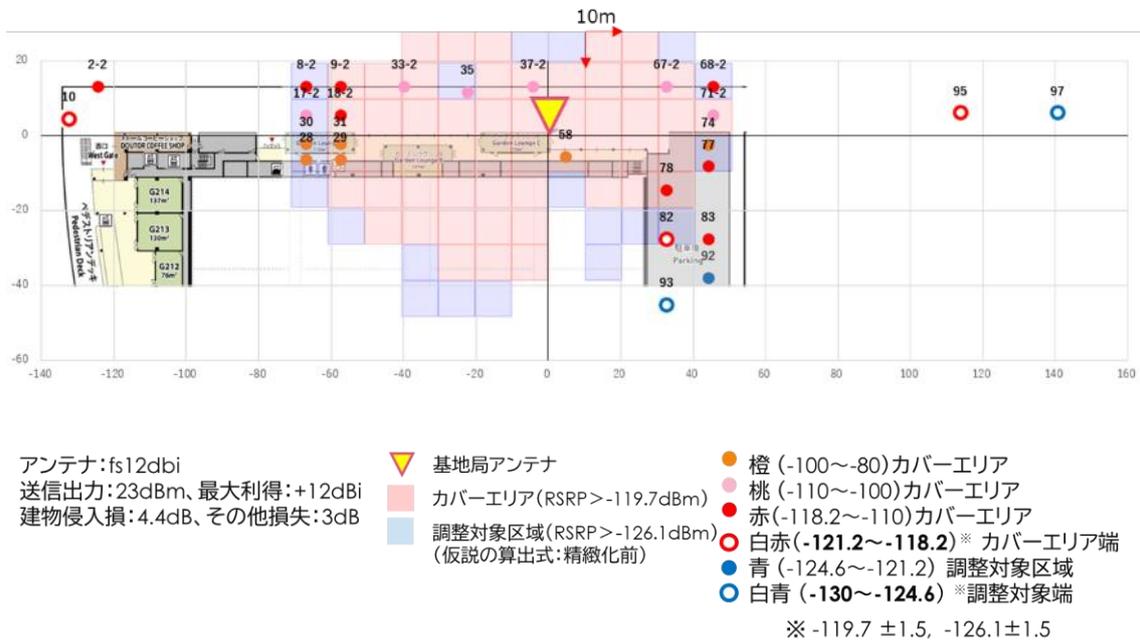


② 2F ガーデンラウンジ

2F ガーデンラウンジにおいて算出したカバーエリア、調整対象区域の図に全測定点における SS-RSRP 受信電力測定値を表した図を示す。図の左端、下端に記載の目盛りは、各測定点の場所をプロットするために使用した座標であり、20m 間隔となっている。

赤○で示すカバーエリア端付近の SS-RSRP 受信電力は、図の左部東側測定点 ID 10、図の右部西側測定点 ID 95、92 で測定されており、算出したカバーエリア端であるガーデンラウンジ端より遠方でカバーエリア端となっている。また青○で示す調整対象区域についても東側測定点 ID 97、93 で測定されており、算出した調整対象区域端より遠方で調整対象区域端となっている。

図表 3-43 2F ガーデンラウンジ 全測定点における SS-RSRP 受信電力測定結果



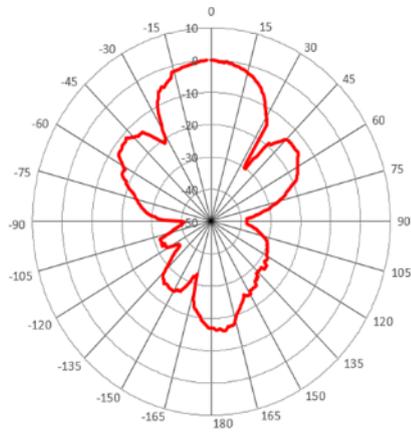
2F ガーデンラウンジの各測定点における基地局との距離、基地局アンテナ条件、測定機アンテナ条件、LOS/NLOS 条件を表に示す。

図表 3-44 2F ガーデンラウンジ 各測定点における条件

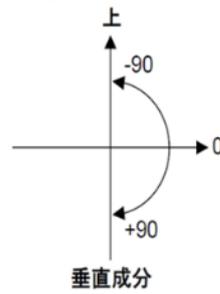
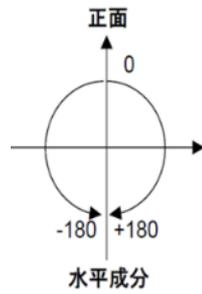
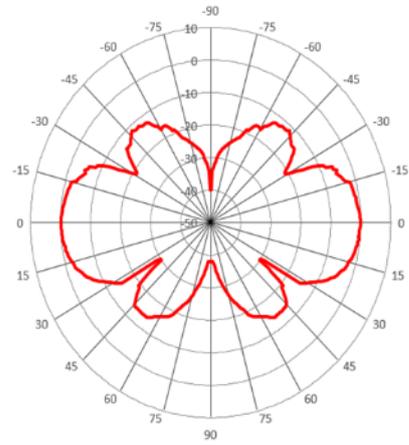
測定点 ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dBi]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dBi]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
2-2	125.27	125.27	0.00	2.00	23.00	11.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
8-2	68.16	68.15	0.00	2.00	23.00	9.50	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
9-2	59.03	59.03	0.00	2.00	23.00	9.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
10	132.56	132.56	0.00	2.00	23.00	11.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
17-2	67.11	67.11	0.00	2.00	23.00	11.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
18-2	57.82	57.82	0.00	2.00	23.00	11.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
28	67.18	67.18	0.00	2.00	23.00	11.99	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
29	57.90	57.90	0.00	2.00	23.00	11.85	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
30	66.92	66.92	0.00	2.00	23.00	11.80	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
31	57.59	57.59	0.00	2.00	23.00	11.80	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
33-2	41.95	41.94	0.00	2.00	23.00	6.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
35	25.32	25.32	0.00	2.00	23.00	-3.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
37-2	13.81	13.80	0.00	2.00	23.00	-16.20	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
58	7.42	7.41	0.00	2.00	23.00	-24.30	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0
67-2	35.12	35.11	0.00	2.00	23.00	-9.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
68-2	47.39	47.38	0.00	2.00	23.00	-5.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
71-2	45.87	45.86	0.00	2.00	23.00	-4.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
74	44.18	44.17	0.00	2.00	23.00	-7.62	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
77	44.87	44.87	0.00	2.00	23.00	-13.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
78	35.68	35.67	0.00	2.00	23.00	-14.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
82	42.64	42.63	0.00	2.00	23.00	-14.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
83	51.99	51.99	0.00	2.00	23.00	-13.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
92	58.24	58.23	0.00	2.00	23.00	-15.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
93	55.67	55.67	0.00	2.00	23.00	-25.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
95	113.87	113.86	0.00	2.00	23.00	-5.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
97	140.64	140.64	0.00	2.00	23.00	-5.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1

図表 3-45 2F ガーデンラウンジ アンテナ放射パターン

水平成分の相対利得[dB]



垂直成分の相対利得[dB]



アンテナの水平成分と垂直成分の定義

各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力、SS-RSRP 受信電力測定値を表に示す。

図表 3-46 2F ガーデンラウンジ SS-RSRP 測定値

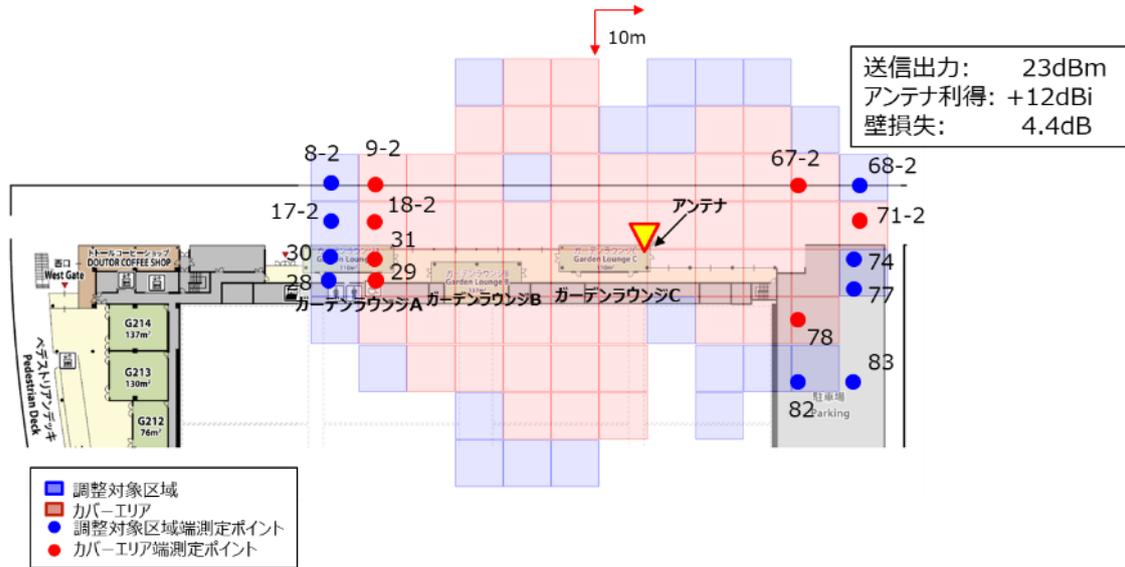
測定点ID	算出式による RSRP [dBm]	実測値RSRP [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
2-2	-149.81	-118.10	-118.65	4.88	-113.10	-125.10
8-2	-126.11	-114.40	-114.18	3.32	-109.30	-118.20
9-2	-118.38	-111.60	-111.65	3.25	-107.40	-115.60
10	-150.08	-119.80	-120.50	3.03	-117.30	-124.70
17-2	-123.72	-108.50	-108.84	3.54	-104.56	-113.20
18-2	-115.30	-111.70	-111.70	3.65	-107.06	-116.24
28	-122.79	-90.25	-90.48	3.57	-86.15	-95.45
29	-114.52	-86.40	-86.70	4.00	-81.78	-92.22
30	-122.76	-82.30	-82.34	3.45	-77.60	-87.23
31	-114.28	-84.30	-84.14	3.47	-79.60	-88.40
33-2	-101.78	-109.00	-109.65	3.31	-106.20	-114.60
35	-104.65	-107.60	-107.35	3.11	-103.45	-111.25
37-2	-112.50	-103.80	-103.50	3.35	-99.04	-107.90
58	-115.20	-87.30	-86.57	5.06	-79.18	-92.60
67-2	-113.48	-109.00	-109.13	4.11	-103.58	-114.50
68-2	-120.17	-112.90	-113.49	4.06	-108.42	-119.18
71-2	-117.81	-107.20	-107.08	3.03	-103.29	-111.10
74	-118.70	-94.50	-95.25	3.75	-91.90	-98.90
77	-125.07	-110.30	-110.19	3.04	-106.40	-114.20
78	-118.62	-116.00	-116.41	3.73	-111.50	-121.18
82	-123.78	-119.40	-119.78	3.25	-116.00	-123.70
83	-133.46	-116.00	-116.28	2.49	-113.30	-119.50
92	-141.81	-121.30	-122.09	3.83	-117.70	-127.66
93	-149.42	-125.70	-126.10	3.30	-122.20	-130.60
95	-164.35	-120.00	-120.39	3.77	-116.10	-125.30
97	-167.58	-127.70	-128.01	3.19	-123.97	-132.50

なお、上記算出式による受信電力は、以下のパラメータ値を使用し、算出している。

図表 3-47 受信電力算出条件

中心周波数 [GHz]	4.75
精緻化対象パラメータ	
B列算出式で使用了K	0
B列算出式で使用了S	0
B列算出式で使用了R	4.4

図表 3-48 カバーエリア端、調整対象区域端測定ポイント



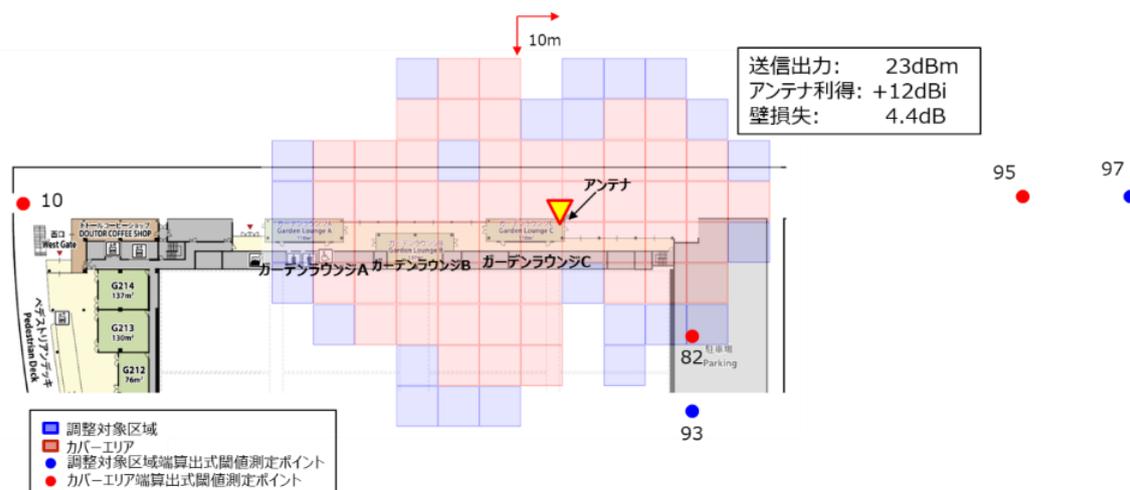
上記エリア図に示すカバーエリア端、調整対象区域端での測定結果を以下表に示す。いずれの場所においても 1F 多目的ホール測定結果と同様に算出式閾値とは大きな差分があり、閾値より高い受信電力が測定されている。2F ガーデンラウンジにおいても測定受信電力が高くなっていることから環境内の遮蔽物による減衰は少なく、自由空間に近い環境であり、基地局からの距離による減衰が支配的であると考えられる。

図表 3-49 カバーエリア端、調整対象区域端での SS-RSRP 受信電力測定結果

エリア	測定点 ID	SS-RSRP 測定値 [dBm]	算出式エリア端閾値 SS-RSRP 換算値 [dBm]	測定値-閾値 [dB]
カバーエリア	9-2	-111.6	-119.7	8.1
	18-2	-111.7		8.0
	31	-84.3		35.4
	29	-86.4		33.3
	67-2	-109.0		10.7
	71-2	-107.2		12.5
	78	-116.0		3.7
調整対象区域	8-2	-114.4	-126.1	11.7
	17-2	-108.5		17.6
	30	-82.3		43.8
	28	-90.3		35.9
	68-2	-112.9		13.2
	74	-94.5		31.6
	77	-110.3		15.8
	83	-116.0		10.1
	82	-119.4		6.7

上記の通りエリア端での測定結果と算出式による閾値が異なるため、閾値が測定される測定点の確認を行った。赤○で示す測定点が算出式におけるカバーエリア端閾値-119.7dBm が測定されたポイント、青○で示す測定点が調整対象区域端閾値-126.1dBm が測定されたポイントとなる。

図表 3-50 エリア算出式における閾値が測定されたポイント



上記各測定点における SS-RSRP 測定値、基地局との水平距離を示す。また基地局との水平距離から算出される SS-RSRP 受信電力を算出し、測定結果と比較している。測定点 ID 82 については算出値との差分が 4dB 程度と小さくなっているが、その他の測定点については、差分が 24～44dB と大きい。

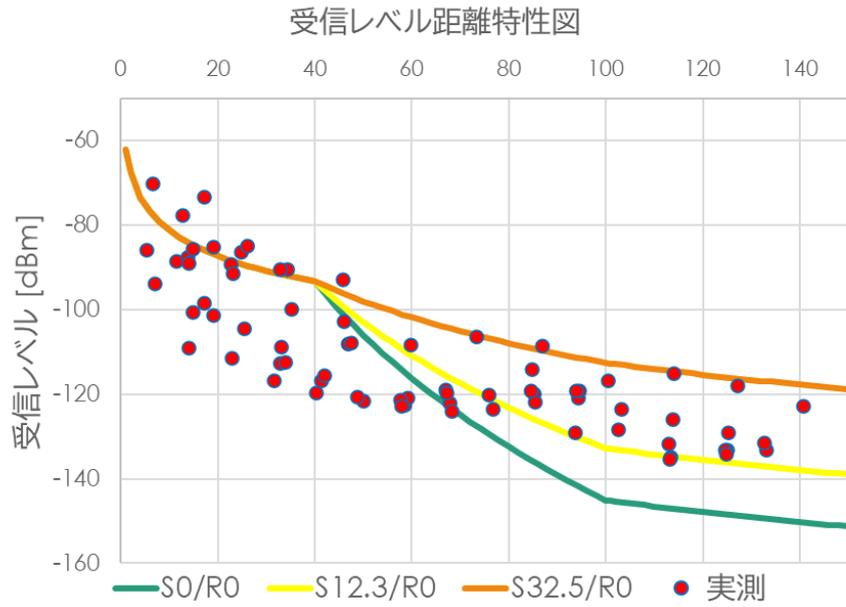
図表 3-51 エリア閾値が測定されたポイントでの SS-RSRP 測定値、基地局との水平距離

エリア	測定点 ID	①SS-RSRP 測定値 [dBm]	算出式エリア端閾値 SS-RSRP 換算値 [dBm]	測定値-閾値 [dB]	基地局との水平距離 [m]	②基地局との水平距離から算出される SS-RSRP 受信電力 [dBm]	① - ② [dB]
カバーエリア端	10	-119.8	-119.7	-0.1	132.6	-150.1	30.3
	82	-119.4		0.3	42.6	-123.8	4.4
	95	-120.0		-0.3	113.9	-164.4	44.4
調整対象区域端	93	-125.7	-126.1	0.4	55.7	-149.4	23.7
	97	-127.7		-1.6	140.6	-167.6	39.9

2F ガーデンラウンジにおいても上記表の通り多くの測定点において、算出式の推定値より測定結果の方が大幅に高い受信レベルとなった。1F 多目的ホールのような壁損失の影響が無い地点での測定は実施していないが、壁損失を含んだ状態での測定結果と算出式のグラフを 1F 多目的ホール測定結果同様に比較した。ガラス外壁を隔てた屋外環境と屋内環境での傾向が異なると推察し、それぞれの測定結果と算出式を比較した。

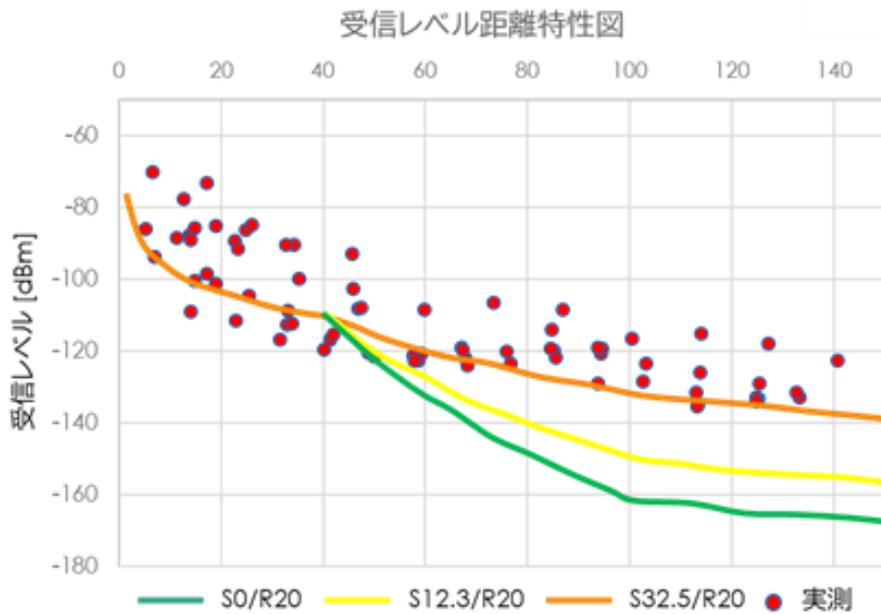
屋外環境における測定結果と算出式の比較は以下図の通り S 補正值の影響のない 40m 以内においても 20dB 程度の伝搬損失が発生し、グラフが押し下げられた形となっており、R 補正值の影響と考えられる。一方で、40m 以上においても同様の R 補正值 20dB 程度の伝搬損失が発生しているとすると、グラフの傾向から S 補正值「開放地 S=32.5」のオレンジ曲線が 20dB 分押し下げられた位置に実測値が分布しており、「開放地 S=32.5」の適用が妥当と考える。

図表 3-52 算出式と実測値の受信レベル - 距離特性図 (屋外環境)



上記グラフは R=0 の算出式のグラフだったが、R=20 とした時のグラフを以下に示す。

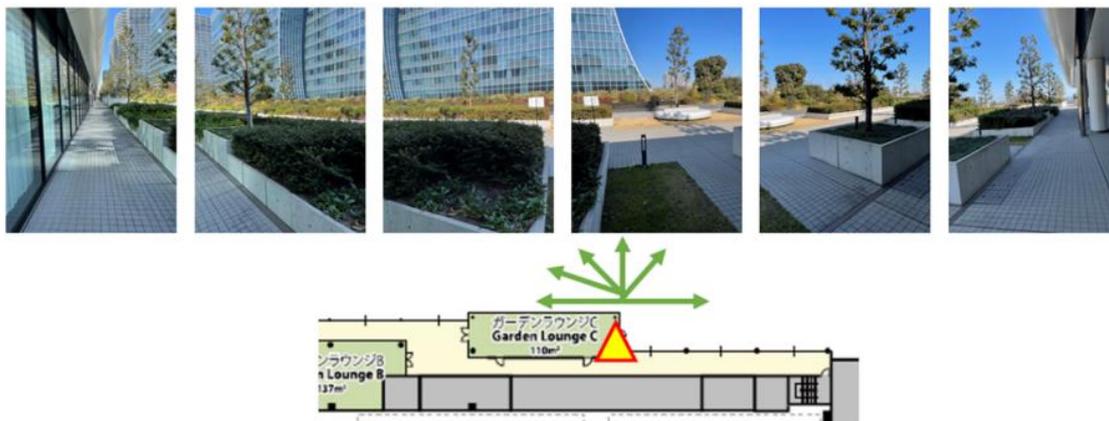
図表 3-53 R=20 の時の算出式と実測値の受信レベル - 距離特性図 (屋外環境)



実際の環境の写真を以下に示す。基地局脇のガラス壁外から外側に撮影した景観である。計測地点である歩行者デッキには、高い障害物は植樹が数本程度であり、屋内のガラス壁1枚を隔てて屋外に見通しのきくこのようなエリアである点からも開放地が妥当であると考えられる。

図表 3-54 屋外環境写真

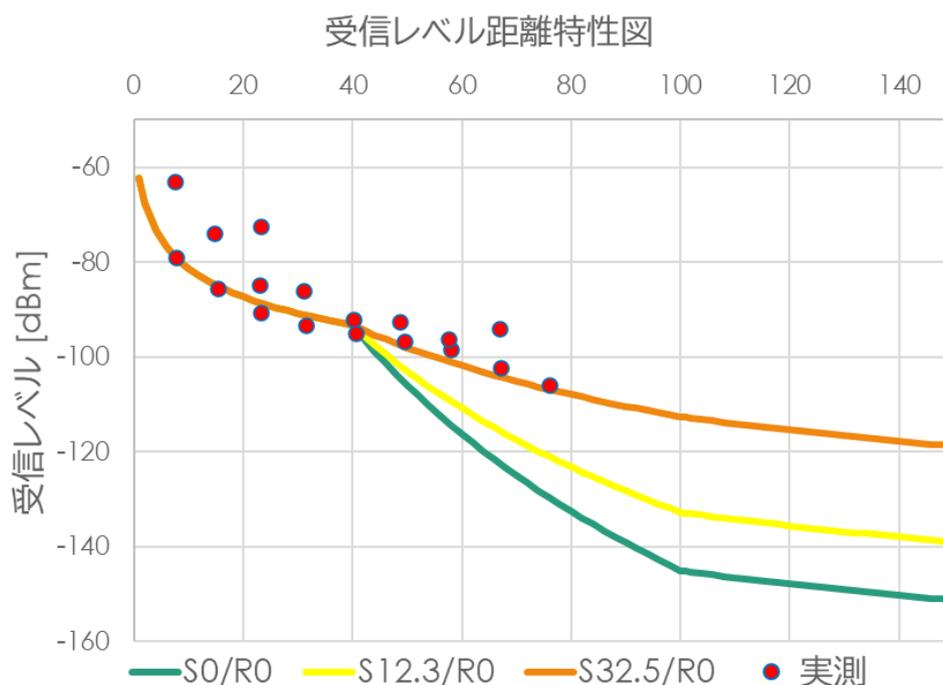
参考) 基地局から屋外に向けて、下図の方向から撮影した。



屋内環境における測定結果と算出式の比較は以下図の通りであり、全体的にS補正值「開放地 S=32.5」の算出式の値と似た傾向にあり、「開放地 S=32.5」が妥当であると考えられる。

以上の結果から、ガーデンラウンジの環境においても、1F多目的ホール同様にS補正值は「開放地 S=32.5」が妥当であると考えられる。

図表 3-55 算出式と実測値の受信レベル - 距離特性図 (屋内環境)



上記グラフより分かった開放地 S=32.5 を使用し、算出式の閾値が測定される測定点における受信電力を算出し、測定値との比較を行った。市街地 S=0 の時の受信レベル算出結果と比較し、①測定値と③基地局との水平距離から算出される受信電力との差は減少する結果となり、近いレベルが算出される結果となった。測定点 ID 95、93 については、12dB 程度測定結果の方が高い値となっている。測定点 ID 95 においては、実環境はなだらかな下りスロープの先であり、スロープによる回折効果により高い受信レベルを得ていると推測される。測定点 ID 93 においては、建物の角や駐車場の塀(1.5m 以下)などの反射、回折のマルチパス効果により高い受信レベルを得ていると推測される。

図表 3-56 開放地 S=32.5 使用時の算出式、実測値の比較

エリア	測定点 ID	①SS-RSRP 測定値 [dBm]	算出式エリア端閾値 SS-RSRP 換算値 [dBm]	測定値-閾値 [dB]	基地局との水平距離 [m]	③基地局との水平距離から算出される SS-RSRP 受信電力 S=32.5 [dBm]	① - ③ [dB]
カバーエリア端	10	-119.8	-119.7	-0.1	132.6	-117.5	-2.3
	82	-119.4		0.3	42.6	-121.5	2.1
	95	-120.0		-0.3	113.9	-131.8	11.8
調整対象区域端	93	-125.7	-126.1	0.4	55.7	-137.6	11.9
	97	-127.7		-1.6	140.6	-135.0	7.3

開放地 S=32.5 を使用し、再計算したカバーエリア、調整対象区域の図を以下に示す。実測値と算出式の受信レベルは近い結果になっているが、上記表の測定点 ID 95、93 の考察で触れた理由により赤枠で囲った A、B のエリアでは、実測値が高いレベルになっていると推測される。

図表 3-57 開放地 S=32.5 使用時のカバーエリア、調整対象区域



アンテナ: fs12dbi  
 送信出力: 23dBm、最大利得: +12dBi  
 建物侵入損: 4.4dB、その他損失: 3dB  
 S=32.5(開放地)

▼ 基地局アンテナ  
 カバーエリア(RSRP>-119.7dBm)  
 調整対象区域(RSRP>-126.1dBm)  
 (仮説の算出式:精緻化前)

● 橙 (-100~-80)カバーエリア  
 ● 桃 (-110~-100)カバーエリア  
 ● 赤(-118.2~-110)カバーエリア  
 ● 白赤(-121.2~-118.2)※ カバーエリア端  
 ● 青 (-124.6~-121.2) 調整対象区域  
 ● 白青 (-130~-124.6) ※調整対象端

※ -119.7 ±1.5, -126.1 ±1.5

2F ガーデンラウンジにおけるスループット、遅延測定結果を以下に示す。

#### (4) 測定方法

5G コア UPF に接続したネットワークマスタプロ (MT1000A) 1 台と端末に接続したネットワークマスタプロ (MT1000A) 1 台を使用し、その間の区間のスループット、遅延を DL、UL 別に測定した。実証を行うパシフィコ横浜ノースにおいて無線区間のみの遅延測定は測定環境構築の観点で困難なため、IP 通信による遅延測定に必要最小限の構成での遅延測定とした。この構成では構内 LAN、外部インターネットなどローカル 5G システム以外の遅延要因を排除し、ローカル 5G システムに閉じた遅延測定を可能とした。

#### (5) 測定条件

測定条件、ネットワークマスタプロ (MT1000A) に設定したフレームサイズ、回線負荷量を以下の表に示す。回線負荷量については、基地局アンテナ近傍で測定される最速のスループットを設定し、この条件下におけるスループット、遅延を測定した。

図表 3-58 2F ガーデンラウンジ スループット、遅延測定時のネットワークマスタプロ(MT1000A)設定条件

条件	値	単位
測定時間	60	秒
測定値集計法	平均値	-
フレームサイズ	1500	-
回線負荷量(DL)	222.03	Mbps
回線負荷量(UL)	74.01	Mbps

(6) 測定結果

以下に測定ポイントごとのスループット、遅延測定結果を DL、UL 別に示す。

図表 3-59 2F ガーデンラウンジ スループット、遅延測定結果

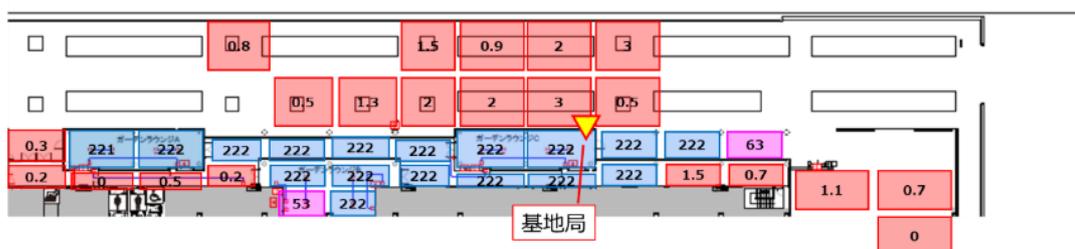
実測時の ポイント名	基地局との3D距離 [m]	RSRP (dBm)	ダウンリンク				アップリンク			
			スループット (Mbps)	伝送遅延 (ms)	Jitter (ms)	フレームロス (%)	スループット (Mbps)	伝送遅延 (ms)	Jitter (ms)	フレームロス (%)
48	5.02	-82.65	222.04	9.42	0.08	0.002	36.74	765.67	0.58	49.94
45	5.15	-95.3	2.97	3683.09	11.37	97.95	0.04	8362.95	37.04	99.81
46	6.5	-84.8	0.54	6625.57	1.94	99.77	0.006	N/A	0.17	0
65	6.99		222.04	9.38	0.08	0	72.2	141.33	0.27	2.43
58	7.42	-87.3	221.99	9.38	0.08	0.01	23.84	1173.31	0.9	67.41
57	7.73	-79.25	222.02	9.45	0.08	0	74.01	22.57	0.25	0
37	11.28	-100.9	1.99	4800.76	12.27	98.86	0	N/A	N/A	N/A
38	12.63	-95	3.11	1821.85	141.62	97.3	0.007	12632.65	0.66	0
49	13.7	-84.9	221.94	10.04	0.08	0.008	35.7	789.81	0.6	51.36
44	13.9	-99.85	1.94	4060.53	11.8	98.92	0	N/A	N/A	N/A
59	14.75	-88.1	1.46	3714.33	29.72	98.43	0	N/A	N/A	N/A
64	14.92		222.04	9.94	0.08	0	73.61	135.19	0.25	0.68
56	15.28	-78.7	222.03	9.23	0.08	0	47.9	578.04	0.42	34.95
36	17.14	-103.5	0.93	4948.12	20.61	99.08	0	N/A	N/A	N/A
72	22.51	-92.6	62.64	775.9	2.14	56.98	0.35	11337.63	40.39	97.95
43	22.88	-102	2.05	4212.15	21.24	98.92	0	N/A	N/A	N/A
54	22.88	-73	221.91	41.21	0.08	0.08	73.38	86.33	0.27	0.85
55	23.09	-80.1	222.04	9.46	0.08	0	74.22	93.03	0.26	0
75	23.16	-92.5	0.7	4439.95	11.32	98.69	0	N/A	N/A	N/A
35	25.32	-107.6	1.52	4806.7	107.61	99.16	0	N/A	N/A	N/A
53	31.07	-74.1	222.02	9.66	0.08	0.005	74.01	22.39	0.25	0
62	31.45	-82.1	222.03	64.6	0.08	0.01	25.09	1112.41	0.84	65.67
42	31.46	-106.3	1.33	5886.19	21.49	99.37	0	N/A	N/A	N/A
76	33.59	-108.2	1.07	4430.15	48.99	99.39	0	N/A	N/A	N/A
63	33.92	-87	221.62	46.89	0.08	0.18	0	N/A	N/A	N/A
61	39.87	-84.65	52.78	523.11	0.27	81.86	3.23	2372.44	2.55	96.72
41	40.08	-108.7	0.54	4964.26	241.05	98.59	0	N/A	N/A	N/A
52	40.22	-80.3	222.04	10.11	0.08	0	63.07	289.53	0.33	14.03
60	40.52	-83.5	222.02	9.22	0.08	0	29.76	937.2	0.7	59.35
77	44.87	-110.3	0.71	5285.16	66.48	99.64	0	N/A	N/A	N/A
79	46.45	-119.4	0	N/A	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
51	48.59	-80.8	221.95	11.69	0.08	0.07	38.03	754.2	0.56	48.36
50	49.48	-84.8	0.24	34.31	1.43	0	0.01	11391.78	0.71	0
32	49.93	-113	0.77	6077.88	70.62	99.49	0	N/A	N/A	N/A
31	57.59	-84.3	222.03	9.28	0.08	0	33.59	833.72	0.59	54.09
29	57.89	-86.4	0.47	2353.52	30.68	93.25	0.0006	4519.34	0.14	0
30	66.91	-82.3	221.24	15.31	0.08	0.36	29.91	932.24	0.7	59.17
28	67.17	-90.25	0	N/A	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
21	75.74	-91.4	0.27	5256.89	9.56	99.88	0	N/A	N/A	N/A
27	75.95	-93.9	0.16	11540.69	30.61	97.14	0.37	18734.05	1.33	0

DL スループットは、カバーエリア内となるガーデンラウンジ屋内において 222Mbps と概ね良好な結果が得られた。

図表 3-60 2F ガーデンラウンジ DL スループット測定結果

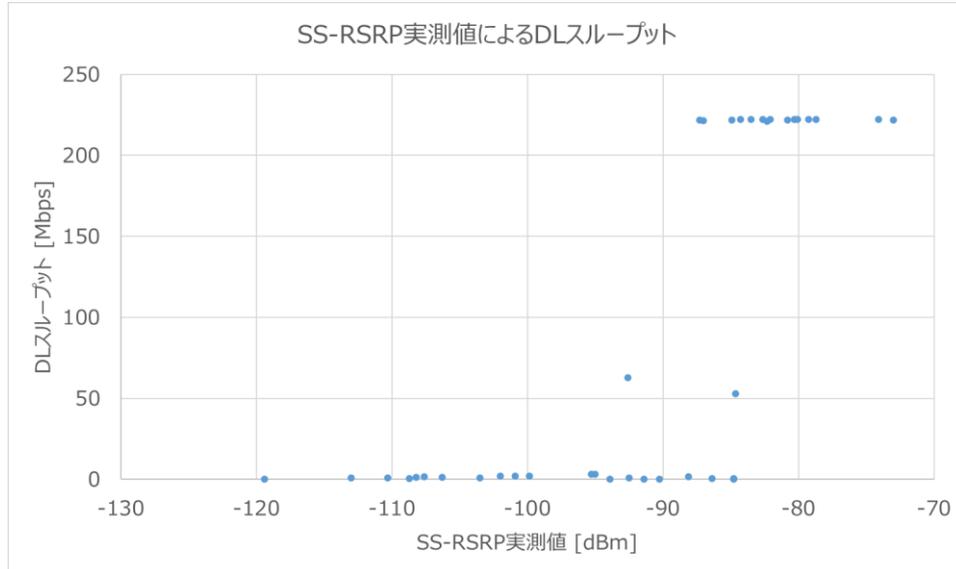
DLスループット

Lower [Mbps]	Upper [Mbps]	Color
150	250	青
100	150	黄
50	100	桃
0	50	赤



以下に受信レベル(SS-RSRP)による DL スループット測定結果のグラフを示す。SS-RSRP が -90dBm 以上になると良好なスループットが得られることが分かる。

図表 3-61 2F ガーデンラウンジ SS-RSRP 受信電力による DL スループット測定結果

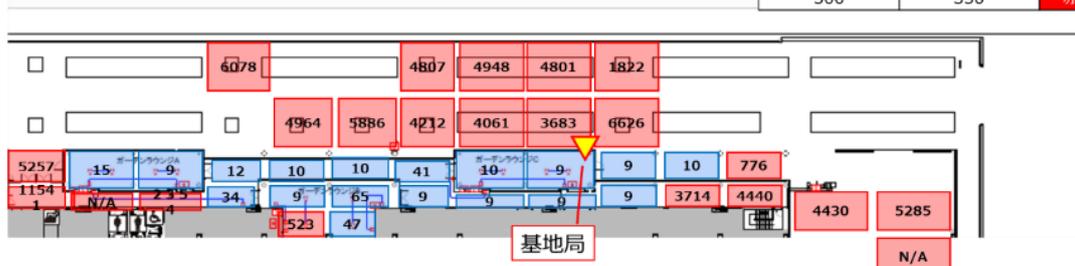


DL 遅延は、カバーエリア内となるガーデンラウンジ屋内において 9~65ms という結果を得ることができた。

図表 3-62 2F ガーデンラウンジ DL 遅延測定結果

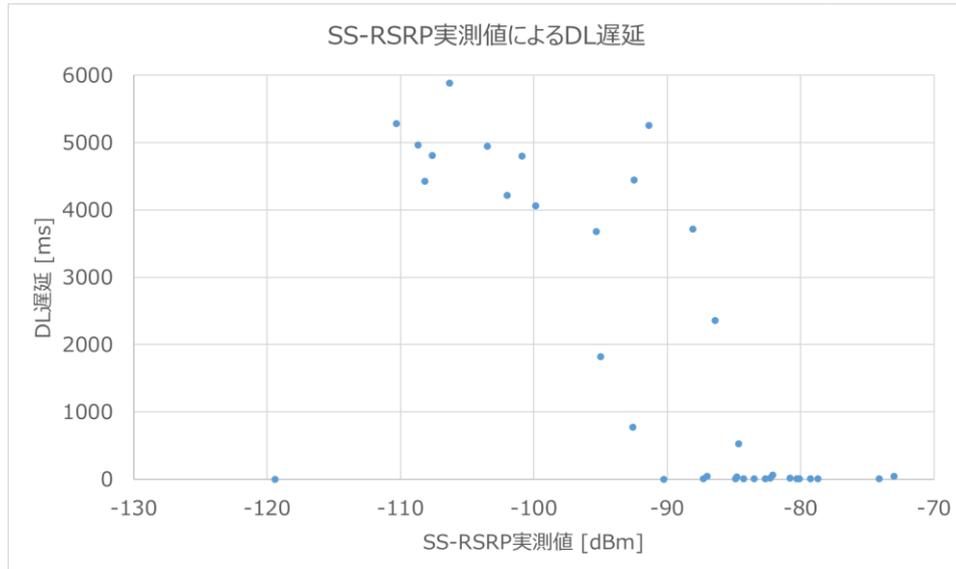
DL遅延

Lower [ms]	Upper [ms]	Color
0	100	青
100	200	黄
200	300	桃
300	350	赤



以下に受信レベル(SS-RSRP)による DL 遅延測定結果のグラフを示す。こちらも SS-RSRP が -90dBm 以上になると 50ms 以下の良好な遅延が得られることが分かる。

図表 3-63 2F ガーデンラウンジ SS-RSRP 受信電力による DL 遅延測定結果

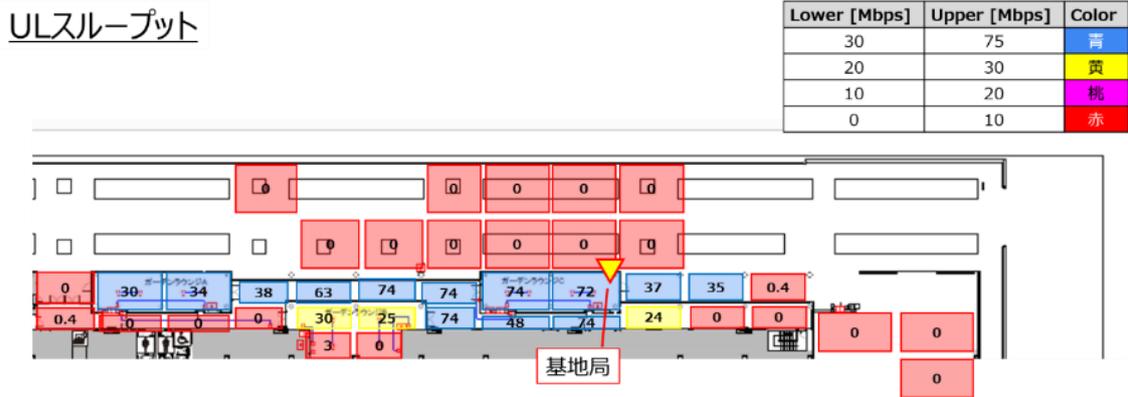


UL スループットは、カバーエリア内となるガーデンラウンジ屋内において 25~74Mbps と良好な結果が得られた。ただし、ガーデンラウンジB内隅においてはスループット測定値が悪く、屋内マルチパス、フェージングの影響によるものではないかと考えている。

なおガーデンラウンジで使用した可搬型 FLARE SYSTEMS のローカル 5G システムを多目的ホールに移設して課題実証 混雑検知で使用する場合は、スマートフォンで撮影した多目的ホール内の状況を 4K 画像でアップロードする際にスマホ 1 台あたりに 30Mbps 必要とし、実施計画では合計 4 台のスマートフォンで同時撮影し 4K 画像アップロードの性能要件は合計 120Mbps であった。

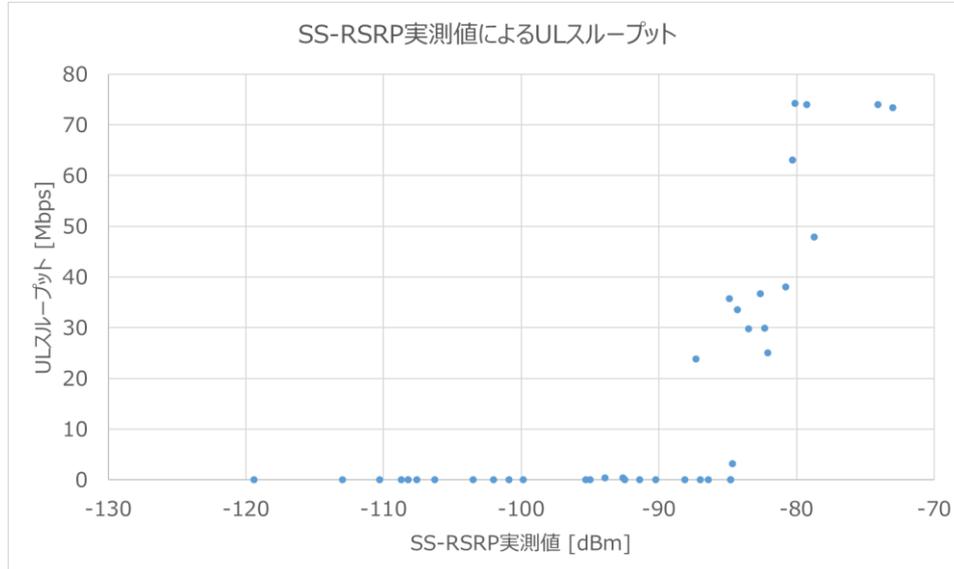
今回のガーデンラウンジでのスループット測定結果は課題実証の遠隔同期演奏の要求性能は満たせたが、ガーデンラウンジでのスループット測定結果では UL 最大 75Mbps であり、多目的ホールでの UL 要求性能を満たせないことが明らかになったため、多目的ホールでの課題実証 混雑検知の 4K 画像アップロードについては 4 台のスマートフォンから 1 台に、残りの 3 台のスマートフォンでは 2K 画像のアップロードに変更し 4K 画像および 2K 画像が混在する構成で UL スループットの要求性能は合計 45Mbps に調整して混雑検知の AI 解析の課題実証を実施した。

図表 3-64 2F ガーデンラウンジ UL スループット測定結果



以下に受信レベル(SS-RSRP)による UL スループット測定結果のグラフを示す。SS-RSRP が -85dBm 以上になると良好なスループットが得られることが分かる。

図表 3-65 2F ガーデンラウンジ SS-RSRP 受信電力による UL スループット測定結果

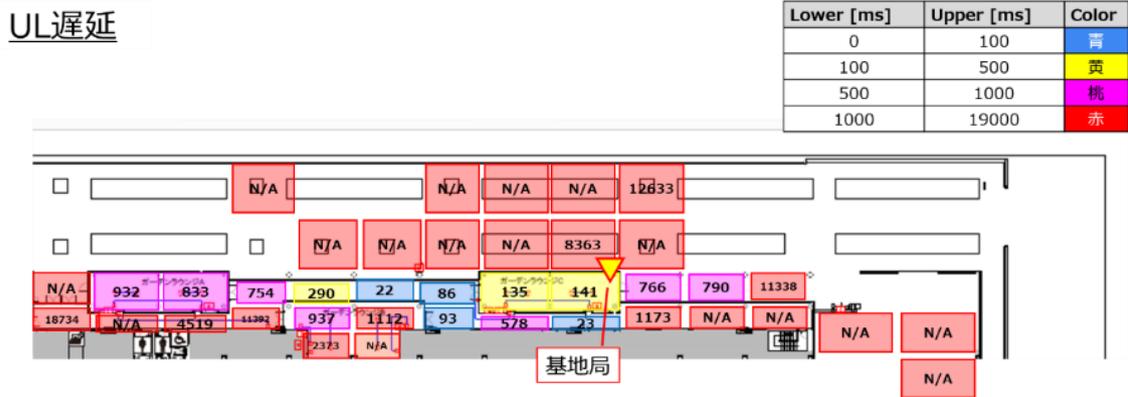


UL 遅延については FLARE SYSTEMS 製基地局を設置したガーデンラウンジ C の部屋の中においても 135ms と芳しくない結果となった。UL および DL 遅延測定は同じ条件にて実施したが、受信電力が良好で UL/DL スループット、および DL 遅延に問題がないエリアにおいても UL 遅延のみ劣化する結果となった。

受信電力が良好なエリアにおいて UL 遅延のみ劣化する原因がガーデンラウンジのみに発生する特異な事象であったかなどの確認については、技術実証で施設利用可能な期間が短期間に限定され決められたこと、さらに技術実証、課題実証も施設利用可能期間に完了させることが必須であったため、十分な切り分け時間の確保が困難であり特定することはできなかった。

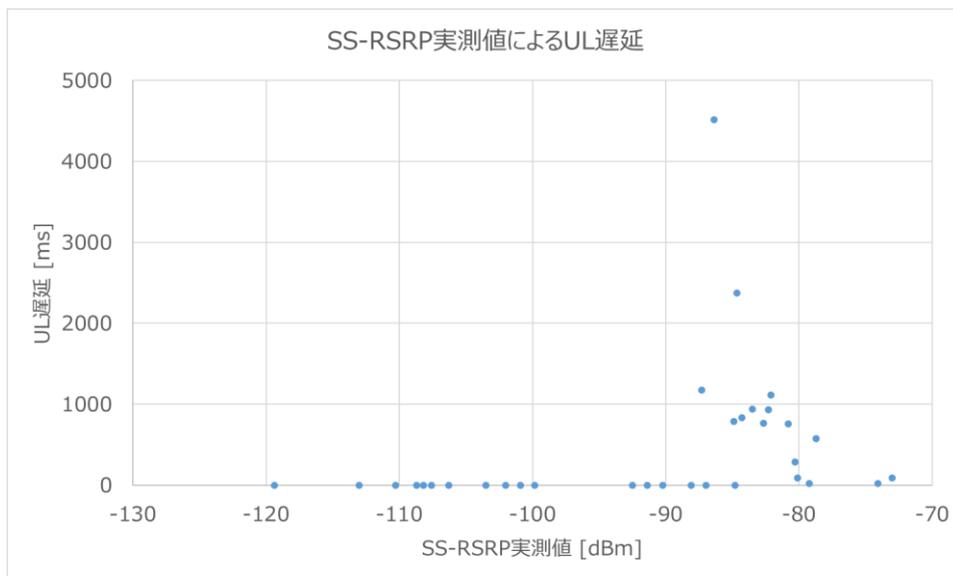
本来であれば受信レベルが良好なエリアでは UL/DL スループット、UL/DL 遅延の要求性能を一律で満足すると想定していたが、今回のような特異な事象の原因特定と解決の対応を前提としたスケジュール、切り分け測定機材の事前準備などが必要と考える。

図表 3-66 2F ガーデンラウンジ UL 遅延測定結果



以下に受信レベル(SS-RSRP)による UL 遅延測定結果のグラフを示す。SS-RSRP が-80dBm 以上になると良好な遅延が得られることが分かる。

図表 3-67 2F ガーデンラウンジ SS-RSRP 受信電力による UL 遅延測定結果



2F ガーデンラウンジ B、C 内での測定結果をまとめると以下表の通りとなり、2 地点遠隔同期演奏システム課題実証で要求される DL/UL スループット、DL 遅延は満足できたものの、UL 遅延については満足できない結果となった。今回のネットワークマスタープロ (MT1000A) による遅延測定では、回線負荷量として基地局アンテナ近傍で測定された最速のスループット (UL=74Mbps) を設定したため、測定遅延量が大きくなった可能性があると考えている。今後の課題としては、低遅延を必要とするソリューションにおいては、要求スループットを想定した回線負荷量での検証を行うなどによって、使用する無線機との間の最適化を図ることが必要と考える。

図表 3-68 ガーデンラウンジ スループット、遅延実測値と課題実証要求性能の比較

測定項目		課題実証を実施した ガーデンラウンジ B、C 内の測 定結果	2 地点遠隔同期演奏システム 課題実証要求性能
スループット	DL	222Mbps	3Mbps / 拠点 ステレオ 48kHz 非圧縮音声データ 2 拠点合計 6Mbps
	UL	25~74Mbps	3Mbps / 拠点 ステレオ 48kHz 非圧縮音声データ 2 拠点合計 6Mbps
遅延	DL	9~65ms	エンドエンド遅延 20msec 未満
	UL	135ms~1112ms	

### 3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化

#### 3.3.2.1 実証の目的・目標

##### (1) 背景となる技術的課題と実証目的

###### ■背景にある技術的課題

ローカル5Gの無線局免許申請において、申請者が審査基準に従って算出するカバーエリアが実際よりも広くなることで、基地局出力を下げる等の対策が必要となり、実環境では干渉調整結果によっては、エリア化できない場所が発生する可能性がある。

本実証においては、大型複合国際会議施設内における特徴的な天井高、催事によって区画を可変にできるなどの特徴を有す1F多目的ホール、並びに外部と隣接する2Fガーデンラウンジにおいて、それぞれユースケースに有効なエリア品質の確保が、現行の審査基準に示されるカバーエリアや干渉調整区域の算出によって損なわれることなく、効率的なエリア設計をより精緻に行う電波伝搬モデルの実現を目途にして、技術検証を行う。

###### ■実証目的

今回提案する課題実証ユースケースは、大型複合国際会議施設において、会場運営者、利用者など多くの方々の利用が想定されており、それらの利用者が免許申請された全エリアにおいてローカル5Gソリューションを利用できるよう、本環境における電波伝搬パラメータの精緻化を行い、精度の高いエリア設計を可能とする。また、大型複合国際会議施設における類似の環境を使用したユースケースに展開していく。

## (2) 実証目標

本実証で精緻化の対象とするエリア算出法のパラメータを以下の通り設定した。

図表 3-69 エリア算出法のパラメータ

利用する周波数帯	精緻化の対象パラメータ	精緻化の方向性	実施環境の要件
4.7-4.8GHz 帯 4.8-4.9GHz 帯	R	壁面の材質・厚さ別の定量化	基地局設置場所が屋内である

実証環境は、遠隔ロボット監視システムの検証を実施するパシフィコ横浜ノース 1F 多目的ホール、及び 2 地点遠隔同期演奏システムの検証を実施する 2F ガーデンラウンジを使用した。

パシフィコ横浜ノース 1F 多目的ホールは、天井高 10m 面積約 6300 m<sup>2</sup>の多目的ホールであり、イベント開催時に大小の展示ブースが設置されるのに加え、防音効果のある壁、高い天井を備えた多数の来場者が動員される環境であり、このような環境でのユースケースを想定し、電波伝搬モデルの精緻化を行う。

また、2F ガーデンラウンジは、細長い廊下にガラス、及び壁で仕切られた小規模(110 m<sup>2</sup>、137 m<sup>2</sup>) スペースであり、異なる部屋での同期演奏の検証で使用し、このような環境条件でのユースケースも想定し、前述同様の検証を行う。

いずれの場合も基地局設置場所は、屋内会場であり、精緻化の対象パラメータは、R: 壁面の材質・厚さ別の定量化となる。

### 3.3.2.2 実証仮説

以下の2つのエリアの特徴からパラメータ R の仮説を立て、その値を使用した算出式による屋内のカバーエリア、調整対象区域を求めた。

図表 3-70 エリアの特徴

エリア	特徴
①1F 多目的ホール	<ul style="list-style-type: none"> <li>・面積約 5,000 m<sup>2</sup></li> <li>・天上高 10m</li> <li>・壁材質(防音壁、区画を仕切る移動壁)、壁数</li> <li>・大小の展示ブース</li> </ul>
②2F ガーデンラウンジ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・壁面の材質(ガラス)、厚さ、壁数</li> <li>・狭い通路</li> <li>・横に配置された小規模スペース</li> </ul>

パラメータ R の仮説値としてエリア算出式に用いる値を以下に示す。1F 多目的ホールについては、コンクリート壁が多い環境から電波伝搬シミュレータで使用されているコンクリート[Light]の値 16.2dB を使用し、2F ガーデンラウンジについては、ガラス窓の多い環境からこちらも電波伝搬シミュレータで使用されているガラスの値 4.4dB を使用した。

図表 3-71 パラメータ R の仮説

エリア	パラメータ R 値	
	エリア算出式	仮説値
①1F 多目的ホール	16.2	16.2
②2F ガーデンラウンジ	16.2	4.4

### 3.3.2.3 評価・検証項目

評価・検証項目を以下に示す。

図表 3-72 電波伝搬モデルの精緻化 評価・検証項目

評価・検証内容	Output
<p>&lt;エリア設計&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・精緻化の仮説により修正したパラメータの値を使用した算出式での屋内外カバーエリア、調整対象区域を作図する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・仮説のパラメータ修正値を使用した屋内外カバーエリア、調整対象区域の図</li> </ul>
<p>&lt;測定&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・精緻化する壁を基地局との間に挟む場所において、カバーエリア、調整対象区域内の基地局から距離が異なる地点で受信電力(SS-RSRP)を測定する</li> <li>・測定値が、&lt;エリア設計&gt;に用いた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からの距離を確認する</li> </ul> <p>※こちらの検証は 3.3.1 ローカル 5 G の電波伝搬特性等の測定において実施した</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・受信電力ヒートマップ</li> <li>・&lt;エリア設計&gt;に用いた算出式における各エリアの閾値が実測される基地局からの距離を表した表</li> </ul>
<p>&lt;精緻化パラメータ R、平均二乗偏差 RMSE の導出&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・測定した受信電力 SS-RSRP から求まる伝搬損失、算出式から求まる伝搬損失を使用し、最小二乗法により精緻化パラメータ R を算出する</li> <li>・精緻化の有効性を確認するため、ばらつきを確認する指標の平均二乗偏差 RMSE を算出する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・精緻化後のパラメータ R 値</li> <li>・精緻化前後の平均二乗偏差 RMSE 値</li> </ul>

提案書で想定したエリアに対し、実際の環境を確認の上、以下表のエリア、環境条件にて、建物侵入損パラメータ R の精緻化を行った。また、パラメータ R 以外のパラメータとしては、3.3.1 ローカル 5G 電波伝搬特性等の測定により本実証環境において妥当であることが分かった S=32.5（開放地）を使用した。

図表 3-73 パラメータ R の精緻化 対象エリアと壁

場所	エリア	番号	R 仮説	対象となる壁や環境、補足
①1F 多目的ホール	多目的ホールの壁を越えた通路	01	16.2	LGS(軽量鉄骨)・グラスウール・石膏ボード
	移動可能な敷居を間に挟んだ別展示会場 G7、G8 エリア	実施せず	-	G7, G8 の使用の調整が付かず、実施対象外とした
	多目的ホール外壁を越えた屋外環境	02	16.2	多目的ホール外壁: 鉄筋コンクリート壁、Low-E 複層ガラス ※基地局と多目的ホール外壁コンクリート壁の間には多目的ホール内壁(LGS(軽量鉄骨)・グラスウール・石膏ボード)と通路が存在
②2F ガーデンラウンジ	ガラス壁を挟む屋外環境	03	4.4	屋外に面したガラス壁 ※壁の外は屋外の歩行者デッキ
	2つのガーデンラウンジ A、B のガラス壁を挟む箇所	04	4.4	ガラス壁で仕切られた小規模会議室スペース

### 3.3.2.4 評価・検証方法

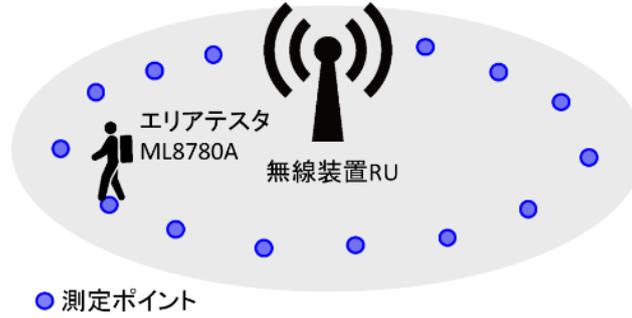
評価方法を以下に示す。

図表 3-74 電波伝搬モデルの精緻化 評価方法

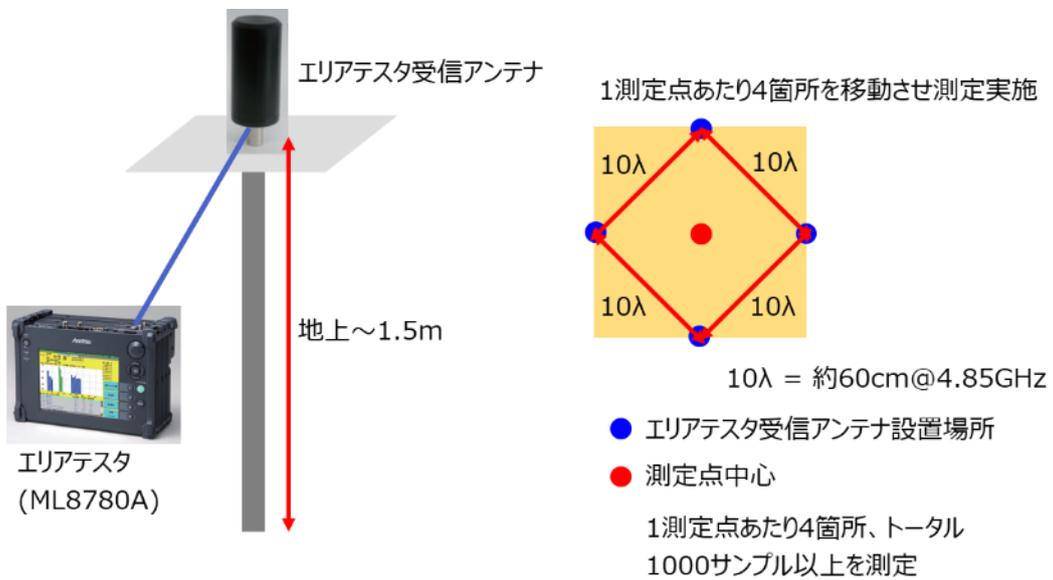
評価項目	使用測定器/ツール	評価方法
受信電力(SS-RSRP)	エリアテスタ Anritsu ML8780A	<p>エリアテスタ ML8780A を保持し、測定箇所を歩行することで測定する</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>受信電力(SS-RSRP)測定については、定在波の影響を避けるため、1つの測定点において、<math>10\lambda</math> (<math>\lambda</math>は波長)の範囲で4箇所を測定ポイントとして移動させながら測定し、そこで得られたすべてのサンプルを統計処理する</li> <li>また1測定点あたり、合計1000サンプル以上(測定器測定周期=20ms/1サンプル、1箇所測定時間10秒、4箇所合計2000サンプル取得)の測定結果に対し、中央値、<math>\sigma</math>、上位10%値、下位10%値を算出する</li> <li>測定器のアンテナは、オムニアンテナのため、指向性を考慮した1箇所あたり複数の向きでの測定は必要としない</li> </ul>
電波伝搬シミュレーション	電波伝搬シミュレータ 構造計画研究所 KCAMP(総務省式)	電波伝搬シミュレーションツールを使用し、カバーエリア、調整対象区域の作図を行う

受信電力(SS-RSRP)測定において使用した評価系を以下に示す。なお、測定の実施にあたり、不慮の測定誤差、測定ミスを未然に排除するために現地での実測定方法(測定器の設定、測定器接続環境)と同じ環境を使用したラボにおける測定を実施し、問題なく測定できることを確認した後、現地での測定に臨んだ。

図表 3-75 受信電力(SS-RSRP)評価系



図表 3-76 エリアテスタ用アンテナ設置場所



図表 3-77 受信電力測定時写真



## ■精緻化方法

仮説のパラメータ R を使用した算出式により求めたカバーエリア、調整対象区域内において精緻化する壁、ガラスを間に挟んだ場所において受信電力を測定し、以下の手順により、パラメータ R の精緻化を行った。

(1) 該当の測定点における実測値と算出式の伝搬損失を比較

実測値の伝搬損失  $L_{mes. (i)} = -Pr + Pt + Gt + Gr$

※実測値  $Pr =$  実測値 SS-RSRP の中央値  $+ 10\log_{10}(12 \times 273)$

※実測値  $Pr$  に含まれる以下 2 点は上記算出式に含めない

人体損失(8dB)の影響

基地局の給電線損失  $L_f$

$Pr$  : 受信レベル(SS-RSRP) [dBm]       $Pt$  : 送信電力 [dBm] (基地局毎)

$Gt$  : 送信アンテナ利得 [dBi] (測定地点ごと)       $Gr$  : 受信アンテナ利得 [dBi] (=0dBi)

算出式伝搬損失  $L_{pred. (i)}$

$d_{xy}$  (km) : 基地局と伝搬損失を算定する地点との距離

①  $d_{xy} \leq 0.04$  km の場合

$L_{pred. (i)} = L_0 = 32.4 + 20\log_{10}(f) + 10\log_{10}\{(d_{xy}^2) + (H_b - H_m)^2 / 10^6\}$

$f$  (MHz) : 使用する周波数

$H_b$  (m) : 基地局の空中線地上高

$d_{xy}$  (km) : 基地局と伝搬損失を算定する地点との距離

$H_m$  (m) : 移動局の空中線地上高

$R$  (dB) : 基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損(16.2)

※今回の算出式には含めない

②  $0.04$  km  $< d_{xy} < 0.1$  km の場合

$L_{pred. (i)} = L_0(d_{xy} = 0.04) + \{2.51 \times \log_{10}(d_{xy}) + 3.51\} \times \{LH(d_{xy} = 0.1) - L_0(d_{xy} = 0.04)\}$

③  $d_{xy} \geq 0.1$  km の場合

$L_{pred. (i)} = LH = 46.3 + 33.9 \times \log_{10}(2000) + 10\log_{10}(f/2000) - 13.82 \times \log_{10}(\max(30, H_b)) + \{44.9 - 6.55 \times \log_{10}(\max(30, H_b))\} (\log_{10}(d_{xy})) \alpha - a(H_m) - b(H_b) + R - K - S$

$f$  (MHz) : 使用する周波数

$H_b$  (m) : 基地局の空中線地上高

$d_{xy}$  (km) : 基地局と伝搬損失を算定する地点との距離

$H_m$  (m) : 移動局の空中線地上高

$R$  (dB) : 基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損(16.2)

※今回の算出式には含めない

$\alpha$  : 遠距離に対して考慮する係数であり、下記による

$$\alpha = 1 : d_{xy} \leq 20\text{km}$$

$$\alpha = 1 + (0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} H_b) (\log_{10}(d/20))^{0.8}$$

$$: 20\text{km} < d_{xy} < 100\text{km}$$

a(Hm)：移動局高に対して考慮する補正項であり、下記による

$$a(H_m) = 0.057 : \text{中小都市の場合}$$

$$-0.00092 : \text{大都市の場合}$$

大都市：市街地のうち特に大規模な都市の領域であって、おおむね5階以上の建物が密集した地域

中小都市：市街地のうち、大都市に相当する地域以外のもの

b(Hb)：基地局高に対して考慮する補正項であり、下記による

$$b(H_b) = 0 : H_b \geq 30\text{m}$$

$$20 \times \log_{10}(H_b/30) : H_b < 30\text{m}$$

K：地形情報データにより算入し難い地形の影響等の補正項であり、通常は0とし、地形水面の反射、小規模の見通し外伝搬の影響等を特に考慮する必要のある場合に算入する ※今回は0とする

S(dB)：市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正項であり、下記による

(1) 市街地（都市の中心部であって、2階建以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など）：S=0.0

(2) 郊外地（樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域）：S=12.3

(3) 開放地（電波の到来方向に高い樹木、建物などの障害物がない開けた地域で、目安として前方300～400m以内が開けているような畑地・田地・野原など）：S=32.5

※今回は3.3.1のローカル5Gの電波伝搬特性等の測定結果よりS=32.5を使用する

## (2) 精緻化 R の算出

各測定点 i の実測値  $L_{mes.}(i)$  と算出式による値  $L_{pred.}(i)$  から計算される以下 E の値が最小となる R を最小二乗法により求める。

$$E = \sum_i \{ L_{pred.} + R - L_{mes.} \}^2$$

## (3) 標準偏差による精緻化の有効性の確認

$L_{mes.}(i)$  と  $L_{pred.}(i)$  に対して以下の式で算出される平均二乗偏差 RMSE で精緻化前後の値を評価する

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (L_{mes.}(i) - L_{pred.}(i))^2}{N}}$$

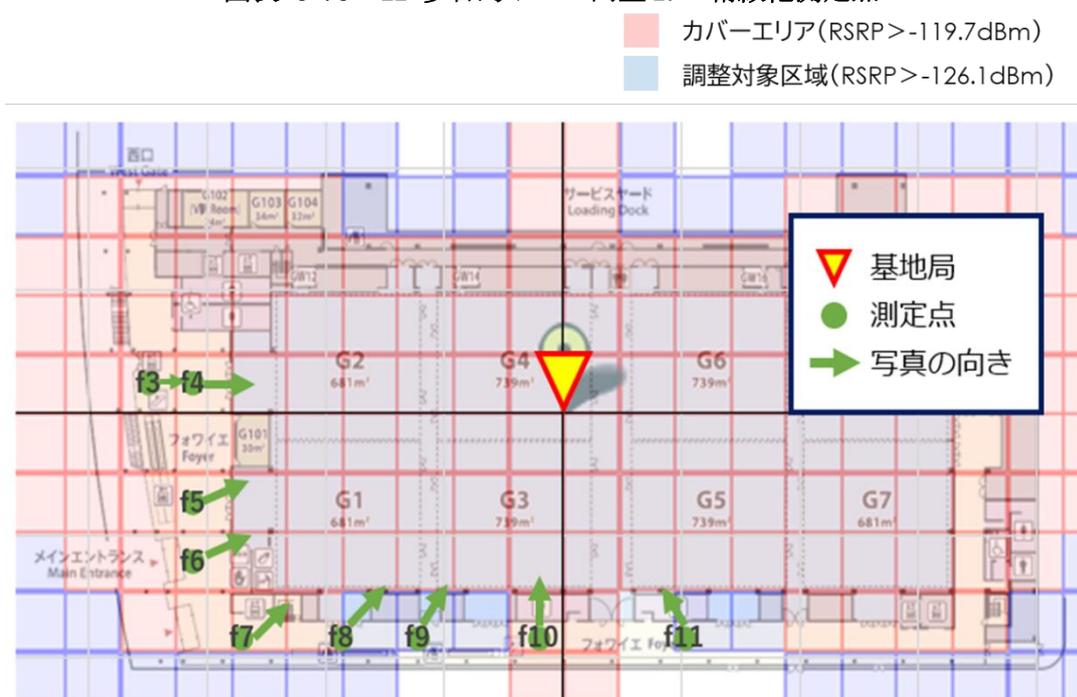
### 3.3.2.5 実証結果及び考察

#### (1) 測定 No.01 1F 多目的ホール内壁 R の精緻化

以下に電波伝搬パラメータ R として電波伝搬シミュレータで使用されているコンクリート[Light]の値 16.2dB、開放地 S=32.5 を使用した時の 1F 多目的ホールのカバーエリア、調整対象区域、並びに多目的ホール内壁 R の精緻化を行うための受信レベル(SS-RSRP)測定点を示す。測定点は多目的ホール天井に設置した基地局との距離が異なり、間に多目的ホール内壁(LGS、ガラスウール、石膏ボード)を挟む多目的ホール外のフォワイエと呼ばれる通路上に 9 地点設定した。

それぞれのエリア端における受信電力の測定、検証については、3.3.1 ローカル 5 G の電波伝搬特性等の測定で仮説の R 値=16.2dB を使用し、検証済みである。

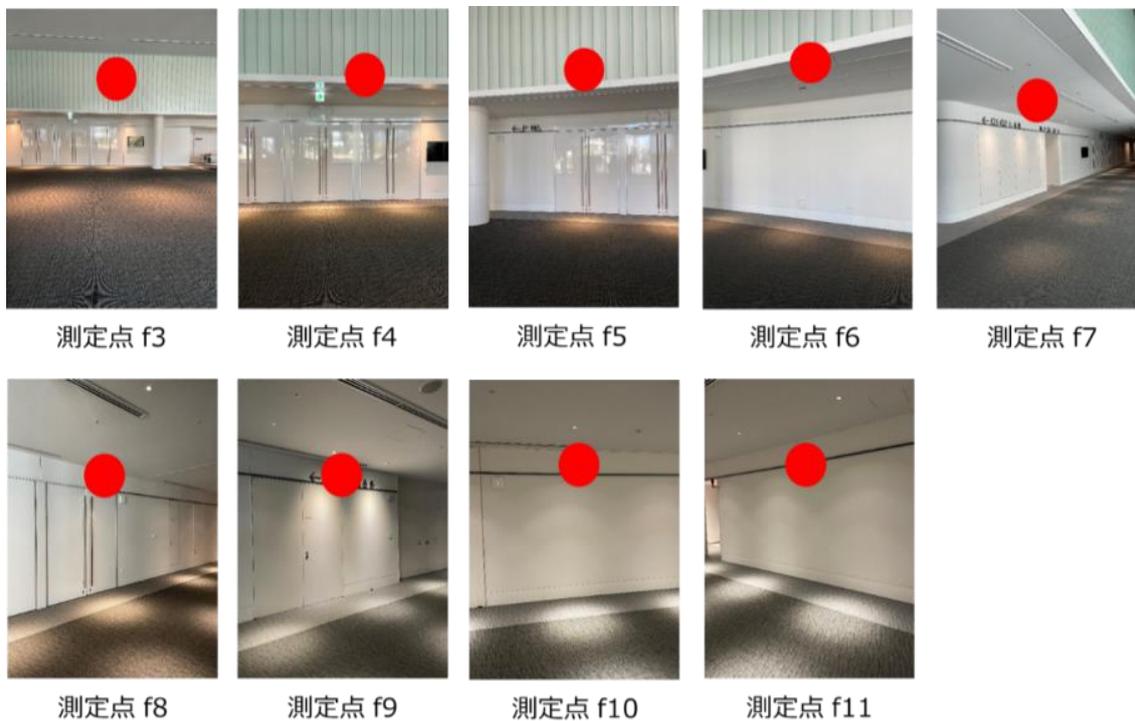
図表 3-78 1F 多目的ホール内壁 R の精緻化測定点



以下に 9 つの測定点において基地局設置方向を向いた状態で撮影した写真を示す。測定点 f3、f4、f5、f8 正面にある多目的ホール内への入口扉は金属製だが基地局は多目的ホール内天井部(高さ 12m 地点)に設置されており、この入口扉の直接の通過は少なく影響は少ないものと思われる。

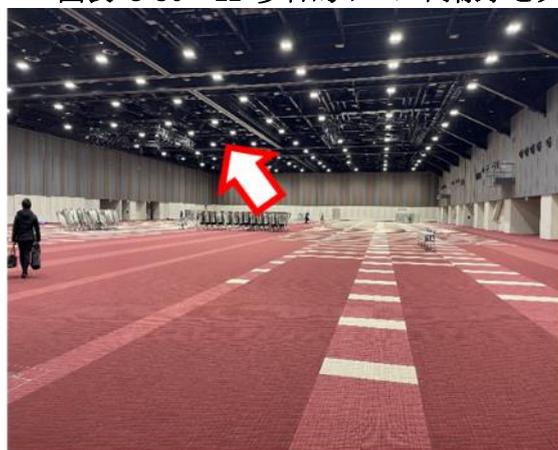
図表 3-79 1F 多目的ホール内壁 測定点から基地局設置方向を見た写真

● 壁を隔てた場所にある基地局の位置

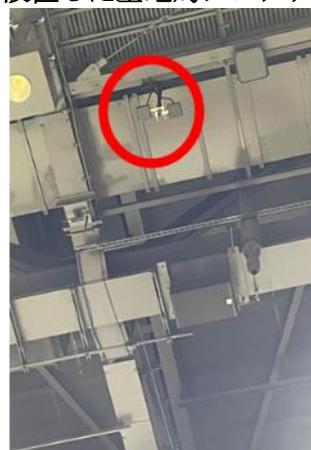


以下は、天井に基地局を設置した多目的ホール内の様子、天井の基地局アンテナを示す。

図表 3-80 1F 多目的ホール内様子と天井に設置した基地局アンテナ



多目的ホール内の様子



基地局アンテナ（赤丸）

赤矢印の場所に基地局を天井梁に設置

各測定点における基地局との距離、基地局アンテナ条件、測定機アンテナ条件、LOS/NLOS 条件を表に示す。

図表 3-81 1F 多目的ホール内壁 各測定点における条件

測定点 ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dBi]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dBi]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
f3	70.96	70.18	0.00	12.00	33.60	-4.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f4	63.57	62.70	0.00	12.00	33.60	-3.77	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f5	65.03	64.18	0.00	12.00	33.60	-4.27	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f6	67.83	67.01	0.00	12.00	33.60	-5.15	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f7	66.25	65.41	0.00	12.00	33.60	-8.23	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f8	53.49	52.45	0.00	12.00	33.60	-10.65	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f9	45.38	44.15	0.00	12.00	33.60	-16.54	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f10	38.37	36.90	0.00	12.00	33.60	-11.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
f11	43.26	41.97	0.00	12.00	33.60	-19.34	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1

各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力、SS-RSRP 受信電力測定値を以下に示す。

図表 3-82 1F 多目的ホール内壁  
各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力と測定結果

測定点ID	算出式による 受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
f3	-115.87	-101.10	-101.13	1.96	-103.60	-98.70
f4	-114.68	-98.70	-98.83	2.04	-101.60	-96.20
f5	-115.38	-100.50	-100.83	2.43	-104.30	-97.80
f6	-116.64	-99.60	-99.62	2.23	-102.60	-96.70
f7	-119.53	-103.00	-103.13	2.62	-106.70	-99.90
f8	-120.09	-100.30	-100.27	3.37	-104.40	-96.00
f9	-124.55	-101.70	-99.41	2.98	-105.30	-97.60
f10	-117.97	-97.30	-97.76	3.05	-102.20	-94.40
f11	-126.94	-100.80	-100.90	2.68	-104.30	-97.50

なお、上記算出式による受信電力は、以下のパラメータ値を使用し、算出している。

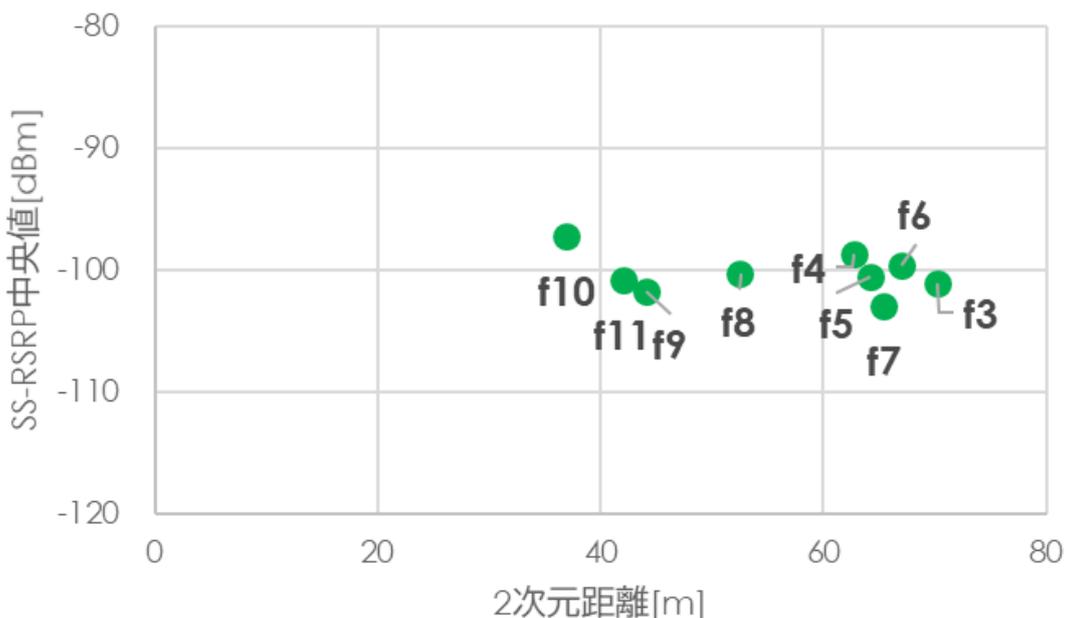
図表 3-83 1F 多目的ホール内壁 受信電力算出条件

中心周波数 [GHz]	4.85
精緻化対象パラメータ	
B列算出式で使用了K	0
B列算出式で使用了S	32.5
B列算出式で使用了R	16.2

それぞれの測定点における横軸：基地局からの距離、縦軸：SS-RSRP 中央値のグラフを示す。測定点により壁損失、基地局アンテナ放射パターンが異なるため、基地局からの距離に比例する形で SS-RSRP 測定値が変化してなく、-95~-105dBm の範囲に収まっている。

図表 3-84 1F 多目的ホール内壁  
基地局からの距離による SS-RSRP 受信電力測定値

### 実測値 SS-RSRP中央値



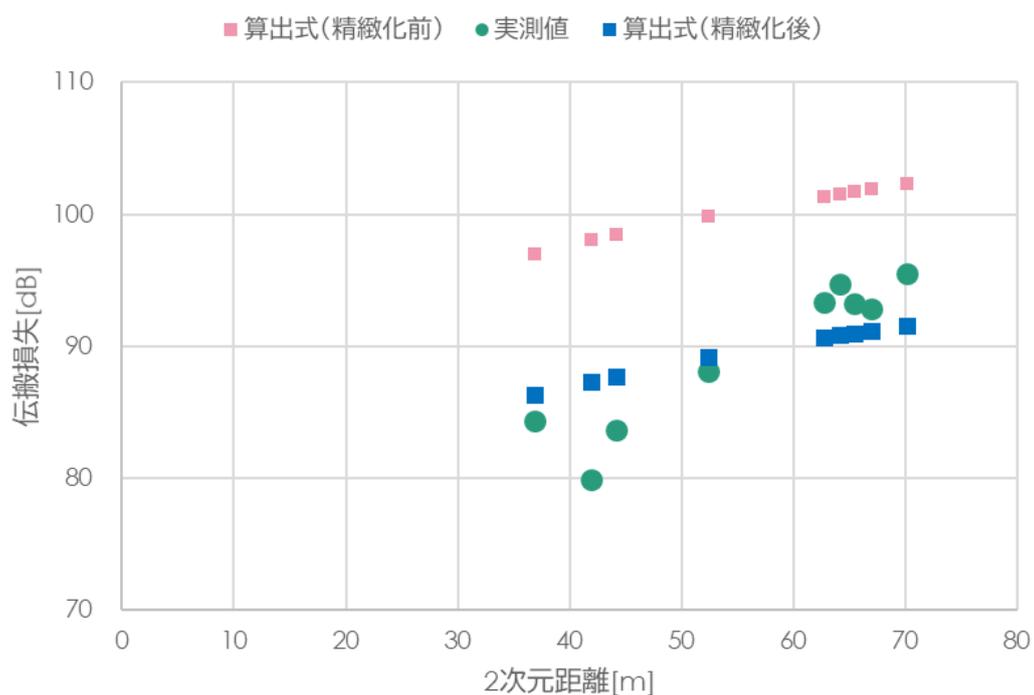
精緻化方法の記載で説明した上記 9 測定点における SS-RSRP 測定値から求まる伝搬損失  $L_{mes. (i)}$  と算出式から求まる伝搬損失  $L_{pred. (i)}$  を用いて、最小二乗法により精緻化 R の値、ならびに平均二乗偏差 RMSE を以下の通り求めた。精緻化後の R の値は、5.46 となり、仮説の 16.2 と比べ大幅に小さい値となった。仮説としては、多目的ホールの外壁も考慮し、コンクリートを想定することで、電波伝搬シミュレータのコンクリート [Light] の値を使用した。内壁 (LGS、ガラスウール、石膏ボード) 1 枚ではそこまでの損失はなく、5.5dB 程度の侵入損であることが分かった。また、精緻化後の RMSE が小さくなっていることから、精緻化の有効性も確認できた。

図表 3-85 1F 多目的ホール内壁 精緻化前後のパラメータ R 値と RMSE 値

精緻化前後	パラメータ R	RMSE
精緻化前	16.20	11.36
精緻化後	5.46	3.69

精緻化前後の算出式による伝搬損失、ならびに実測値から求まる伝搬損失の比較グラフを示す。精緻化前後で算出式による伝搬損失は実測値に近い結果となり精緻化後のR値を使用することで実測値に近いカバーエリア、調整対象区域の算出が可能となる。

図表 3-86 1F 多目的ホール内壁  
 精緻化前後の算出式による伝搬損失と実測伝搬損失の比較  
 伝搬損失の比較



(2) 測定 No.02 1F 多目的ホール内壁 + 外壁 R の精緻化

以下に電波伝搬パラメータ R として電波伝搬シミュレータで使用されているコンクリート[Light]の値 16.2dB、開放地 S=32.5 を使用した時の 1F 多目的ホールのカバーエリア、調整対象区域、並びに多目的ホール内壁 + 多目的ホール外壁 R の精緻化を行うための受信レベル(SS-RSRP)測定点を示す。測定点は多目的ホール天井に設置した基地局との距離が異なり、間に多目的ホールの外壁であるコンクリート壁、および、多目的ホール内壁である LGS、ガラスウール、石膏ボードの 2 枚の壁を挟む多目的ホール屋外に 10 地点設定した。

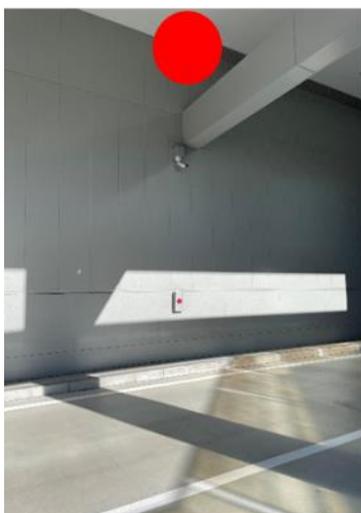
図表 3-87 パシフィコ横浜ノース 1F 多目的ホール内壁 + 外壁 R の精緻化 測定点



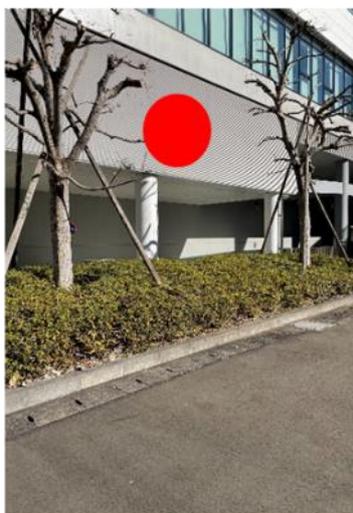
以下に 10 の測定点において基地局設置方向を向いた状態で撮影した写真を示す。いずれの測定点も多目的ホール外壁が正面にあり、e3、e4、o12、o13、o14 は天井のある駐車場となり、柱が散見される。

図表 3-88 多目的ホール内壁 + 外壁 測定点から基地局設置方向を見た写真

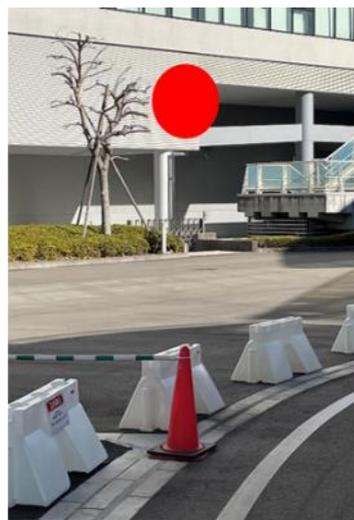
● 壁を隔てた場所にある基地局の位置



測定点 o11



測定点 e1



測定点 e2



測定点 o1



測定点 o2



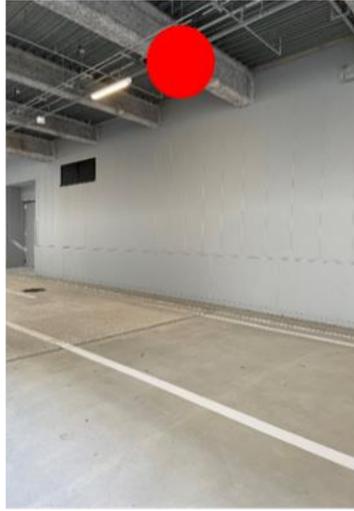
測定点 e3



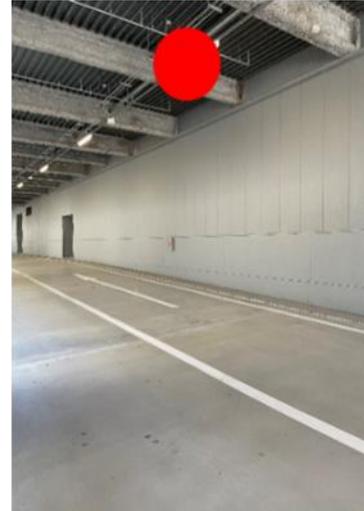
測定点 e4



測定点 o12



測定点 o13



測定点 o14

各測定点における基地局との距離、基地局アンテナ条件、測定機アンテナ条件、LOS/NLOS 条件を表に示す。

図表 3-89 1F 多目的ホール内壁 + 外壁 各測定点における条件

測定点 ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dBi]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dBi]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
e1	68.90	68.09	0.00	12.00	33.60	-20.74	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e2	93.78	93.19	0.00	12.00	33.60	-20.37	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e3	85.58	84.94	0.00	12.00	33.60	-10.99	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
e4	103.45	102.92	0.00	12.00	33.60	-11.01	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o1	49.15	48.01	0.00	12.00	33.60	-10.82	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o2	59.91	58.98	0.00	12.00	33.60	-10.91	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o11	54.80	53.78	0.00	12.00	33.60	-22.21	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o12	53.06	52.01	0.00	12.00	33.60	-21.73	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o13	72.41	71.64	0.00	12.00	33.60	-11.06	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
o14	84.41	83.75	0.00	12.00	33.60	-9.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1

各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力、SS-RSRP 受信電力測定値を以下に示す。

図表 3-90 1F 多目的ホール内壁 + 外壁  
各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力と測定結果

測定点ID	算出式による 受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
e1	-132.38	-119.80	-119.71	2.65	-123.10	-116.30
e2	-134.68	-125.10	-124.92	4.03	-130.30	-119.34
e3	-124.53	-119.10	-119.38	2.56	-122.60	-116.30
e4	-126.19	-125.90	-125.78	3.42	-130.10	-121.30
o1	-119.53	-113.40	-113.22	4.18	-118.70	-107.40
o2	-121.34	-115.10	-115.10	3.03	-118.90	-111.00
o11	-131.86	-115.60	-115.81	2.93	-119.80	-112.10
o12	-131.10	-112.20	-112.05	2.60	-115.30	-108.40
o13	-123.12	-117.60	-117.79	2.55	-121.10	-114.70
o14	-122.39	-124.50	-124.96	2.75	-128.70	-121.90

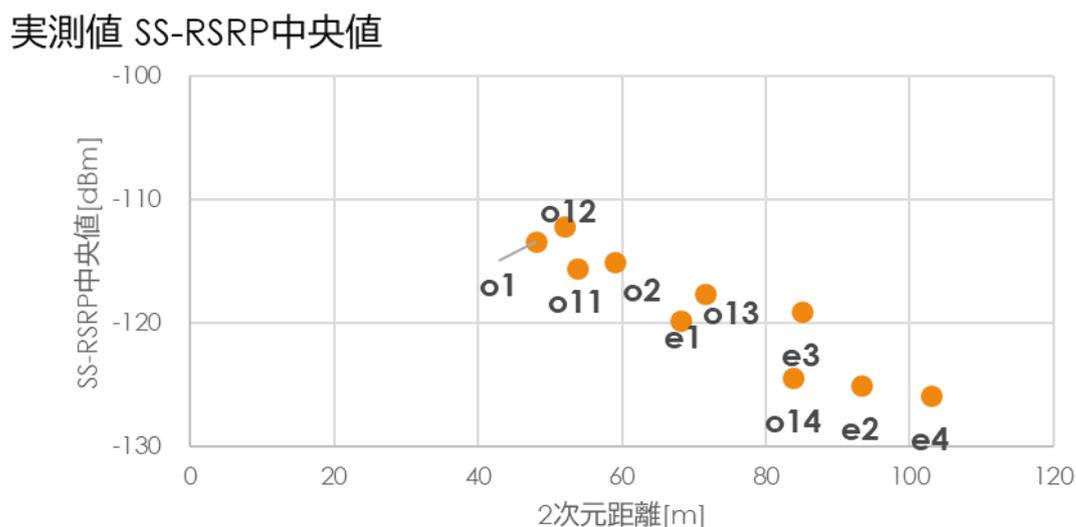
なお、上記算出式による受信電力は、以下のパラメータ値を使用し、算出している。

図表 3-91 1F 多目的ホール内壁 + 外壁 受信電力算出条件

中心周波数 [GHz]	4.85
精緻化対象パラメータ	
B列算出式で使用了K	0
B列算出式で使用了S	32.5
B列算出式で使用了R	16.2

各測定点における横軸：基地局からの距離、縦軸：SS-RSRP 中央値のグラフを示す。各測定点環境の特異な遮蔽物の影響は少なく、基地局からの距離に比例する形で SS-RSRP 測定値が変化していることが分かる。

図表 3-92 1F 多目的ホール内壁 + 外壁  
基地局からの距離による SS-RSRP 受信電力測定値



精緻化方法の記載で説明した上記 10 測定点における SS-RSRP 測定値から求まる伝搬損失  $L_{mes. (i)}$  と算出式から求まる伝搬損失  $L_{pred. (i)}$  を用いて、最小二乗法により精緻化 R の値、ならびに平均二乗偏差 RMSE を以下の通り求めた。精緻化後の R の値は、16.32 となり、仮説の 16.2 に近い値となった。

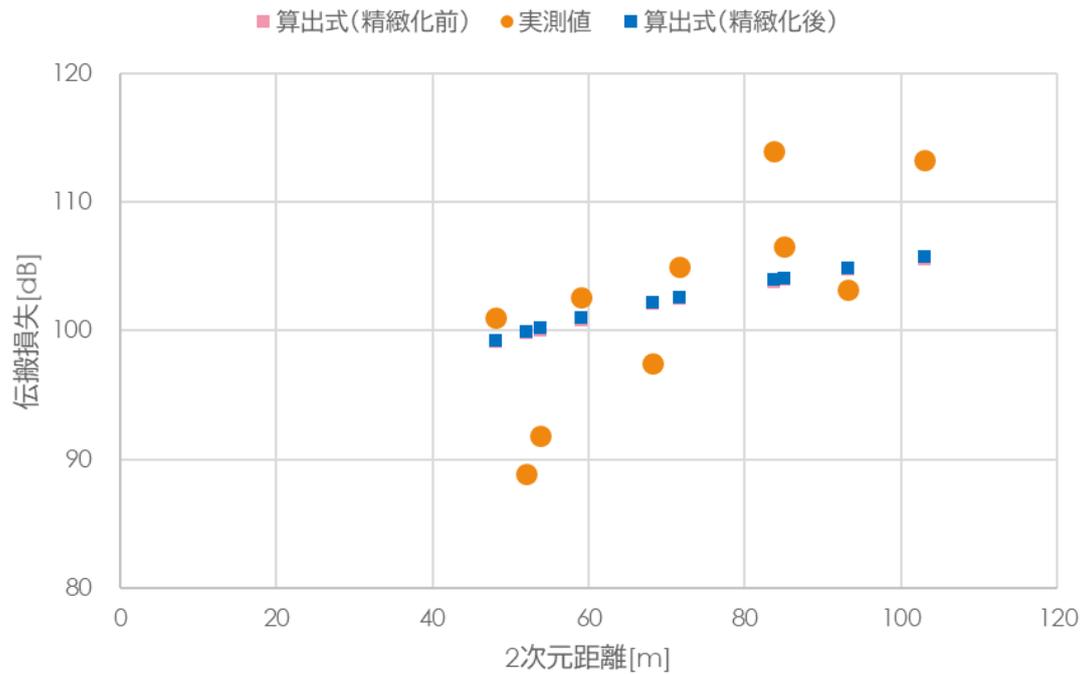
仮説としては、多目的ホールの外壁を考慮し、コンクリートを想定することで、電波伝搬シミュレータのコンクリート [Light] の値を使用した。壁の材質、枚数を調べると想定していたコンクリート 1 枚壁ではなく、多目的ホール内壁の LGS (軽量鉄骨)、グラスウール、石膏ボードも含めた 2 枚の損失で 16.2 に近い値になることが分かった。前述の多目的ホール内壁の精緻化された  $R=5.46$  より、外壁コンクリート 1 枚の R 値は  $16.32 - 5.46 = 10.86$  であることが導出できる。材質ごとに R 値を精緻化することで、複数枚の壁を挟む環境において加算することで通過した壁トータルの精緻化された R 値を求めることができる。

図表 3-93 1F 多目的ホール内壁 + 外壁 精緻化前後のパラメータ R 値と RMSE 値

精緻化前後	パラメータ R	RMSE
精緻化前	16.20	6.26
精緻化後	16.32	6.26

精緻化前後の算出式による伝搬損失、ならびに実測値から求まる伝搬損失の比較グラフを示す。精緻化前後でR値の変化がほとんどなかったため、精緻化前後で実測値との差分にも変化がない。

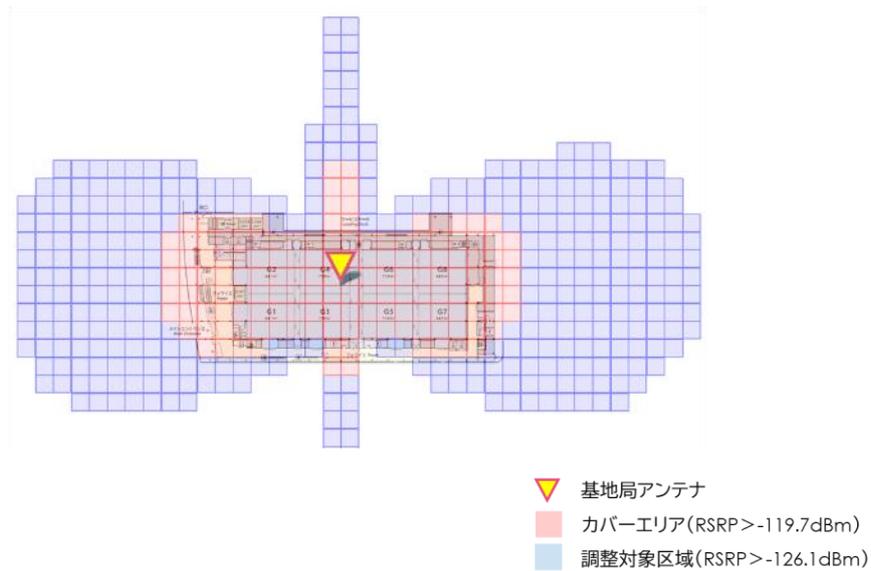
図表 3-94 1F 多目的ホール内壁 + 外壁  
 精緻化前後の算出式による伝搬損失と実測伝搬損失の比較  
 伝搬損失の比較



精緻化前後のカバーエリア、調整対象区域の図を示す。パラメータ R 値の差が微小のため、エリア図もほぼ同様となる。

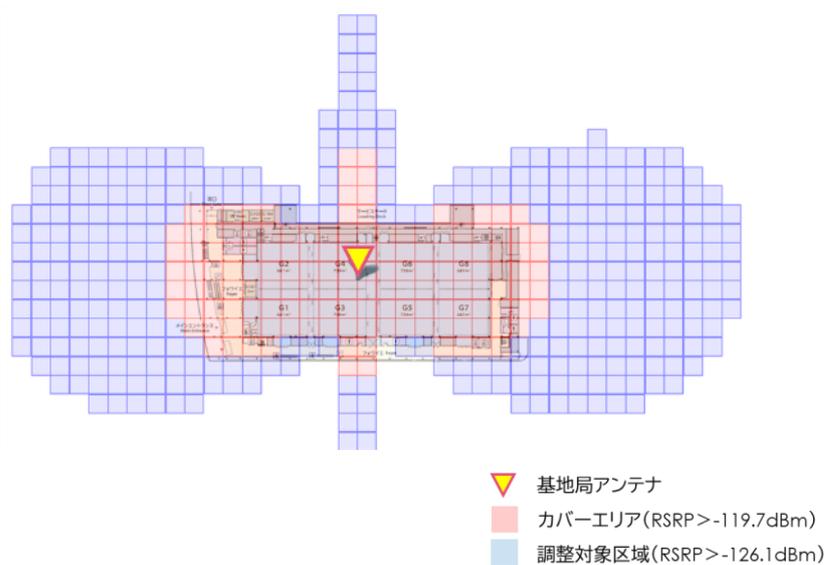
図表 3-95 1F 多目的ホール内壁 + 外壁 精緻化前カバーエリア図

精緻化前の仮説によるカバーエリア図  
S:開放地 32.5、R:16.20



図表 3-96 1F 多目的ホール内壁 + 外壁 精緻化後カバーエリア図

精緻化後のパラメータによるカバーエリア図  
S:開放地 32.5、R:16.32



### (3) 測定 No.03 2F ガーデンラウンジガラス壁 R の精緻化

以下に電波伝搬パラメータ R として電波伝搬シミュレータで使用されているガラスの値 4.4dB、開放地 S=32.5 を使用した時の 2F ガーデンラウンジのカバーエリア、調整対象区域、並びにガラス壁を挟む屋外環境における受信レベル(SS-RSRP)測定点を示す。実測データのゆらぎを抑えるため、73 の多くの地点で測定を行った。

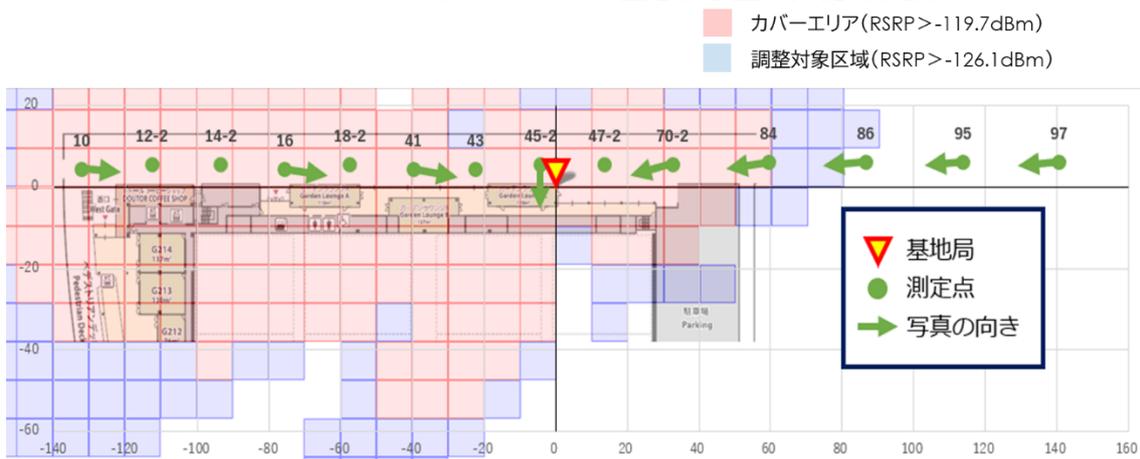
それぞれのエリア端における受信電力の測定、検証については、3.3.1 ローカル 5 G の電波伝搬特性等の測定で仮説の R 値=4.4dB を使用し、検証済みである。

図表 3-97 2F ガーデンラウンジ ガラス壁を挟む屋外環境 測定点



以下に多くの測定点の中から厳選した地点において撮影した写真、ならびに基地局の位置を示す。いずれの測定点もガラス壁を挟んだ屋外歩行者デッキ上であり、基地局からの距離が異なる 73 地点で受信レベルを測定し、ガラス壁パラメータ R の精緻化を行った。

図表 3-98 2F ガーデンラウンジ ガラス壁を挟む屋外環境 測定点サンプル



図表 3-99 2F ガーデンラウンジガラス壁 測定点から基地局設置方向を見た写真

● 基地局の位置

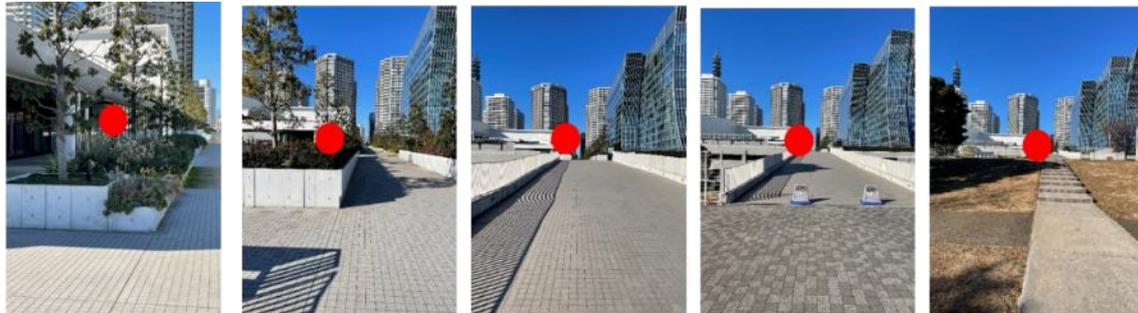


測定点 10

測定点 16

測定点 41

測定点 45-2



測定点 70-2

測定点 84

測定点 86

測定点 95

測定点 97

以下は基地局設置場所であるガーデンラウンジC内の様子、基地局アンテナを示す。

図表 3-100 2F ガーデンラウンジC内 基地局設置状態



設置場所ガーデンラウンジC 内の様子  
赤矢印の場所に基地局を自立設置



基地局アンテナ (赤丸)

各測定点における基地局との距離、基地局アンテナ条件、測定機アンテナ条件、LOS/NLOS 条件を表に示す。

図表 3-101 2F ガーデンラウンジガラス壁 各測定点における条件

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf [dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
1	133.01	133.01	0.00	23.00	11.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
2-1	125.02	125.02	0.00	23.00	11.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
2-2	125.27	125.27	0.00	23.00	11.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
3-1	113.36	113.36	0.00	23.00	11.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
3-2	113.64	113.64	0.00	23.00	10.70	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
4	103.12	103.12	0.00	23.00	10.70	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
5-1	94.17	94.17	0.00	23.00	11.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
5-2	94.51	94.51	0.00	23.00	10.50	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
6-1	85.06	85.06	0.00	23.00	10.70	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
6-2	85.43	85.43	0.00	23.00	10.20	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
7	76.63	76.63	0.00	23.00	10.20	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
8-1	67.69	67.69	0.00	23.00	10.20	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
8-2	68.16	68.15	0.00	23.00	9.50	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
9-1	58.49	58.49	0.00	23.00	10.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
9-2	59.03	59.03	0.00	23.00	9.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
10	132.56	132.56	0.00	23.00	11.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
11-1	124.61	124.61	0.00	23.00	11.50	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
11-2	124.70	124.70	0.00	23.00	11.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
12-1	112.92	112.92	0.00	23.00	11.50	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
12-2	113.02	113.02	0.00	23.00	11.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
13	102.55	102.55	0.00	23.00	11.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
14-1	93.63	93.63	0.00	23.00	11.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
14-2	93.75	93.75	0.00	23.00	11.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
15-1	84.47	84.47	0.00	23.00	11.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
15-2	84.60	84.60	0.00	23.00	11.30	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
16	75.86	75.86	0.00	23.00	11.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
17-1	66.94	66.94	0.00	23.00	11.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
17-2	67.11	67.11	0.00	23.00	11.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
18-1	57.62	57.62	0.00	23.00	11.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
18-2	57.82	57.82	0.00	23.00	11.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
32	49.93	49.93	0.00	23.00	8.50	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
33-1	41.19	41.18	0.00	23.00	7.90	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
33-2	41.95	41.94	0.00	23.00	6.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
34-1	32.85	32.85	0.00	23.00	5.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
34-2	33.80	33.80	0.00	23.00	1.90	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
35	25.32	25.32	0.00	23.00	-3.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
36-1	17.15	17.14	0.00	23.00	-5.20	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
36-2	18.90	18.90	0.00	23.00	-2.20	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
37-1	11.28	11.27	0.00	23.00	-12.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
37-2	13.81	13.80	0.00	23.00	-16.20	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
38	12.63	12.62	0.00	23.00	-17.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
39-1	17.15	17.14	0.00	23.00	-13.20	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
39-2	18.90	18.90	0.00	23.00	-14.70	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
40	48.74	48.74	0.00	23.00	10.90	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
41	40.09	40.09	0.00	23.00	10.90	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
42	31.47	31.46	0.00	23.00	10.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
43	22.89	22.88	0.00	23.00	9.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
44-1	13.90	13.90	0.00	23.00	9.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
44-2	14.69	14.68	0.00	23.00	2.80	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
45-1	5.16	5.13	0.00	23.00	-9.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
45-2	7.00	6.99	0.00	23.00	-3.30	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
46	6.51	6.49	0.00	23.00	-14.80	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
62	31.46	31.45	0.00	23.00	11.18	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
63	33.93	33.92	0.00	23.00	10.33	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
66-1	24.76	24.75	0.00	23.00	-10.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
66-2	26.01	26.00	0.00	23.00	-12.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
67-1	34.20	34.20	0.00	23.00	-6.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
67-2	35.12	35.11	0.00	23.00	-9.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
68-1	46.71	46.71	0.00	23.00	-5.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
68-2	47.39	47.38	0.00	23.00	-5.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
69-1	22.64	22.63	0.00	23.00	-4.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
69-2	23.13	23.12	0.00	23.00	-5.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
70-1	32.70	32.69	0.00	23.00	-5.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
70-2	33.04	33.04	0.00	23.00	-4.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
82	42.64	42.63	0.00	23.00	-14.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
83	51.99	51.99	0.00	23.00	-13.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
84	59.70	59.69	0.00	23.00	-4.50	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
85	73.22	73.22	0.00	23.00	-5.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
92	58.24	58.23	0.00	23.00	-15.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
93	55.67	55.67	0.00	23.00	-25.10	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
95	113.87	113.86	0.00	23.00	-5.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
96	127.09	127.09	0.00	23.00	-5.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
97	140.64	140.64	0.00	23.00	-5.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1

各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力、SS-RSRP 受信電力測定値を以下に示す。

図表 3-102 2F ガーデンラウンジガラス壁  
各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力と測定結果

測定点ID	算出式による 受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
1	-118.17	-122.00	-122.89	3.80	-119.00	-128.22
2-1	-117.22	-122.10	-122.60	4.34	-117.60	-129.00
2-2	-117.25	-118.10	-118.65	4.88	-113.10	-125.10
3-1	-115.73	-123.70	-124.17	3.42	-120.04	-128.60
3-2	-116.06	-115.10	-115.32	2.82	-111.80	-118.91
4	-114.58	-112.70	-112.71	2.35	-109.60	-115.60
5-1	-112.53	-109.70	-109.88	2.14	-107.20	-112.80
5-2	-113.11	-108.65	-109.12	2.81	-105.90	-112.90
6-1	-110.69	-109.20	-109.60	2.87	-106.34	-112.90
6-2	-111.28	-111.50	-111.85	3.81	-107.00	-116.90
7	-108.99	-113.20	-113.21	4.21	-107.79	-119.31
8-1	-106.38	-111.90	-111.69	3.25	-107.10	-115.40
8-2	-107.23	-114.40	-114.18	3.32	-109.30	-118.20
9-1	-103.51	-112.60	-112.60	2.55	-109.30	-115.60
9-2	-104.60	-111.60	-111.65	3.25	-107.40	-115.60
10	-117.52	-119.80	-120.50	3.03	-117.30	-124.70
11-1	-116.67	-121.50	-122.43	4.01	-118.00	-128.10
11-2	-116.79	-122.70	-123.28	4.06	-118.30	-128.60
12-1	-115.17	-120.10	-120.73	3.86	-116.40	-125.76
12-2	-115.28	-123.85	-124.03	3.97	-119.07	-129.33
13	-113.59	-116.70	-117.13	2.51	-114.30	-120.28
14-1	-111.81	-117.50	-117.33	3.34	-112.27	-121.50
14-2	-112.04	-107.60	-108.07	2.78	-105.02	-111.28
15-1	-109.64	-107.60	-108.22	3.75	-103.80	-113.50
15-2	-109.98	-102.80	-103.39	3.65	-99.60	-107.50
16	-107.58	-108.60	-108.44	3.28	-104.00	-112.50
17-1	-104.75	-107.30	-107.80	4.24	-102.60	-113.40
17-2	-105.40	-108.50	-108.84	3.54	-104.56	-113.20
18-1	-101.79	-109.85	-110.66	3.76	-106.70	-115.80
18-2	-102.26	-111.70	-111.70	3.65	-107.06	-116.24
32	-101.68	-113.00	-113.04	3.12	-108.90	-117.10
33-1	-98.23	-108.90	-109.02	2.74	-105.50	-112.50
33-2	-100.12	-109.00	-109.65	3.31	-106.20	-114.60
34-1	-98.40	-107.30	-107.70	3.43	-103.60	-112.32
34-2	-102.15	-110.35	-110.31	3.15	-106.40	-114.40
35	-104.65	-107.60	-107.35	3.11	-103.45	-111.25
36-1	-103.37	-103.50	-103.38	3.63	-98.50	-107.97
36-2	-101.22	-103.40	-104.16	3.59	-100.30	-109.10
37-1	-106.95	-100.90	-101.32	3.73	-96.80	-106.60
37-2	-112.50	-103.80	-103.50	3.35	-99.04	-107.90
38	-112.93	-95.00	-94.98	3.03	-90.81	-98.90
39-1	-111.37	-86.40	-87.32	3.52	-83.80	-92.22
39-2	-113.72	-99.70	-98.94	5.37	-91.10	-104.80
40	-98.77	-109.60	-109.64	2.88	-106.00	-113.25
41	-94.65	-108.70	-108.92	2.57	-105.90	-112.29
42	-93.03	-106.30	-106.89	3.69	-102.80	-111.90
43	-91.26	-102.00	-102.51	3.70	-98.20	-108.20
44-1	-87.23	-99.85	-100.40	4.12	-95.80	-105.80
44-2	-94.01	-97.70	-98.18	2.73	-95.10	-101.70
45-1	-97.13	-95.30	-95.58	3.01	-91.90	-99.50
45-2	-93.70	-97.10	-97.42	3.47	-93.40	-101.70
46	-104.55	-84.80	-84.77	4.52	-79.10	-90.92
62	-92.24	-82.10	-82.29	4.50	-75.81	-87.99
63	-93.76	-87.00	-87.48	3.88	-82.60	-92.70
66-1	-111.95	-96.80	-97.27	3.42	-93.20	-101.56
66-2	-114.38	-97.50	-98.00	3.35	-94.00	-102.89
67-1	-110.25	-96.50	-97.54	4.61	-92.70	-105.00
67-2	-113.48	-109.00	-109.13	4.11	-103.58	-114.50
68-1	-113.88	-113.15	-113.47	3.54	-109.37	-118.30
68-2	-114.18	-112.90	-113.49	4.06	-108.42	-119.18
69-1	-105.16	-93.80	-94.26	3.62	-89.90	-99.10
69-2	-105.85	-96.50	-97.27	3.75	-92.90	-102.10
70-1	-108.86	-95.60	-95.56	5.51	-88.00	-102.24
70-2	-107.95	-112.90	-112.96	3.75	-108.10	-117.70
82	-121.49	-119.40	-119.78	3.25	-116.00	-123.70
83	-124.15	-116.00	-116.28	2.49	-113.30	-119.50
84	-118.44	-112.80	-113.38	2.84	-110.30	-117.36
85	-123.23	-111.40	-111.87	2.66	-108.84	-115.80
92	-128.45	-121.30	-122.09	3.83	-117.70	-127.66
93	-137.63	-125.70	-126.10	3.30	-122.20	-130.60
95	-131.79	-120.00	-120.39	3.77	-116.10	-125.30
96	-133.48	-123.00	-123.45	3.74	-119.10	-128.60
97	-135.03	-127.70	-128.01	3.19	-123.97	-132.50

なお、上記算出式による受信電力は、以下のパラメータ値を使用し、算出している。

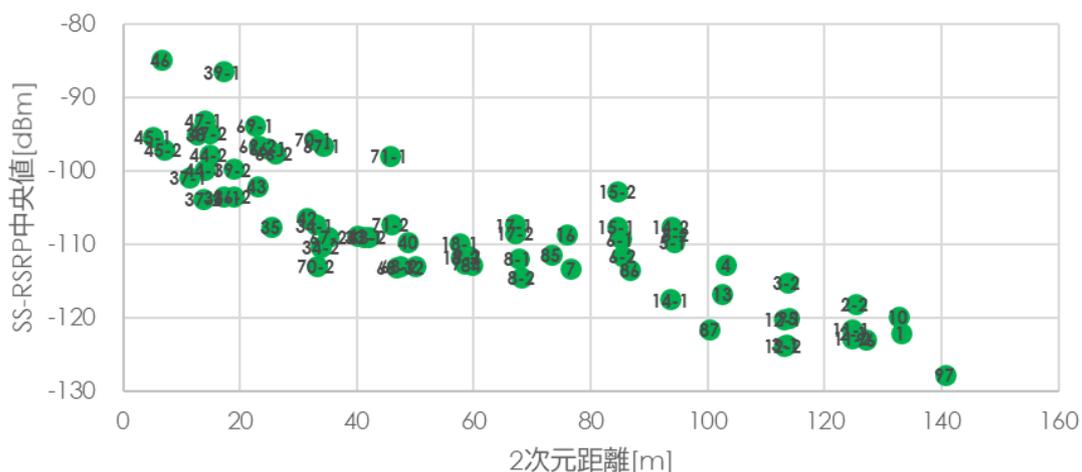
図表 3-103 2F ガーデンラウンジガラス壁 受信電力算出条件

中心周波数 [GHz]	4.75
精緻化対象パラメータ	
B列算出式で使用了K	0
B列算出式で使用了S	32.5
B列算出式で使用了R	4.4

各測定点における横軸：基地局からの距離、縦軸：SS-RSRP 中央値のグラフを示す。基地局からの距離に比例する形で SS-RSRP 測定値が変化していることが分かる。

図表 3-104 2F ガーデンラウンジガラス壁  
基地局からの距離による SS-RSRP 受信電力測定値

### 実測値 SS-RSRP中央値



精緻化方法の記載で説明した上記 73 測定点における SS-RSRP 測定値から求まる伝搬損失  $L_{mes. (i)}$  と算出式から求まる伝搬損失  $L_{pred. (i)}$  を用いて、最小二乗法により精緻化 R の値、ならびに平均二乗偏差 RMSE を以下の通り求めた。精緻化後の R の値は、11.36 となり、仮説の 4.4 に比べ 2 倍以上大きい値となった。仮説としては、電波伝搬シミュレータのガラスの値を使用した。実際のガラスは 2 枚構造の Low-E 複層ガラスが使用されており、ガラスの表面に Low-E 膜といわれる特殊な金属膜 (酸化錫や銀) がコーティングされているため、さらに損失が大きくなったものとする。R 値の仮説を立てる際は、詳細な壁条件の調査が必要である。精緻化後の RMSE が小さくなっていることから、精緻化の有効性も確認できた。

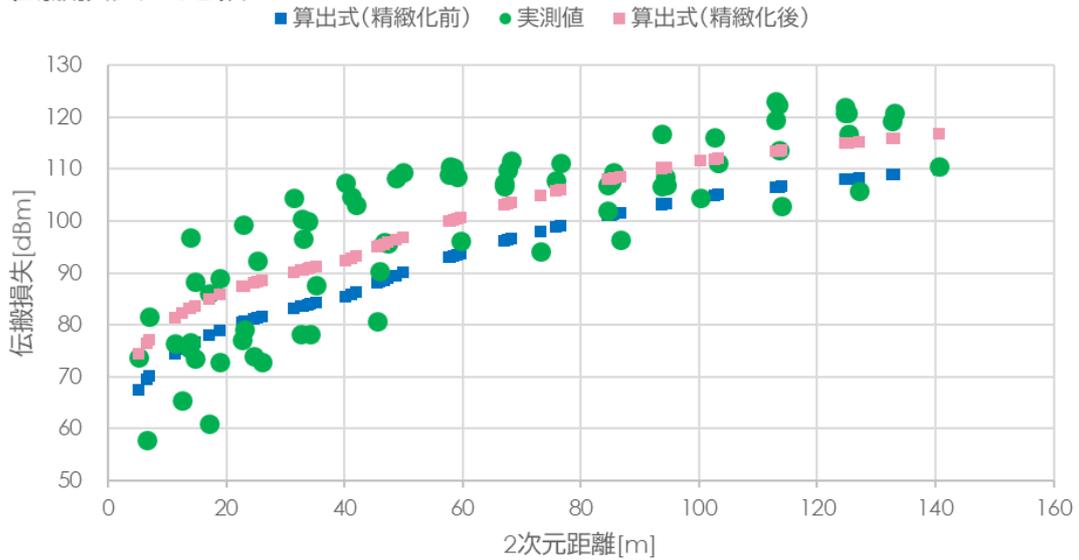
図表 3-105 2F ガーデンラウンジガラス壁 精緻化前後のパラメータ R 値と RMSE 値

精緻化前後	パラメータ R	RMSE
精緻化前	4.40	11.41
精緻化後	11.36	9.05

精緻化前後の算出式による伝搬損失、ならびに実測値から求まる伝搬損失の比較グラフを示す。精緻化前後で算出式による伝搬損失は実測値に近い結果となり精緻化後の R 値を使用することで実測値に近いカバーエリア、調整対象区域の算出が可能となる。

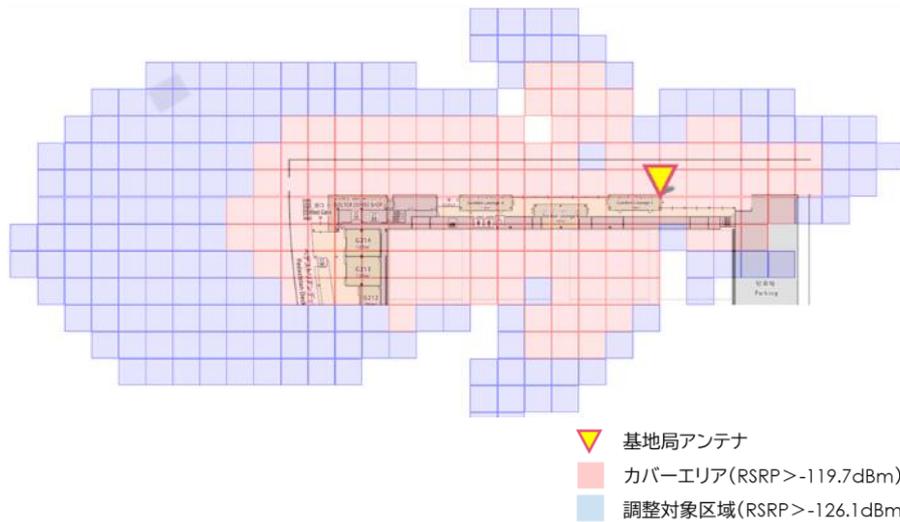
図表 3-106 2F ガーデンラウンジガラス壁  
精緻化前後の算出式による伝搬損失と実測伝搬損失の比較

伝搬損失の比較

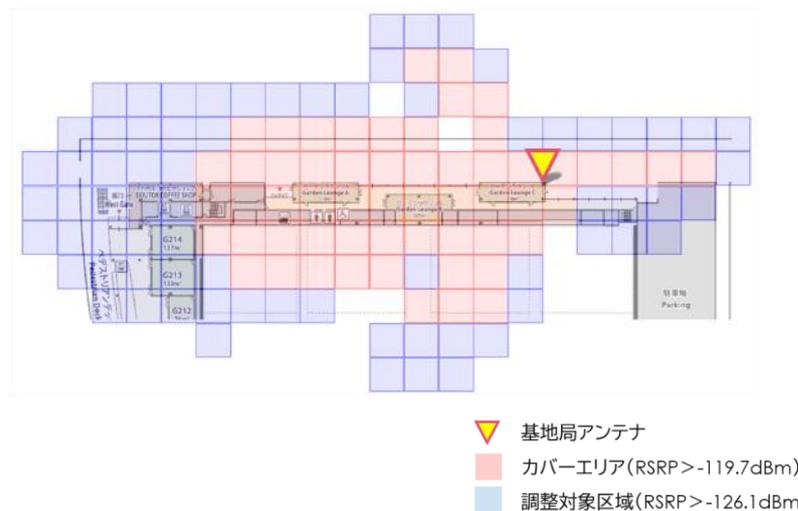


精緻化前後のカバーエリア、調整対象区域の図を示す。仮説ではガラスによる損失は小さく見積もっていたが、実際に使用されているガラスは、機能性の断熱ガラス（Low-E 複層ガラス）のため、伝搬損失が大きくなり、カバーエリアを狭く考えて良いことが分かる。

**図表 3-107 2F ガーデンラウンジガラス壁 精緻化前カバーエリア図**  
 精緻化前の仮説によるカバーエリア図  
 S:開放地 32.5、R:4.4



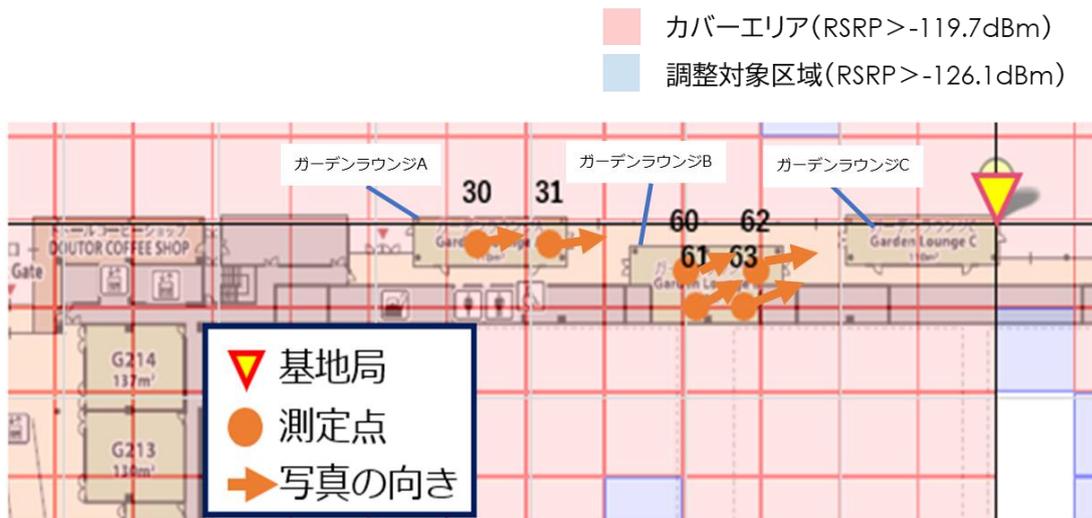
**図表 3-108 2F ガーデンラウンジガラス壁 精緻化後カバーエリア図**  
 精緻化後のパラメータによるカバーエリア図  
 S:開放地 32.5、R:11.36



#### (4) 測定 No.04 2F ガーデンラウンジ内ガラス壁 R の精緻化

以下に電波伝搬パラメータ R として電波伝搬シミュレータで使用されているガラスの値 4.4dB、開放地 S=32.5 を使用した時の 2F ガーデンラウンジのカバーエリア、調整対象区域、並びにガラス壁を挟む屋内環境ガーデンラウンジ A、B 内における測定点を示す。精緻化を行うにあたり、ガーデンラウンジ A 内の測定点 30、31 において算出式から求める受信電力より 20dB 以上高いレベルが測定されたため、ガーデンラウンジ A 内(30、31 の 2 点)とガーデンラウンジ B 内(60、61、62、63 の 4 点)で分けてパラメータ R の精緻化を行うこととした。

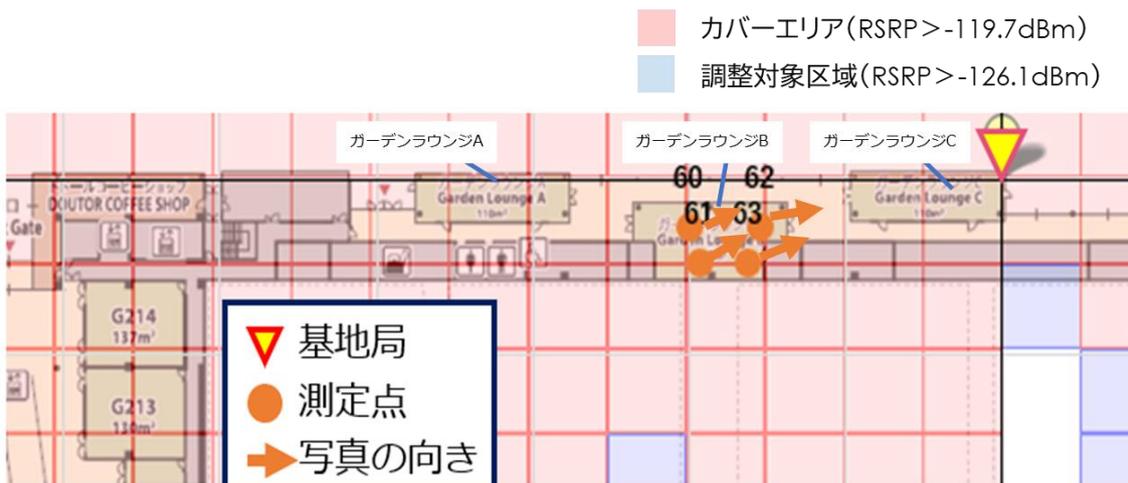
図表 3-109 2つのガーデンラウンジの屋内ガラス壁を挟む箇所 測定点



(4-1) ガーデンラウンジ B の屋内ガラス壁の精緻化

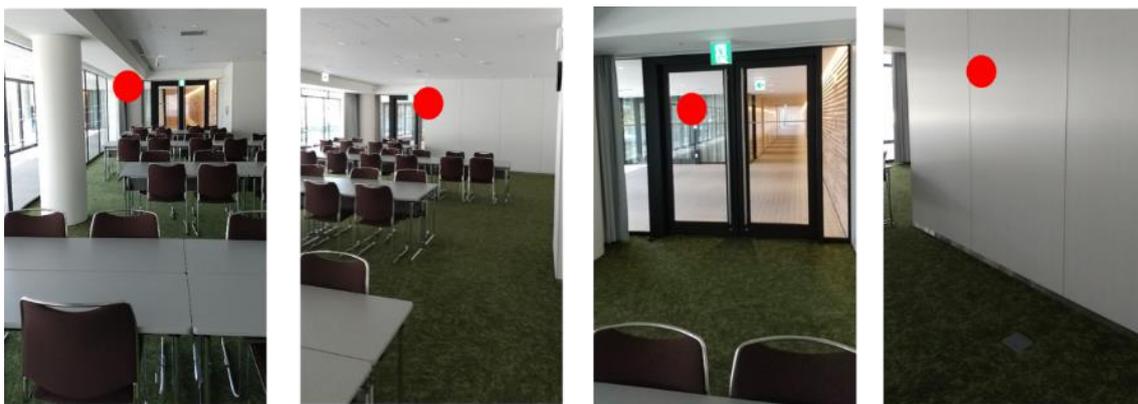
ガーデンラウンジ B 内の測定点を以下に示す。ガーデンラウンジ C の隅に設置した基地局との間にガーデンラウンジ B のガラス壁を挟む測定点となる。測定点 61、63 についてはガーデンラウンジ B 内の壁による損失が含まれる可能性がある。

図表 3-110 ガーデンラウンジ B の屋内ガラス壁を挟む箇所 測定点



図表 3-111 2F ガーデンラウンジ B 測定点から基地局設置方向を見た写真

● 基地局の位置



測定点 60

測定点 61

測定点 62

測定点 63

各測定点における基地局との距離、基地局アンテナ条件、測定機アンテナ条件、LOS/NLOS 条件を表に示す。

図表 3-112 ガーデンラウンジ B の屋内ガラス壁 各測定点における条件

測定点 ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dBi]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dBi]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
60	40.52	40.52	0.00	2.00	23.00	11.47	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
61	39.88	39.88	0.00	2.00	23.00	10.61	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
62	31.46	31.45	0.00	2.00	23.00	11.18	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
63	33.93	33.92	0.00	2.00	23.00	10.33	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1

各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力、SS-RSRP 受信電力測定値を以下に示す。

図表 3-113 2F ガーデンラウンジ B の屋内ガラス壁 各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力と測定結果

測定点ID	算出式による 受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
60	-94.31	-83.50	-84.37	3.28	-80.90	-88.50
61	-94.88	-84.65	-85.23	4.38	-80.20	-90.70
62	-92.24	-82.10	-82.29	4.50	-75.81	-87.99
63	-93.76	-87.00	-87.48	3.88	-82.60	-92.70

なお、上記算出式による受信電力は、以下のパラメータ値を使用し、算出している。

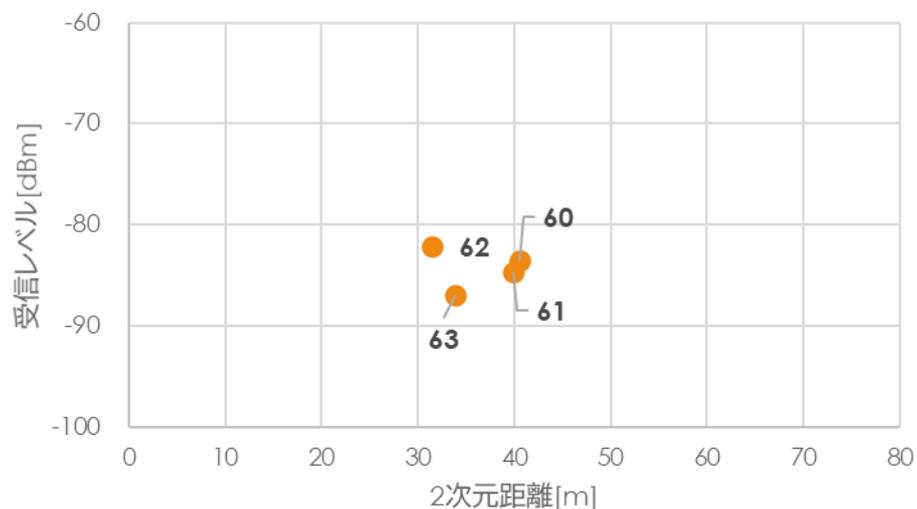
図表 3-114 2F ガーデンラウンジ B の屋内ガラス壁 受信電力算出条件

中心周波数 [GHz]	4.75
精緻化対象パラメータ	
B列算出式で使用了したK	0
B列算出式で使用了したS	32.5
B列算出式で使用了したR	4.4

各測定点における横軸：基地局からの距離、縦軸：SS-RSRP 中央値のグラフを示す。測定点 63 はガーデンラウンジ B 内隅の測定点のため、壁の影響により受信レベルが他の測定点より 3~5dB 低い結果となっている。

図表 3-115 2F ガーデンラウンジ B の屋内ガラス壁  
基地局からの距離による SS-RSRP 受信電力測定値

実測値 SS-RSRP中央値



精緻化方法の記載で説明した上記 6 つの測定点における SS-RSRP 測定値から求まる伝搬損失  $L_{mes. (i)}$  と算出式から求まる伝搬損失  $L_{pred. (i)}$  を用いて、最小二乗法により精緻化 R の値、ならびに平均二乗偏差 RMSE を以下の通り求めた。精緻化後の R の値は、2.92 となり、仮説の 4.4 に近い値となった。

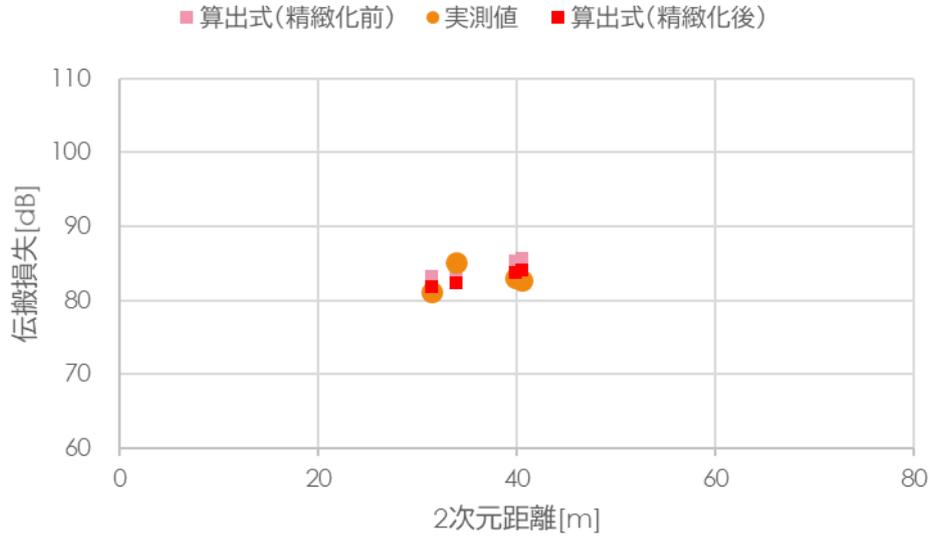
図表 3-116 2F ガーデンラウンジ B の屋内ガラス壁  
精緻化前後のパラメータ R 値と RMSE 値

精緻化前後	パラメータ R	RMSE
精緻化前	4.40	2.08
精緻化後	2.92	1.60

精緻化前後の算出式による伝搬損失、ならびに実測値から求まる伝搬損失の比較グラフを示す。精緻化前後で算出式による伝搬損失は実測値に近い結果となっており、精緻化後の R 値を使用することで実測値に近いカバーエリア、調整対象区域の算出が可能となる。

図表 3-117 2F ガーデンラウンジ B の屋内ガラス壁  
精緻化前後の算出式による伝搬損失と実測伝搬損失の比較

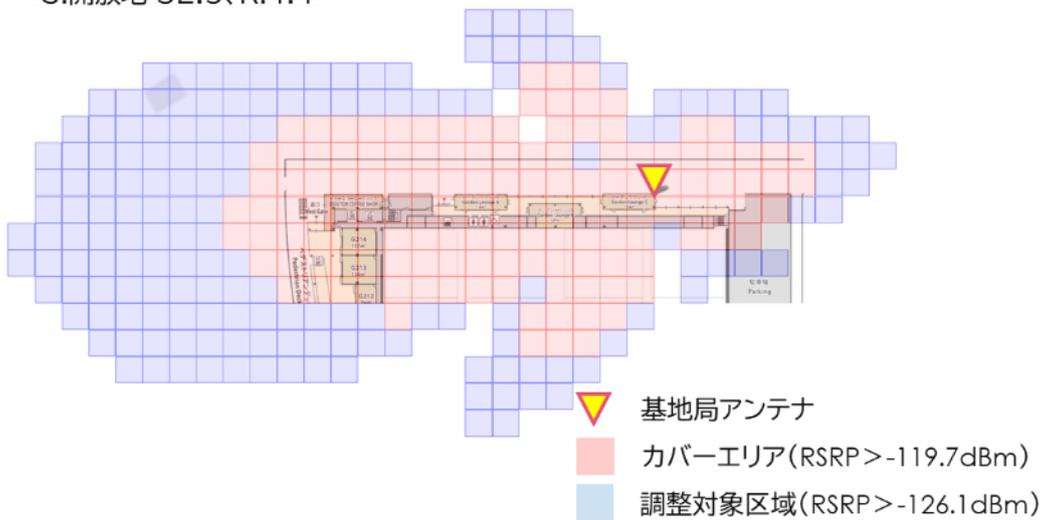
### 伝搬損失の比較



精緻化前後のカバーエリア、調整対象区域の図を示す。2階ガーデンラウンジB屋内ガラス壁の内側の限られた場所が対象であり、精緻化前後でカバーエリアであることに変化はない。

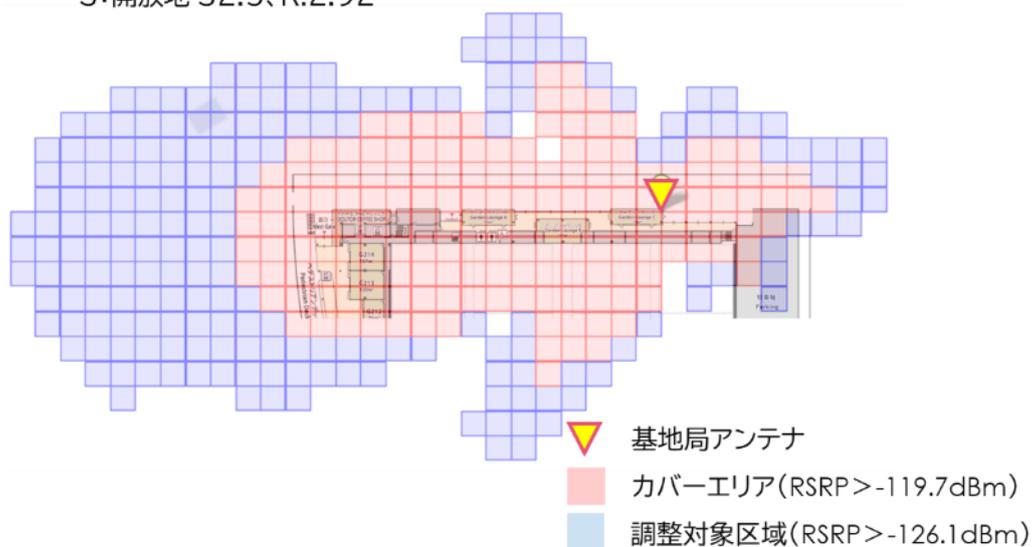
図表 3-118 2F ガーデンラウンジ B の屋内ガラス壁 精緻化前カバーエリア図

精緻化前の仮説によるカバーエリア図  
S:開放地 32.5、R:4.4



図表 3-119 2F ガーデンラウンジ B の屋内ガラス壁 精緻化後カバーエリア図

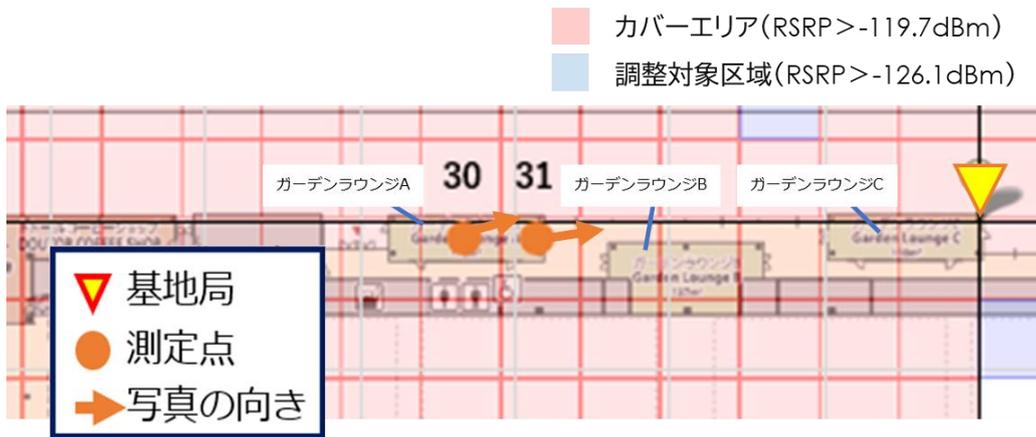
精緻化後のパラメータによるカバーエリア図  
S:開放地 32.5、R:2.92



(4-2) ガーデンラウンジ A の屋内ガラス壁の精緻化

ガーデンラウンジ A 内の測定点を以下に示す。ガーデンラウンジ C の隅に設置した基地局との間にガーデンラウンジ A のガラス壁を挟む測定点となる。

図表 3-120 ガーデンラウンジ A の屋内ガラス壁を挟む箇所 測定点

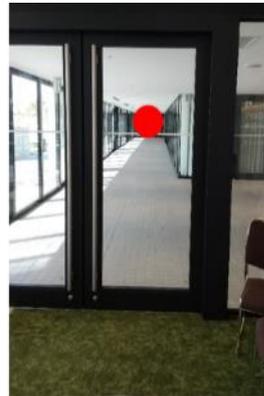


図表 3-121 2F ガーデンラウンジ A 測定点から基地局設置方向を見た写真

● 基地局の位置



測定点 30



測定点 31

各測定点における基地局との距離、基地局アンテナ条件、測定機アンテナ条件、LOS/NLOS 条件を表に示す。

図表 3-122 ガーデンラウンジ A の屋内ガラス壁 各測定点における条件

測定点 ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dBi]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dBi]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
30	66.92	66.92	0.00	2.00	23.00	11.80	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1
31	57.59	57.59	0.00	2.00	23.00	11.80	3.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1

各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力、SS-RSRP 受信電力測定値を以下に示す。

図表 3-123 2F ガーデンラウンジ A の屋内ガラス壁 各測定点における算出式による SS-RSRP 受信電力と測定結果

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
30	-104.54	-82.30	-82.34	3.45	-77.60	-87.23
31	-101.38	-84.30	-84.14	3.47	-79.60	-88.40

なお、上記算出式による受信電力は、以下のパラメータ値を使用し、算出している。

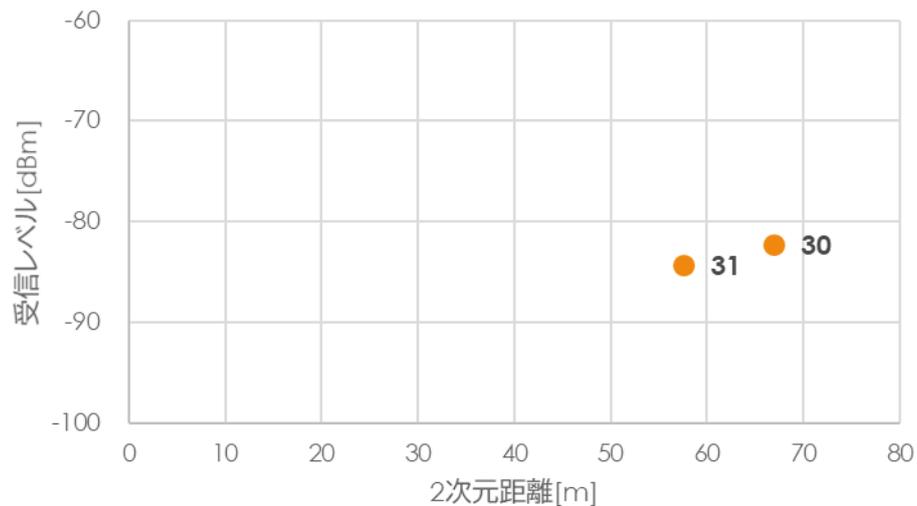
図表 3-124 2F ガーデンラウンジ A の屋内ガラス壁 受信電力算出条件

中心周波数 [GHz]	4.75
精緻化対象パラメータ	
B列算出式で使用了K	0
B列算出式で使用了S	32.5
B列算出式で使用了R	4.4

各測定点における横軸：基地局からの距離、縦軸：SS-RSRP 中央値のグラフを示す。測定点 30 の方が基地局から 10m 近く離れているにもかかわらず高い受信レベルが測定されている。

図表 3-125 2F ガーデンラウンジ A の屋内ガラス壁  
基地局からの距離による SS-RSRP 受信電力測定値

実測値 SS-RSRP中央値



精緻化方法の記載で説明した上記 2 測定点における SS-RSRP 測定値から求まる伝搬損失  $L_{mes. (i)}$  と算出式から求まる伝搬損失  $L_{pred. (i)}$  を用いて、最小二乗法により精緻化 R の値、ならびに平均二乗偏差 RMSE を以下の通り求めた。精緻化後の R の値は、-7.26 となり、仮説の 4.4 に比べ小さく、マイナスの値となった。仮説としては、電波伝搬シミュレータのガラスの値を使用した。ガーデンラウンジ A 内のガラスによる損失は少なく、ガーデンラウンジ屋内での受信レベル測定値が、算出式より求める受信レベルより高くなっており、最小二乗法による精緻化を行うとマイナスの値となる。測定値が高く出る要因としては、屋内の細かく仕切られた小部屋や障害物による反射、回折効果によるものではないかと考えている。

図表 3-126 2F ガーデンラウンジ A の屋内ガラス壁  
精緻化前後のパラメータ R 値と RMSE 値

精緻化前後	パラメータ R	RMSE
精緻化前	4.40	11.94
精緻化後	-7.26	2.58

4つのエリアにおける精緻化の結果一覧を以下に示す。表に記載の壁の厚さについては、情報非公開のため、xxx cmとしている。いずれのエリアにおいても、実測値のばらつきを示すRMSEは精緻化前後で小さくなっており、精緻化の効果があるものとする。壁の材質については、鉄筋コンクリート+石膏ボード > Low-E 複層ガラス > 石膏ボードの順で伝搬損失が大きいことを確認した。本実証のNo. 01~03、No. 04 ガーデンラウンジB内のエリアにおいては、目的に合致した環境を整えることができ、パラメータRの精緻化の妥当な結果をえることができたと思う。しかし、No. 04「ガーデンラウンジA内ガラス壁を挟む箇所」においては、測定値が算出式で求める受信電力より高く出ているため、人体損による影響はなく、精緻化後のRがマイナス(損失ではなくゲイン)として現れている。測定受信レベルが高くなる原因は、屋内の細かく仕切られた小部屋や障害物による反射、回折効果によるものではないかと考えており、要因を特定するためには、より多くの測定ポイント、並びに基地局設置位置を変更しての測定が必要と考えている。また、このように屋内特有の測定受信レベルが算出式で求める受信レベルより高く測定される環境においてはK、S、R以外に新たな補正值パラメータの追加が算出式に必要な可能性がある。

図表 3-127 4つのエリアにおける精緻化結果一覧

No.	エリア	S	R		RMSE		対象となる壁や環境、補足
			精緻化前	精緻化後	精緻化前	精緻化後	
01	多目的ホールの壁を越えた通路	32.5	16.2	5.46	11.36	3.69	LGS(軽量鉄骨)・グラスウール・石膏ボード、厚さ xxx cm 開口部無し、面積比 100%
02	多目的ホール外壁を越えた屋外環境	32.5	16.2	16.32	6.26	6.26	上記 LGS(軽量鉄骨)・グラスウール・石膏ボードの外郭に鉄筋コンクリート壁、厚さ xxx cm 面積比 80% Low-E 複層ガラス、厚さ xxxcm、面積比 20% 開口部無し
03	ガラス壁を挟む屋外環境	32.5	4.4	11.36	11.41	9.05	Low-E 複層ガラスの壁、厚さ xxxcm 開口部無し、面積比 100%
04	2つのガーデンラウンジ内のガラス壁を挟む箇所	32.5	4.4	2.92	2.08	1.60	合わせガラス、ガーデンラウンジB内 厚さ xxxcm、面積比 100% ガーデンラウンジC入口開口、A、Bは閉めた状態
		32.5	4.4	-7.26	11.94	2.58	合わせガラス、ガーデンラウンジA内 厚さ xxxcm、面積比 100%

							ガーデンラウンジC 入口開口、A、B は閉めた状態
--	--	--	--	--	--	--	---------------------------

上記表において精緻化の有効性を確認できた No. 01、02、03、04 ガーデンラウンジ B について、壁種別ごとでは以下の通りまとめることができる。今後ローカル 5G の導入を検討される環境(大規模施設、小会議室スペース等)において、類似の壁条件を有する場合に本 R 値を使用することで実態に近いカバーエリア、干渉調整区域の算出を可能とし、エリア設計の効率化に繋げたい。

図表 3-128 壁種別ごとの精緻化後のパラメータ R 値

周波数	S [dB]	遮蔽物	材質	厚さ	面積率	R [dB]
4.8-4.9GHz		代表値 ※現在の算出式の値				16.2
4.8-4.9GHz	32.5	内壁 1 枚	LGS(軽量鉄骨)・ グラスウール・ 石膏ボード	xxx cm	100%	5.46
4.8-4.9GHz	32.5	外壁 1 枚	鉄筋コンクリート	xxx cm	80%	10.86
			Low-E 複層ガラス	xxx cm	20%	
4.8-4.9GHz	32.5	内壁 1 枚	LGS(軽量鉄骨)・ グラスウール・ 石膏ボード	xxx cm	100%	16.32
			外壁 1 枚	鉄筋コンクリート	xxx cm	
			Low-E 複層ガラス	xxx cm	20%	
4.7-4.8GHz	32.5	壁面	Low-E 複層ガラス	xxx cm	100%	11.36
4.7-4.8GHz	32.5	壁面	合わせガラス	xxx cm	100%	2.92

※厚さ xxx については情報非公開

### 3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

特に実施していない。

### 3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発

#### 3.3.4.1 実証の目的・目標

##### (1) 背景となる技術的課題と実証目的

###### ■技術的課題

ローカル 5G ソリューションとして期待されている 4K カメラ映像のアップロード等の上り大容量高速通信に対応すべく、アップリンクスロットをさらに拡張した準同期パターンが検討されている。しかしながらアップリンクスロットを拡張することで同期局、準同期間の干渉スロット確率が増し、伝送性能に悪影響を及ぼす可能性がある。

###### ■実証目的

上りスロットをさらに拡張した準同期 TDD2、TDD3 に対応した装置の諸元を使用し、同期局との共用検討シミュレーションにより、所要離隔距離を算出した。

離隔距離を確保した場合の与干渉量、伝送性能(スループット、遅延)の評価を行うことで、新たな準同期パターン導入のための指針の策定を行った。

##### (2) 実証目標

本実証で使用する準同期対応装置のスロットパターンを以下に示す。課題実証で検証を実施する混雑検知システムの所要 UL スループット 25Mbps に対応すべく、準同期 TDD2、準同期 TDD3 に対応する装置を導入し、実証仮説に記載する共用条件において、シミュレーションによる干渉検討、算出された離隔距離を使用し、実測定、および算出による伝送性能評価を行う。

図表 3-129 準同期対応装置のスロットパターン

スロット番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
同期TDD	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D
準同期TDD1	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U
準同期TDD2	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U
準同期TDD3	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U

既存

追加例

※D:下りスロット、U:上りスロット、S: DからUへの切替期間を含む特別スロット

### 3.3.4.2 実証仮説

評価で使用する機器の共用条件を以下に示す。

図表 3-130 共用条件

項目	条件
干渉相手との周波数隣接状況	隣接チャンネル
干渉相手の運用パターン	同期パターン
■ 基地局間干渉	
与干渉側	4.8-4.9GHz ローカル 5G 同期基地局
被干渉側	4.7-4.8GHz ローカル 5G 準同期基地局
■ 移動局間干渉	
与干渉側	4.7-4.8GHz ローカル 5G 準同期移動局
被干渉側	4.8-4.9GHz ローカル 5G 同期移動局

準同期 TDD2 と TDD3 において実機測定前共用検討シミュレーションにより求まる同期局、準同期局の離隔距離を以下表の帯域内干渉、帯域外干渉における所要離隔距離に示す。なお、共用検討シミュレーションについては、算出式にスロット比率条件は含まれてなく、与干渉量から離隔距離を算出しているため準同期 TDD2 と TDD3 の結果は、同一となる。

(1) 基地局相当装置間の干渉(正対)

図表 3-131 基地局間干渉(正対) 帯域内干渉条件

基地局相当装置間の干渉(正対) 帯域内干渉条件		
与干渉局送信電力	-36	dBm/MHz
送信空中線利得	9	dBi
送信諸損失	3	dB

図表 3-132 基地局間干渉(正対) 帯域外干渉条件

基地局相当装置間の干渉(正対) 帯域外干渉条件		
与干渉局送信電力	13.6	dBm/MHz
送信空中線利得	9	dBi
送信諸損失	3	dB

上記基地局相当装置間の干渉(正対)条件、および同期局と準同期局の離隔距離から干渉相手である準同期局における受信機入力レベルを求める。求めた受信機入力レベルが帯域内干渉における許容干渉電力-110dBm/MHz、帯域外干渉における許容干渉電力-60dBm/MHz となる離隔距離が以下に示す所要離隔距離となる。

図表 3-133 基地局間干渉(正対)実機測定前共用検討シミュレーション結果

パラメータ	帯域内干渉			帯域外干渉		
	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離 [m]
設定値	-110.0	-	390	-60.0	-	187

(2) 基地局相当装置間の干渉(併設)

図表 3-134 基地局間干渉(併設)帯域内干渉条件

基地局相当装置間の干渉(併設) 条件		
与干渉局送信電力	-36	dBm/MHz
送信空中線利得	-14.8	dBi
送信諸損失	3	dB

図表 3-135 基地局間干渉(併設)帯域外干渉条件

基地局相当装置間の干渉(併設) 条件		
与干渉局送信電力	13.6	dBm/MHz
送信空中線利得	-14.8	dBi
送信諸損失	3	dB

所要離隔距離の算出方法については上記基地局相当装置間の干渉(併設)条件を使用し、(1)基地局相当装置間の干渉(正対)と同様の方法で以下を算出する。

図表 3-136 基地局間干渉(併設)実機測定前共用検討シミュレーション結果

パラメータ	帯域内干渉			帯域外干渉		
	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔距 離[m]	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]
設定値	-110.0	-	0.23	-60.0	-	0.11

(3) 移動局相当装置間の干渉

図表 3-137 移動局間干渉条件

移動局相当装置間の干渉(正対)条件		
与干渉局送信電力	3	dBm/MHz
送信空中線利得	2.97	dBi
送信諸損失	8	dB

所要離隔距離の算出方法については上記移動局相当装置間の干渉(正対)条件を使用し、(1)基地局相当装置間の干渉(正対)と同様の方法で以下を算出する。

図表 3-138 移動局間干渉実機測定前共用検討シミュレーション結果

パラメータ	帯域内干渉			帯域外干渉		
	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔距 離[m]	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]
設定値	-110.1	-	700	-60.0	-	2.19

### 3.3.4.3 評価・検証項目

評価・検証項目を以下に示す。

図表 3-139 評価・検証項目

評価・検証内容	Output
<p>&lt;共用検討シミュレーション&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 実機測定前シミュレーションを実施する (*1)参照</li> <li>- 基地局、移動局の実力値を利用し、実機測定後シミュレーションを実施する</li> </ul>	<p>準同期 TDD2、準同期 TDD3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実機測定前シミュレーション結果</li> <li>・実機測定後シミュレーション結果</li> </ul>
<p>&lt;測定&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 被干渉側準同期 TDD3 の干渉量を測定する</li> <li>- 単独運用、同時運用における与干渉側、被干渉側双方の下記性能を測定する</li> </ul> <p>同時運用時は、実力値による実機測定後シミュレーション結果から得られる離隔距離を使用する</p> <p>その後、離隔距離による影響確認のため、離隔距離を変更した時の伝送性能を確認する</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・伝送性能(スループット、遅延)</li> </ul> <p>なお、準同期 TDD2 については、準同期 TDD3 のスループット測定結果からスロット比率の違いを換算し、準同期 TDD2 のスループットを算出した</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・準同期 TDD2</li> </ul> <p>準同期 TDD3 スループット測定結果から準同期 TDD2 スループットを算出した結果、干渉量測定結果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・準同期 TDD3</li> </ul> <p>各種条件における干渉量、伝送性能測定結果</p>
<p>&lt;分析・考察&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 干渉検討取りまとめイメージ(*2)表 3-64 を作成し、共用条件を示す</li> <li>- 共用検討シミュレーションでは、実伝送性能への影響把握が難しく、算出した離隔距離を用いて伝送性能への影響を確認する</li> <li>- 被干渉について、与干渉からの距離を変数として伝送性能(スループット、遅延)の取りまとめを実施する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・干渉検討取りまとめイメージ(*2)作成と共用条件出し</li> <li>・与干渉からの距離と伝送性能の確認結果</li> </ul>

(\*1) 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報告（総務省；令和2年7月）：[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000697525.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000697525.pdf)

(\*2)

図表 3-140 干渉検討取りまとめイメージ

パラメータ	帯域内干渉			帯域外干渉		
	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]
設定値						
実測値						

### 3.3.4.4 評価・検証方法

評価方法を以下に示す。与干渉側は、UE と N6 のサーバー間で iperf による最大負荷を掛けるために最大リソースブロックを使用した状態で、以下評価を実施する。

図表 3-141 評価・検証方法

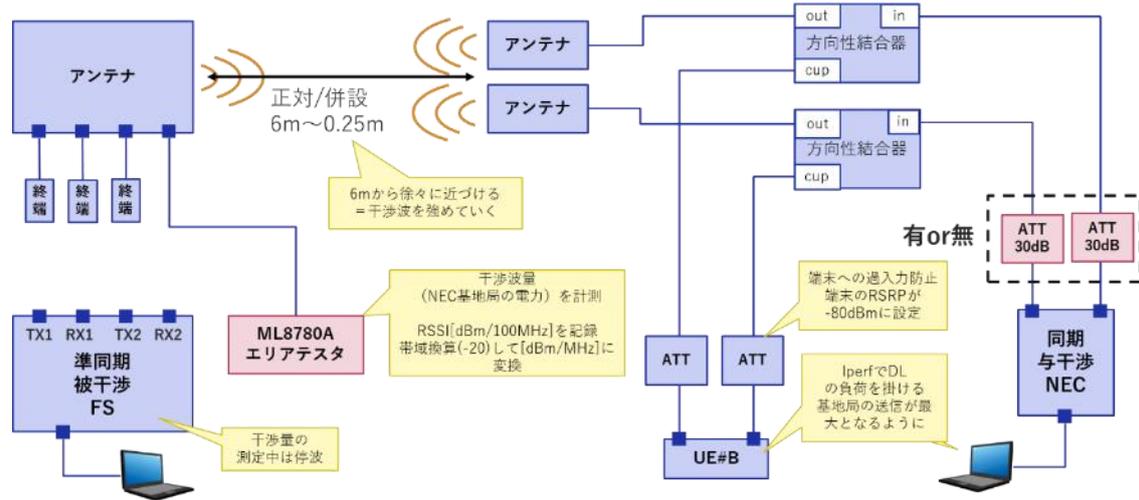
測定項目	使用測定器/ツール	測定方法
与干渉量(RSSI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ エリアテスタ Anritsu ML8780A</li> <li>・ スペクトラムアナライザ VIAVI CA5000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基地局間干渉: 被干渉側に設置したエリアテスタを使用し、RSSI [dBm/100MHz]を測定し、dBm/MHz 単位に帯域換算する</li> <li>・ 移動局間干渉: 被干渉側に設置したスペクトラムアナライザを使用し、RSSI [dBm/100MHz]を測定し、dBm/MHz 単位に帯域換算する</li> <li>・ 1回の測定あたり 1000 サンプルの中央値とし、3回の平均値を使用</li> <li>・ ラボ内の物理的な広さが限られていたため、定在波の影響を避けるための 10λ の範囲の移動測定なし</li> </ul>
DL/UL スループット	Speedtest	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ LibreSpeed を使用し、端末にて DL/UL スループットを測定する</li> <li>・ 1回の測定あたり 10~20 秒の平均とし、3回の平均値を使用</li> <li>・ スループット測定時の MCS は、適応変調とする</li> </ul>
DL/UL 遅延	Speedtest	LibreSpeed を使用し、端末にて遅延を測定する

それぞれの評価系について、以下に示す。

### (1) 基地局間与干渉量測定

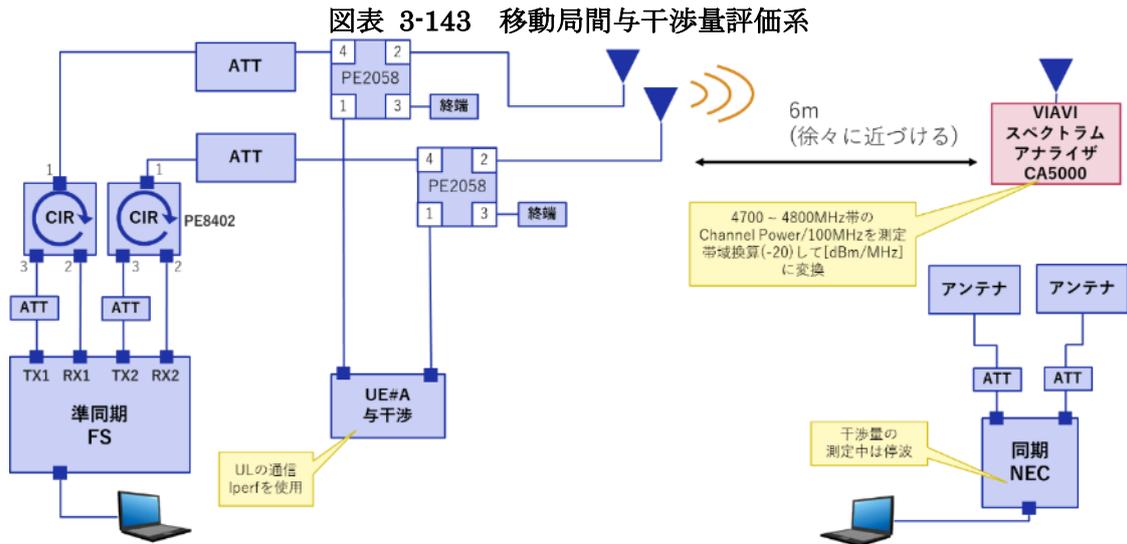
被干渉側準同期基地局のアンテナ RX ポートにエリアテスタ ML8780A を接続し、干渉量を測定する。評価系統図を以下に示す。同期基地局 (与干渉側)、準同期基地局 (被干渉側) を正対させたとき、併設させたときの 2 パターンで離隔距離を変更し、与干渉量の測定を行う。

図表 3-142 基地局間与干渉量評価系



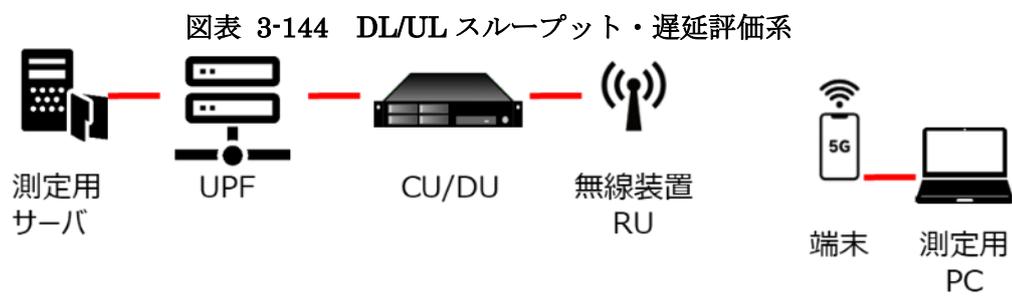
## (2) 移動局間与干渉量測定

被干渉側同期移動局側として VIAVI スペクトラムアナライザ CA5000 を使用し、干渉量を 4700～4800MHz の Channel Power/100MHz にて測定する。評価系統図を以下に示す。与干渉側の準同期移動局と被干渉側の同期局移動局の位置に設置したスペアナの離隔距離を変更することで与干渉量を測定する。



### (3) スループット、遅延測定

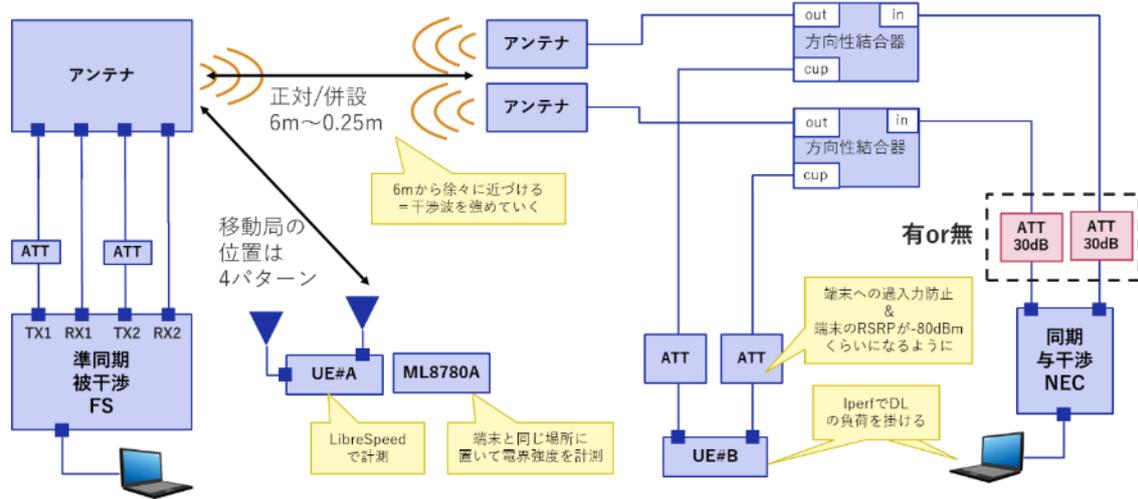
スループット、遅延は、端末を使用し、LibreSpeed で測定を行う。



(4) 基地局間干渉(正対)(併設) スループット、遅延測定

スループット、遅延測定時の測定系統図を以下に示す。ラボ内における物理的隔離距離の限界である 6m までは以下図の同期与干渉 NEC 基地局出力に ATT 挿入なしで試験を行い、隔離距離 6m 以上については ATT30dB を挿入し、ATT 量、ならびにラボにおける損失を距離に換算し、試験を行う。

図表 3-145 基地局間干渉(正対)(併設) スループット、遅延評価系



### (5) 基地局間干渉(正対) 移動局の位置

基地局間干渉(正対)における被干渉側準同期局のスループット、遅延測定時の移動局位置は、以下4パターンで試験実施する。

ポイント1: 与干渉側同期局アンテナと被干渉側準同期局アンテナの中央  
(どちらの局からも3mの位置)

与干渉基地局と被干渉基地局の間に端末を配置することで  
両基地局からも受信レベルが強い場所での計測

ポイント2: 被干渉側準同期局アンテナから斜め45度方向に3mの位置

被干渉側基地局のアンテナ指向方向から45°の位置に端末を配置することで  
被干渉基地局からの受信レベルが少し弱い場所での計測

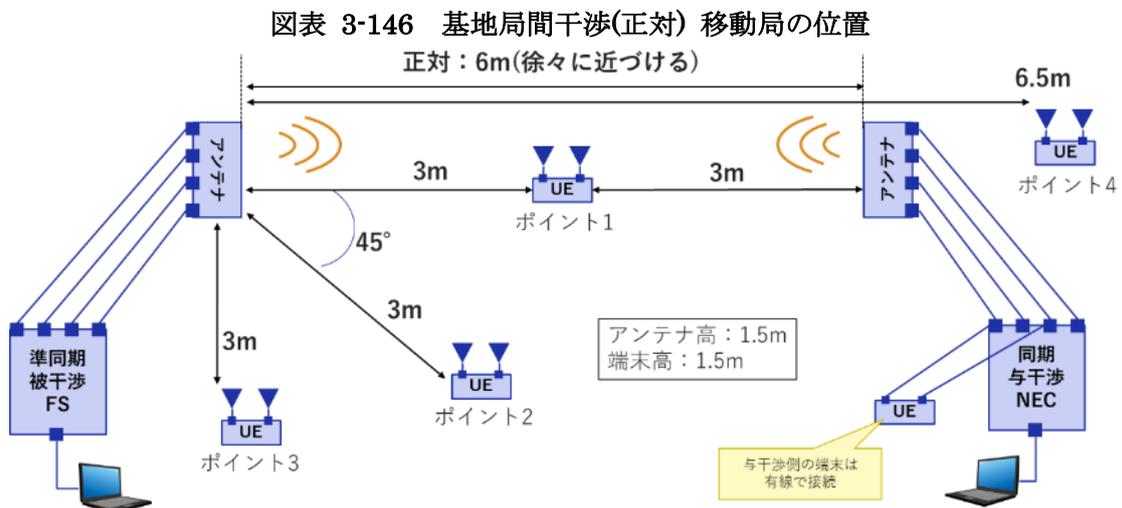
ポイント3: 与干渉側同期局アンテナに対して並行に移動した被干渉側準同期局アンテナ  
から3mの位置

被干渉基地局のアンテナ指向方向から90°の位置に端末を配置することで  
被干渉基地局からの受信レベルがより弱い場所での計測

ポイント4: 与干渉側同期局アンテナから0.5m後方

非干渉側準同期局アンテナからは6.5mの位置

与干渉基地局のアンテナ指向方向の裏(180°)の位置に端末を配置することで  
与干渉基地局からの受信レベルが弱い場所での計測

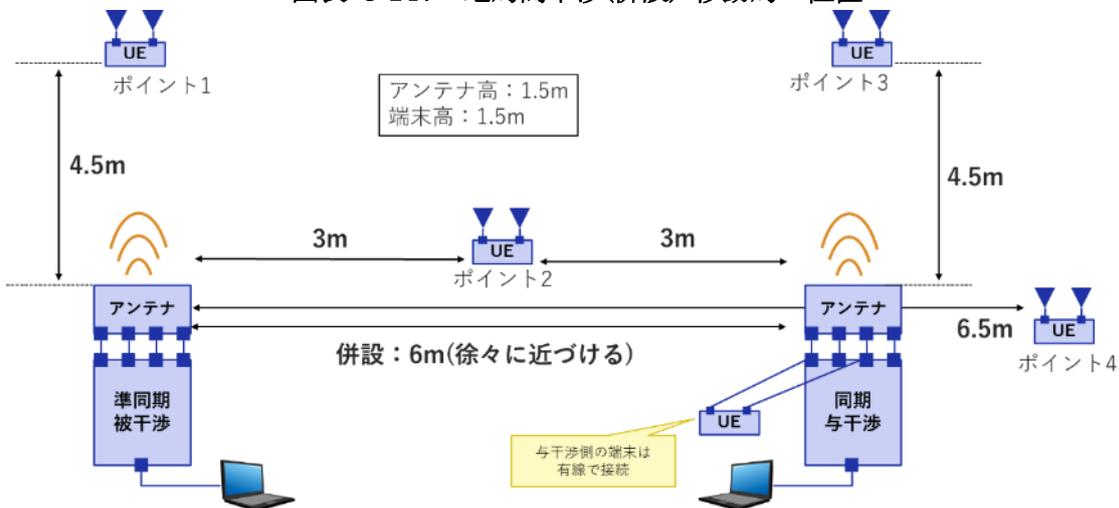


## (6) 基地局間干渉(併設) 移動局の位置

基地局間干渉(併設)における被干渉側準同期局のスループット、遅延測定時の移動局位置は、以下4パターンで試験実施する。

- ポイント1: 被干渉側準同期局アンテナから前方に4.5mの位置  
被干渉基地局のアンテナ指向方向の正面に端末を配置することで被干渉基地局が強、与干渉基地局が弱の受信レベルで計測
- ポイント2: 与干渉側同期局アンテナと被干渉側準同期局アンテナの中央(どちらの局からも3mの位置)  
与干渉基地局と被干渉基地局の間に端末を配置することでどちらの基地局からも受信レベルが強い場所での計測
- ポイント3: 与干渉側同期局アンテナから前方に4.5mの位置  
与干渉基地局のアンテナ指向方向の正面に端末を配置することで被干渉基地局が弱、与干渉基地局が強の受信レベルで計測
- ポイント4: 与干渉側同期局アンテナから0.5m横  
非干渉側準同期局アンテナからは6.5mの位置  
どちらの基地局からもアンテナ指向方向の90°の位置、被干渉基地局側に端末を配置することで差分を確認

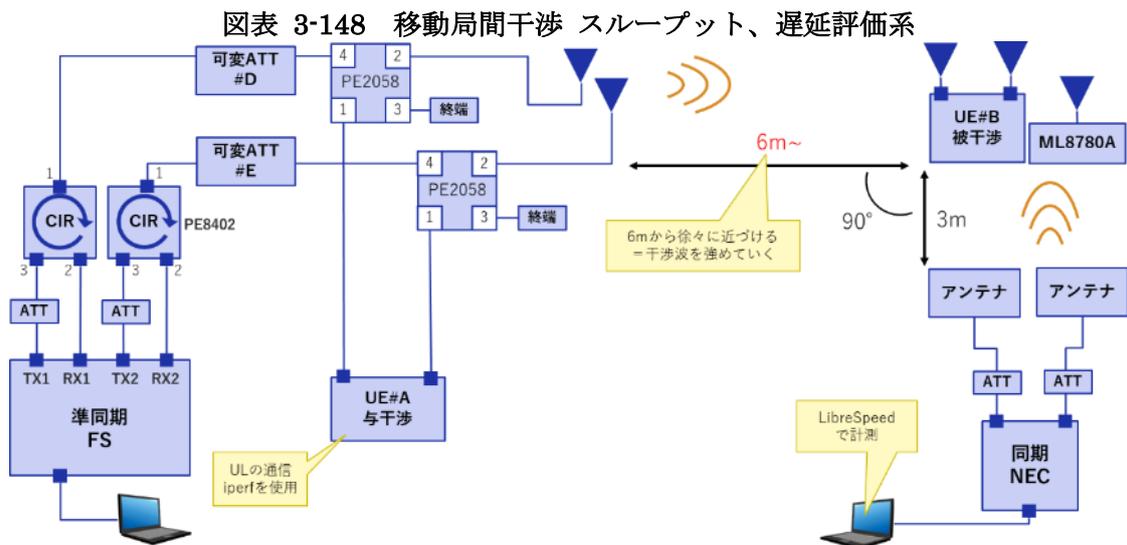
図表 3-147 地局間干渉(併設) 移動局の位置



(7) 移動局間干渉 スループット、遅延測定

移動局間干渉におけるスループット、遅延測定時の測定系統図を以下に示す。与干渉側準同期移動局は Iperf により UL 通信を行い、与干渉側準同期移動局と被干渉側同期移動局の離隔距離は赤字の 6m の距離を変更し、試験実施する。

与干渉側準同期移動局 ⇒ 被干渉側同期移動局の干渉検証するにあたり、移動局のアンテナは無指向性であり、端末位置に影響がないため、1 ポイント固定とする。被干渉側同期基地局～被干渉側同期移動局の位置については最良なスループットが発揮できる位置で測定する。この時、与干渉側準同期基地局～被干渉側同期基地局の干渉を極力防ぐために、指向方向を 90° ずらした。



実機測定後共用検討シミュレーション条件を以下に示す。

■シミュレーション条件

図表 3-149 実機測定後共用検討シミュレーション条件

項目+A2:D25C13A2:D26A2:E25		種別	基地局-基地局間干渉	移動局-移動局間干渉
周波数隣接種別		同一周波数		
		隣接周波数	○	○
電波伝搬損失モデル		自由空間伝搬損失式		
		ITU-R P.1411 over roof-topモデル		
		拡張秦式	○	○
		ITU-R P.1411 below roof-top (Terminal 間) モデル		
		その他 (名称を記載)		
干渉パターン	与干渉システム	同期システム	○	
		準同期システム(準同期TDD2、TDD3)		○
	被干渉システム	同期システム		○
		準同期システム(準同期TDD2、TDD3)	○	
	被干渉上下回線	上り回線	○	
		下り回線		○
	基地局/移動局組み合わせ	基地局⇒移動局		
		移動局⇒基地局		
		基地局⇒基地局	○	
		移動局⇒移動局		○
	屋内外組み合わせ	屋外 (与干渉) →屋外 (被干渉)		
		屋外 (与干渉) →屋内 (被干渉)		
		屋内 (与干渉) →屋内 (被干渉)	○	○
	主ビーム方向モデル	正対モデル	○	
		併設モデル	○	
		その他 (名称を記載)		移動局のため指向性

■NEC 基地局(同期局)

図表 3-150 NEC 基地局(同期局) 実機測定後共用検討シミュレーション条件  
(送信側)

送信側

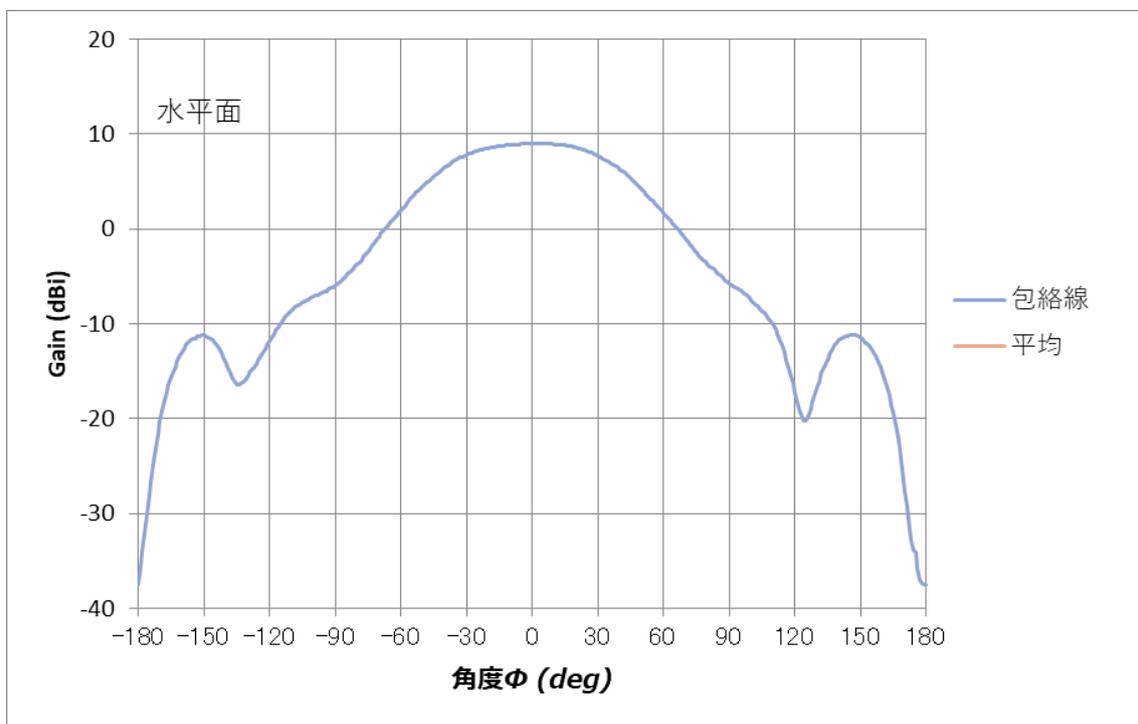
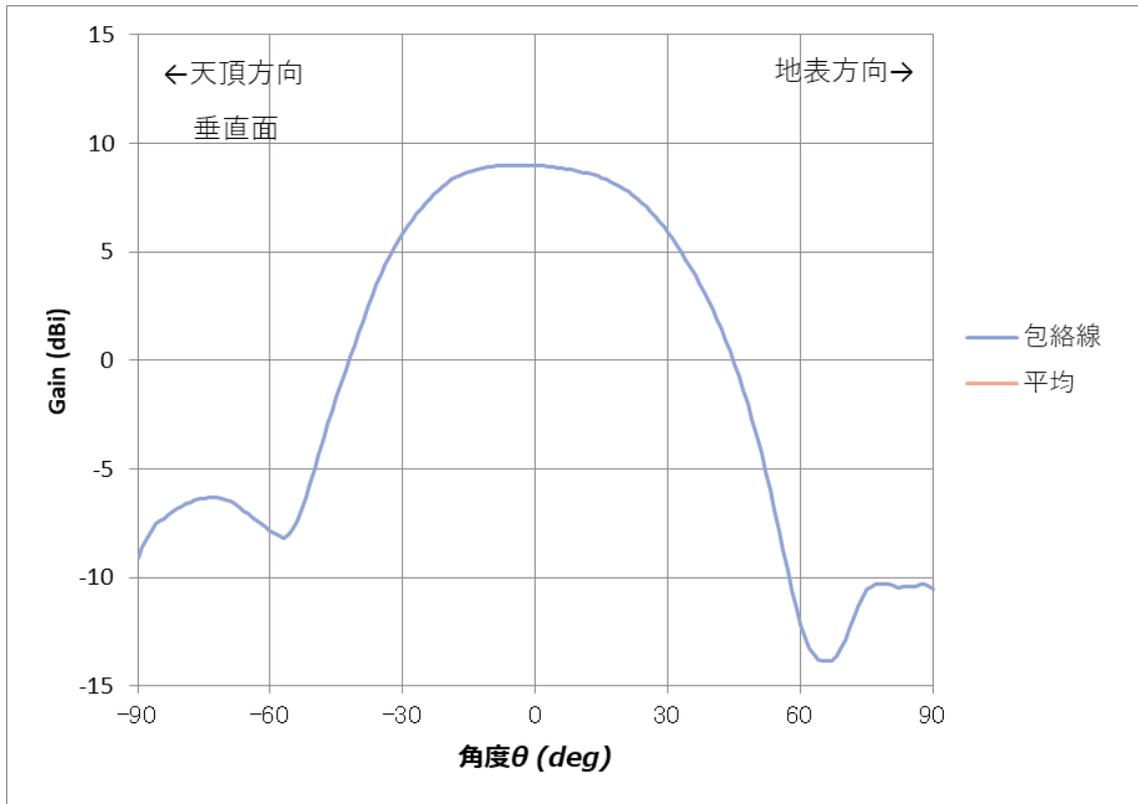
項目	設定値
空中線電力	16.6dBm/MHz
送信系各種損失	9.0dBi
送信系各種損失	1.675dB
等価等方輻射電力 (EIRP)	23.925dBm/MHz
空中線指向特性 (水平、垂直)	実アンテナ値を採用
機械チルト	0 度
空中線高	12m
送信帯域幅	100MHz (4.8GHz 帯)
隣接チャネル漏洩電力	下記または-16dBm/MHz の高い値 -44.2dBc (チャネル帯域幅 MHz 離調) -44.2dBc (2 ×チャネル帯域幅 MHz 離調) ※参照帯域幅は当該チャネル帯域幅の最大実効帯域幅
スプリアス領域における不要発射の強度	-4dBm/100kHz (30MHz-1GHz) -4dBm/MHz (1GHz 以上) ※周波数帯の端から 40MHz 以上の範囲に適用

図表 3-151 NEC 基地局(同期局) 実機測定後共用検討シミュレーション条件  
(受信側)

受信側

項目	設定値
許容干渉電力 (帯域内干渉)	-110dBm/MHz (I/N=-6dB、NF=10dB)
許容干渉電力 (帯域外干渉)	-47dBm/20MHz (隣接 20MHz 幅) => -60dBm/MHz -38dBm (上記以外)
空中線利得	9dBi
受信系各種損失	3dB
空中線指向性 (水平、垂直)	実アンテナ値を採用
機械チルト	0 度
空中線高	12m

図表 3-152 NEC 基地局(同期局)アンテナパターン図  
アンテナパターン



■FLARE SYSTEMS 基地局準同期 TDD2、TDD3 に対応

図表 3-153 FALRE SYSTEMS 基地局(準同期局)  
実機測定後共用検討シミュレーション条件(送信側)

送信側

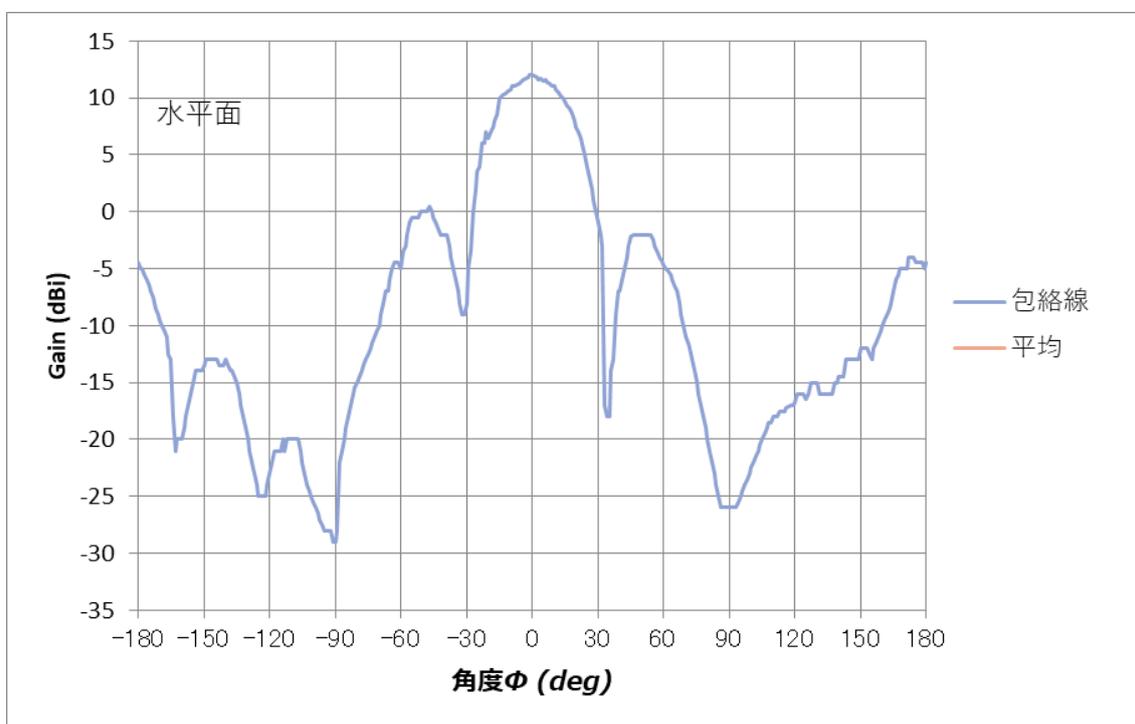
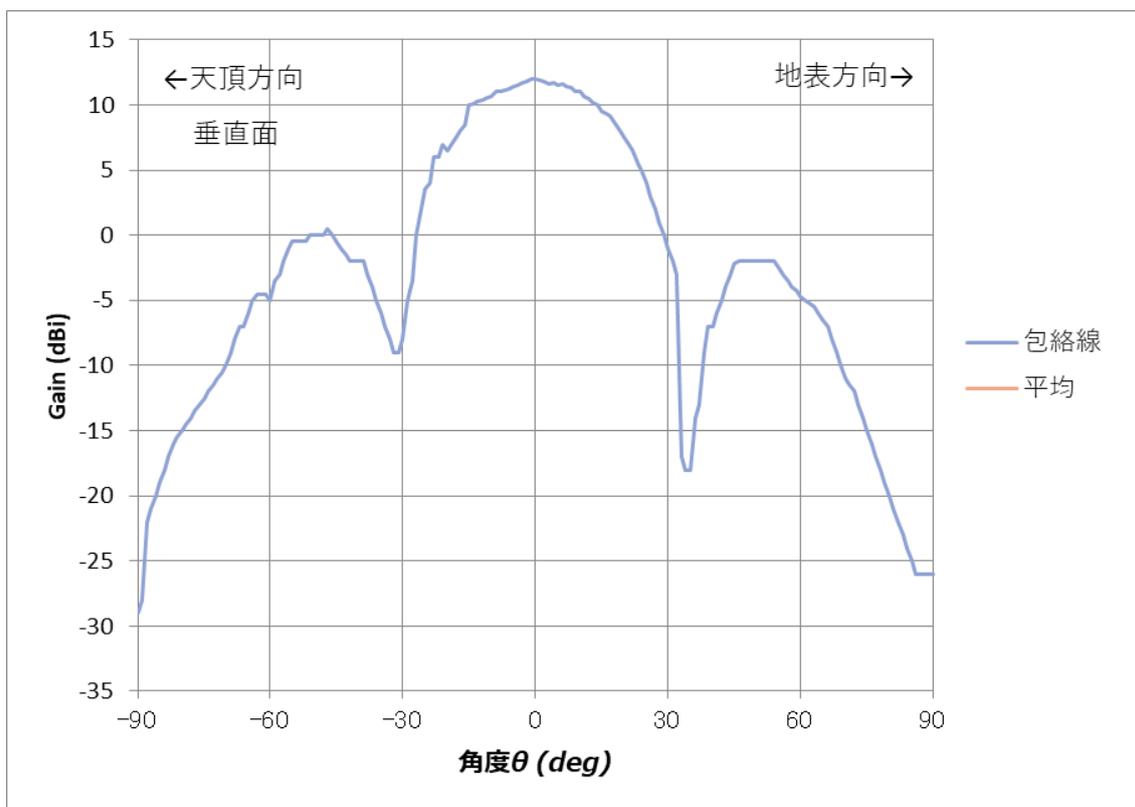
項目	設定値
空中線電力	1dBm/MHz
送信系各種損失	12.0dBi
送信系各種損失	0dB
等価等方輻射電力 (EIRP)	13dBm/MHz
空中線指向特性 (水平、垂直)	実アンテナ値を採用
機械チルト	0 度
空中線高	1.5m
送信帯域幅	100MHz (4.7GHz 帯)
隣接チャンネル漏洩電力	下記または-16dBm/MHz の高い値 -44.2dBc (チャンネル帯域幅 MHz 離調) -44.2dBc (2 ×チャンネル帯域幅 MHz 離調) ※参照帯域幅は当該チャンネル帯域幅の最大実効帯域幅
スプリアス領域における不要発射の強度	-4dBm/100kHz (30MHz-1GHz) -4dBm/MHz (1GHz 以上) ※周波数帯の端から 40MHz 以上の範囲に適用

図表 3-154 FLARE SYSTEMS 基地局(準同期局)  
実機測定後共用検討シミュレーション条件(受信側)

受信側

項目	設定値
許容干渉電力 (帯域内干渉)	-110dBm/MHz (I/N=-6dB、NF=10dB)
許容干渉電力 (帯域外干渉)	-47dBm/20MHz (隣接 20MHz 幅) => -60dBm/MHz -38dBm (上記以外)
空中線利得	12.0dBi
受信系各種損失	3dB
空中線指向性 (水平、垂直)	実アンテナ値を採用
機械チルト	0 度
空中線高	1.5m

図表 3-155 FLARE SYSTEMS 基地局(準同期局)アンテナパターン図  
アンテナパターン



■移動局(IDY)

図表 3-156 移動局(IDY)実機測定後共用検討シミュレーション条件  
(送信側)

送信側

項目	設定値
空中線電力	23dBm
空中線利得	2.97dBi
給電線損失	0dB
空中線指向特性（水平、垂直）	無指向性
空中線高	1.5m
送信帯域幅	100MHz（4.7GHz帯）
隣接チャンネル漏洩電力	下記または-50dBm/3.84MHzの低い値 -33dBc （チャンネル帯域幅/2+2.5MHz 離調） -33dBc （チャンネル帯域幅/2+7.5MHz 離調）
スプリアス領域における不要発射の強度	-36dBm/1kHz（9kHz-150kHz） -36dBm/10kHz（150kHz-30MHz） -36dBm/100kHz（30MHz-1GHz） -30dBm/MHz（1GHz以上）
その他損失	8dB（人体吸収損）

図表 3-157 移動局(IDY)実機測定後共用検討シミュレーション条件  
(受信側)

受信側

項目	設定値
許容干渉電力（帯域内干渉）	-110dBm/MHz (I/N=-6dB、NF=10dB)
許容干渉電力（帯域外干渉）	-47dBm/20MHz（隣接20MHz幅）=> -60dBm/MHz -38dBm（上記以外）
空中線利得	2.97dBi
受信系各種損失	0dB
空中線指向性（水平、垂直）	無指向性
空中線高	1.5m
その他損失	8dB（人体吸収損）

## ■ 検証手順

共用検討シミュレーションについては、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報告（総務省；令和2年7月）に従い、基地局間の干渉シナリオは、1対1対向モデル、移動局間の干渉シナリオは、1対1対向モデルによる計算を実施する。本シミュレーションは、スロットパターンが異なる同期、準同期の基地局間、移動局間の干渉評価ではあるが、算出式に同期、準同期間の異なるスロットフォーマット数のパラメータがなく、3GPP ACS (Adjacent channel selectivity) 仕様に規定のある妨害波レベルの規定となっており、準同期におけるULスロット数増加の影響が考慮されているものではない。そのため、今回検討を行う準同期TDD2、準同期TDD3においても、ULスロットがさらに拡張されたことによる離隔距離への影響は、現在の共用検討シミュレーション上には現れず、これまでの共用検討シミュレーション（準同期TDD1）と同等の結果になると考えられるが、実力値に基づく共用シミュレーションにより算出される所要離隔距離を確保した状態で準同期TDD3システム（主に被干渉側）の伝送性能（スループット、遅延）を測定し、実特性への影響を確認する。なお、準同期TDD2については準同期TDD3スループット測定結果から算出することで検証を実施する。

### 3.3.4.5 実証結果及び考察

本実証における評価項目とアウトプットを以下に示す。

図表 3-158 評価項目とアウトプット

項目	アウトプット
共用検討シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実機測定前シミュレーション結果(設定値)</li> <li>・実機測定後シミュレーション結果(実測値)</li> </ul>
測定	<p>準同期 TDD3 について以下の測定結果を示す</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・与干渉、被干渉 単独運用、同時運用の各条件における干渉量、伝送性能(スループット、遅延)測定結果</li> <li>・実力値に基づく共用検討シミュレーションで得られる離隔距離での伝送性能への影響確認結果               <ul style="list-style-type: none"> <li>=&gt; シミュレーションで算出される離隔距離で十分なのか検証</li> </ul> </li> <li>・離隔距離を変更したときの伝送性能への影響評価結果               <ul style="list-style-type: none"> <li>=&gt; 実測定で分かる離隔距離の導出</li> </ul> </li> <li>・準同期 TDD3 スループット測定結果から算出される共用条件下における準同期 TDD2 スループット算出結果</li> </ul>
分析・考察	<ul style="list-style-type: none"> <li>・干渉検討取りまとめイメージ(*2)と共用条件出し</li> <li>・与干渉からの距離と伝送性能の確認結果</li> </ul>

(\*2)

図表 3-159 干渉検討取りまとめイメージ

パラメータ	帯域内干渉			帯域外干渉		
	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]
設定値						
実測値						

実機測定後共用検討シミュレーションにより求まる同期局、準同期局の離隔距離を以下表の帯域内干渉、帯域外干渉における所要離隔距離に示す。前述の実機測定前共用検討シミュレーション結果においても記載したが、共用検討シミュレーションについては、算出式にスロット比率条件は含まれてなく、与干渉量から離隔距離を算出しているため準同期 TDD2 と TDD3 において同一の結果となる。

(1) 基地局相当装置間の干渉(正対)

図表 3-160 基地局間干渉(正対)帯域内干渉条件

基地局相当装置間の干渉(正対) 帯域内干渉条件		
与干渉局送信電力	-33	dBm/MHz
送信空中線利得	9	dBi
送信諸損失	1.675	dB

図表 3-161 基地局間干渉(正対)帯域外干渉条件

基地局相当装置間の干渉(正対) 帯域外干渉条件		
与干渉局送信電力	16.6	dBm/MHz
送信空中線利得	9	dBi
送信諸損失	1.675	dB

上記基地局相当装置間の干渉(正対)条件、および同期局と準同期局の離隔距離から干渉相手である準同期局における受信機入力レベルを求める。求めた受信機入力レベルが帯域内干渉における許容干渉電力-110dBm/MHz、帯域外干渉における許容干渉電力-60dBm/MHz となる離隔距離が以下に示す帯域内干渉、帯域外干渉における所要離隔距離となる。共用検討シミュレーション上はこの離隔距離を確保する必要がある。

図表 3-162 基地局間干渉(正対)実機測定後共用検討シミュレーション結果

パラメータ	帯域内干渉			帯域外干渉		
	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]
設定値	-110.0	-	196	-60.0	-	187
実測値	-110.0	-	322	-60.0	-	308

(2) 基地局相当装置間の干渉(併設)

図表 3-163 基地局間干渉(併設)帯域内干渉条件

基地局相当装置間の干渉(併設) 帯域内干渉条件		
与干渉局送信電力	-33	dBm/MHz
送信空中線利得	-14.8	dBi
送信諸損失	1.675	dB

図表 3-164 基地局間干渉(併設)条件

基地局相当装置間の干渉(併設) 帯域外干渉条件		
与干渉局送信電力	16.6	dBm/MHz
送信空中線利得	-14.8	dBi
送信諸損失	1.675	dB

所要離隔距離の算出方法については上記基地局相当装置間の干渉(併設)条件を使用し、(1)基地局相当装置間の干渉(正対)と同様の方法で以下を算出する。

図表 3-165 基地局間干渉(併設)実機測定後共用検討シミュレーション結果

パラメータ	帯域内干渉			帯域外干渉		
	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔距 離[m]	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]
設定値	-110.0	-	0.11	-60.0	-	0.11
実測値	-110.0	-	0.18	-60.0	-	0.18

(3) 移動局相当装置間の干渉

図表 3-166 移動局間干渉条件

移動局相当装置間の干渉(正対)条件		
与干渉局送信電力	3	dBm/MHz
送信空中線利得	2.97	dBi
送信諸損失	8	dB

所要離隔距離の算出方法については上記移動局相当装置間の干渉(正対)条件を使用し、(1)基地局相当装置間の干渉(正対)と同様の方法で以下を算出する。

図表 3-167 移動局間干渉実機測定後共用検討シミュレーション結果

パラメータ	帯域内干渉			帯域外干渉		
	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔距 離[m]	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]
設定値	-110.1	-	700	-60.0	-	2.2
実測値	-110.1	-	700	-60.0	-	2.2

シミュレーションによる離隔距離の算出を行うとともに、上記で求めた離隔距離、及び離隔距離を変更した場合の伝送性能の実機評価により、伝送性能への影響を確認する。

## ■実機検証結果

準同期 TDD3 についてラボ環境において被干渉側許容干渉電力-60dBm/MHz を満足する離隔距離の測定を行った。また、測定した離隔距離を確保した時のスループット、遅延への影響評価を行い、スループット、遅延特性への影響がない離隔距離の導出を行った。

### [計画時の実施予定]

当初は現地パシフィコ横浜環境において離隔距離を変化させ実証を行う予定だったが、多目的ホール天井に設置した基地局(同期局)と多目的ホール内に設置した可搬型基地局(準同期局)の離隔距離を自由に変更させることが難しく、離隔距離を自由に変更可能なラボにおける干渉評価に変更することにした。

### ①基地局間干渉(正対)

#### [ラボでの実証結果]

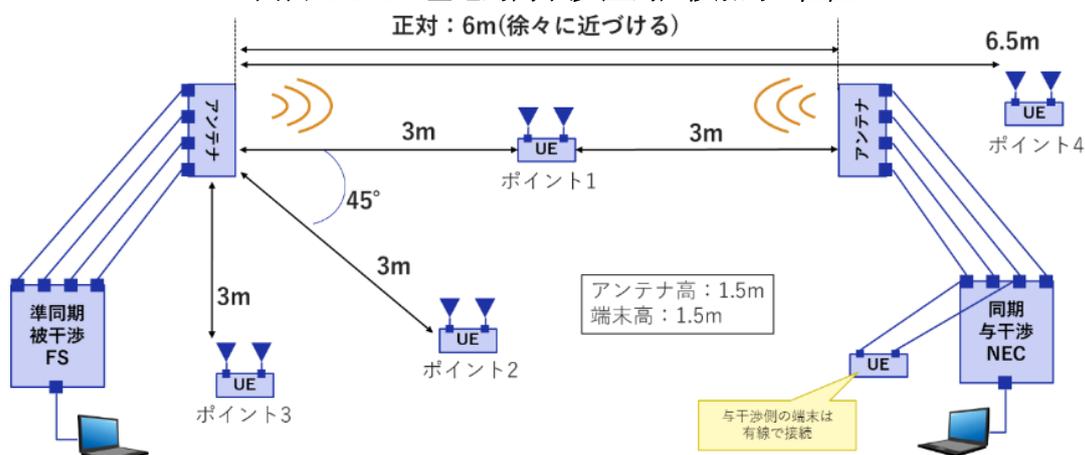
与干渉側同期局と被干渉側準同期局のアンテナ間距離を変更し、その時のラボ環境における伝搬損失から求めた離隔距離、被干渉側準同期局の干渉量測定結果を以下に示す。同期局、準同期局の離隔距離を 284.7m 確保することで許容干渉電力-60dBm/MHz を満足することが分かった。実機測定後共用検討シミュレーションでの離隔距離は、308m であり、近い値となっている。

図表 3-168 基地局間干渉(正対) 離隔距離による与干渉量

30dB固定 ATTの有無	有り								無し								単位
	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	
アンテナ間距離	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	m
離隔距離 ※ラボ環境損失 からの換算値	2511.4	1715.6	1116.7	899.3	755.0	453.9	284.7	157.0	75.5	57.5	44.5	32.1	19.2	12.6	10.9	4.1	m
干渉量	-78.2	-74.9	-71.2	-69.3	-67.8	-63.4	-59.3	-54.2	-47.8	-45.4	-43.2	-40.4	-35.9	-32.3	-31.0	-22.4	dBm/MHz

上記許容干渉電力-60dBm/MHz を満足する離隔距離 284.7m、ならびに離隔距離をさらに確保した時の被干渉側準同期局のスループット、遅延量の評価を行った。なお、移動局の位置については、3.2.4.4 評価・検証方法で述べた以下図に示す4パターンで確認を行った。

図表 3-169 基地局間干渉(正対) 移動局の位置



以下に被干渉側準同期局のスループット、遅延量測定結果を示す。以下表における最大離隔距離 2511.4m でのスループット、遅延量測定結果は、準同期局を単独運用した場合の特性と同特性となるが、離隔距離を小さくするとスループット、遅延量共に劣化していく様子が分かる。共用干渉量-60dBm/MHz を満足した離隔距離 284.7m においては、単独運用時と比較して半分以下の特性となっている。同期局、準同期局間干渉において劣化が想定される準同期局のULスループットを見ると離隔距離755m、干渉量 -67.8dBm/MHz) => 離隔距離453.9m、干渉量-63.4dBm/MHz の変化で移動局位置 4 パターンすべてにおいて半分以下の特性になっていることが分かる。被干渉側準同期局のULスループット観点で半減以上の劣化がない干渉量は-67.8dBm/MHz となり、その時のスループットは、DL=240Mbps 程度、UL=120Mbps 程度となる。

図表 3-170 基地局間干渉(正対) 被干渉側準同期局のスループット、遅延量測定結果

移動局 位置	ATTの有無	30dBの固定ATTあり												ATTなし				単位
	アンテナ間距離[m]	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	m
	干渉量[dBm/MHz]	-78.2	-74.9	-71.2	-69.3	-67.8	-63.4	-59.3	-54.2	-47.8	-45.4	-43.2	-40.4	-35.9	-32.3	-31.0	-22.4	dBm/MHz
	離隔距離[m]	2511.4	1715.6	1116.7	899.3	755.0	453.9	284.7	157.0	75.5	57.5	44.5	32.1	19.2	12.6	10.9	4.1	m
ポイント1	往復遅延量	22.8	27.7	23.2	20.6	22.7	25.0	23.8	32.2	46.8	63.1	50.0	49.8	50.0	49.1	33.8	44.0	ms
	DLスループット	268.0	217.3	247.0	220.0	281.0	253.0	230.0	248.7	99.3	62.0	64.8	70.1	45.6	63.2	38.6	15.9	Mbps
	ULスループット	244.0	203.7	198.0	198.0	164.0	83.3	68.6	66.1	10.9	40.8	0.6	26.7	32.7	13.8	6.2	4.0	Mbps
ポイント2	往復遅延量	27.7	21.8	21.2	22.9	27.9	30.5	30.2	31.1	51.4	51.9	61.3	51.8	26.8	50.5	43.8	45.1	ms
	DLスループット	265.0	271.0	260.0	255.0	273.0	256.0	259.0	245.0	94.2	66.8	51.1	39.1	55.5	57.4	37.2	44.7	Mbps
	ULスループット	185.0	190.0	178.0	144.0	171.0	94.0	74.0	75.0	16.3	1.8	14.4	3.8	32.2	6.6	36.0	2.7	Mbps
ポイント3	往復遅延量	27.1	20.6	22.4	23.6	21.5	23.2	21.2	22.2	52.7	73.5	51.6	30.2	52.0	40.4	31.6	79.6	ms
	DLスループット	192.0	220.0	263.0	278.0	251.0	254.0	220.0	260.0	97.6	64.5	62.4	48.0	61.4	66.0	25.8	24.0	Mbps
	ULスループット	192.0	198.0	205.0	185.0	169.0	72.6	70.0	69.0	33.4	9.7	12.0	14.5	3.1	1.3	14.2	5.7	Mbps
ポイント4	往復遅延量	29.8	27.9	30.3	22.3	24.0	25.4	22.4	51.9	48.9	26.0	29.1	45.8	73.0	30.7	57.9	44.5	ms
	DLスループット	283.0	273.0	261.0	277.0	271.0	252.0	167.0	66.8	73.2	55.0	36.2	62.5	30.2	61.4	22.6	57.7	Mbps
	ULスループット	178.0	171.0	192.0	192.0	178.0	62.1	51.3	1.8	47.3	36.4	7.4	29.5	9.6	36.0	6.3	5.6	Mbps

準同期 TDD2 においては、上記準同期 TDD3 で測定したスループットからスロット数の差分を換算し、算出した準同期 TDD2 におけるスループットを以下に示す。準同期 TDD3 と同様にスループット観点で半減以上の劣化がない干渉量としては-67.8dBm/MHz となり、その時のスループットは、DL=400Mbps 程度、UL=140Mbps 程度となる。

図表 3-171 基地局間干渉(正対)  
被干渉側準同期局の準同期 TDD2 スループット算出結果

移動局 位置	ATTの有無	30dBの固定ATTあり																単位	
	アンテナ間距離[m]	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25		dBm/MHz
	干渉量[dBm/MHz]	-78.2	-74.9	-71.2	-69.3	-67.8	-63.4	-59.3	-54.2	-47.8	-45.4	-43.2	-40.4	-35.9	-32.3	-31.0	-22.4		
離隔距離[m]	2511.4	1715.6	1116.7	899.3	755.0	453.9	284.7	157.0	75.5	57.5	44.5	32.1	19.2	12.6	10.9	4.1	m		
ポイント1	DLスループット	402.0	326.0	370.5	330.0	421.5	379.5	345.0	373.0	149.0	93.0	97.2	105.2	68.4	94.8	57.9	23.9	Mbps	
	ULスループット	203.3	169.7	165.0	165.0	136.7	69.4	57.2	55.1	9.1	34.0	0.5	22.3	27.3	11.5	5.1	3.3	Mbps	
ポイント2	DLスループット	397.5	406.5	390.0	382.5	409.5	384.0	388.5	367.5	141.3	100.2	76.7	58.7	83.3	86.1	55.8	67.1	Mbps	
	ULスループット	154.2	158.3	148.3	120.0	142.5	78.3	61.7	62.5	13.6	1.5	12.0	3.1	26.8	5.5	30.0	2.2	Mbps	
ポイント3	DLスループット	288.0	330.0	394.5	417.0	376.5	381.0	330.0	390.0	146.4	96.8	93.6	72.0	92.1	99.0	38.7	36.0	Mbps	
	ULスループット	160.0	165.0	170.8	154.2	140.8	60.5	58.3	57.5	27.8	8.1	10.0	12.1	2.6	1.0	11.8	4.8	Mbps	
ポイント4	DLスループット	424.5	409.5	391.5	415.5	406.5	378.0	250.5	100.2	109.8	82.5	54.3	93.8	45.3	92.1	33.9	86.6	Mbps	
	ULスループット	148.3	142.5	160.0	160.0	148.3	51.8	42.8	1.5	39.4	30.3	6.2	24.6	8.0	30.0	5.3	4.7	Mbps	

## ②基地局間干渉(併設)

### [ラボでの実証結果]

ラボでの実証を行ったが、本実証の基地局間干渉(併設)における測定については、ラボ特有の環境要因により発生した反射による干渉量が大きいことが判明し、ラボで予定していた離隔距離を変更しつつ干渉量実測値から離隔距離を導出する方法では適切な結果は得られなかった。なお、アンテナチルト角については、情通審報告書に沿ってアンテナチルト角 90° で実施するところ、ラボ内天井への設置が物理的に困難であったため、アンテナ間距離を近づけることで干渉量を増加させる方針で実証を行うこととし、結果、アンテナチルト角は 0° (水平方向) で実施した。

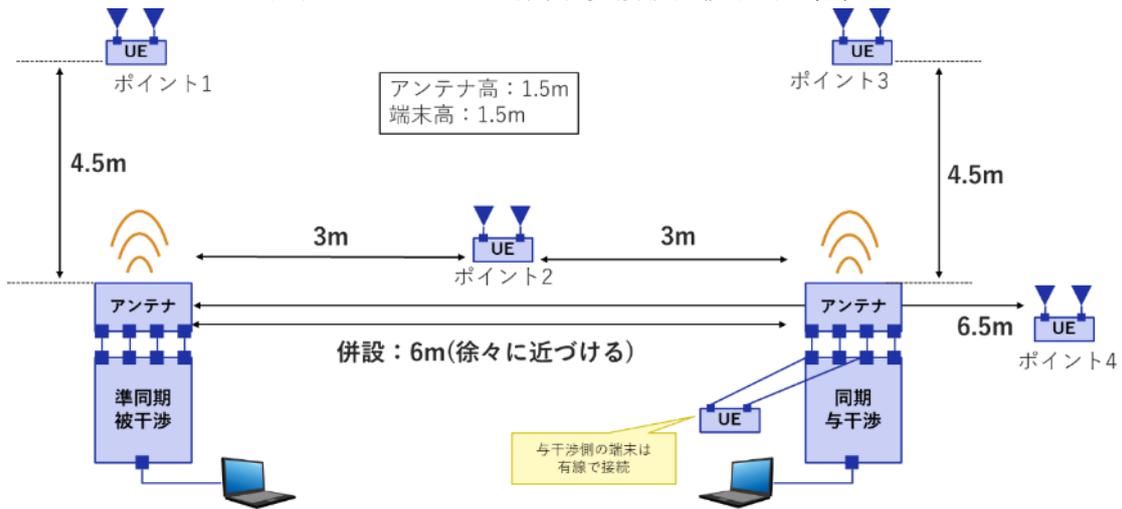
与干渉側同期局と被干渉側準同期局のアンテナ間距離を変更し、その時のラボ環境における伝搬損失から求めた離隔距離、被干渉側準同期局の干渉量測定結果を以下に示す。同期局、準同期局の離隔距離を 525.9m 確保することで許容干渉電力-60dBm/MHz 以下を満足することが分かった。実機測定後共用検討シミュレーションでの離隔距離は、0.18m であり、大きな乖離がある結果となった。今回の検証で使用した 2 基地局のアンテナは、メインビームが前方に向いており、併設した場合の干渉量は大きくなる。しかしながら検証を行ったラボのシールドルーム環境下においては、ラボ特有の壁による反射が発生し、干渉波として被干渉基地局に入力されているものとする。共用検討シミュレーションにおいては、反射波の考慮はされていないため、比較する実測においても多目的ホールのような十分に広い空間、もしくは電波暗室で試験を実施する必要がある。

図表 3-172 基地局間干渉(併設) 離隔距離による与干渉量

30dB固定 ATTの有無	有り								無し								単位
	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	
アンテナ間距離	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	m
離隔距離 ※ラボ環境損失 からの換算値	4314.4	3257.8	2065.0	1940.5	1545.0	1018.4	665.2	525.9	115.9	102.5	78.6	68.8	50.1	36.7	24.7	13.6	m
干渉量	-82.9	-80.5	-76.5	-76.0	-74.0	-70.4	-66.7	-64.7	-51.5	-50.5	-48.1	-47.0	-44.2	-41.5	-38.1	-32.9	dBm/MHz

上記許容干渉電力-60dBm/MHz 以下を満足する離隔距離 525.9m、ならびに離隔距離をさらに確保した時の被干渉側準同期局のスループット、遅延量の評価を行った。なお、移動局の位置については、3.2.4.4 評価・検証方法で述べた以下図に示す 4 パターンで確認を行った。

図表 3-173 基地局間干渉(併設) 移動局の位置



以下に被干渉側準同期局のスループット、遅延量測定結果を示す。以下表における最大離隔距離 4314.4m でのスループット、遅延量測定結果は、準同期局を単独運用した場合の特性と同特性となるが、離隔距離を小さくするとスループット、遅延量共に劣化していく様子が分かる。共用干渉量-60dBm/MHz 以下を満足した離隔距離 525.9m においては、単独運用時と比較して半分以下の特性となっている。同期局、準同期局間干渉において劣化が想定される準同期局の UL スループットを見ると離隔距離 665.2m(干渉量 -66.7dBm/MHz) => 離隔距離 525.9m(干渉量-64.7dBm/MHz)の変更で、移動局位置 4 パターンすべてにおいて半分以下の特性になっていることが分かる。被干渉側準同期局の UL スループット観点で半減以上の劣化のない必要離隔距離は 665.2m、干渉量-66.7dBm/MHz となり、その時のスループットは、DL=270Mbps 程度、UL=170Mbps 程度となる。

図表 3-174 基地局間干渉(併設) 被干渉側準同期局のスループット、遅延量測定結果

移動局 位置	ATTの有無	30dBの固定ATTあり										ATTなし						単位
	アンテナ間距離[m]	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	
	干渉量[dBm/MHz]	-82.9	-80.5	-76.5	-76.0	-74.0	-70.4	-66.7	-64.7	-51.5	-50.5	-48.1	-47.0	-44.2	-41.5	-38.1	-32.9	
	離隔距離[m]	4314.4	3257.8	2065.0	1940.5	1545.0	1018.4	665.2	525.9	115.9	102.5	78.6	68.8	50.1	36.7	24.7	13.6	
ポイント1	往復遅延量	23.1	27.3	26.3	28.1	24.4	21.7	26.0	27.1	35.3	29.9	50.4	52.0	27.2	25.1	31.1	42.6	
	DLスループット	264.0	259.0	266.0	283.0	279.0	276.0	251.0	249.0	99.1	60.5	73.5	81.0	79.6	65.8	43.0	65.1	
	ULスループット	253.0	222.0	182.0	205.0	191.0	178.0	86.5	66.4	47.5	54.3	44.6	56.0	15.3	34.8	38.6	43.3	
ポイント2	往復遅延量	24.0	27.9	25.3	22.8	29.2	28.3	27.1	21.1	35.1	30.3	32.3	30.9	54.6	47.7	44.4	44.4	
	DLスループット	280.0	273.0	268.0	269.0	269.0	264.0	281.0	266.0	115.0	41.2	103.0	41.7	72.8	76.0	67.0	69.4	
	ULスループット	171.0	171.0	185.0	152.0	212.0	133.0	184.0	92.3	6.2	23.8	13.1	28.5	38.4	40.5	41.9	31.3	
ポイント3	往復遅延量	24.0	23.1	25.8	23.6	25.6	25.0	25.5	29.7	53.0	56.6	31.7	30.3	39.1	22.9	30.7	87.1	
	DLスループット	267.0	255.0	261.0	276.0	249.0	272.0	154.0	165.0	73.2	66.0	80.5	83.6	72.8	68.7	71.2	66.0	
	ULスループット	205.0	189.0	157.0	144.0	178.0	166.0	121.0	79.2	30.6	21.9	36.0	40.8	19.9	40.3	36.6	39.4	
ポイント4	往復遅延量	24.2	26.3	25.4	24.5	27.9	24.4	29.6	29.1	39.4	31.9	33.4	47.4	44.8	46.8	31.5	51.6	
	DLスループット	265.0	269.0	270.0	276.0	277.0	260.0	257.0	249.0	81.8	58.6	89.4	83.8	82.9	76.8	36.4	64.7	
	ULスループット	164.0	170.0	164.0	150.0	154.0	95.5	89.4	68.4	26.5	5.2	28.6	31.4	30.8	28.8	31.1	41.6	

[干渉量-68[dBm/MHz]での許容離隔距離の導出]

今回の基地局間干渉(正対)(併設)の実証で干渉量-68[dBm/MHz]以下の条件においては、スループットの劣化が発生しない(被干渉側準同期局の単独運用時と同じ特性が得られる)ことが実測から得られた。

反射波の影響がラボより少ないと考え、反射波が無い条件で、使用するアンテナ利得と自由空間損失モデルから干渉量-68[dBm/MHz]となる離隔距離を算出することにした。

[離隔距離算出結果]

1. 69m ※アンテナチルト角 90° を使用

現地パシフィコ横浜においても共用可能な距離となる。

準同期 TDD2 においては、上記準同期 TDD3 で測定したスループットからスロット数の差分を換算し、算出した準同期 TDD2 におけるスループットを以下に示す。準同期 TDD3 と同様にスループット観点で半減以上の劣化がない干渉量としては-66.7dBm/MHz となり、その時のスループットは、DL=350Mbps 程度、UL=100Mbps 程度となる。

図表 3-175 基地局間干渉(併設)  
被干渉側準同期局の準同期 TDD2 スループット算出結果

移動局 位置	ATTの有無	30dBの固定ATTあり																単位	
	アンテナ間距離[m]	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25		dBm/MHz
	干渉量[dBm/MHz]	-82.9	-80.5	-76.5	-76.0	-74.0	-70.4	-66.7	-64.7	-51.5	-50.5	-48.1	-47.0	-44.2	-41.5	-38.1	-32.9		
	離隔距離[m]	4314.4	3257.8	2065.0	1940.5	1545.0	1018.4	665.2	525.9	115.9	102.5	78.6	68.8	50.1	36.7	24.7	13.6	m	
ポイント1	DLスループット	396.0	388.5	399.0	424.5	418.5	414.0	376.5	373.5	148.7	90.8	110.3	121.5	119.4	98.7	64.5	97.7	Mbps	
	ULスループット	210.8	185.0	151.7	170.8	159.2	148.3	72.1	55.3	39.6	45.3	37.2	46.7	12.8	29.0	32.2	36.1	Mbps	
ポイント2	DLスループット	420.0	409.5	402.0	403.5	403.5	396.0	421.5	399.0	172.5	61.8	154.5	62.6	109.2	114.0	100.5	104.1	Mbps	
	ULスループット	142.5	142.5	154.2	126.7	176.7	110.8	153.3	76.9	5.2	19.8	10.9	23.8	32.0	33.8	34.9	26.1	Mbps	
ポイント3	DLスループット	400.5	382.5	391.5	414.0	373.5	408.0	231.0	247.5	109.8	99.0	120.8	125.4	109.2	103.1	106.8	99.0	Mbps	
	ULスループット	170.8	157.5	130.8	120.0	148.3	138.3	100.8	66.0	25.5	18.3	30.0	34.0	16.6	33.6	30.5	32.8	Mbps	
ポイント4	DLスループット	397.5	403.5	405.0	414.0	415.5	390.0	385.5	373.5	122.7	87.9	134.1	125.7	124.4	115.2	54.6	97.1	Mbps	
	ULスループット	136.7	141.7	136.7	125.0	128.3	79.6	74.5	57.0	22.1	4.3	23.8	26.2	25.7	24.0	25.9	34.7	Mbps	

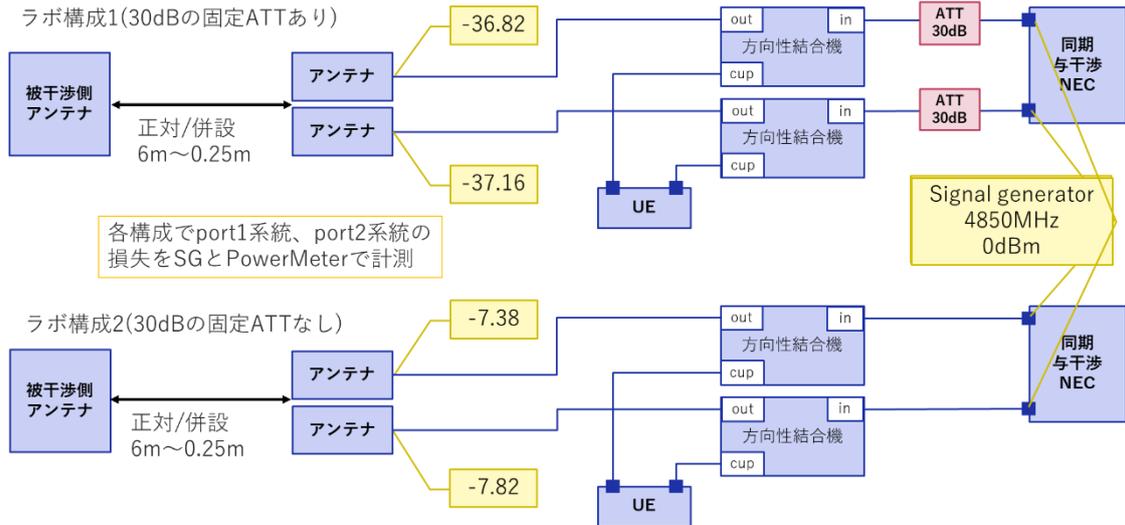
[基地局間干渉(正対)(併設)における離隔距離の算出方法]

(1) ラボ構成1(30dB 固定 ATT あり)、ラボ構成2(30dB 固定 ATT なし)における基地局送信出力端からアンテナ入力端までの損失を測定する。

ラボ構成1の場合、port1、port2の平均で36.99dB

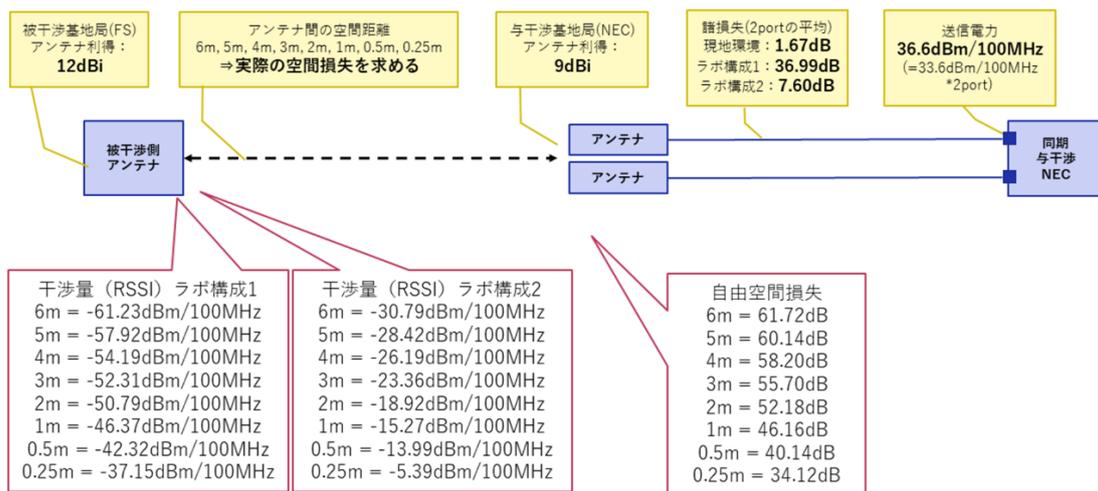
ラボ構成2の場合、port1、port2の平均で7.6dB

図表 3-176 ラボ構成1、2における基地局、アンテナ間損失



(2) 与干渉側アンテナ、被干渉側アンテナ間距離を変化させたときの被干渉側アンテナで測定される干渉量(RSSI)を測定する。

図表 3-177 被干渉側アンテナで測定される干渉量(RSSI)



(3) ラボ構成1 (30dB 固定 ATT あり)、アンテナ間距離 6m の場合、(1)で測定した基地局、アンテナ間損失、(2)で測定した干渉量(RSSI)を用いて実際の空間損失は以下の算出式より 81.84dB となる。この空間損失に(1)で測定した基地局、アンテナ間損失を加え、現地パシフィコ横浜設置環境における諸損失を引いた値がトータル損失 117.2dB となる。このトータル損失は、自由空間損失モデルを使用し距離に換算することで、離隔距離 3547m を求める。

図表 3-178 離隔距離算出方法

$$\left( \begin{array}{c} \text{与干渉基地局の} \\ \text{送信電力} \end{array} \right) - (\text{伝送諸損失}) + \left( \begin{array}{c} \text{与干渉基地局の} \\ \text{アンテナ利得} \end{array} \right) - (\text{空間損失}) + \left( \begin{array}{c} \text{被干渉基地局の} \\ \text{アンテナ利得} \end{array} \right) = (\text{干渉量})$$

$$36.6[\text{dBm}/100\text{MHz}] - (\text{ラボ構成の諸損失}) + 9[\text{dBi}] - (\text{空間損失}) + 12[\text{dBi}] = \text{RSSI}[\text{dBm}/100\text{MHz}]$$

ラボ構成1 (30dBの固定ATTあり)、アンテナ間距離6mの場合；

$$36.6[\text{dBm}/100\text{MHz}] - 36.99[\text{dB}] + 9[\text{dBi}] - (\text{空間損失}) + 12[\text{dBi}] = -61.23[\text{dBm}/100\text{MHz}]$$

$$(\text{空間損失}) = 81.84[\text{dB}]$$

※自由空間損失で6mの損失は61.72[dB]だが、ラボ環境での試験では81.84[dB]損失している。  
 ※他の構成においても20[dB]前後の差分がある。

離隔距離の算出；

$$\begin{aligned} (\text{損失の合計}) &= (\text{空間損失}) + (\text{現地構成とラボ構成の諸損失の差分}) \\ (\text{損失の合計}) &= (\text{空間損失}) + \{(\text{ラボ構成の諸損失}) - (\text{現地構成の諸損失})\} \\ (\text{損失の合計}) &= 81.84[\text{dB}] + (36.99[\text{dB}] - 1.675[\text{dB}]) \\ (\text{損失の合計}) &= 117.2[\text{dB}] \end{aligned}$$

⇒自由空間損失で117.2[dB]の損失を距離に換算すると、3547[m]

### ③移動局間干渉

[ラボでの実証結果]

与干渉側準同期移動局と被干渉側同期移動局のアンテナ間距離を変更したときの干渉量測定結果を以下に示す。移動局間離隔距離を 0.5m 確保することで許容干渉電力-60dBm/MHz 以下を満足することが分かった。実機測定後共用検討シミュレーションでの離隔距離は、2.19m であり、少し差分がある結果となった。

図表 3-179 移動局間干渉 離隔距離による与干渉量

アンテナ間距離	移動局間干渉									単位
	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	0.01	m
干渉量	-76.7	-75.3	-75.0	-76.2	-74.4	-73.0	-65.8	-56.3	-49.6	dBm/MHz

上記許容干渉電力-60dBm/MHz 以下を満足する離隔距離 0.5m、スループット測定が可能な物理的制限から最近接離隔距離 0.25m(干渉量-56.33dBm)、ならびに離隔距離を大きくした場合の被干渉側同期移動局のスループット、遅延量の評価を行った。測定が可能な最近接距離 0.25m においてもスループット、遅延量共に劣化がないことが分かる。また、この特性は同期局単独運用の時と比較しても劣化はなく、その時のスループットは、DL=196Mbps、UL=65Mbps となる。被干渉側同期移動局スループット観点では、離隔距離の考慮は必要ないと言える。

モンテカルロシミュレーションについては実施していないが、移動局を有線で接続した環境において干渉量-40dBm/MHz においてもスループットに劣化がないことを確認しており、共用検討シミュレーションにおける干渉量-60dBm/MHz と比較し、+20dB のマージンがある。これを移動局台数に換算すると 100 倍、100 台の悪条件下においてもスループットに劣化がない状態で使用可能となる。確率的な検証は未実施だが、100 台という多数の移動局が動作する環境下でも共用可能と考える。

また、準同期 TDD2 においても準同期 TDD3 と同様に影響は軽微と考えられ、被干渉側同期移動局のスループットに対する影響はないものと思われる。

図表 3-180 移動局間干渉 被干渉側同期局のスループット、遅延量測定結果

アンテナ間距離	移動局間干渉									単位
	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	m	
干渉量	-76.7	-75.3	-75.0	-76.2	-74.4	-73.0	-65.8	-56.3	dBm/MHz	
往復遅延量	31.2	30.9	32.2	32.8	24.4	32.6	33.7	31.5	ms	
DLスループット	225.0	210.0	201.0	239.0	194.0	206.0	229.0	196.0	Mbps	
ULスループット	66.8	64.5	66.0	66.9	65.9	67.2	68.0	65.1	Mbps	

## ■実機検証結果まとめ

以下に共用検討シミュレーション、準同期 TDD2、TDD3 において実際の測定で得た必要離隔距離、干渉量の比較結果を示す。

基地局間干渉(正対)においては、許容干渉量観点において共用検討シミュレーション離隔距離と実測値で近い値を得ることができた。基地局間干渉(併設)については、ラボ内反射波の影響と思われる干渉が発生し、共用検討シミュレーションと比較できる実測値を得ることができなかった。移動局間干渉における離隔距離については実測値の方が少し小さい値となったが、共用シミュレーションにおける離隔距離を満足していれば問題ないと言える。

スループット観点での許容干渉量としては、基地局間干渉(正対)(併設)共に-68dBm 付近にあることが実測定より明らかとなった。ラボ内の反射波の影響により適切な離隔距離の測定結果を得ることができなかった基地局間干渉(併設)については、反射波の影響がラボより少ないと考え、反射波が無い条件で、使用するアンテナ利得と自由空間損失モデルから干渉量-68[dBm/MHz]となる離隔距離 1.69m を導出した。これは現地パシフィコ横浜においても共用可能な距離となる。基地局間干渉における測定系の損失から導出する離隔距離については、自由空間損失モデルを使用したため、非常に大きな離隔距離となった。移動局間干渉については、最近接距離においてもスループットの劣化はなく、考慮の必要がないと言える。

パシフィコ横浜ノース多目的ホールの設置環境では、同期局、準同期局のアンテナを正対させていない、ならびに約 50m の離隔距離が確保されていたため、課題実証においては干渉が発生している影響は見られなかった。設置環境によっては、干渉が発生する可能性があるが、離隔距離の確保、極力アンテナを正対させない設置、アンテナチルト角変更により、主ビームを同期局、もしくは準同期局設置方向に向けない調整により干渉の低減を図れると考えている。また、同一大規模施設内において、同期局、準同期局を併用する場合は、同一免許人、もしくは利用範囲の調整を行える可能性が高いため、上記の調整は十分可能と考えている。

図表 3-181 共用検討シミュレーション、準同期 TDD2、TDD3 実測値の比較

項目		許容干渉量観点		スループット観点	
		共用シミュレーション	実測定結果	測定系の損失から導出した算出値	実測定結果
基地局間干渉 (正対)	離隔距離 [m]	308	284.7	755.0	-
	干渉量 [dBm/MHz]	-60	-59.3	-	-67.8
基地局間干渉 (併設)	離隔距離 [m]	0.18	525.9	665.2	-
	干渉量 [dBm/MHz]	-60	-64.7	-	-66.7
移動局間干渉	離隔距離 [m]	2.2	0.5	最近接距離で劣化がないため 考慮必要なし	
	干渉量 [dBm/MHz]	-60	-65.8		

以下に共用条件下における準同期 TDD3 スループット測定結果、ならびに準同期 TDD2 スループット算出結果を示す。この結果は離隔距離を近付けた際に半減以上の劣化がないことを確認した結果となっている。

図表 3-182 共用条件下におけるスループット結果

項目		スループット	
		準同期 TDD3 測定結果	準同期 TDD2 算出結果
基地局間干渉 (正対)	DL [Mbps]	240	400
	UL [Mbps]	120	140
基地局間干渉 (併設)	DL [Mbps]	270	350
	UL [Mbps]	170	100
移動局間干渉	DL [Mbps]	200	200
	UL [Mbps]	65	65

### 3.3.5 その他のテーマ

特に実施していない。

## 4. ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）

### 4.1 実証概要

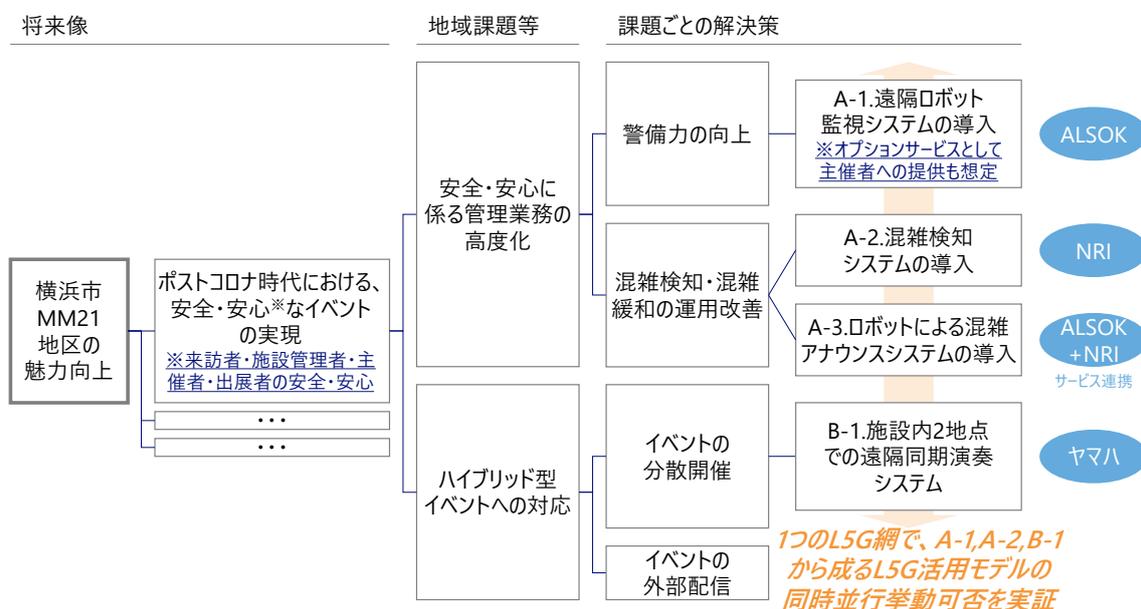
本実証では、横浜市みなとみらい21地区の象徴的な大規模施設である「パシフィコ横浜」をフィールドとし、ローカル5Gネットワークを自営網として構築した場合において、A.コロナ禍を契機とした各種施設管理業務の効率化・高度化、及び B.コロナ禍の流れを汲んだ新たな音楽パフォーマンスのモデル実現に資する成果を得ること、及び1つのローカル5Gネットワークを活用することでA、Bに関する複数のアプリケーション・サービス（マルチアプリケーション）の同時運用可否・実現課題を明らかにすることを目指す。

## 4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

パシフィコ横浜は、我が国でも随一の規模を誇る大型複合国際会議施設であり、国内外より多くの来場者で賑わうイベントが日々開催されてきた。しかし、新型コロナウイルス感染症の感染拡大を契機として、ポストコロナ時代における安全・安心なイベント（来場者、施設管理者、主催者、出展者それぞれの立場にとって）のあり方を、トップランナーとして検討・発信することが求められているものと認識している。

本検討にあたっては、安全・安心なイベントを実現するための方向性として、1点目には「安全・安心に係る管理業務の高度化」としての「警備力の向上」「混雑検知・混雑緩和の運用改善」を、2点目には「ハイブリッド型イベントへの対応」として「イベントの分散開催」を想定した。

図表 4-1 本実証で想定した、大型複合国際会議施設が抱える課題仮説（イシューツリー）



これら課題を解決するために、パシフィコ横浜ノース（6階建、多目的ホール及び大中小の様々な会議室で構成）に、一つのローカル 5G ネットワーク環境を構築の上、A として「A-1.遠隔ロボット監視システム」、「A-2.混雑検知システム」、を、B として「B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」の計 4 つから成るローカル 5G 活用モデルを、それぞれ個別ないし同時に作動させた際の挙動を、施設管理者及び利用者（システム利用者、エンドユーザー）等の複数の視点から検証する。

#### 4.2.1 「A-1.遠隔ロボット監視システム」の実装シナリオ・実証目標

##### (1) 背景・課題

MM21 地区はビジネス・観光等様々な機能の集積地であり、国内外から多くの方々が来訪される。とりわけ、パシフィコ横浜は国内最大級の大型複合国際会議施設（JNTO「国際会議統計」において、2019年実績にて開催件数・参加者総数・外国人参加人数は国内トップ）であることから、安全・安心の確保のための警備は極めて重要となる。他方、警備業界は人手不足であることから、新技術を活用することで省力化しつつ警備の高度化を図ることのできる、新たな警備モデルを模索する必要がある。

なお、総合警備保障株式会社（ALSOK）がすでにシステム自体は開発済みであり、昨年度ローカル 5G 開発実証で一部を活用した。ただし、昨年度は、人がほとんどいない実証環境下であり、監視員⇄現場警備員間のやり取りはキャリアの 4G 回線を活用していた。しかしながら、来場者が多い大規模施設等においては、警備業務において通信が混線・輻輳してしまうといった問題も現に発生しており、警備業務の実施上致命的といえる。そのため、ローカル 5G 回線を活用することで、通信輻輳の回避の実現性を検証したい。

上記を踏まえると、実際の運用を想定した混雑環境下において、①遠隔操作によるロボットの操縦、②遠隔監視での不審者・不審物の発見、③現場警備員への対処指示、④現場警備員による対処の実施を実現することが、「遠隔ロボット監視システム」を実装する上での技術的な検証課題となる。

さらに、施設管理者が自身の施設に対し施設警備を行うことはコストである。ロボットを活用することで一部業務の代替を可能とし、警備力を向上することは可能であるが、人による警備業務を完全に代替することは困難である。また、ロボットの導入効果を数値化し説明することは難しいため、施設管理者はロボット導入を判断し難いといったケースが散見される。本検証では、施設管理者がロボットの貸主となり、施設利用者（イベント主催者等）に対し、顧客満足を高めるツールとしてロボットを貸与するといった、⑤レベニューモデルの実現についても仮説検証する。

これらの検証を通じ、イベント主催者・参加者への更なる安全・安心の提供を通じた施設の魅力向上を目的として、ローカル 5G 無線通信システムを用いたロボットによる遠隔巡回・遠隔監視を実施し、新たなモデルを実現する。

図表 4-2 昨年度実証の成果と今年度実証の差異

年度	検証項目		
	ロボット	警備員連携	検証対象
R2年度成果	夜間・無人状態での実証	LTE 環境による実証	鉄道駅舎での、ドローン・ロボット・AIカメラを用いた警備力の高度化に関する検証
R3年度実施	一般来場者の行き交う有人環境での実証	ローカル 5G 環境による実証	大型複合国際会議施設での、ロボットによる遠隔監視警備、混雑アナウンスによるロボットマルチユース、及び施設管理者における収益モデルの検証

図表 4-3 昨年度 ALSOK 実証の様子



CPT (コックピット) 画面の例

CPT (コックピット)



図表 4-4 「A-1.遠隔ロボット監視システム」が実現した場合の ToBe 像

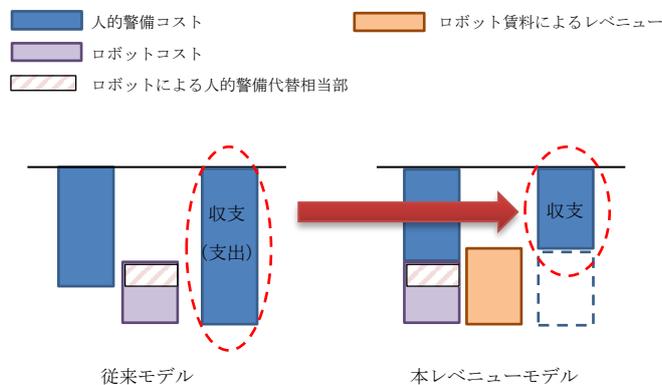
As-Is

警備ロボット導入を行うことで、施設警備力の向上が図れることは明白であるものの、人的警備を完全に代替することはできない。そのため、トータルコスト上昇により施設管理者は収支面からロボット導入判断を行うことが困難なケースが散見される。

なお、本収支では単純化のためローカル 5G コストは考慮していない。

To-Be

警備ロボットを、施設利用者（イベント会社等）へ有償貸し出しすることで、純粹なコストであった警備ロボット導入はトータル収支面でプラス方向とすることが可能となると想定した場合、ロボット導入判断を促進する。また、イベント会社等や来場者に対し、更なる安全・安心や便利を提供することへと繋がり、施設の価値を向上することができると想定する。



## (2) 実装シナリオ・実証目標

本実証では、①～④の技術的課題に対応する形での実証を行う。

具体的には、大規模施設における安全・安心の確保を目的として、ローカル 5G 通信環境下で監視センターの監視員が、ロボットの遠隔操縦、遠隔監視を行い、不審者・不審物を発見する。監視員が不審者・不審物を発見したら、モニター越しに不審者・不審物の発見・識別（顔・服装・性別等の特性、不審物の内容）を行う。その後、監視員がローカル 5G 通信環境下で「スタッフ等連携システム」を用いて、現場対処に最適な警備員に対して、対処の指示を行う。そして、現場警備員が現場において対処を行う。この一連の流れを実現することを目指す。

なお、昨年度とは異なり、監視員⇄現場警備員間のやり取りもローカル 5G 環境下での実施を行う。大規模施設の警備業務において致命的ともいえる通信輻輳の回避の実現性を検証することで、本システムの実装可能性について考察を行う。

また、⑤の運用課題に対応する形で、施設管理者がロボットの貸主となり、施設利用者（イベント主催者等）に対し、顧客満足を高めるツールとしてロボットを貸与するといった、⑤レベニューモデルの実現についても仮説検証する。

次年度以降への積み残し事項として挙げた、下表におけるキャリア 5G 空間との行き来、エレベータを利用したフロア跨ぎの警備の実現可能性の検証・課題解決がなされれば、高セキュリティ・通信安定性の担保されるローカル 5G 通信を活用した「監視・発見・指示・対処」の一連の流れを踏襲した「ローカル 5G 監視サービス」のパッケージ化が可能となり、「A-1.遠隔ロボット監視システム」の実装が実現するものとする。ひいてはこのパッケージサービスを、全国大規模施設に拡販する。

図表 4-5 各検証課題の対応時期

分類	検証課題	本実証での対応	次年度以降への積み残し
施設管理者視点での警備力向上（コスト）	①遠隔操作によるロボットの操縦	実施する（ローカル 5G 通信環境下で、監視センターを模したスペースの PC 卓から、監視員がロボットの遠隔操縦・遠隔監視を行う）	—（必要に応じて、C5G 空間との行き来、エレベータを利用したフロア跨ぎの警備についても検討）
	②遠隔監視での不審者・不審物の発見	実施する（監視員がモニター越しに不審者・不審物を発見する）	—
	③現場警備員への対処指示	実施する（監視員がローカル 5G 環境下で、 <b>ALSOK</b> の既存の「スタッフ等連携システム」を用いて、現場警備員に対処指示を行う） ※昨年度実証とは異なり、ローカル 5G 通信環境下で実施する	—（必要に応じて、C5G 空間との行き来についても検討）
	④現場警備員による対処の実施	実施する（現場警備員が現場で対処する）	—
施設管理者視点での収益化と施設の魅力向上（レベニュー）	⑤レベニューモデルの仮説検証	実施する	—

図表 4-6 「A-1.遠隔ロボット監視システム」の実装・横展開の道筋（ロードマップ）（案）

令和4年度	令和5年度	令和6年度～
<ul style="list-style-type: none"> <li>他施設、利用業者の拡大に向けた調査検討（例：大型MICE施設、イベントホール、商業施設等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロボットのマルチユース機能の追加開発と提供（例：フロア間移動のためのエレベータとの連動、移動型デジタルサイネージ等のおもてなし要素の実装等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R4-5年度検討を踏まえた、「遠隔ロボット監視システム」のサービス拡販</li> </ul>

## 4.2.2 「A-2.混雑検知システム」の実装シナリオ・実証目標

### (1) 背景・課題

新型コロナウイルス感染症が終息した後、徐々に大規模施設におけるイベント等が再開される見込みであるが、その中でも混雑緩和は引き続き重要な観点となることが予測される。

大規模施設においても、コロナ禍以降においては時々刻々と変化する施設内の来場者数を計測・管理することが求められており、施設管理者の業務負担になっている、という状況である。加えて、多目的ホール（約 6,300 平方メートル、最大 6 千人収容可能）の中のスポットごとの滞在人数の粗密までを正確に確認しきれておらず、その意味では混雑検知の更なる機能向上を図ることで新たな付加価値を生み出せる可能性がある。

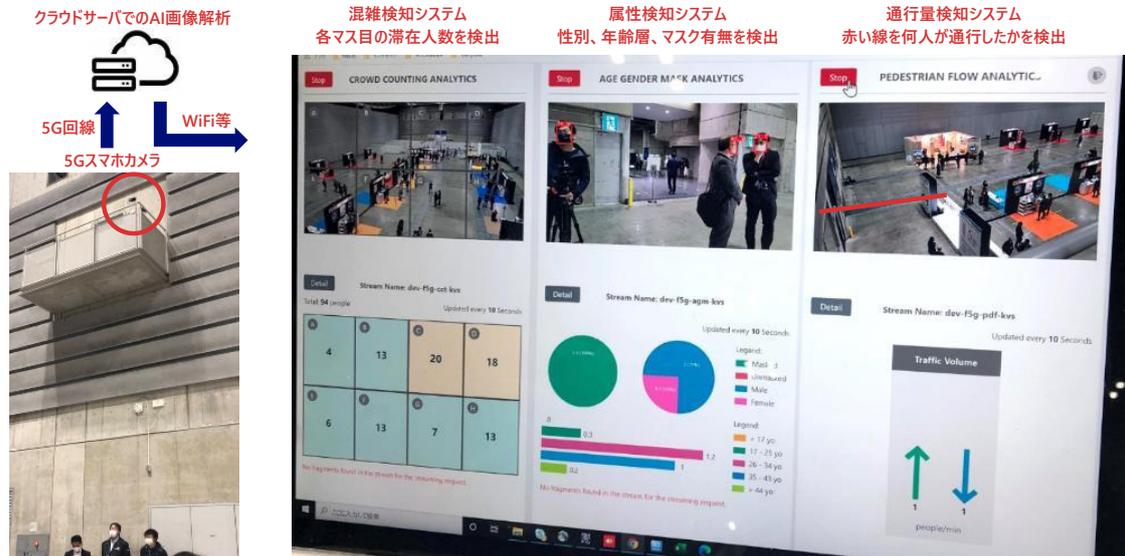
関連して、混雑検知に係るソリューションの開発状況について触れる。NRI ソリューション部門がすでにシステム自体は開発済みである。また、2021 年 3 月 5 日にパシフィコ横浜展示ホール内にてキャリア 5G 回線によるデモンストレーションを実施済みであり、挙動や精度についての簡易確認を行ったところである。しかしながら、運用の観点から、より広い空間で複数台のカメラにより会場全体の混雑状況を把握できるのか、信頼性の観点から、長時間システムが停止することなく安定して動作するか、操作性の観点からシステムが利用しやすいか、施設管理者側として導入効果が見込めるかなどといった観点での検証が必要と考えている。

上記を踏まえると、①会場の混雑状況の撮影、②高精細映像の AI 画像解析による滞在人数等の自動把握、③混雑アラートの発出、④館内デジタルサイネージへの案内掲出を実現することが、「混雑検知システム」を実装する上での検証課題となる。

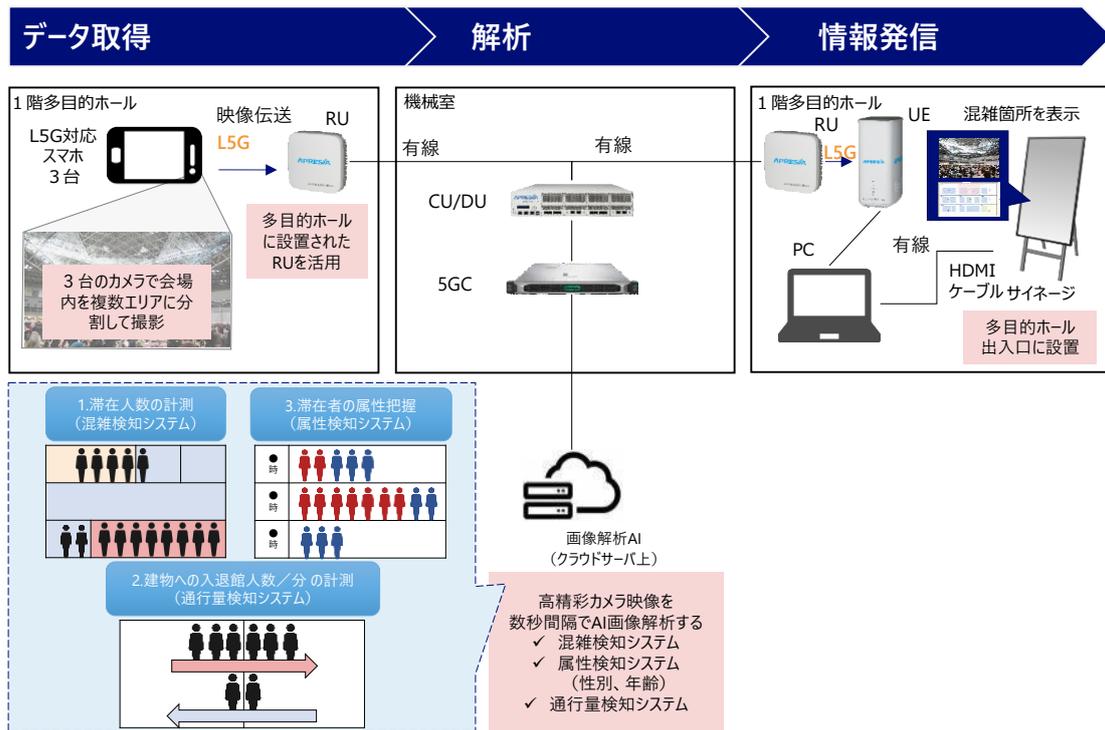
また、本システムの特徴として、スマートフォンカメラを使用している点があげられる。簡易な機器を使用しシステムの導入、撤去を容易に行えるようにすることで、出入り口や会場の配置が変化するイベント施設のニーズに対応することが期待される。設置場所を容易に変更するために無線通信の使用が望ましいが、画像解析に使用する大容量の映像データの伝搬が必要なため、大規模施設内のローカル 5G 通信を活用することで、本システムの可搬性を活かしつつ高精細画像による AI 画像解析が実施できるかを検証する。

そして、大規模施設における混雑検知システムの高度化・確立、商業施設等への汎用性の拡大を進め、大規模イベントや大規模商業施設の運営を都市全体で混雑を回避しつつ行う一助となることを目指したい。

図表 4-7 2021年3月5日パシフィコ横浜展示ホールにおいて実施されたイベントにおける  
デモンストレーションの様子



「A-2.混雑検知システム」が実現した場合のToBe像



## (2) 実装シナリオ・実証目標

本実証では、①～④の技術的課題に対応する形での実証を行う。

具体的には、大規模施設における混雑回避のための人流誘導を目的として、ローカル 5G 無線通信システムを用いたスマートフォンカメラによる映像の解析を行い、滞在者人数、通行量を測定し、混雑検知および混雑予測を行う。混雑を検知した際には、デジタルサイネージで来場者への誘導サインの掲示を行い、効率的な人流管理システムを実現する。この一連の流れを実現することを目指す。

実装横展開に向けては、令和 4 年度に本実証を踏まえて画像解析の高度化をはかるとともに、混雑検知システムの大規模施設への導入を検討し、令和 5 年度の実装を目指す。また、同時に令和 5 年度以降は大規模商業施設や観光地など類似の場所、都市全体での本システムの活用方法を検討し、システムの汎用化を目指す。汎用化にむけては、画像解析 AI をクラウドサーバーから MEC サーバーに移管できるような機能拡張も検討する。MEC サーバーへの実装について検証・課題解決がなされれば、より一層のリアルタイム性も担保した「A-2.混雑検知システム」の実装が実現するものとする。

図表 4-8 各検証課題の対応時期

検証課題	本実証での対応	次年度以降への積み残し
①会場の混雑状況の撮影	実施する（多目的ホール内をスマートフォンカメラで撮影する）	—
②高精細撮影映像の AI 画像解析による滞在人数等の自動把握	実施する（上記撮影映像を、ローカル 5G 通信回線でアップロードし、クラウドサーバーで AI 画像解析を行い、混雑検知/通行量検知/属性把握等を行う）	—（必要に応じて、AI 画像解析を行うサーバー機能を、クラウドサーバーから MEC サーバーに移管できるような機能拡張を検討する）
③混雑アラートの発出	実施する（混雑を検知・予測した際には、混雑アラートを発出する）	—
④館内デジタルサイネージへの案内掲出	実施する（ローカル 5G 通信回線を用いて、館内のデジタルサイネージにて、当該エリアへの入室制限等のアナウンスや撮影映像を来場者に向けて提示する）	—

図表 4-9 「A-2.混雑検知システム」の実装・横展開の道筋（ロードマップ）（案）

令和4年度	令和5年度	令和6年度～
<ul style="list-style-type: none"> <li>混雑検知システムの実用化に向けた機能の改善</li> <li>属性検知機能の精度の向上</li> <li>混雑検知システムの大規模施設への試験的導入、上記改善の実証の実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模施設における混雑検知、人流誘導システムの実装</li> <li>大規模商業施設、観光地等での利用を想定した汎用化、機能の拡充</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模商業施設等を含む都市全体での混雑検知、人流誘導システムへの拡大</li> <li>スマートフォンへのリアルタイム配信等の機能追加</li> </ul>

#### 4.2.3 「B-1.施設内2地点での遠隔同期演奏システム」の実装シナリオ・実証目標

##### (1) 背景・課題

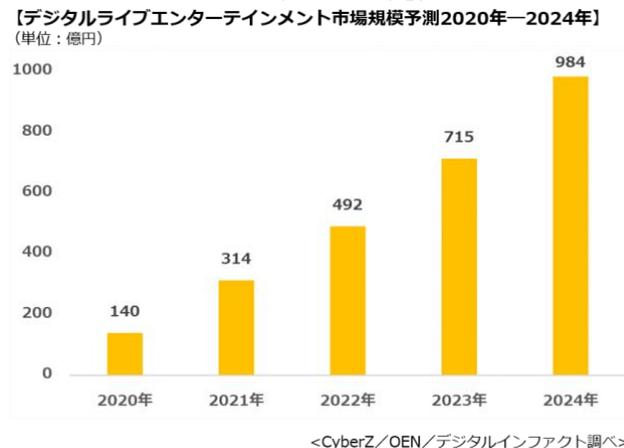
MM21 地区は、既存のパシフィコ横浜国立大ホールや横浜みなとみらいホールに加え、ぴあアリーナMM や KT Zepp Yokohama が新設され、更に今後Kアリーナ開業を控え2千人から2万人まで収容可能な音楽ホールが集積を始めており、高度な音楽・エンターテインメント体験を提供できる街となっている。

しかし、日本におけるライブ・エンターテインメントの市場規模（音楽コンサートとステージでのパフォーマンスイベントのチケット推計販売額合計）は、2011年から2019年にかけて、約2倍に拡大しているものの、2020年は新型コロナウイルスのまん延を受け、市場規模は大きく落ち込んでいる。一方で、デジタルライブエンターテインメント（アーティストが音楽ライブや演劇などを主にステージ上で演じ、ライブ配信で提供されるコンテンツ）の市場規模は、2020年以降拡大していく見通しであり、新型コロナウイルスの広がりを契機に消費者や出演者の行動やニーズが変わりつつあり、ライブ・エンターテインメント市場にも影響を与えていることが分かる。

図表 4-10 ライブ・エンターテインメント市場規模の推移（出所：ライブ・エンターテインメント調査委員会「2020 ライブ・エンターテインメント白書」）



図表 4-11 デジタルライブエンターテインメント市場規模の予測（出所：CyberZ、OEN、デジタルインファクト「デジタルライブエンターテインメント市場規模の予測 2020年-2024年」）



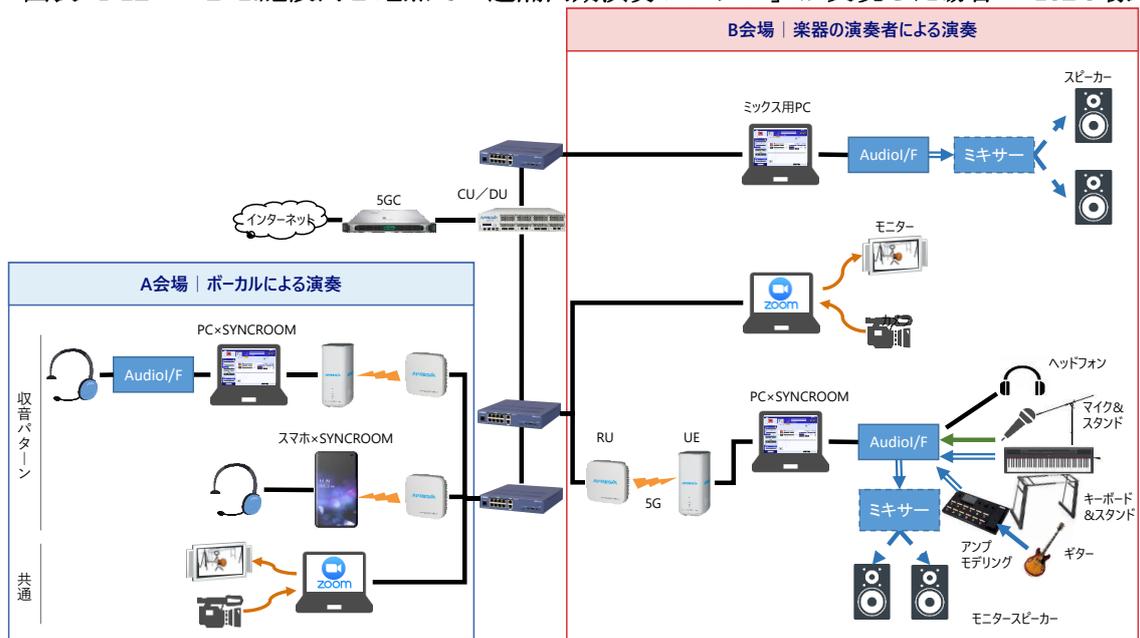
このような社会情勢の中、国内最大級の大型複合国際会議施設であるパシフィコ横浜など大規模施設においても、消費者や出演者のニーズを踏まえた新しい音楽ライブの在り方が模索されている。

上述の通り、オンラインでのイベントは増えているが、オンラインのみでのイベントは、ライブならではの「臨場感」や「一体感」を醸成しにくく、また映像視聴がメインとなるため、交流がしにくいといった点でデメリットがあると言われている。そのため、コロナ禍後も見据え、安全・安心な環境の確保を行いつつ、集客力向上と観客の満足度向上の両立に資する、新たな音楽ライブの形として、施設内複数地点での遠隔での同期演奏によるライブパフォーマンスに関心を寄せている。

しかし、遠隔での同期演奏を実施するためには、ソフトウェア処理に加え、インフラとなるネットワーク回線網の依存度が高いため、Wi-fi やキャリア 5G 等の既存の無線では、安定した速度を出すことができない状況である。一方で、有線を使用した場合、移動上の制約が生じ演奏・演出の幅が狭くなること、施設利用の回転率が低下することという 2 つの課題が生じる。前者については、アイドルグループやポップスバンド等多人数でのライブやボーカルが移動し観客とインタラクティブな演出を行うことが難しくなり、利用シーンが限られてしまうことが想定される。また、後者については、現在有線を使用することにより、多量の配線設備が必要となり、設営・撤去に数週間程度の日数が必要となっており、大規模施設のイベントの回転率が低下する一因となっている。そのため、有線 LAN ではなく、無線、その中でもローカル 5G の利用により、「低遅延」かつ「無線」での「音の同期」の実現が必要である。

上記を踏まえると、施設内 2 地点での遠隔同期演奏を実施した場合における、①音響の伝送速度の低遅延性、及び②音響の伝送時の安定性、③有線 LAN ではなくローカル 5G ネットワークを導入した場合の演奏準備の効率性が「施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」を実装する上での検証課題となる。

図表 4-12 「B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」が実現した場合の ToBe 像



## (2) 実装シナリオ・実証目標

本実証では、①、②の課題に対応する形で、有線 LAN で通信するケースと同一のローカル 5G のコアネットワーク内で通信するケースを比較することにより、通信システムの差異による音響の遅延時間の差異、ジッタ (jitter) の有無・程度 (安定度の差異) の評価を行う。この評価を行う際、音声通信のパケットキャプチャによる定量的な評価に加え、アンケートにより演奏者等の体感に関する定性的な評価も行う。また、移動時や機器の変更時 (PC 又はスマートフォンのアプリ β 版) の影響を確認することにより、実際のライブへの適用を見据えた実証を行う。

また、③の課題に対応する形で、施設管理者や PA 業者へのアンケートやヒアリングを通じ、ローカル 5G ネットワークを導入することによる演奏準備時の工数等の効率化を分析し、施設や PA 業者へのメリットを確認する。

これらが確認できれば、大規模施設として、今後のローカル 5G ネットワークの導入を本格検討することが可能となる。

本年度成果を踏まえ、低遅延かつ通信安定性が担保されるローカル 5G ネットワークを活用した現地参加+遠隔分散のハイブリッド型イベント実施のための情報整備や、ネットワーク・システムの改善を通じ、全国大規模施設へのローカル 5G 設備の普及展開を実現したい。なお、下図のロードマップに記載している通り、現段階では、「同一施設内」で実施を行うが、将来的なキャリア 5G やローカル 5G の普及に合わせ、「他拠点」との連携を視野に入れており、その第一歩と考えている。

図表 4-13 各検証課題の対応時期

検証課題	本実証での対応	次年度以降への積み残し
①音響の伝送速度の低遅延性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● バンドメンバーがメイン会場とサブ会場に分かれ、演奏を行った場合の音響の遅延や安定性を評価</li> <li>● 音声通信のパケットキャプチャによる定量的な評価に加え、アンケートにより演奏者等の体感に関する定性的な評価も行う</li> <li>● 移動時や機器の違い（PC 又はスマートフォンのアプリβ版）の影響確認も行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 演奏者（アイドルグループや伝統芸能等）や楽器の差異による影響の確認</li> <li>● 演奏場所（他のホールや屋外等）の差異による影響の確認</li> <li>● キャリア 5G やその他の通信回線との比較検討の深掘り</li> </ul>
②音響の伝送時の安定性		
③有線 LAN ではなくローカル 5G ネットワークを導入した場合の演奏準備の効率性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 演奏準備時の工数等の変化を確認</li> <li>・ 施設や PA 業者へのアンケートやヒアリングを通じ、評価を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 演奏者（アイドルグループや伝統芸能等）の差異による作業フローや工数の変化の確認</li> <li>・ 遠隔同期演奏の準備時だけでなく、通常のコンサート設営時との比較</li> </ul>
その他運用に関わる事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 遠隔演奏のソフトウェアである「SYNCROOM」使用時の設営や設定方法等の検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 遠隔分散型イベント実施時のノウハウについての施設や PA 業者等への情報共有</li> </ul>

図表 4-14 「B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」の実装・横展開の道筋（ロードマップ）（案）

令和4年度	令和5年度	令和6年度～
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ SYNCROOMの利用技術・スキルを持つPA事業者の教育による運営側の整備</li> <li>・ 低遅延を利用した演出の検討、アイドルグループや伝統芸能等の利用シーンの拡大の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ キャリア・ローカル5Gの普及に合わせ、同期演奏による遠隔ライブの対象地域・施設の拡大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ スマートフォン（5G対応）版のSYNCROOMの技術改善、実用化</li> </ul>

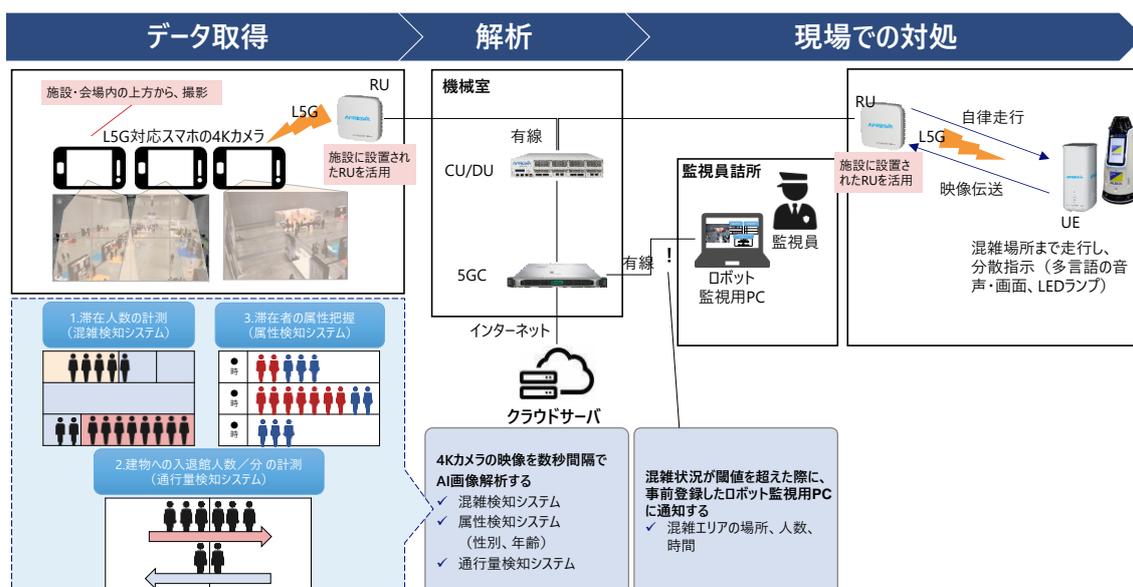
#### 4.2.4 「A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム」の実装シナリオ・実証目標

##### (1) 背景・課題

前述の通り、パシフィコ横浜は国内最大級の大型複合国際会議施設であることから、安全・安心の確保のための警備は極めて重要となる。他方、警備業界は人手不足であるとともに、多様化する警備業界への期待に応えるべく、新技術を活用することで警備の高度化を図ることのできる、新たな警備モデルを模索する必要がある。また、新型コロナウイルス感染症が終息に向かうにつれて、徐々に大規模施設におけるイベント等が再開される見込みであるが、その中でも混雑緩和は引き続き重要な観点となることが予測され、効率的に人流誘導を行うことといった新たなサービスの在り方が求められる。人流誘導は、過密状態による転倒事故防止の観点においても、警備における重要な業務の一つである。

上記を踏まえると、①会場の混雑状況の自動把握、②その結果に自動連動するロボットへのアナウンス実施箇所への走行指示伝達、③ロボットの自律走行によるアナウンス実施箇所への移動、④混雑箇所への移動回避を促すアナウンスの発信を実現することが、「ロボットによる混雑アナウンスシステム」を実装する上での検証課題となる。

図表 4-15 「A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム」が実現した場合の ToBe 像



なお、「お城 EXPO2021」では1階多目的ホール（城めぐり観光情報ゾーン）の1区画において、数十～数百人が観覧可能な「イベントステージ」が生まれ、30～60分程度のイベントが順次実施されることとなった。順次実施されるイベントの中には、来場者から特に人気のイベントも複数含まれており、それらのイベント終了時は、イベントステージのエリアから一気に大勢の来場者が大会場に出場した後、来場者が特定のエリアに集中しないよう分散を図る必要があることが分かった。そこで、イベントステージのイベント終了時にあわせて、イベントエリアからの出場口付近にロボットを走行・待機させ、上記「④混雑箇所への移動回避を促すアナウンスの発信」に特化し、その実装是非を別途検証することとした。

## (2) 実装シナリオ・実証目標

①～④の課題に対応すべく、シナリオ遂行型の実証として実施する。

具体的には、A-2 のシステムを用いてリアルタイムの混雑検知を実施した結果、一定閾値以上の混雑が確認された場合には、システム連携によりロボット管理 PC を経由で、A-1 で用いた 4K カメラ搭載のロボットがホームポジションから現場に自律走行で向かい、事前録音のアナウンス（多言語）やロボット搭載のサイネージ（多言語）や LED ランプの点滅により、来場者に対して分散指示を促し、再度ホームポジションに戻る。この一連の流れを実現することを目指す。**【実証 1：混雑検知から混雑アナウンスまで一気通貫での実証】**

また、前ページ記載の通り、イベントステージ終了後の出場口付近へ（その時点での混雑状況によらず）ロボットを走行・待機させて、会場内の混雑状況についてのアナウンス発信を行う、いわば「④混雑箇所への移動回避を促すアナウンスの発信」に特化させた実証についても実施する。**【実証 2：イベント終了時アナウンスの実証】**

「A-1.遠隔ロボット監視システム」、「A-2.混雑検知システム」それぞれの個別での実装に向けた取組を最優先すべきと考えるため、A-1 や A-2 と比べると、実装時期や実装場所の拡大については後ろ倒しする。ただし、上記個別での実装の後、速やかに「A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム」の実装を実現するために、次年度以降への積み残し事項として挙げた、混雑した任意の地点へのロボットによる自律走行、混雑箇所の来場者等と遠隔の監視員とのリアルタイムでの会話、及びロボットを走行させる空間の確保等についての検証・課題解決については、並行して取り組んでいく。また、複数社によるローンチを行うに際してのビジネススキームについてもあわせて検討を行う。

図表 4-16 各検証課題の対応時期

検証課題	本実証での対応	次年度以降への積み残し	実証	
			実証 1	実証 2
①会場の混雑状況の自動把握	実施する（「A-2 混雑検知システム」の活用）	—	○	—
②その結果に自動連動する形でロボットへのアナウンス実施箇所への走行指示伝達	特定の地点において、一定の滞在人数を超過した場合、自動的に（間に監視員が介在することなく、）ロボットに対して混雑アナウンスを実施する箇所への走行指示が伝達される	任意の地点において、一定の滞在人数を超過した場合、自動的に（間に監視員が介在することなく、）ロボットに対して混雑アナウンスを実施する箇所への走行指示が伝達される	○	—
③ロボットの自律走行によるアナウンス実施箇所への移動	ロボットが、ホームポジションから、混雑アナウンスを実施する箇所として事前に設定した特定地点に向けて、自律走行で移動する（「A-1 遠隔ロボット監視システム」の活用）	ロボットが、ホームポジションから、任意の混雑アナウンスを実施する地点に向けて、自律走行で移動する（※人混み回避等の技術運用も要する）	○	—
④混雑箇所への移動回避を促すアナウンスの発信	実施する（多言語での事前録音音声やロボット搭載のサイネージ、LED ランプの点滅による退散指示）	—（必要に応じて、遠隔の監視員と混雑アナウンスを実施する箇所付近の来場者等との会話を行う）	○	○
その他運用に関わる事項	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ロボットを走行させる空間の確保方法の調整</li> <li>・ロボットによる駆付けと警備員・従業員による駆付けのいずれを選択するかルール作り</li> <li>・複数社によるローンチを行うに際してのビジネススキームの検討</li> </ul>	—	—

図表 4-17 「A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム」の実装・横展開の道筋（ロードマップ）（案）

令和4年度	令和5年度	令和6年度～
<ul style="list-style-type: none"> <li>混雑検知アラート発生時のロボットへの自動運行ロジックの確立、混雑箇所への自立走行の実現</li> <li>大規模施設、商業施設等でのロボットによる混雑アナウンスシステム、新たな機能追加のニーズ深掘り</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自律走行ロボットの混雑アナウンスシステムについて、施設側の運用オペレーションの確立</li> <li>混雑検知以外のニーズの高い機能の追加開発、新機能における連携体制の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新たな機能の追加を含むマルチソリューションとして、ビジネス化を検討</li> <li>イベントホールや商業施設等の国内大規模施設への導入を目指す</li> </ul>

#### 4.2.5 マルチアプリケーションの実装シナリオ・実証目標

##### (1) 背景・課題

実証フィールドのパシフィコ横浜は、情報通信基盤（インターネット回線、Wi-Fi ネットワーク等）の運用にあたり、相応額の費用を拠出している。新型コロナウイルス感染症の感染拡大に伴う、ハイブリッド型イベントの開催が増加したこともあり、一層通信費用が増加傾向にある。また、既存の情報通信基盤はアップリンク通信が脆弱であるのが実情である。

その中、Wi-Fi 設備が更新時期を迎えていることから、パシフィコ横浜は現在その更新の方向性についてまさに検討している状況にある。

更新オプションとしては、

- 【オプション1】 Wi-Fi としての設備更新
- 【オプション2】 ローカル 5G ネットワークの新規導入
- 【オプション3】 キャリア 5G ネットワークの活用

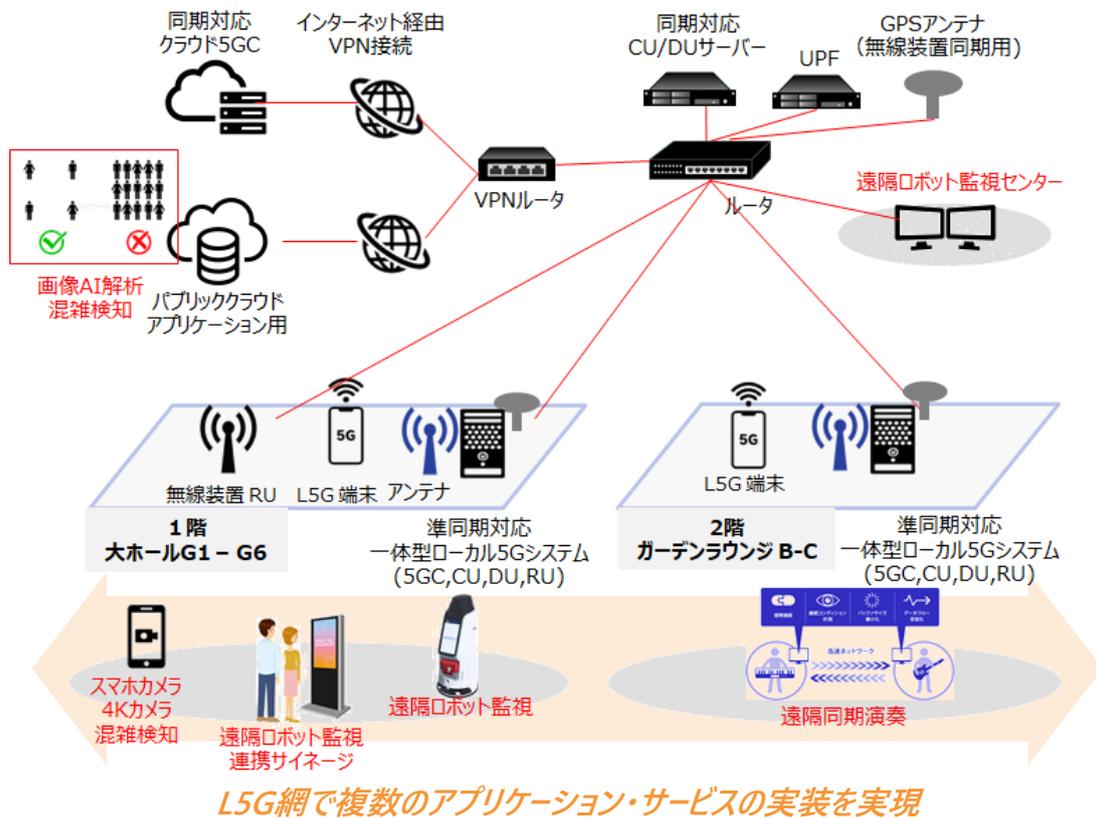
等が想定されるが、アップリンク通信の安定性の観点、ポストコロナのイベントモデルを支える低遅延性（同期演奏の実現）の観点、年間運営費用削減の観点、イベント主催者側にスポットで提供できるセキュアな有償サービスの運用の観点を勘案した場合に、②ローカル 5G の新規導入について関心が寄せられている状況にある。

図表 4-18 更新オプションと解決課題との対応関係

	更新オプション1 Wi-Fi としての設備更新	更新オプション2 ローカル 5G ネットワークの新規導入	更新オプション3 キャリア 5G ネットワークの活用
【技術】アップリンク通信の安定性		○	
【技術】セキュアな通信の実現		○	
【運用】ハイブリッド型イベントへの対応		○	
【運用】運用の難易度	○		
【運用】対来場者向け高規格サービスの展開			○
【運用】対施設管理者・イベント主催者向け高規格サービスの展開		○	
【経済合理性】初期投資の最小化	○		○
【経済合理性】運営費用の削減	○		

上記を踏まえると、①複数のアプリケーションの同時並行運用を実施した場合における、各アプリケーション・サービスの挙動安定性、及び②Wi-Fiに置き換える形でローカル5Gネットワークを新規導入した場合の運営費用の削減程度、③ローカル5G通信の優位性を活かした有償オプションサービスの設定・運用是非が「ローカル5G活用モデル全体（マルチアプリケーション）」を実装する上での検証課題となる。

図表 4-19 マルチアプリケーション実装が実現した場合の ToBe 像



## (2) 実装シナリオ・実証目標

本実証では、①の課題に対応する形で、ローカル 5G 回線環境を活用した 3 つのアプリケーション (A-1、A-2、B-1) を同時に作動させた状態、即ち通信環境に対して最大負荷を掛けた状態においても、これらアプリケーションを同時に不都合なく運用できるような機能水準を維持できることを確認する。

「遠隔ロボット監視システム」においては、以下についての検証を行う。

- ・ 映像の視認性 (監視映像を監視モニター上より視認することができるか)
- ・ 遠隔制御の操作性 (監視モニター映像を確認しながら、遠隔でのロボット操作を行うことができるか)
- ・ 接続安定性 (監視員による現場警備員への対処指示、対処の実施、及び現場警備員による携帯端末からの処置完了操作といった一連のプロセスにおいて、各動作が通信の輻輳を受けずに完結するかどうか)

「混雑検知システム」においては、以下についての検証を行う。

- ・ 4K 映像のアップロードが行えること

「施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」においては、以下についての検証を行う。

- ・ 可搬型の準同期 TDD 対応ローカル 5G システムにて提供するローカル 5G 端末間の peer to peer 通信機能により超低遅延が実現できること
- ・ 他のアプリケーションと同時使用した場合においても、ローカル 5G 端末間のエンドエンドでの超低遅延 20msec 未満が実現できること
- ・ 他のアプリケーションと同時使用した場合において、一定時間中に (10 分間)、聴覚上認識可能な音声の途切れ区間が発生しないこと

そして、②③の課題に対応する形で、Wi-Fi の代替としてローカル 5G ネットワークを導入することによる運営費用の削減程度、及び新たに可能となる有償オプションサービスによる収益増加程度を分析のうえ、初期投資費用がどの程度の年月で回収され得るかを確認する。

これらが確認されれば、大規模施設として次年度以降のローカル 5G ネットワークの導入を本格検討することが可能となる。

図表 4-20 各検証課題の対応時期

検証課題	本実証での対応	次年度以降への積み残し
①同時並行利用時の、各アプリケーション・サービスの挙動安定性	実施する	—
②Wi-Fi の代替としてローカル 5G ネットワークを導入した際の運営費用の削減程度	実施する	—
③ローカル 5G 通信の優位性を活かした有償オプションサービスの設定・運用是非	実施する	—
その他運用に関わる事項	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・パシフィコ横浜の複数の建物・会場・部屋等の空間において、いかなるタイムスパンでどの順番でローカル 5G 導入を推進するかを検討</li> <li>・キャリア 5G やその他の通信回線との比較検討の深掘り</li> </ul>

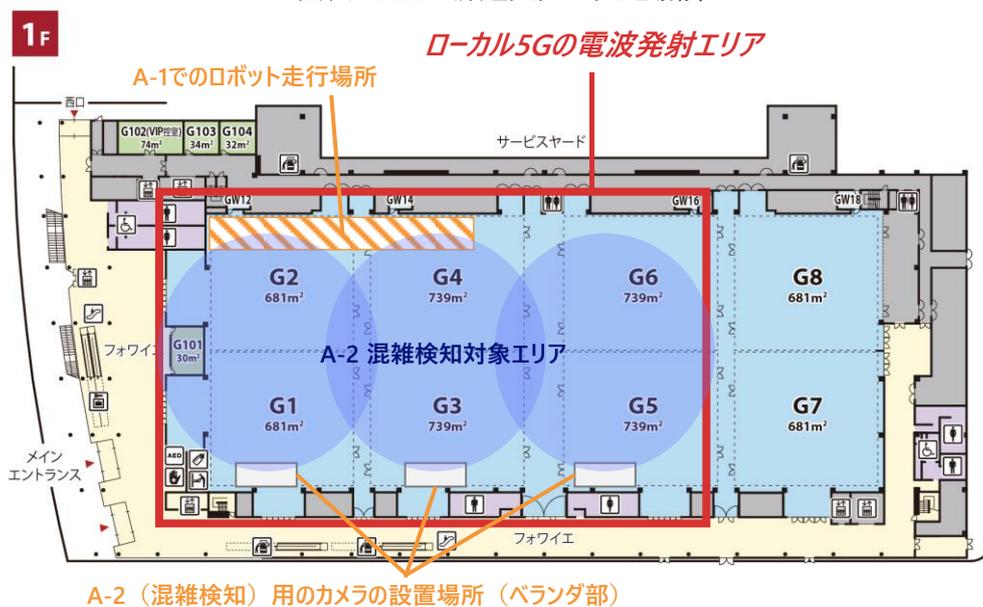
### 4.3 実証環境

本課題実証は、「お城 EXPO2021」の開催に合わせて実施することから、「お城 EXPO2021」の会場レイアウトを踏まえて、実証環境を構築する必要がある。パシフィコ横浜担当者へのヒアリングの結果、「お城 EXPO2021」では、1階多目的ホールのG1～G6部分が間仕切りを取っ払った最も大きな展示空間として活用され、またその他の空間についても、2階ガーデンラウンジA、B、Cを除くエリアについては、全てイベントにおいて使用される予定であることが分かった。

以上を踏まえ、本課題実証では、「1階多目的ホールのG1～G6部分」、及び「2階ガーデンラウンジA、B」にローカル5Gの電波発射を行うこととする。その上で、「1階多目的ホールのG1～G6部分」では実証A-1、A-2、A-3を、「2階ガーデンラウンジB、C」では実証B-1を、それぞれ実施する。

なお、マルチアプリケーション実証（A-1+A-2+B-1）に関しては「お城 EXPO2021」実施時間帯以外の時間帯（早朝ないし夜間）で、「1階多目的ホールのG1～G6部分」を活用して実施する。

図表 4-21 課題実証の実施場所



2F



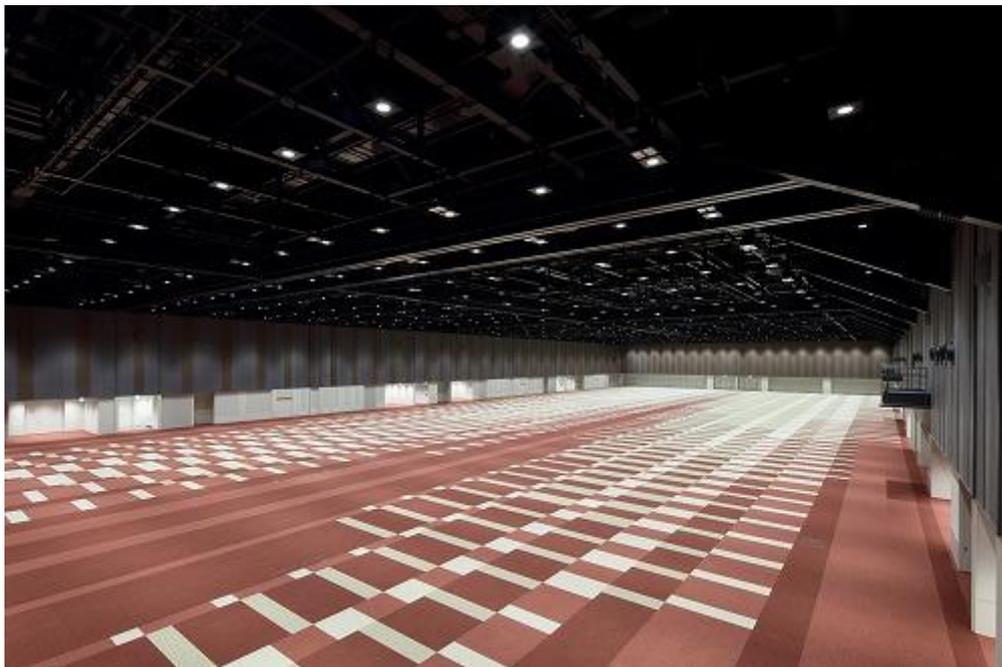
3F



4F



図表 4-22 パシフィコ横浜ノース 1階多目的ホールの概観  
(以下は、G1～G8の間仕切りを全て取っ払った状態)



### 4.3.1 実証システムの構築

#### 4.3.1.1 ロボット (REBORG-Z)

ユースケース実証 (A-1)、サービス連携の実証 (A-3)、マルチアプリケーション実証において使用する。1 台のロボットを用意し各実証を行うためのシステム構築を行う。なお、「REBORG-Z」は、ALSOK においてすでに開発済みであり、本事業費を活用したさらなる開発は生じていない。

図表 4-23 実証におけるユースケース一覧 (遠隔ロボット監視システム)

ユースケース	実施内容	FROM	経路	経路	T0	必要帯域等	
遠隔ロボット監視システム (ALSOK)	REBORG-Z による映像送信	ロボット監視の映像をロボット管理 PC に送信	ノース1階多目的ホール走行ロボット	L5G	L5G	監視センター ロボット管理 PC	上り 4Mbps ~ 20Mbps
	REBORG-Z の遠隔操縦	監視センターよりロボットの遠隔操作	監視センターロボット管理 PC	L5G	L5G	ノース1階多目的ホール走行ロボット	下り 低bps
	REBORG-Z の走行状況	ロボットの位置情報をロボット管理 PC に送信	ノース1階多目的ホール走行ロボット	L5G	L5G	監視センター ロボット管理 PC	上り 数 Mbps
	現場警備員の状態把握	監視センターからスタッフ連携システムにアクセスして確認	ノース1階外部クラウド スタッフ連携システム経由 現場警備員 L5G スマホ	L5G	インターネット	外部クラウド スタッフ連携システム PC	上り 数 Mbps
	現場警備員への通知	監視センターより現場警備員への対応指示	ノース1階監視センター スタッフ連携システム PC 外部クラウド	インターネット	L5G	外部クラウド ノース1階 現場警備員 L5G スマホ	下り 数 Mbps

※なお、本実証において「監視センター」はパシフィコ横浜ノース1階多目的ホール G1-G6 内、お城 EXPO2021 の城めぐり観光情報ゾーンに設置した本実証の出展ブース内に仮設した。

### (1) 基本機能・性能

ロボット正面方向に高精細 4K カメラを 1 台搭載し、取得した映像を監視モニター上に表示させるための映像送信（上り回線）を可能とする。4K カメラ映像の帯域幅調整は最大 24Mbps まで可変設定できる。

また、遠隔操縦機能を実装し、取得した映像を監視員が確認しながらロボット遠隔操縦（下り回線）が可能である。

なお、ロボット本体はあらかじめ設定した走行ルートを自走することが可能であり、走行中に障害物が発生した場合を想定した、障害物の検知～停止動作が安全に実施可能な安全機構を備えている。

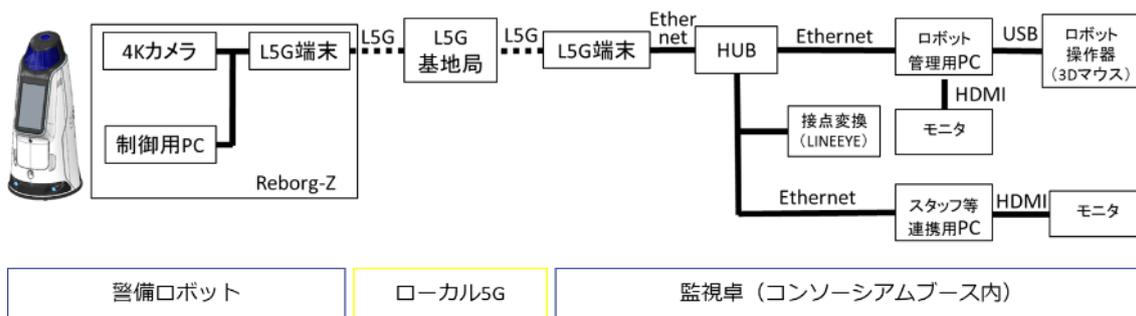
図表 4-24 主要機材一覧

カテゴリ	主要機器名	数量	備考
ロボット	警備ロボット本体	1	ALSOK REBORG-Z
	ロボット用充電装置	1	自動充電装置
	4K カメラ_ロボ	1	20Mbps、ロボット搭載
	ロボット用操作器	1	3D マウス、バックヤード設置
	ロボット管理用 PC	1	バックヤード設置
	モニター_ロボ	2	バックヤード設置
	接点変換 (LINEEYE)	2	混雑検知連携用、バックヤードに設置

### (2) 基本機器構成

ロボットの基本構成図を示す。図中のスタッフ等連携については、別途詳細を記載する。

図表 4-25 ロボットの基本構成図



### (3) 機器諸元

- ・ 警備ロボット本体  
警備ロボット本体の諸元を示す。

図表 4-26 ロボット仕様

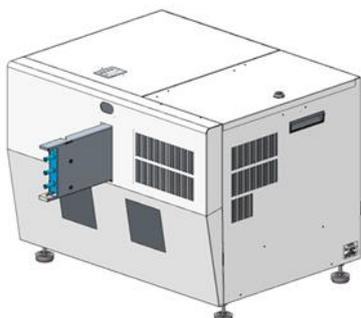


項目	詳細
メーカー	ALSOK
品名	REBORG-Z
型式	AI-G921
外形寸法（標準時）	直径 700 mm、高さ 1,530 mm
質量（バッテリー含む）	180kg
周囲温度範囲	動作時：5℃~35℃、非動作時：0℃~40℃
相対湿度範囲	動作時：85%以下、非動作時：90%以下
使用場所	屋内／条件付き屋外
耐用年数	7年
防塵防水	IP54相当
連続走行時間	2時間
充電時間	1時間
最高速度	4.6km/h
登坂能力	±5度
走行経路幅	通常：1,800 mm以上、ゲート：900 mm以上
タッチパネルモニタ	18.5 型液晶パネル、画素数：1,920×1,080

・警備ロボット用充電装置

警備ロボット用充電装置の諸元を示す。

図表 4-27 ロボット用充電装置仕様



項目	詳細
メーカー	ALSOK
品名	自動充電装置
型式	AI-G921-AC
外形寸法（標準時）	W580mm×D450mm×H450mm
質量（バッテリー含む）	35kg
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
耐用年数	7年
VCCI	クラス A 準拠
電源	AC100V 50/60Hz
消費電力	1400W 以下

- ・ 4Kカメラ\_ロボ  
4Kカメラの諸元を示す。

図表 4-28 4Kカメラ仕様



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
画像圧縮方式	H.265／H.264／JPEG (MJPEG)

- ・ロボット操作器（3D マウス）  
 ロボット操作器（3D マウス）の諸元を示す。

図表 4-29 ロボット操作器（3D マウス）仕様



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

- ・ロボット管理用 PC  
 ロボット管理用 PC の諸元を示す。

図表 4-30 ロボット管理用 PC 仕様



項目	詳細
メーカー	マウスコンピューター
品名	MousePro-S230ST06
型番	2110MPro-S230ST06
CPU	インテル Corei5-11400 プロセッサー
OS	Windows 10 Pro 34 ビット
メモリ	16GB (8x2GB)デュアルチャネル
グラフィック	NVIDIA T600/4GB
マザーボード	インテル B560 チップセット (Mini-ITX/SATA 6Gbps 対応ポート×4/M.2 スロット×2)

- ・モニター\_ロゴ  
モニターの諸元を示す。

図表 4-31 モニター仕様



項目	詳細
メーカー	iiyama
型式	XB3288UHSU-B1
画面サイズ	31.5 型 (対角 80cm)
最大表示色	約 10.7 億色
表示可能解像度	3840×2160
アスペクト比	16:9
使用電源	AC 100V、 50/60 Hz
外形寸法 (幅×高さ×奥行)	730.0×578.5×230.0 mm
質量	約 6.2 kg

・接点変換 (LINEEYE)

接点変換 (LINEEYE) の諸元を示す。

図表 4-32 接点変換 (LINEEYE) 仕様



項目	詳細
品名	LAN 接続型デジタル I Oユニット
型番	LA-3R3P-P
出力回路	リレー接点出力×3
入力回路	リレー接点入力×3
LAN インターフェース	RJ45 コネクタ 10Base-T/100Base-TX 自動検知
LAN プロトコル	TCP/IP、UDP/IP、ARP、ICMP、SNMP、Telnet、DHCP、BOOTP、HTTP、SMTP
ポート番号	TCP、10003、30718
電源	DC8V～30V
外形寸法 (幅×高さ×奥行)	74×30×106 mm
質量	約 280g

#### 4.3.1.2 スタッフ等連携システム

ユースケース実証 (A-1)、サービス連携の実証 (A-3)、マルチアプリケーション実証において使用する。なお、「ALSOK スタッフ等連携システム」は、ALSOK においてすでに開発済みであり、本事業費を活用したさらなる開発を行うことはない。

##### (1) 基本機能

スタッフ等連携システム（以下、「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。

図表 4-33 スタッフ等連携システムの画面

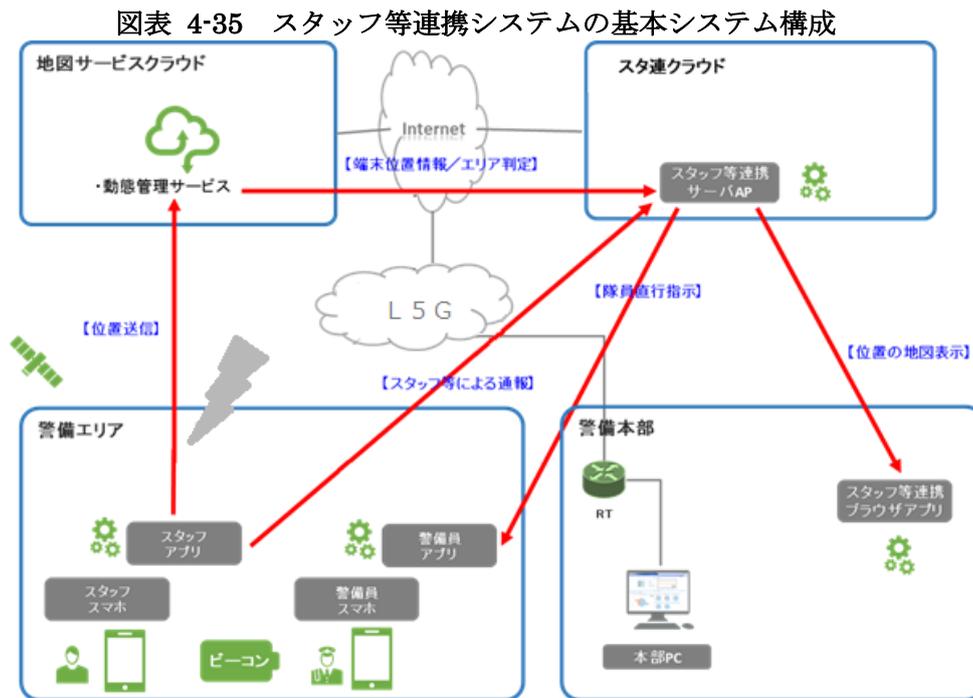


図表 4-34 主要機材一覧

カテゴリ	主要機器名	数量	備考
スタ連	監視用 PC_スタ連	1	バックヤード設置
	スマホ_スタ連	1	L5G 対応スマホ
	モニター_スタ連	2	バックヤード設置
	ビーコン_スタ連	6	実証フィールド設置

## (2) 基本システム構成

スタ連は、サービス管理の観点からインターネット接続を必須とする。本実証で構築するローカル 5G システムより、FW を経由しインターネット上のサービス（スタ連クラウド、地図連携クラウド）へ接続を行う。なお、スタ連アプリケーションとサーバー間の通信は、TLS 1.2、ECDHE\_RSA with P-256、AES\_128\_GCM によって暗号化、認証、保護されている。



### (3) 機器諸元

- ・ 監視用 PC\_スタ連  
スタ連\_PC の諸元を示す。

図表 4-36 スタ連\_PC 機器仕様



項目	詳細
メーカー	マウスコンピューター
型式	MousePro-S201
CPU	Core i7-9700
グラフィック機能	NVIDIA GeForce GTX 1650
メモリ	8GB (1x8GB) DDR4
容量	256GB SSD (M.2 SATA3 接続)
インターフェース	USB2.0×4,USB3.0×4、 USB3.1×2,LAN(RJ45)×1
寸法	(W)99mm x (D)328mm x (H)290mm
重量	約 4.2 kg
消費電力	300W
電源	AC100V
OS	Windows 10 Pro (64ビット)

図表 4-37 スタ連\_PC 付属機器内訳

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

スマホ\_スタ連

FCNT 製：2.2 ネットワーク・システム構成を参照のこと。

- ・モニター\_スタ連  
モニターの諸元を示す。

図表 4-38 モニター仕様



項目	詳細
メーカー	iiyama
型式	XB3288UHSU-B1
画面サイズ	31.5 型 (対角 80cm)
最大表示色	約 10.7 億色
表示可能解像度	3840×2160
アスペクト比	16:9
使用電源	AC 100V、 50/60 Hz
外形寸法 (幅×高さ×奥行)	730.0×578.5×230.0 mm
質量	約 6.2 kg

- ・ビーコン\_スタ連  
スタ連\_ビーコンの諸元を示す。

図表 4-39 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)

#### 4.3.1.3 混雑検知システム

ユースケース実証 (A-2)、サービス連携の実証 (A-3) において使用する。なお、「混雑検知システム」は、NRI においてすでに開発済みであり、本事業費を活用したさらなる開発を行うことはない。当初予定では 5G 対応スマホカメラ 4 台すべてで 4K 映像をアップロードする予定であったが、事前調整において他のシステムと同時に使った場合に通信の瞬断等が発生するリスクが確認されたことからイベント本番においては混雑検知システムが停止することがないように、4K 画像をアップロードするカメラ 1 台 (通行量検知) と 2K 画像をアップロードするカメラ 3 台 (混雑検知) として実証を実施した。4K カメラによる実証も行っていることから本課題実証における検証項目への影響はない。

図表 4-40 実証におけるユースケース一覧 (混雑検知システム)

ユースケース	実施内容	FROM	経路	経路	TO	帯域 必要要件
混雑検知 (NRI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 台のスマートフォンカメラの会場モニター画像を外部クラウド画像解析サーバーへ送信するため UL スループット重視が必須 (UL 最大 120Mbps) (画像のアップロードは 4K および 2K で行う)</li> <li>可搬型の準同期 TDD 対応ローカル 5G システムにて提供する UL 重視の準同期 TDD パターン 2, およびパターン 3 にて対応</li> </ul>					
多目的ホール内 モニター 用スマホ カメラ	スマホカメラでモニターした多目的ホール内の来場者の状況を画像解析用クラウドサーバーへ送信	ノース 1 階 (バランダ)  スマホカメラ	L5G	インターネット	外部クラウド  画像解析システム	当初予定 上り 30Mbps/スマホカメラ 1 台  全スマホカメラが同時 4K 画像を送信は最大上り 120Mbps (本番では通行量検知は 4K 10Mbps×1 台 混雑検知は 2K 5Mbps×3 台の合計 25Mbps)
サイネージ用	画像解析した結果をサイネージに送り、掲示する	外部クラウド 画像解析システム	インターネット	L5G	デジタルサイネージ	下り  数 10Mbps

## (1) 基本機能

混雑検知システムは、混雑検知および通行量検知の機能を持つ。機器構成は 2 つの機能で共通であり、カメラ映像をアップロードすることで、クラウドサーバー上にある画像解析 AI が映像を解析し、それぞれの機能に応じた解析結果を出力することができる。それぞれの機能は以下の通りである。

### 〔混雑検知〕

混雑検知の機能では、カメラ映像を仮想的に 8～12 程度の複数のエリアに分割し、それぞれのエリア内に滞在する人数を AI によりカウントする。混雑状況はリアルタイムに GUI（グラフィックユーザーインターフェース）上に表示され、一定の時間ごとに更新される。また、あらかじめ各エリアに混雑を判定する閾値となる人数を指定しておくことで、閾値以上の人数がエリア内に滞在した場合に混雑状態を検知し、GUI 上のエリアの表示色を変更したり、アラームによって混雑を通知したりする。

### 〔通行量検知〕

通行量検知の機能では、カメラ映像内に仮想的に線を引き、その線を往来した人数を AI によりカウントする。また、それらの人の性別、年齢層などの属性についても自動で判別し、属性ごとにカウントする。

図表 4-41 混雑検知システム機能一覧

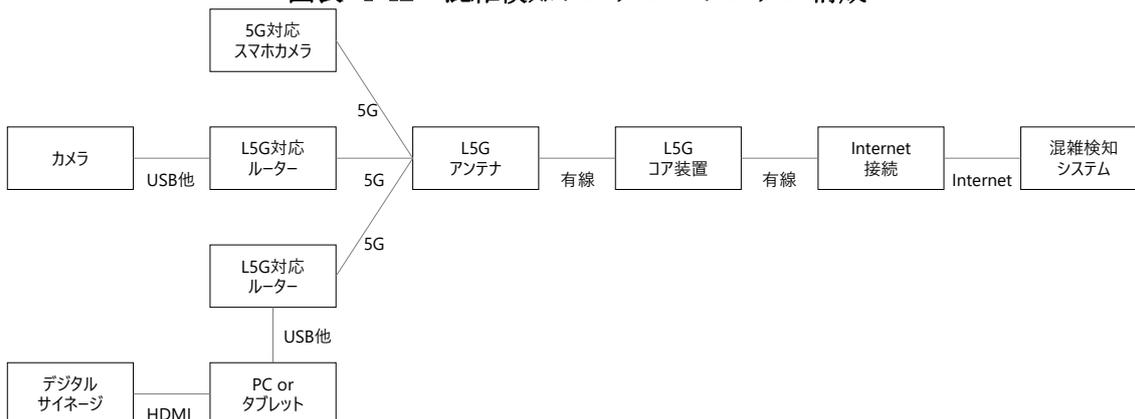
システム	機能	機能概要
混雑検知システム	エリア区分機能	エリア（カメラで取得した映像上、仮想的な区切り線で囲まれた箇所）を会場内の状況に応じて自由に設定できる
	混雑状況把握	エリア毎の人数をカウントし、GUI に表示する 人数に応じて GUI 上のエリアの色を変更する
	アラーム通知	エリアにいる人数が閾値を超えた場合に、GUI 上の閾値を超えたエリアの色を変更し、閾値を超えたエリアへは行かないようにメッセージ（アラーム）を表示する
	GUI 表示	事前に設定した一定時間ごとに GUI を更新する
通行量検知システム	通行量カウント	カメラで取得した映像上で、仮想的な一本の線の上を往来した人数をカウントする
	属性検知	カメラで取得した映像上で、映った人の性別、年齢層などを自動判別する

※本実証においては通行料検知システムの機能である属性検知については同時にシステムを動かしていたが、本実証の対象としてのカウント及び分析、GUI 上への表示は行っていない。

## (2) 基本システム構成

混雑検知システムの基本システム構成は以下の通りである。高精細カメラ映像をローカル 5G 通信を介してアップロードし、クラウドサーバー上にある混雑検知システムにおいて解析する。解析結果についても同様にローカル 5G 通信を介して、PC またはタブレットから閲覧することができる。本実証においては、PC またはタブレットに表示される内容をデジタルサイネージに掲出することで、来場者に混雑状況の伝達を行う。

図表 4-42 混雑検知システム システム構成



混雑検知システムの必要機材は以下の通りである。映像の取得については高精細画像を用いるが、ローカル 5G を利用することで無線通信によるアップロードが可能となる。映像の取得はローカル 5G 対応のスマートフォンを用いる。

図表 4-43 混雑検知システム 必要機材一覧

カテゴリ	主要機器名	数量	備考
映像取得	L5G 対応スマートフォン	4	4 K 対応スマートフォン
ユーザーインターフェース	L5G ルーター	1	
	PC or タブレット	1	
	デジタルサイネージ	1	4 K 対応

## (3) その他の要件

以下の要件を考慮した選定、設計によりシステム構築する。

- インターネットを通じた通信の暗号化
  - インターネット上の通信はすべて SSL/TLS での暗号化を実施する。
- 処理前の一時的な撮像の保管
  - AI 処理前の一時的な撮像の保管に関しては、暗号化を実施する。
- 処理後の撮像の扱い
  - 来場者の容姿を含む撮像は、解析処理後即座に破棄し、永続的なデータとして一切保管しない。
- 解析結果の保管
  - 解析結果は人の数、属性、通過量など個人情報を含まない情報のみを格納する。

#### 4.3.1.4 遠隔演奏ツール「SYNCROOM」

ユースケース実証 (B-1) において使用する。なお、「SYNCROOM」は、ヤマハにおいてすでに開発済みであり、本事業費を活用したさらなる開発を行うことはない。

図表 4-44 実証におけるユースケース一覧 (遠隔同期演奏)

ユースケース	実施内容	FROM	経路	経路	TO	帯域 必要要件	
遠隔同期演奏システム (ヤマハ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガーデンラウンジ B および C の異なる会場間で楽器演奏とボーカルを同期演奏するためにエンドエンドでの超低遅延 20msec 未満が目標</li> <li>・可搬型の準同期 TDD 対応ローカル 5G システムにて提供するローカル 5G 端末間の peer to peer 通信機能により超低遅延に対応</li> </ul>						
	超低遅延必須	複数会場での同期演奏	メイン会場、2階ガーデンラウンジ C 楽器	ローカル 5G	ローカル 5G	メイン会場 2階ガーデンラウンジ C	音声 3.0-4.0Mbps/1 拠点 ※20msec 未満
	遠隔同期演奏時のエンドエンド遅延は 20msec 未満	Peer to peer 通信	サブ会場、2階ガーデンラウンジ B ボーカル				
	遠隔同期演奏 SYNCROOM ユーザー認証	遠隔演奏開始前のユーザー認証	メイン会場、2階ガーデンラウンジ C 楽器	ローカル 5G	インターネット	外部クラウド ユーザー認証サーバー	上り/下り 数 10Mbps

## (1) 動作環境

SYNCROOM のアプリケーションソフトウェアは、2022 年 1 月現在、PC (Windows、Mac) とスマートフォン (iOS、Android) 版がある。(Android 版はノーサポートのβ版の提供)

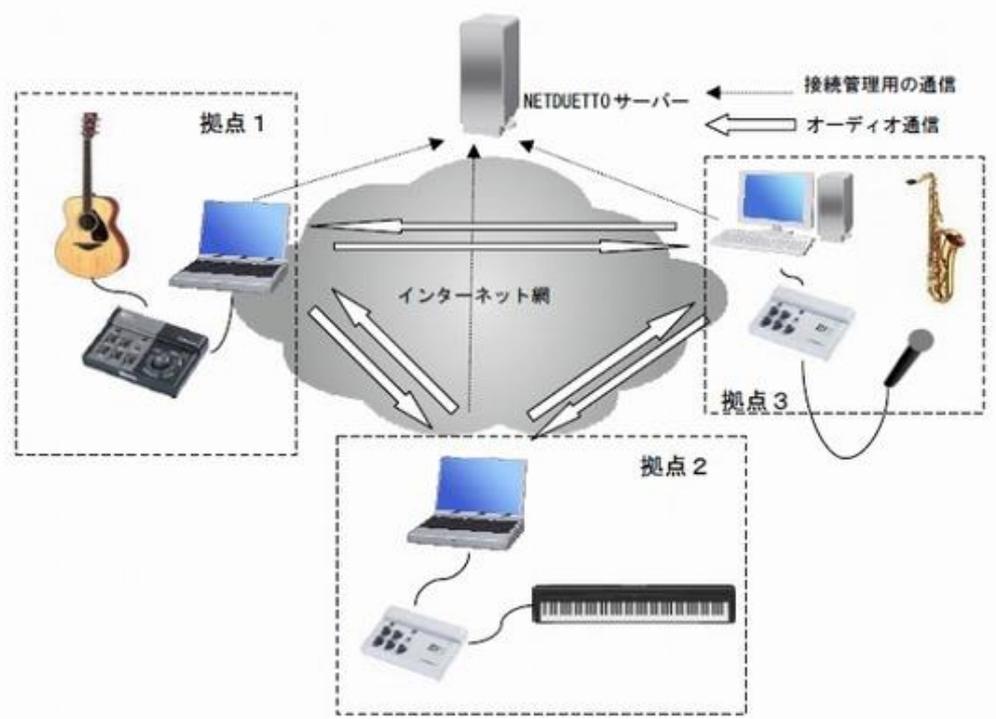
対応 OS は Windows 10 (64bit) (日本語 OS 版のみ)、macOS Mojave (10.14)、macOS Catalina (10.15)、macOS Big Sur (11) (言語設定が日本語のみ動作)、iOS/iPadOS 13.0 以降、Android 9.0 以上。本実証では、PC (Windows)、スマートフォン (Android) を併用する。

## (2) システム構成

SYNCROOM は各拠点間を P2P 通信で直接接続することで、低遅延で音声をやりとりする。この音声の通信は、ローカル 5G と実証を行う施設内の LAN の中で行われ、外には出ない。

遠隔合奏の相手とは「ルーム」に入室することで接続ができる。「ルーム」はルーム管理のサーバーで管理されている。この管理サーバーは実証を行う施設の外にあり、管理サーバーとの通信は公衆回線を介して行う。

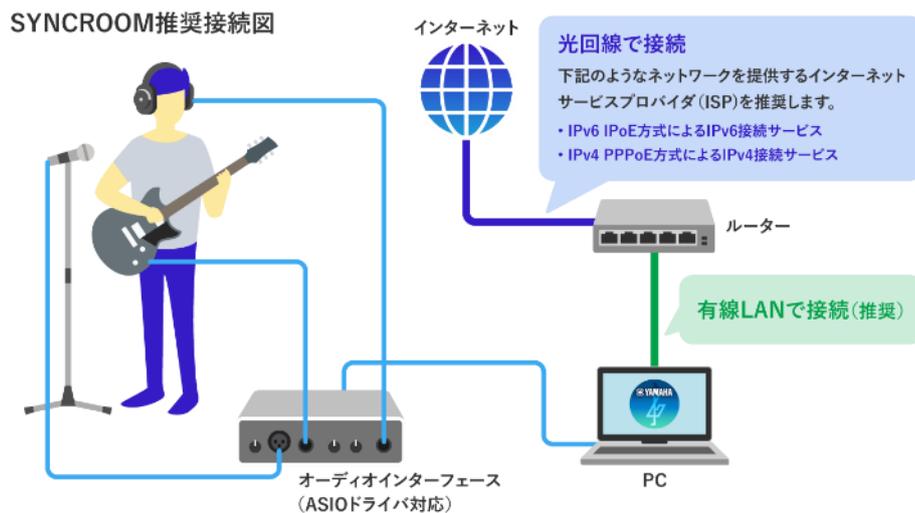
図表 4-45 システム構成図①



SYNCROOM は最大 5 拠点間（5 台の PC やスマートフォン間）で遠隔演奏を楽しむことができるが、本実証では 2 拠点での接続検証を行う。

各拠点には PC、またはスマートフォンと、音声を入力するためのオーディオインターフェイス(PC のみ)、そしてインターネット回線が必要であり、本実証ではローカル 5G の回線を使用する。

図表 4-46 システム構成図②



各拠点間は最高音質の設定をした場合でステレオ 48kHz の非圧縮音声データを送ることができ、必要な通信帯域は接続先 1 拠点あたり上下それぞれおよそ 2~3Mbps。音声データの通信は P2P で行うため、最大の 5 拠点間を接続するには合計で上下それぞれ最大約 15Mbps の帯域が必要となる。

### (3) セキュリティ

SYNCROOM を使用する際には、ヤマハ会員サービスのアカウント認証を必要とする。アカウント作成時にメールアドレスを取得するが、ヤマハ個人情報保護規定に基づきヤマハ株式会社が運用するクラウド上で厳重な管理し、会員サービスとの通信は TLS で暗号化されている。

通信時のルーム管理サーバーとのやりとりは外部のネットワーク回線経由で行うが、個人情報には送信しない。またルーム管理サーバーとの通信は DTLS による暗号化を行っている。

#### 4.4 実証内容

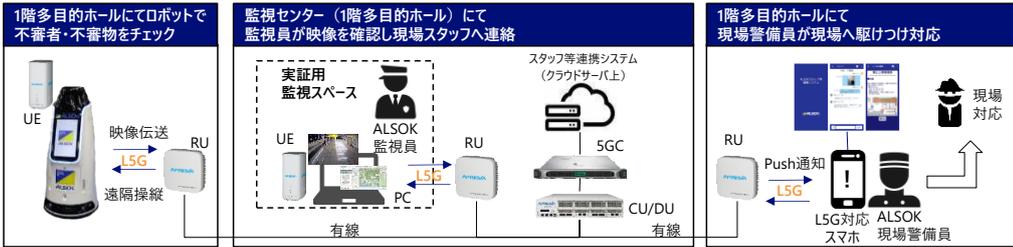
本実証の出口は、大規模施設の施設管理者としてマルチアプリケーションの同時並行運用を実現するためにローカル 5G の導入を本格検討することにある。しかしながら、大中小様々な会議室等空間が広がる、特殊性の高い屋内空間において初めてローカル 5G ネットワーク環境を構築する、という点を踏まえ、個々のアプリケーション・サービスがそもそも作動するかについても、本実証において検証することが必要である。また、複数のアプリケーション・サービスを繋ぎ合わせることで新たなサービスメニューを構築するいわゆるサービス連携についても検討し得る。

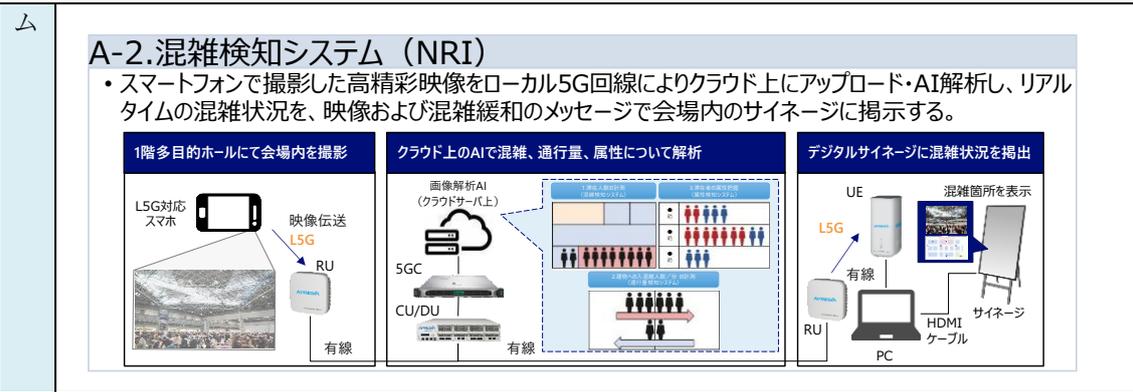
以上を踏まえ、課題実証では、(1) 個別ユースケースの実証、(2) サービス連携の実証、(3) マルチアプリケーション実証(同時並行運用時の挙動確認)の 3 ステップで実施する。

(1) 個別ユースケースの実証

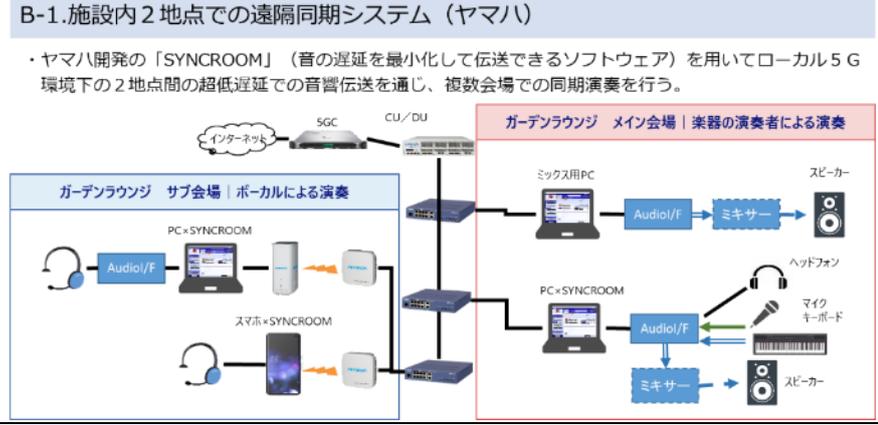
個々のアプリケーション・サービスの挙動性や実現課題を把握する。具体的には、ローカル 5G を活用することの効果や機能、ローカル 5G を活用する場合の運用についての示唆を得る。

A-1、A-2、A-3 いずれも、パシフィコ横浜にて毎年開催されている「お城 EXPO2021」の開催時期（準備期間、開催日の早朝・夜間時間帯等）に当該施設内での実証を行う。特に、A-1、A-2 については、「お城 EXPO2021」の開催時間帯に当該施設内での実運用（「お城 EXPO2021」の来場者に体感・評価いただく）を行う。

<p>A-1. 遠隔ロボット監視システム</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 総合警備保障株式会社（ALSOK）が主担当。本実証は、ALSOK においてすでに開発済み（昨年度ローカル 5G 開発実証でも活用）の警備・案内ロボット（「REBORG-Z」）や「ALSOK スタッフ等連携システム」を用いて行うこととし、本事業費を活用したさらなる開発を行うことはない。</li> <li>● 本実証では、遠隔操縦ロボットの 4K カメラ映像による不審者・不審物の識別の可否、混雑会場における現場警備員とのやり取りの円滑さについて、ローカル 5G 通信環境下での機能評価を行う。</li> <li>● ※昨年度とは異なり、監視員⇄現場警備員間のやり取りもローカル 5G 環境下での実施を行う。大規模施設の警備業務において致命的ともいえる通信輻輳の回避の実現性を検証することで、本システムの実装可能性について考察を行う。</li> <li>● ※なお、ロボットではなく、監視カメラによって遠隔監視を行う方法も考えられるが、ロボットがその周囲の人に対してアナウンスをして、注意喚起を促すなど柔軟な対応が可能となるものとする。また、ロボットには障害物（人を含む物体）との衝突を回避（自動減速、停止）し、走行ルートを迂回し走行を行う機能が具備されていることから、本実証専用のロボット走行レーンを設定する必要がない。</li> </ul> <p>&lt;実証ケース&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● A-1-1・・・ノース 1 階多目的ホールにて実施。</li> </ul> <p><b>A-1.遠隔ロボット監視システム（ALSOK）</b> ※監視員⇄現場のやり取りのL5G化が昨年度との差</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 遠隔操縦ロボットの4Kカメラ映像による不審者・不審物の識別の可否、混雑会場における現場警備員とのやり取りの円滑さについて、ローカル5G環境下での機能評価を行う。</li> </ul> 
<p>A-2. 混雑検知システム</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NRI ソリューション部門が主担当。本実証は、NRI においてすでに開発済みの「混雑検知システム」（2021 年 3 月 5 日にパシフィコ横浜展示ホール内にてキャリア 5G 回線によるデモンストレーションを実施した。）を用いて行うこととし、本事業費を活用したさらなる開発を行うことはない。</li> <li>● 本実証では、高精彩カメラ映像を、ローカル 5G 回線によりクラウドサーバー上にアップロード・AI 解析し、リアルタイムの混雑検知、混雑回避措置の効率化を実現する。</li> </ul> <p>&lt;実証ケース&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● A-2-1・・・ノース 1 階多目的ホールにて実施。</li> </ul>



- B-1. 施設内2地点での遠隔同期システム (ヤマハ)
- ヤマハ株式会社が主担当。本実証は、ヤマハにおいてすでに開発済みの「SYNCROOM」(過去にキャリア 5G 回線を用いた実証実績有り。)を用いて行うこととし、本事業費を活用したさらなる開発を行うことはない。
  - 本実証では、ヤマハ開発の「SYNCROOM」(音の遅延を最小化して伝送できるソフトウェア。主に PC 用だが、Android スマホ用のβ版もあり。)を用いた超低遅延での音響伝送を通じ、複数会場での同期演奏を行うことで、ローカル 5G 通信環境下での機能評価を行う。
  - ※ポストコロナの音楽パフォーマンスのあり方として、三密回避等の観点から、同一施設であっても複数の会場で分散して実施し、演出・運用上の工夫を施すことで一体的なパフォーマンスとして成立させる、といった方向性が現実的な線として議論が進められている。本実証では、同一施設内のローカル 5G 通信環境を有効活用し、その実現性について検証・考察する。
  - ※加えて、現在β版である Android スマホ用の SYNCROOM が、ローカル 5G 通信環境下において機能するか否かについても確認することで、演奏者が会場内を大きく移動しながらのパフォーマンス等でも実用できるかを考察する。
- <実証ケース>
- B-1-1・・・ノース 2 階ガーデンラウンジ B (PC 接続)、ノース 2 階ガーデンラウンジ C (PC 接続) にて実施。
  - B-1-2・・・ノース 2 階ガーデンラウンジ B (PC 接続)、ノース 2 階ガーデンラウンジ C (スマホ接続) にて実施。



## (2) サービス連携の実証

複数のアプリケーション・サービスを繋ぎ合わせることで新たなサービスメニューを構築するいわゆるサービス連携を、ローカル 5G 通信環境下において実現し得るか、確認を行う。

A-3. ロボットによる混雑アナウンスシステム	<ul style="list-style-type: none"><li>● シナリオ遂行型の実証を想定する。</li><li>● 具体的には、A-2 のシステム（NRI 開発済みの「混雑検知システム」）を用いてリアルタイムの混雑検知を実施した結果、一定閾値以上の混雑が確認された場合には、結果を監視員に通知し、A-1 の 4K カメラ搭載の遠隔操縦ロボット（ALSOK 開発済みの「REBORG-Z」）を現場に向かわせ、分散を促すアナウンスを行う。なお、「混雑検知システム」と「REBORG-Z」との連携にあたっては、ALSOK がすでに開発を終えている外部連携インターフェースを活用することとするため、本事業費を活用したさらなる開発（API 開発等）を行うことはない。</li></ul> <p>&lt;実証ケース&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● A-3-1・・・ノース 1 階多目的ホールにて実施。</li></ul>
-------------------------	---

## (3) マルチアプリケーション実証

(1) に示す 3 つのアプリケーション・サービスを 1 つのローカル 5G ネットワーク、同一の RU 内において同時並行運用した際の挙動性や実現課題を把握する。

A-1、A-2、B-1 アプリの同時並行運用	<ul style="list-style-type: none"><li>● A-1 アプリと A-2 アプリ、B-1 アプリを同一ローカル 5G ネットワーク内において同時並行運用した際、すなわち本課題実証システムにおける最大の通信負荷を掛けた際の挙動性や実現課題を把握する。マルチアプリケーション運用時の安定化の課題や相互調整の体制のあり方について実証を踏まえた考察を行う。</li><li>● 上記までで記載した各種アプリケーションを同時並行運用するのみであることから、マルチアプリケーション実証を行うために、本事業費を活用した開発が発生することはない。</li></ul> <p>&lt;実証ケース&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● A-1×A-2×B-1・・・ノースガーデンラウンジ B（B-1 アプリ PC 接続）、ノース 1 階多目的ホール（A-1 アプリ、A-2 アプリ、B-1 アプリスマホ接続）にて実施。</li></ul>
------------------------	--

以上のことから、本事業で構築したローカル 5G 活用モデルを実現するシステムを構成するソフトウェア及びハードウェア等においては、納入成果物となる発明品はない。

#### 4.4.1 ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証～A-1.遠隔ロボット監視システム～

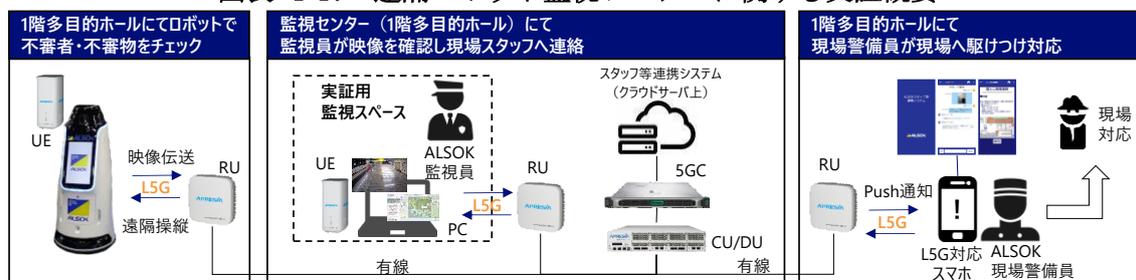
大規模施設における安全・安心の確保を目的として、ローカル5G通信環境下で監視センターの監視員が、ロボットの遠隔操縦、遠隔監視を行い、不審者・不審物を発見する。監視員が不審者・不審物を発見したら、モニター越しに不審者・不審物の発見・識別（顔・服装・性別等の特性、不審物の内容）を行う。その後、監視員がローカル5G通信環境下で「スタッフ等連携システム」を用いて、現場対処に最適な警備員に対して、対処の指示を行う。そして、現場警備員が現場において対処を行う。この一連の流れを実現することを目指す。

なお、昨年度とは異なり、監視員⇄現場警備員間のやり取りもローカル5G環境下での実施を行う。大規模施設の警備業務において致命的ともいえる通信輻輳の回避の実現性を検証することで、本システムの実装可能性について考察を行う。

また、大規模施設がロボットの貸主となり、施設利用者（イベント主催者等）に対し、顧客満足度を高めるツールとしてロボットを貸与するといった、レベニューモデルの実現についても仮説検証する。

なお、次年度以降への積み残し事項として挙げた、下表におけるキャリア5G空間との行き来、エレベータを利用したフロア跨ぎの警備の実現可能性について検証・課題解決がなされれば、高セキュリティ・通信安定性の担保されるローカル5G通信を活用した、「監視・発見・指示・対処」の一連の流れを踏襲した「ローカル5G監視サービス」のパッケージ化が可能となり、「A-1.遠隔ロボット監視システム」の実装が実現するものとする。ひいてはこのパッケージサービスを、全国大規模施設に拡販する。

図表 4-47 遠隔ロボット監視システムに関する実証概要



#### 4.4.1.1 効果検証～A-1.遠隔ロボット監視システム～

##### (1) 評価・検証項目～A-1.遠隔ロボット監視システム～

大規模施設における安全・安心の確保を目的として、ローカル 5G 通信環境下で監視センターの監視員が、ロボットの遠隔操縦、遠隔監視を行い、不審者・不審物を発見する。監視員が不審者・不審物を発見したら、モニター越しに不審者・不審物の発見・識別（顔・服装・性別等の特性、不審物の内容）を行う。その後、監視員がローカル 5G 通信環境下で「スタッフ等連携システム」を用いて、現場対処に最適な警備員に対して、対処の指示を行う。そして、現場警備員が現場において対処を行う。この一連の流れを実現することを目指し、評価・検証を行った。

さらに、イベント主催者に対する警備機器としての有償貸出を行うことでイベント期間中のイベント主催者、ならびにイベント来場者に対する安全・安心の確保と満足度の向上に資する、レベニューモデルの仮説検証を行った。

##### 1) 警備力向上

警備員による巡回や監視業務に加え、ロボットによる遠隔監視を追加することにより、施設警備全体の警備力が向上することは明白である。よって、本項では大規模施設の施設管理者等へのヒアリングを通じ、ロボット導入効果を評価・検証した。

##### 2) レベニューモデル検証

大規模施設の施設管理者がロボットの貸主となり、施設利用者（イベント主催者等）に対し、顧客満足度を高めるツールとしてロボットを貸与するといった、レベニューモデルの実現を仮説検証した。

(2) 評価・検証方法～A-1.遠隔ロボット監視システム～

各検証においては、アンケートによる検証を実施した。アンケート様式は次のとおり。

図表 4-48 アンケート様式

<p>本日はご視察いただき、ありがとうございました。 イベントにおける、<b>ロボットを活用した警備</b>に関して、アンケートにご協力ください。</p>							
<p>ご回答日 令和3年 月 日 団体・企業名、お名前（任意） ※貴社の業種をご記載いただくのみでも構いません</p>							
No	ご質問内容	評価 悪い1<2<3ふつう<4<5良い					理由 ※任意で記載ください
ロボットの遠隔操縦のための通信として、ローカル5Gを活用することについて、お考えをお聞かせください。							
1	混雑環境下では通信輻輳により、警備のための通信が不安定になることがあります。こうした混雑環境下での警備にあたり、 <b>ローカル5Gを活用することは有用</b> と感じましたか？	1 とても無用	2 やや無用	3 どちらとも いえない	4 やや有用	5 とても有用	
ロボットの活用展開可能性について、お考えをお聞かせください。							
2	イベントの開場時間帯に加え、 <b>夜間の巡回警備</b> を行うこと	1 とても無用	2 やや無用	3 どちらとも いえない	4 やや有用	5 とても有用	
3	コロナ禍において、 <b>会場内の混雑状況に応じて、一般来場者への分散促進のご案内</b> を行うこと（※本実証においても実施しています）	1 とても無用	2 やや無用	3 どちらとも いえない	4 やや有用	5 とても有用	
4	その他、 <b>一般来場者へのご案内</b> を行うこと（例：ロボット前面のモニター画面でのフロアマップの掲示、イベントのタイムスケジュールの掲示等）	1 とても無用	2 やや無用	3 どちらとも いえない	4 やや有用	5 とても有用	
5	その他、 <b>ロボットの活用アイデア</b> があればお知らせください。	（通常は警備員が実施しているような業務、あるいはその他の目的等、自由に記述ください）					
本日のイベントに「一般来場者として遊びに来た」と想定して、お答えください。							
6	制服警備員による警備に加え、ロボット警備（不審物検知、不審者検知）がなされていることで、 <b>来場者としての安心感</b> に変化はありましたか？ ※例えば、「イベントの内容に集中して楽しめるようになる」、「安心してイベントに行ってみようと思える」など。	1 よりとても不安	2 やや不安	3 変化なし	4 よりやや安心	5 よりとても安心	
7	イベント会場内を警備ロボットが走行することについて、 <b>来場者の通行の妨げ</b> になりそうですか？	1 とても妨げ になる	2 やや妨げに なる	3 ふつう	4 やや気にな らない	5 とても気にな らない	
8	「ロボット警備による <b>威圧感</b> 」は、「制服警備員の警備によるそれ」と比較して、どのように感じましたか？	1 ロボットの方がとても威圧感が大 きい	2 ロボットの方がやや威 圧感が大 きい	3 威圧感に差 はない	4 ロボットの方がやや威 圧感が小 さい	5 ロボットの方がとても威 圧感が小 さい	
貴社がイベントを主催すること（、あるいはイベントに出展すること）を想定して、お答えください。							
9	「制服警備員による警備」に加え、「ロボット警備」を導入することができれば、 <b>イベントの価値向上</b> に貢献できると感じますか？	1 とても価値 が低下	2 やや価値が 低下	3 差はない	4 やや価値が 向上	5 とても価値 が向上	
10	ロボットの遠隔操作の様子をご覧になり（、あるいは説明を受け）、貴社ないし貴社からの委託先の警備会社等においても、 <b>研修・訓練次第で技術的には導入が可能</b> と感じましたか？（費用面の観点は除く）	1 とても導入 は難しそう	2 やや導入は 難しそう	3 どちらとも いえない	4 やや導入は 可能そう	5 とても導入 は可能そう	
11	施設側から、イベント主催者へのオプションサービスの1つとして「 <b>ロボット警備サービス</b> 」の導入を提案された場合、 <b>高すぎて導入できない</b> と考える金額はおいくらですか？（3日間のイベントとします）	10万円以下 /3日間	30万円 /3日間	50万円 /3日間	70万円 /3日間	90万円以上 /3日間	（左記はあくまで目安額ですので、ご自由に自由に金額、ないし定性コメントを記載いただく形でかまいません。）
12	～ <b>安すぎて品質に不安を感じる</b> と考える金額はおいくらですか？	10万円以下 /3日間	30万円 /3日間	50万円 /3日間	70万円 /3日間	90万円以上 /3日間	（同上）
13	～ <b>高いと感じ始める</b> と考える金額はおいくらですか？	10万円以下 /3日間	30万円 /3日間	50万円 /3日間	70万円 /3日間	90万円以上 /3日間	（同上）
14	～ <b>安いと感じ始める</b> と考える金額はおいくらですか？	10万円以下 /3日間	30万円 /3日間	50万円 /3日間	70万円 /3日間	90万円以上 /3日間	（同上）
その他							
15	後日、個別に詳細なご意見をお伺いすることはできますでしょうか？意見交換をさせていただきませんか？	はい / いいえ / 今は判断できない					

## 1) 警備力向上

施設管理者等へのヒアリングを通じ、ロボット導入効果を評価した。

アンケート・ヒアリングを実施した対象者は、それぞれイベントにおいて異なる立場の者に対し行い多角的な評価を行った。アンケートは、お城 EXPO2021 実証当日の視察者（YMM21 参画者）に対し実証状況の視察、質疑応答を経て回答を得た。また、施設管理者としてパシフィコ横浜、及び多目的スタジアム（野球をはじめ興行やコンサート、商品の展示会なども催す施設）へのヒアリングを通じ評価・検証を行った。

### ● アンケート・ヒアリング対象者属性

- ・施設管理者（パシフィコ横浜）
- ・イベント主催者
- ・イベント出展者
- ・イベント来場者

### ● アンケート内容

上述のアンケート項目 1 から 10 に基づき評価・検証を行った。

## 2) レベニューモデル検証

施設管理者ならびに多目的スタジアム、及び借主となる施設利用者（イベント主催者等）に対し、それぞれアンケート・ヒアリングを通じ評価・検証を行った。

ロボットの貸出単価の適正価格の分析を行うため、価格調査方法については、「最高価格」「最低価格」「理想価格」「妥協価格」といった価格感度分析を行った。当該価格に基づき、ロボット原価（導入、保守、設定諸費用）と推定利用回数を設定し収支シミュレーションを試みるとともに、施設管理者に対するヒアリングを通じ、レベニューモデルの実現性を評価した。

なお、付加機能に関するニーズとその費用感、及び運用上の課題抽出に関してはそれぞれ機能検証、運用検証において評価・検証を実施した。

### ● アンケート・ヒアリング対象者の属性

- ・施設管理者（パシフィコ横浜、及び他の多目的スタジアム）
- ・イベント主催者
- ・イベント出展者
- ・イベント来場者

### ● アンケート内容

上述のアンケート項目 11 から 14 に基づき評価・検証を行った。価格感度分析については、サービスの導入に際して用いられる PSM 分析に基づいて分析を行った。

### (3) 実証結果及び考察～A-1.遠隔ロボット監視システム～

#### 1) 警備力向上

以下に、警備力の向上に関連するアンケート・ヒアリング結果を、それぞれの対象者属性ごとに整理した。なお、機能面や運用面に関する結果はそれぞれの項において後述する。

図表 4-49 主たるアンケート結果

	対象者	主たるアンケート結果
1	施設管理者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無人格（機械的）であることに対人相手にトラブルを避けやすいといった利点がある</li> <li>・イベント開催時間内は混雑しているため、準備期間や夜間の警備に対し、より適している</li> </ul>
2	イベント主催者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制服警備員による警備に加え、ロボット警備を追加することで安心感が生まれる</li> <li>・ロボット警備による威圧感はあまり感じない</li> <li>・夜間警備を行うニーズは高い</li> <li>・過度の混雑時は走行可能か</li> </ul>
3	イベント出展者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制服警備員による警備に加え、ロボット警備を追加することで安心感がより生まれる</li> <li>・ロボット警備による威圧感はあまり感じない</li> </ul>
4	イベント来場者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制服警備員よりロボット警備の方が、安心感が強い</li> <li>・ロボットの走行がゆっくりの為、通行の邪魔にはなりにくい、イベント会場内が過度に混雑した場合に走行可能か</li> <li>・会場内をロボットが走行することで注目が集まる</li> </ul>

※一部設問の回答において「有用」と「無用」を誤認識と思われる回答については、適宜修正し集計。

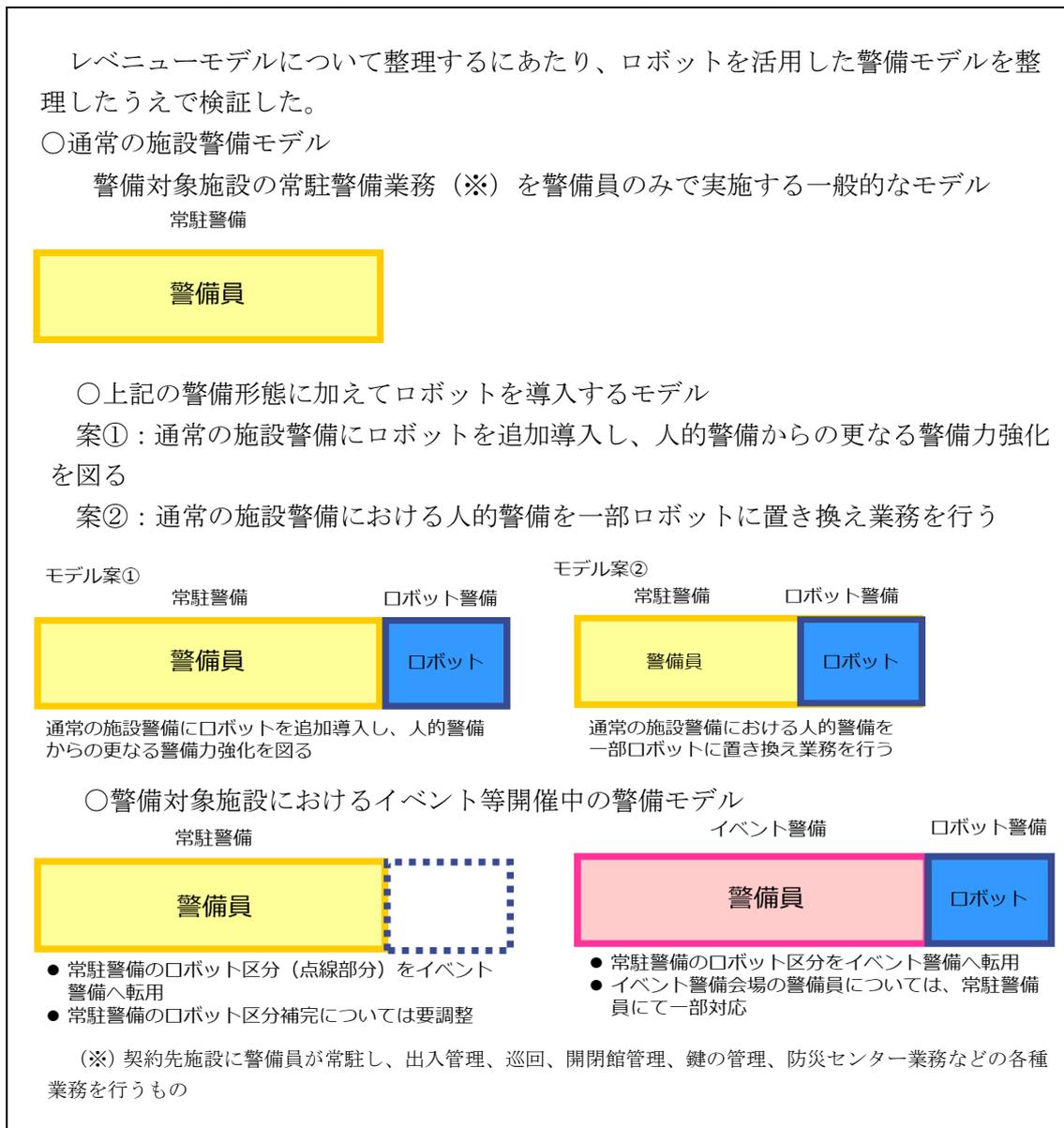
本結果から、以下のとおり整理の上、考察を行った。

- 警備ロボットシステムの活用に対して総じて「有用であろう」といった意見を頂いた。
- イベント価値向上への貢献という観点で、「価値が向上する」という意見を多く頂いた。
- 遠隔監視によるインシデント検知をトリガとして、現場警備員との連携による処置対応完了に至るまでの一連のプロセスについては、ロボット、スタッフ等連携システムの各基本機能が通信の輻輳を受けることなく想定通り運用できたことから（詳細は機能検証の項で記述）、人的な巡回や立哨業務の代替は一部可能であることが確認でき、施設警備全体の警備力の向上効果が得られたものと考えられる。
- 一方で、イベント会場内部は安全・安心な会場を作るための工夫や仕組み（入場以前の入場者に対する確認）が施されているため、日中の警備事案の発生は抑制されている。万一の警備事案を想定して実施したシナリオ実証（詳細は機能検証の項において後述）は、発生頻度は極めて低い。費用対効果の面を勘案すると、イベント開催が行われる日中の警備をロボットで行うよりも、会場準備期間や夜間といった時間帯において、相対的に効果的な活路が見いだせる可能性がある。

## 2) レベニューモデル検証

同様に、それぞれの対象者からのアンケート・ヒアリング結果に基づき、収支シミュレーションを行った。

図表 4-50 現行の警備モデルとイベント時を想定した警備モデルの整理

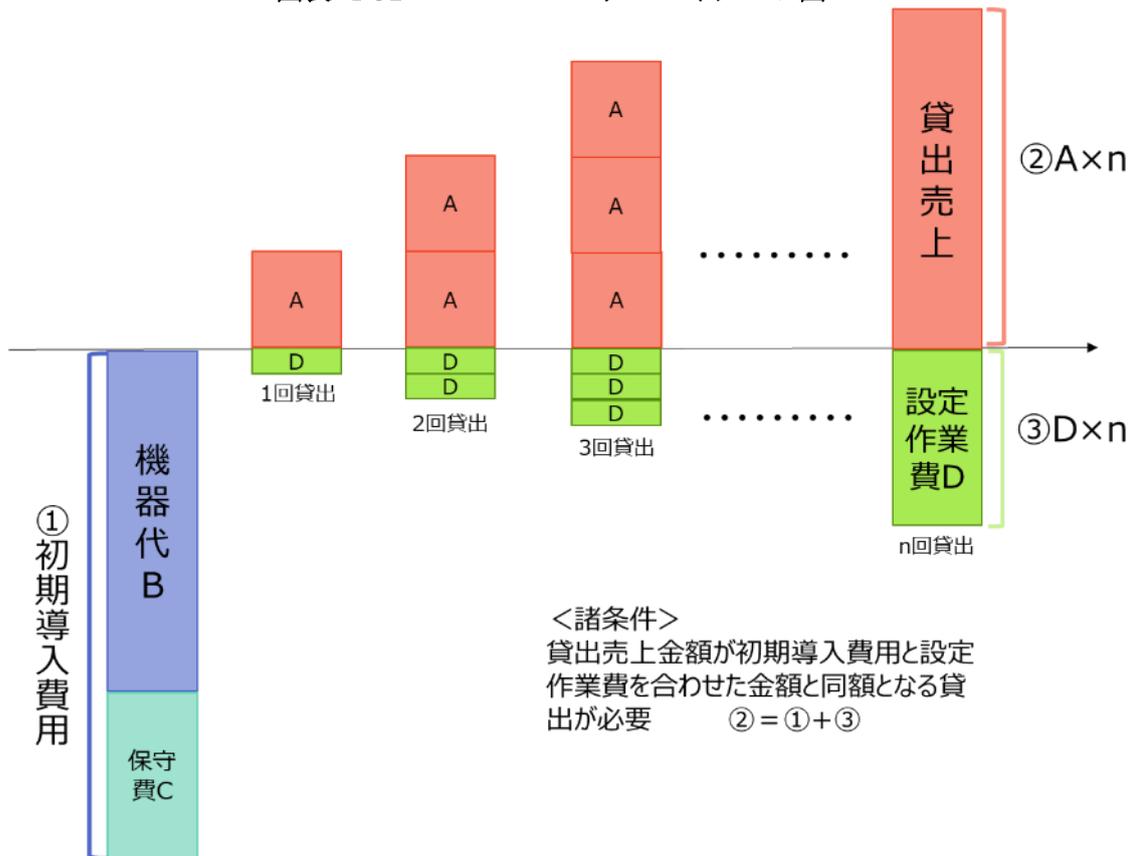


以下、レベニューモデルの整理を行う。

1年分のロボット導入相当費用（通常5年償却）をロボット機器代（支出）とし、これを施設管理者が負担する。イベント主催者に対し1回あたりの貸出し料金に対し必要となる費用を差引くことで粗利益が発生する。

当該粗利益は、通常常駐警備業務+ロボット導入に係る費用から差し引かれることで、実質的に常駐警備業務におけるロボット導入費用を低減させることにつながり、施設管理者におけるロボット導入の促進につながる。

図表 4-51 レベニューモデルのイメージ図

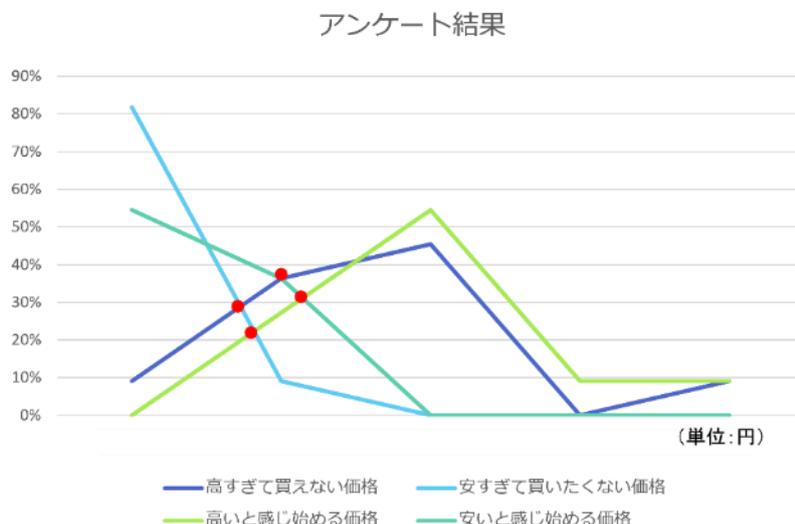


<前提条件>

- ・ 機器代および保守費は年額
- ・ イベント貸出により発生する売上高、原価（設定作業費）は月間累計金額で記載
- ・ イベント実施時の貸出売上・・・A
- ・ ロボット機器代（初期導入費用）・・・B
- ・ ロボット保守費・・・C
- ・ イベント貸出におけるロボット設定作業費・・・D
- ・ イベント貸出適正価格・・・a
- ・ ロボット月額費用（施設警備導入時）・・・b（ $B/60+C$ ）
- ・ イベント貸出回数・・・c、d

アンケート結果より PSM 分析を実施し、イベント貸出時 1 回あたりの貸出売上 (A) を仮定した。結果は下図のとおり。

図表 4-52 PSM 分析結果



本結果から、以下のとおり整理の上、考察を行った。

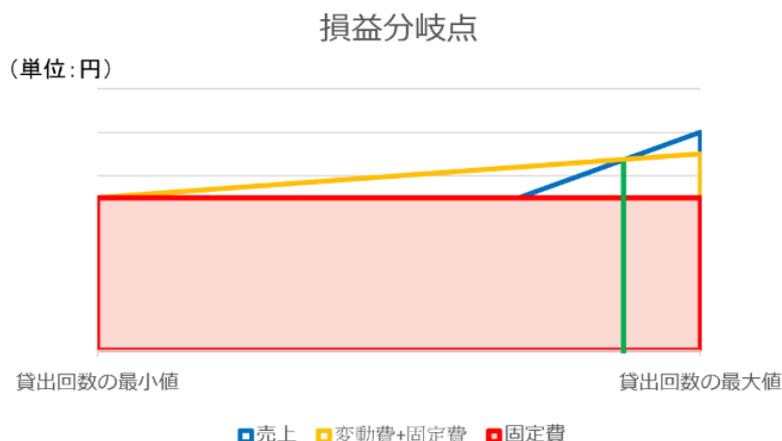
【レベニューモデルのメリットに関する整理】

- 警備ロボットの導入目的の本質は、前述のとおり施設管理者の常駐警備においてロボットを付加し警備力を向上させることである。本モデルの特徴は、施設管理者がイベント主催者に対して賃貸しを行うことにより、常駐警備業務で用いる警備ロボット費用を軽減させる効果が得られることにつながる。また、ロボット貸出し時には、当該施設警備業務から一時的に離脱させるといったデメリットは生ずるものの、イベント主催者に対する付加価値を提供し、大規模施設の施設価値を向上させるといった効果をもたらす。従来のロボット導入を検討する際に発生する費用増加に対し、これらのメリットを考慮することによって、導入に際しての判断を促進することと考えられる。

【収支面での考察】

- よって、常駐警備におけるロボット導入費用を、イベント主催者への貸出しによる収入をもって収益を得ることが本来の目的ではないが、以下に貸出し回数と損益分岐点の関係をシミュレーションした。

図表 4-53 損益分岐点のシミュレーションイメージ



- アンケート結果を受け、イベント開催時のロボット貸出における適正価格を算出した。適正価格を a、施設警備へロボットを導入した場合の月額費用を b とすると、イベントへの貸出が月 1 回では a が b を上回らない結果となった。
- 損益分岐点分析の結果、イベント貸出を c 回実施することで、ロボット初期導入費用と同額の売上高となる結果となった。また、d 回実施することで、初期導入費用に加え、イベント貸出時における設定作業費を含めた粗利ベースで、ロボット初期導入費用を回収できる結果となった。
- 国内を代表する大規模施設では大小合わせて年間約 1,000 件以上のイベントが行われている。そのため、上記 c で表す貸出し回数を満たす貸出機会そのものは十分と言える。

【モデルの実効面での考察】

- 施設警備へロボット導入を行うことそのものに対する判断は、経営上の投資判断を伴うため、本モデルの実現性を裏付ける十分な根拠を求められることが想定される。
- また、国内を代表する大規模施設で開催されるイベントの約 7 割は毎時期に定期的で開催されるものであり、イベント主催者側が警備費として支出する追加警備費（適正価格 a）は、イベント主催者側の予算計画上において、従来の警備費に追加計上を行う判断が必要となると想定される。
- そのため、ロボット導入に対する費用投資とイベント警備費用の計上の判断材料を提供する手段としては、ロボット提供を行う ALSOK が、①イベント主催者に対し無償や安価な費用でデモやテスト導入を行い、効果を訴求し次期開催時の予算化を促すとともに、②イベント主催者側の反応を受け施設管理者側における投資判断を行っていくといった手順が一案として考えられる。もちろん、その他にも、施設管理者側として警備業務の運用が複雑化するなどの実現障壁があるため、この点も十分な調整・検討が求められる。
- なお、一般的な施設の施設管理者へのヒアリングとして、多目的スタジアム 1 社に対し実施をしたが、本モデルで想定をした設備類（物品及びサービスを伴うものを含み）の有償提供そのものを行っていない形態（イベント主催者がすべて持ち込み）をとっているとことから同様な考察を行うに至らない結果となった。

#### 4.4.1.2 機能検証～A-1.遠隔ロボット監視システム～

##### (1) 評価・検証項目～A-1.遠隔ロボット監視システム～

実際のイベント期間中において、実運用シーンにより近い一般来場者が存在する環境でローカル 5G を用い、施設警備業務の経験を有する警備員（以下「監視員」）と連携し評価・検証を行った。昨年度実証では、一般来場者が存在しない時間帯での実証であったことから、実運用シーンと同様な利用環境や条件下における実証を通じて、実装に向けて必要となる各機能について評価・検証した。

##### 1) 警備力向上

ロボットが具備すべき機能として、ローカル 5G 環境下において次の各機能評価観点より、各実証項目を設定し評価・検証を行った。なお、ロボットの巡回時における安全機構及び自律・自動制御機能（障害物に対する安全性確認）は昨年度の実証において確認していることから、同結果を踏まえて総合的に評価した。

##### （機能評価観点）

ローカル 5G 通信により、一般の来場者がいる環境下において以下の観点から実施した。

- 監視センターからのロボットの遠隔操縦、遠隔監視の実施
  - 遠隔操作でのロボット走行・監視。
- 監視センターからの不審者・不審物の発見
  - 不審者・不審物の発見・識別（顔・服装・性別等の特性、不審物の内容）。
- 「スタッフ等連携システム」を用いた現場警備員への対処指示
  - 監視員が、スタッフ等連携システムを用いて、L5G 経由で最適な警備員に対し、対処の指示。

以上の評価機能観点を踏まえ、本機能検証においては、下表に示す実証項目について評価・検証を行った。なお、本実証で用いられる 3 つのシステムが同時並行運用されることを検証する。4.4.5 マルチアプリケーションの有効性等に関する検証に係る各種データ取得結果として評価・検証した。

図表 4-54 評価・検証項目

No.	実証項目	評価・検証方法
実証①	遠隔監視時の使用性	警備員によるアンケート
実証②	遠隔操作機能	警備員によるアンケート
実証③	遠隔監視時の映像による人物等表示	警備員によるアンケート
実証④	監視映像品質	計測による評価
実証⑤	映像伝送遅延	計測による評価
実証⑥	制御伝送遅延	計測による評価
実証⑦	接続安定性	警備員によるシナリオ検証

警備員による評価は、ALSOK 神奈川社において施設警備業務に従事する者により行った。

## 2) レベニューモデル検証

施設管理者へのヒアリングと、施設利用者となるイベント主催者等に対し、基本機能に加えて付加機能に関するニーズについて、アンケートを通じて評価・検証を行った。これらの付加機能に対する費用感についても評価・検証を行った。

なお、NRI デジタル社の混雑検知システムとの連携機能については、本項での記述は行わない。

また、一般的な施設の施設管理者へのヒアリングとして、多目的スタジアム1社に対し実施をしたが、本モデルで想定をした設備類(物品及びサービスを伴うものを含み)の有償提供そのものを行っていない形態(イベント主催者がすべて持ち込み)をとっていることから同様な評価・検証を行うに至らないため対象外とした。

(2) 評価・検証方法～A-1.遠隔ロボット監視システム～

1) 警備力向上

ロボットに搭載した 4K カメラ映像を用いて評価・検証を行う実証においては、ロボットが送信する映像品質を可変設定（6 パターン）し評価・検証を行った。

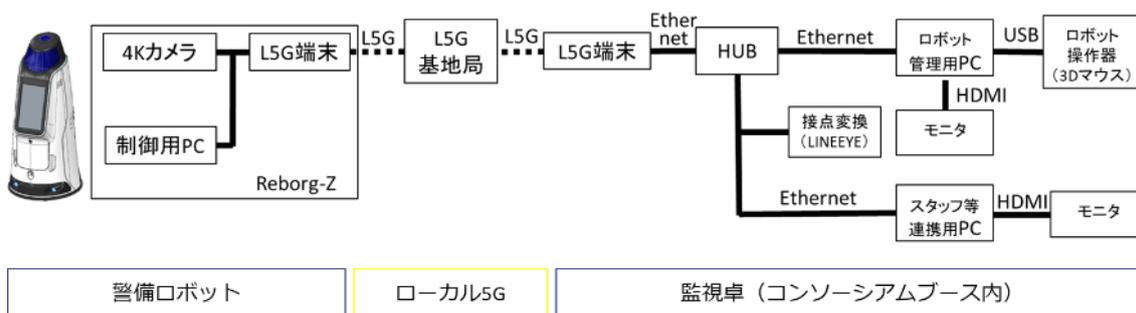
図表 4-55 映像品質設定項目

	設定 1	設定 2	設定 3	設定 4	設定 5	設定 6
解像度	3840×2160	3840×2160	3840×2160	3840×2160	3840×2160	3840×2160
フレームレート	10fps	10fps	10fps	15fps	15fps	15fps
映像圧縮方式	H.264	H.264	H.264	H.264	H.264	H.264
ビットレート	8Mbps	10Mbps	20Mbps	8Mbps	10Mbps	20Mbps
受信バッファ※	630ms	630ms	630ms	330ms	330ms	330ms

※デコード側における、受信バッファ+ジッターバッファ（30ms 固定）

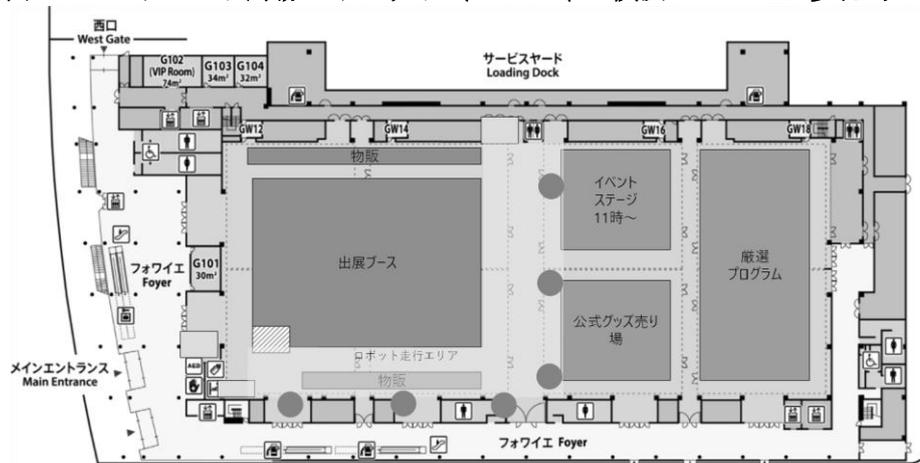
パシフィコ横浜ノースにて開催された「お城 EXPO2021」の開催期間中、ローカル 5G を介しロボット警備システムと監視員を配置する監視場所を会場内に配置し、実証を行った。以下に警備ロボットと監視卓間の機器構成を示す。

図表 4-56 ロボットの機器構成図



また、イベント会場内、及び会場内に設置したコンソーシアム情報の発信ブース内の間取図をそれぞれ以下に示す。

図表 4-57 イベント会場レイアウト (パシフィコ横浜ノース 1F 多目的ホール)



図表 4-58 横浜MM21地区ローカル5G実証コンソーシアムブース間取図



1 壁無し

以下①～⑦に示す項目についての評価・検証方法は以下の通り設定した。

【実証①】遠隔監視時の使用性

監視映像を監視モニター上より視認することができるか、ロボット 4K カメラ映像の品質を可変に設定し、監視員により以下のアンケート評価を行った。

図表 4-59 アンケート項目

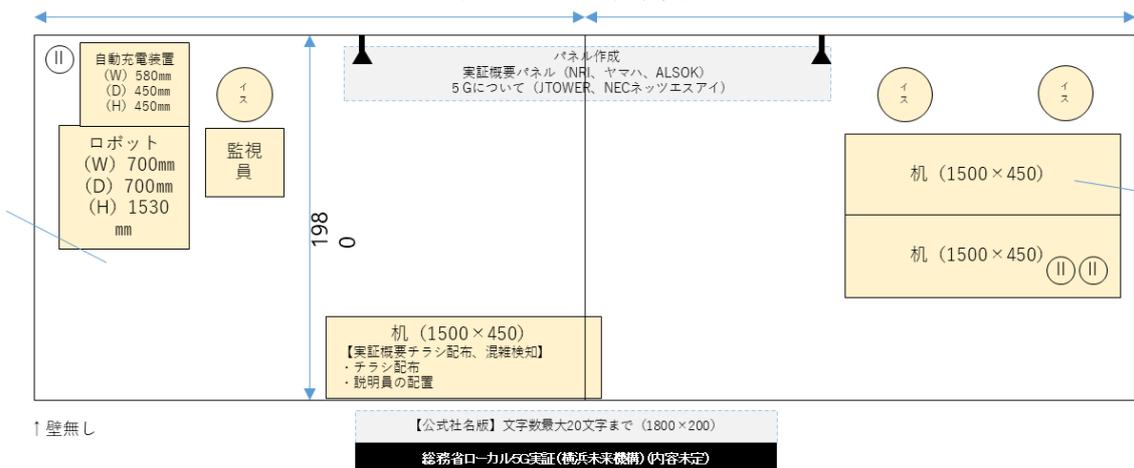
【実証①】遠隔監視時の使用性 監視映像を監視モニター上より視認することができるか、ロボット4Kカメラ映像の品質を可変させ、監視員によりアンケート評価を行う。		評価				
No	遠隔監視時の使用性（ロボット停止中）					
1	映像は無理なく注視できましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
2	映像は鮮明でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
3	映像の表示速度（なめらかさ）は適切でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
No	遠隔監視時の使用性（ロボット走行中）	評価				
4	映像は無理なく注視できましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
5	映像は鮮明でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良
6	映像の表示速度（なめらかさ）は適切でしたか。	1 悪	2	3	4	5 良

a) 実施環境

実施日：2021年12月19日

実施場所：横浜MM2 1地区ローカル5G実証コンソーシアムブース内

図表 4-60 実証間取図



b) 実施方法

映像品質を6パターンに可変設定し、監視員2名による以下のアンケートを行った。

図表 4-61 映像品質設定項目

	設定 1	設定 2	設定 3	設定 4	設定 5	設定 6
解像度	3840×2160	3840×2160	3840×2160	3840×2160	3840×2160	3840×2160
フレーム レート	10fps	10fps	10fps	15fps	15fps	15fps
映像圧縮 方式	H.264	H.264	H.264	H.264	H.264	H.264
ビットレ ート	8Mbps	10Mbps	20Mbps	8Mbps	10Mbps	20Mbps
受信バッ ファー※	630ms	630ms	630ms	330ms	330ms	330ms

※デコード側における、受信バッファー+ジッターバッファー (30ms 固定)

【実証②】遠隔操作機能

監視モニター映像を確認しながら、遠隔でのロボット操作を行い、その際の操作性について、監視員により以下のアンケート評価を行った。

図表 4-62 アンケート項目

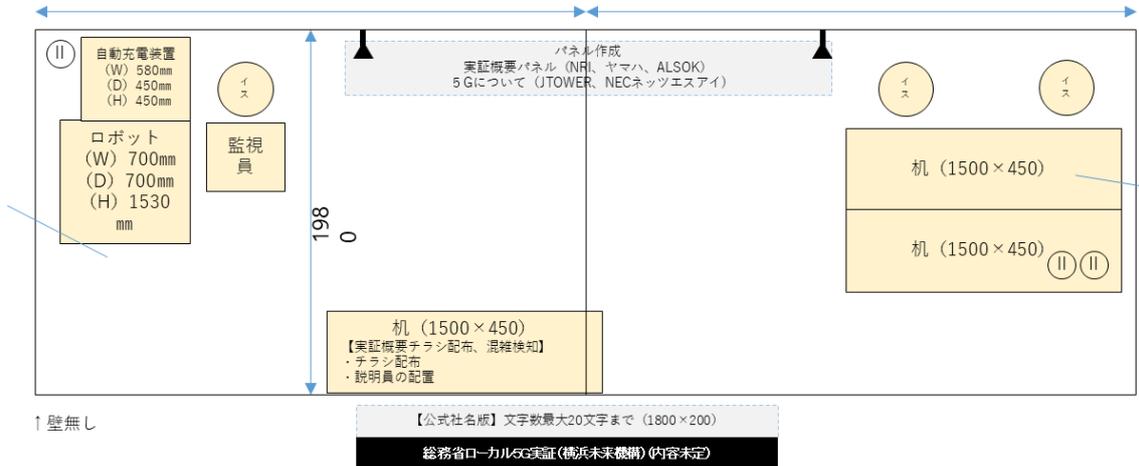
【実証②】遠隔操作機能 監視モニター映像を確認しながら、遠隔でのロボット操作を行い、その際の操作性について、監視員によりアンケート評価を行う。		評価				
No	遠隔操作	評価				
1	遠隔操作は、遅延なく操作できましたか（前移動/後移動/右旋回/左旋回の操作をした際、タイムラグを感じましたか）	1 悪	2	3	4	5 良
2	遠隔操作ができなかったエリアがありましたか	はい		いいえ		
3	2で「はい」の場合、どのエリアでしたか	(自由記述)				
4	2で「はい」の場合、どの操作でしたか	(自由記述)				
5	ロボットが障害物を検知した際、自動で減速または停止できましたか。	はい		いいえ		
6	ロボットによる巡回は、通常警備員が実施する巡回と比較し、体力的な疲労は軽減されましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
7	ロボットによる巡回は、通常警備員が実施する巡回と比較し、精神的な疲労は軽減されましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
8	普段実施している巡回業務と比較して、ロボットによる巡回はどの程度活用できそうですか。	1 悪	2	3	4	5 良

a) 実施環境

実施日：2021年12月19日

実施場所：横浜MM2 1地区ローカル5G実証コンソーシアムブース内

図表 4-63 実証間取図



b) 実施方法

実証①で最も高い評価であった設定の画像品質を用いて実証を行い、監視員2名によるアンケートを行った。

【実証③】遠隔監視時の映像による人物等表示

映像に映り込む人物を停止／歩行横断／走行横断、不審物を模擬した物体の特徴を、監視員が正確に視認することが可能か否か、以下のアンケート評価を行った。

図表 4-64 アンケート項目

【実証③】遠隔監視時の映像による人物等表示 映像に映り込む人物を停止／歩行横断／走行横断、不審物を模擬した物体の特徴を、監視員が正確に視認することが可能か否か評価する。		評価				
No	遠隔監視時の映像による人物等表示（ロボット停止中）	評価				
1	来場者や関係者が「静止している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
2	来場者や関係者が「歩行している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
3	来場者や関係者が「走行している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
No	遠隔監視時の映像による人物等表示（ロボット走行中）	評価				
4	来場者や関係者が「静止している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
5	来場者や関係者が「歩行している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	1 悪	2	3	4	5 良
6	来場者や関係者が「走行している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	1 悪	2	3	4	5 良

a) 実施環境

実施日：2021年12月19日

実施場所：横浜MM21地区ローカル5G実証コンソーシアムブース内

図表 4-65 実証間取図



b) 実施方法

実証①で最も高い評価であった設定の画像品質を用いて実証を行い、監視員2名によるアンケートを行った。

#### 【実証④】 監視映像品質

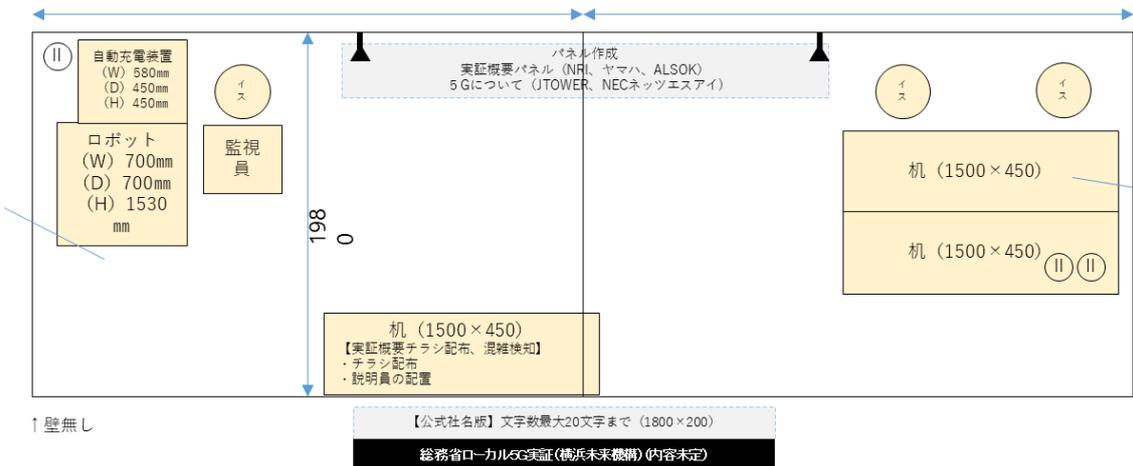
映像の伝送品質を定量的に評価する。本実証では、監視映像のフレームに欠損が発生していないことを計測し評価した。

##### a) 実施環境

実施日：2021年12月19日

実施場所：横浜MM2 1地区ローカル5G実証コンソーシアムブース内

図表 4-66 実証間取図



##### b) 実施方法

以下の検証方法に従い、【実証④】の検証項目を評価した。検証における映像設定は監視員のアンケート結果の分析（評価・検証結果の項で記述）をもとに、監視に最も適している設定値を使用した。

図表 4-67 【実証④】映像設定

解像度	3840×2160
フレームレート	15fps
映像圧縮方式	H.264
ビットレート	10Mbps
受信バッファ※	330ms

※デコード側における、受信バッファ+ジッターバッファ (30ms 固定)

- ① 管理 PC に遠隔監視映像を配信する。
- ② 管理 PC で表示された遠隔監視映像の表示フレームレートを確認する。
- ③ ロボットの4K カメラのフレームレート設定と②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。

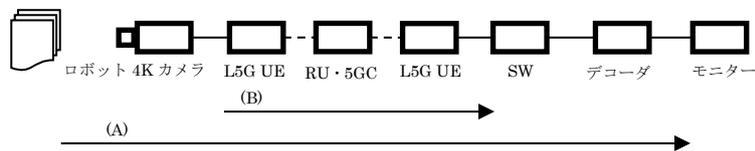
【実証⑤】映像伝送時間

ロボット 4K カメラ映像が、監視モニター上に表示されるまでの遅延時間を計測する。計測された遅延時間が、【実証①】における遠隔操作時の使用性に与える影響を監視員の主観により評価した。

(定量的に計測する伝送時間)

- E 2 Eでのトータルの映像伝送時間の計測結果…(A)
- ※E 2 E：任意の映像フレームが監視モニターに表示されるまでの時間
- 技術実証において本検証環境に類似する環境（距離）下でのUL伝送遅延時間…(B)
- ローカル 5G 無線伝送区間以外の伝送遅延時間…(A)－(B)

図表 4-68 映像情報の流れ

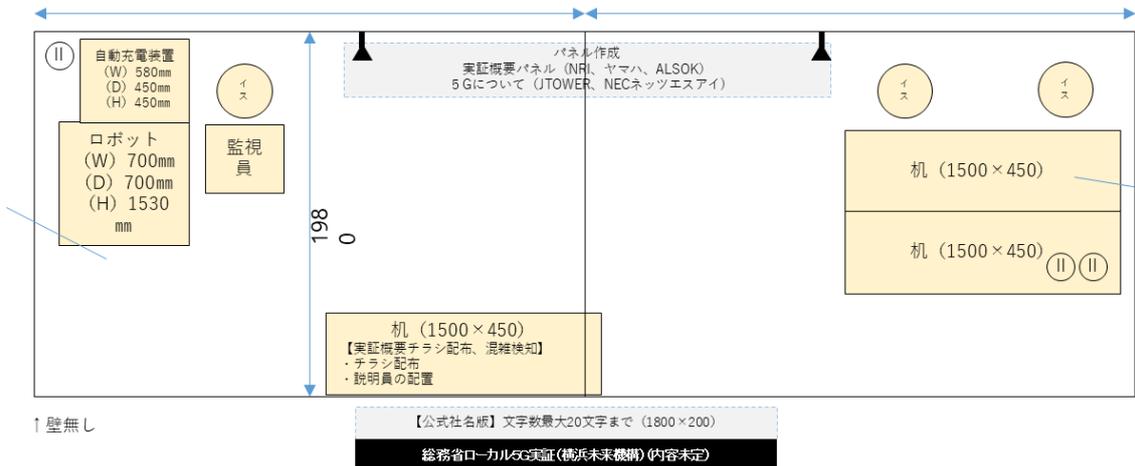


a) 実施環境

実施日：2021年12月19日

実施場所：横浜MM21地区ローカル5G実証コンソーシアムブース内

図表 4-69 実証間取図



b) 実施方法

以下の検証方法に従い、【実証⑤】の検証項目を評価した。検証における映像設定は監視員のアンケート結果の分析（評価・検証結果の項で記述）をもとに、監視に最も適している設定値を使用した。

図表 4-70 【実証⑤】映像設定

解像度	3840×2160
フレームレート	15fps
映像圧縮方式	H.264
ビットレート	10Mbps
受信バッファ※	330ms

※デコード側における、受信バッファ+ジッターバッファ（30ms 固定）

- ① 管理 PC に遠隔監視映像を配信する。
- ② 映像遅延時間を映像遅延ユニット（DPN2011B）にて計測する。映像遅延ユニットの機器諸元は以下の通り。

c) 映像遅延ユニット機器諸元  
映像遅延測定ユニットの諸元を示す。

図表 4-71 映像遅延ユニット



図表 4-72 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 AccuLatency

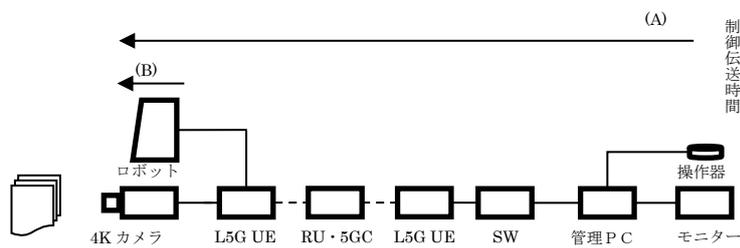
【実証⑥】 制御伝送時間

停止中のロボットの 4K 映像を監視モニター上に表示し、モニター映像を確認しながら遠隔操縦を行い、制御伝送時間を計測する。計測された遅延時間が実証①における遠隔操作時の使用性に与える影響を監視員の主観により評価する。

(定量的に計測する伝送時間)

- ・ ロボットを手動操作し、ロボットが動作するまでの時間をあらかじめ計測…(B)
- ・ ロボットの制御伝送時間の算出…(A)－(B)

図表 4-73 制御情報の流れ

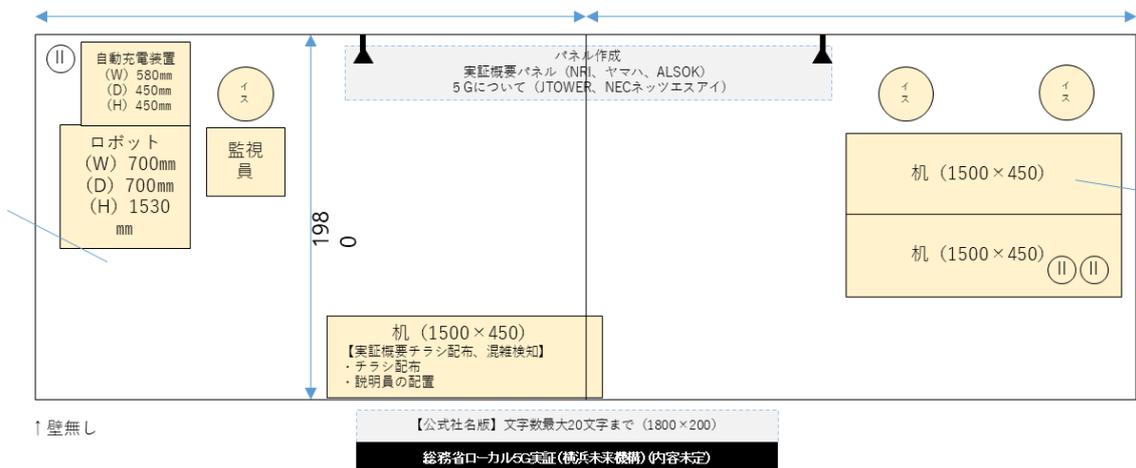


a) 実施環境

実施日：2021年12月19日

実施場所：横浜MM2 1地区ローカル5G実証コンソーシアムブース内

図表 4-74 実証間取図



b) 実施方法

以下の検証方法に従い、【実証⑥】の検証項目を評価した。検証における映像設定は監視員のアンケート結果の分析（評価・検証結果の項で記述）をもとに、監視に最も適している設定値を使用した。

図表 4-75 【実証⑥】映像設定

解像度	3840×2160
フレームレート	15fps
映像圧縮方式	H.264
ビットレート	10Mbps
受信バッファ※	330ms

※デコード側における、受信バッファ+ジッターバッファ（30ms 固定）

- ①管理 PC に遠隔監視映像を配信する。
- ②監視員が管理 PC から操作器を使用してローカル 5 G 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。
- ③ロボットが操作器操作から実際にロボットが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操作器を操作する監視員の手元とロボットを撮影し、操作からロボットが動き出すまでの時間とする。

### 【実証⑦】 接続安定性

監視員による現場警備員が所持するローカル 5G 携帯端末（スタッフ等連携システム）への対処指示、対処の実施、及び処置完了操作といった一連のプロセスにおいて、各動作が通信の輻輳を受けずに完結することを評価・検証した。本実証では、2つの警備運用を想定したシナリオの設定を行った。

#### シナリオ 1：不審者発見シナリオ

実施環境：

実施日：2021年12月15日

実施場所：パシフィコ横浜ノース1階多目的ホール

図表 4-76 シナリオ 1 位置関係図



シナリオ 1：

- ①監視員がロボットによる遠隔監視中に不審な動きをしていると思われる人物を覚知する。
- ②覚知した人物確認のため、監視員はロボットを遠隔操縦して人物に接近し、インシデントか否かを確認する。
- ③監視員はスタッフ等連携システムを用いて、警備員へ人物の特徴・状況を伝達し、対応を指示する。
- ④警備員は現場へ駆けつけ対応する。

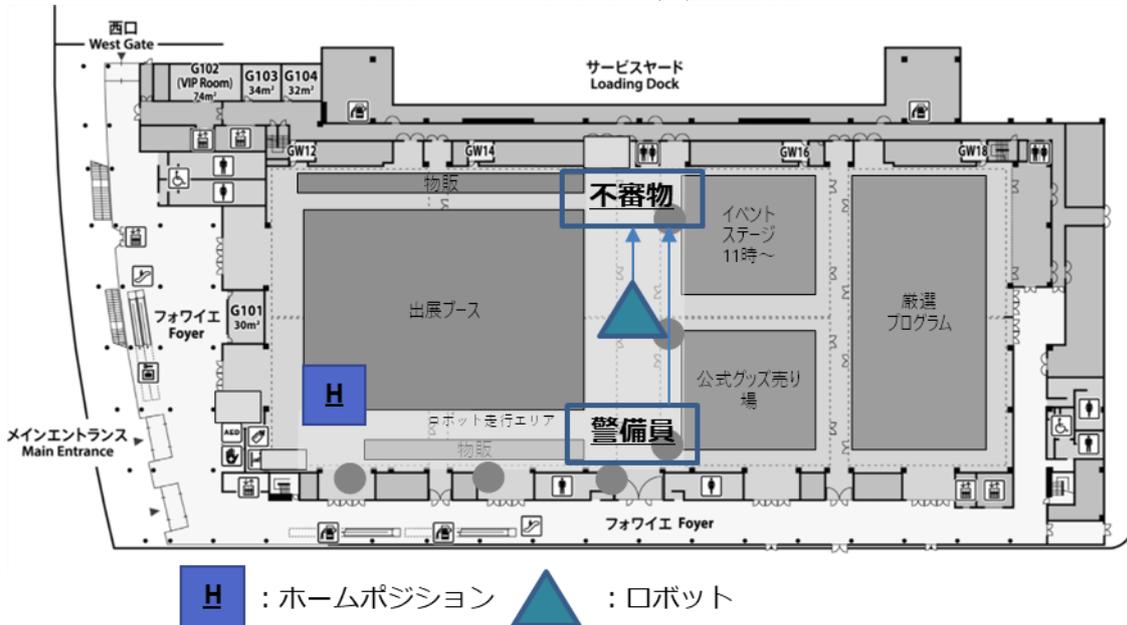
## シナリオ 2 : 不審物発見シナリオ

実施環境 :

実施日 : 2021 年 12 月 19 日

実施場所 : パシフィコ横浜ノース 1 階多目的ホール

図表 4-77 シナリオ 2 位置関係図



シナリオ 2 :

- ① 監視員がロボットによる遠隔監視中に不審物と思われる物品を覚知する。
- ② 覚知した物品確認のため、監視員はロボットを遠隔操縦して物品に接近し、インシデントか否かを確認する。
- ③ 監視員はスタッフ等連携システムを用いて、警備員へ不審物の特徴・状況を伝達し、対応を指示する。
- ④ 警備員は現場へ駆けつけ対応する。

## 2) レベニューモデル検証

施設管理者へのヒアリングと、施設利用者となるイベント主催者等に対し、基本機能に加えて付加機能に関するニーズについて、アンケートを通じて評価・検証を行った。これらの付加機能に対する費用感についても評価・検証を行った。なお、NRI デジタル社の混雑検知システムとの連携機能については、本項での記述は行わない。

### 1) アンケート・ヒアリング対象者属性

- ・施設管理者
- ・イベント主催者
- ・イベント出展者
- ・イベント来場者

### 2) アンケート内容

4.4.1.1 効果検証にて実施したアンケート結果に基づき、主たるアンケート結果を整理した。

### 3) 評価・検証方法

すでに開発・実装が可能な機能とそれ以外の機能を分類し、それぞれの導入費用感について下表のように整理し、評価・検証を行った。

#### 【凡例】

(実装可否)

- ：すでに開発済みであり実装が可能な機能
- △：部分的な実装が可能であるが環境に応じた適用可否を見極める必要がある機能
- ×：技術的な課題が想定されるなど実装が困難な機能

(費用感)

4.4.1.1 効果検証において評価・検証した、遠隔ロボット監視システムの導入からレベニューモデルの収支面に関する検証結果を基に、各付加機能の収支面での影響度を費用感として評価した。

- ：すでに開発済みであり実装にあたり追加費用を要しない
- △：影響度は低い
- ×：影響度は高い

図表 4-78 付加機能の評価結果

付加機能	現時点での実装可否	費用感
機能名	○/△/×	○/△/×

(3) 実証結果及び考察～A-1.遠隔ロボット監視システム～

1) 警備力向上

①～⑦の評価結果を整理し、評価・分析結果を考察する。

【実証①】 遠隔監視時の使用性

評価対象とする映像品質をあらかじめ設定し、複数パターンにおける監視員による使用性をアンケートにより集計し評価した。

なお、本実証で用いられる3つのシステムが同時並行運用されることの検証(4.4.5 マルチアプリケーションの有効性等に関する検証)に係る実施環境において各種データを取得し、評価・検証した。

図表 4-79 マルチアプリケーション環境下におけるアンケート評価結果

評価項目		設定 1	設定 2	設定 3	設定 4	設定 5	設定 6
停止中	映像は無理なく注視できましたか。	5	5	4	4	5	5
	映像は鮮明でしたか。	4	3	4	4	4	4
	映像の表示速度(なめらかさ)は適切でしたか。	3	3	3	2	2	3
走行中	映像は無理なく注視できましたか。	5	5	4	4	5	5
	映像は鮮明でしたか。	4	3	4	4	4	4
	映像の表示速度(なめらかさ)は適切でしたか。	3	3	3	2	2	3

評価の区分 (1:悪～5:良)

図表 4-80 映像品質設定

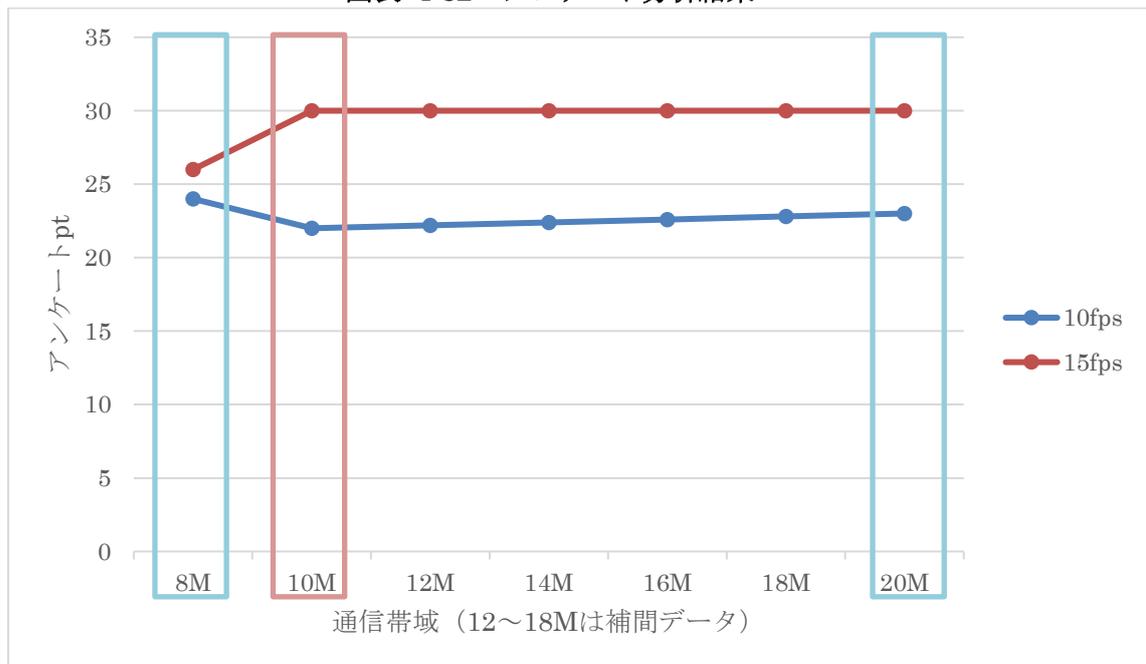
	設定 1	設定 2	設定 3	設定 4	設定 5	設定 6
解像度	3840×2160	3840×2160	3840×2160	3840×2160	3840×2160	3840×2160
フレームレート	10fps	10fps	10fps	15fps	15fps	15fps
映像圧縮方式	H.264	H.264	H.264	H.264	H.264	H.264
ビットレート	8Mbps	10Mbps	20Mbps	8Mbps	10Mbps	20Mbps

図表 4-81 ロボットからの映像を監視している様子



- アンケート評価結果としては、各設定とも概ね問題なく注視し監視業務が行えることが確認されたが、最も高画質な設定である「設定 6」の画像品質が高評価となった。
- ビットレートとフレームレートの違いによる差異を検証するため、次のとおりアンケート評価結果をプロットした。横軸方向を通信帯域として、縦軸方向にアンケート 6 項目の各評価の区分（1：悪～5：良）の単純合計（アンケート pt）をとり、分析を行った。

図表 4-82 アンケート分析結果



- ビットレートを 8Mbps、10Mbps、20Mbps に可変させたところ、8Mbps と 10Mbps を比較すると 10Mbps の方が視認しやすく、10Mbps と 20Mbps の比較では映像品質に大きな差異はないという評価となった。
- また、フレームレートを 10fps と 15fps に可変させたところ、15fps の方がより滑らかな映像として視認しやすいという評価となった。
- 以上より、監視業務における不審者・不審物等の識別においては、占有する通信帯域幅当たりに対するアンケート評点の観点からも、ビットレート 10Mbps、フレームレート 15fps を設定した「設定 5」での運用が効果的であると考察する。

なお、本結果をもとに以降の【実証②】、及び【実証③】では、「設定 5」の値を用いて実証を行うこととした。

## 【実証②】 遠隔操作機能

ロボットが操作通りの動作（前移動／後移動／右旋回／左旋回）を行うことができるか、また、ロボットが障害物に接近した際に、自動で減速および停止することを評価した。

図表 4-83 アンケート評価結果

遠隔操作は、遅延なく操作できましたか（前移動/後移動/右旋回/左旋回の操作をした際、タイムラグを感じましたか）	5
遠隔操作ができなかったエリアがありましたか。	いいえ
ロボットが障害物を検知した際、自動で減速または停止できましたか。	はい
ロボットによる巡回は、通常警備員が実施する巡回と比較し、体力的な疲労は軽減されましたか。	5
ロボットによる巡回は、通常警備員が実施する巡回と比較し、精神的な疲労は軽減されましたか。	4
普段実施している巡回業務と比較して、ロボットによる巡回はどの程度活用できそうでしたか。	4

評価の区分（1：悪～5：良、はいいいえ）

図表 4-84 3D マウスでロボットを遠隔操縦している様子



- 監視員の操作通りに動作することについては問題ないという評価であり、ロボットが人物に接近した際の減速・停止動作についても問題ないという評価であった。これも人が集中した中でもローカル 5G により低遅延で安定した通信が行なえたことにより得られた評価であると考察する。
- ロボットでは巡回警備業務をすべて代替することはできないという評価であったが、部分的な導入であっても体力的・精神的疲労の負担は軽減されることが見込まれ、良好な状態で警備が行えると考察する。

【実証③】遠隔監視時の映像による人物等表示

図表 4-85 アンケート評価結果

停止中	来場者や関係者が「静止している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	5
	来場者や関係者が「歩行している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	5
	来場者や関係者が「走行している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	5
走行中	来場者や関係者が「静止している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	5
	来場者や関係者が「歩行している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	5
	来場者や関係者が「走行している」際の顔、服装、性別、所持している荷物の識別ができましたか。	5

評価対象とする映像品質をあらかじめ設定し、監視員によって複数パターンでの映像に映り込む人物を停止／歩行横断／走行横断、不審物を模擬した物体の特徴を、監視員が正確に視認することが可能か否か評価した。

- 遠隔監視時の映像による人物等表示の検証では、映像に映り込む人物を停止／歩行横断／走行横断、不審物を模擬した物体の特徴を、監視員が正確に視認することが可能か否か評価したが、問題無いとの評価を得ている。この実証では 4K 画質 15fps の動画を 10Mbps という高いビットレートで送信したにも拘らず、安定した通信が行なえたことにより得られた評価であると考察する。また、多数の人が行き交うイベント会場においても、人的な巡回や立哨業務の一部代替は可能であると考察する。

図表 4-86 映像に映り込む人物等を確認する様子



#### 【実証④】 監視映像品質

評価対象とする映像品質をあらかじめ設定し、複数パターンの映像の伝送品質を定量的に評価する。監視映像のフレームに欠損が発生していないことを計測し評価した。

遠隔監視映像のコマ落ち数を管理 PC のアプリケーション (VLC media player) を使用して測定した。算出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以下の通り。

図表 4-87 【実証④】 カメラ映像品質測定の設定

解像度	3840×2160
フレームレート	15fps
映像圧縮方式	H.264
ビットレート	10Mbps
受信バッファ※	330ms

※デコード側における、受信バッファ+ジッターバッファ (30ms 固定)

- 測定の結果、設定フレーム数が 150 フレームに対して、計測フレームは 150 フレームであった。本結果は 4K カメラのローカル 5G 伝送経路上でコマ落ちが生じていないとみなすことができる。

図表 4-88 ロボット実証中の巡回の様子



図表 4-89 ロボット実証中の管理 PC の様子



【実証⑤】映像伝送時間

評価対象とする映像品質をあらかじめ設定し、ロボット 4K カメラ映像が、監視モニター上に表示されるまでの遅延時間を定量的に評価する。また、実証①における遠隔操作時の使用性に与える影響を評価した。

- 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、映像伝送遅延は 524ms であった。また、技術実証において測定した伝送遅延は UL・DL 両区間を合わせて、およそ数 10~100ms 程度であることから、映像伝送遅延時間に占めるローカル 5G 無線通信区間における伝送遅延時間は極めて小さいということを確認した。

図表 4-90 映像伝送遅延測定の様子



### 【実証⑥】 制御伝送時間

停止中のロボットの 4K 映像を監視モニター上に表示し、モニター映像を確認しながら遠隔操縦を行い、制御伝送時間を計測する。また、実証①における遠隔操縦時の使用性に与える影響を評価した。

- 操作器の操作からロボットの動作までの時間を測定した。結果、遠隔操縦でロボットが動作するまでの時間と手動操作でロボットが動作するまでの時間を比較してもほとんど差がなく、技術実証における UL・DL 両区間を合わせても、およそ数 10~100ms 程度であることから、制御伝送時間に占める伝送遅延時間は極めて小さいものであった。

図表 4-91 制御伝送遅延測定の様子



### 【実証⑦】 接続安定性

監視員による現場警備員への対処指示、対処の実施、及び現場警備員による携帯端末からの処置完了操作といった一連のプロセスにおいて、2つのシナリオ実証を通じて各動作が通信の輻輳を受けずに完結することを確認し評価した。

#### シナリオ1：不審者発見シナリオ（再掲）

シナリオ1：

- ①監視員がロボットによる遠隔監視中に不審な動きをしていると思われる人物を覚知する。
- ②覚知した人物確認のため、監視員はロボットを遠隔操縦して人物に接近し、インシデントか否かを確認する。
- ③監視員はスタッフ等連携システムを用いて、警備員へ人物の特徴・状況を伝達し、対応を指示する。
- ④警備員は現場へ駆けつけ対応する。

#### シナリオ2：不審物発見シナリオ（再掲）

シナリオ2：

- ①監視員がロボットによる遠隔監視中に不審物と思われる物品を覚知する。
- ②覚知した物品確認のため、監視員はロボットを遠隔操縦して物品に接近し、インシデントか否かを確認する。
- ③監視員はスタッフ等連携システムを用いて、警備員へ不審物の特徴・状況を伝達し、対応を指示する。
- ④警備員は現場へ駆けつけ対応する。

図表 4-92 監視員映像監視状況（遠隔操縦・モニタ監視）



図表 4-93 監視員映像監視状況（遠隔操縦・モニタ監視・発見）



図表 4-94 ロボット遠隔走行中の様子（遠隔操縦）



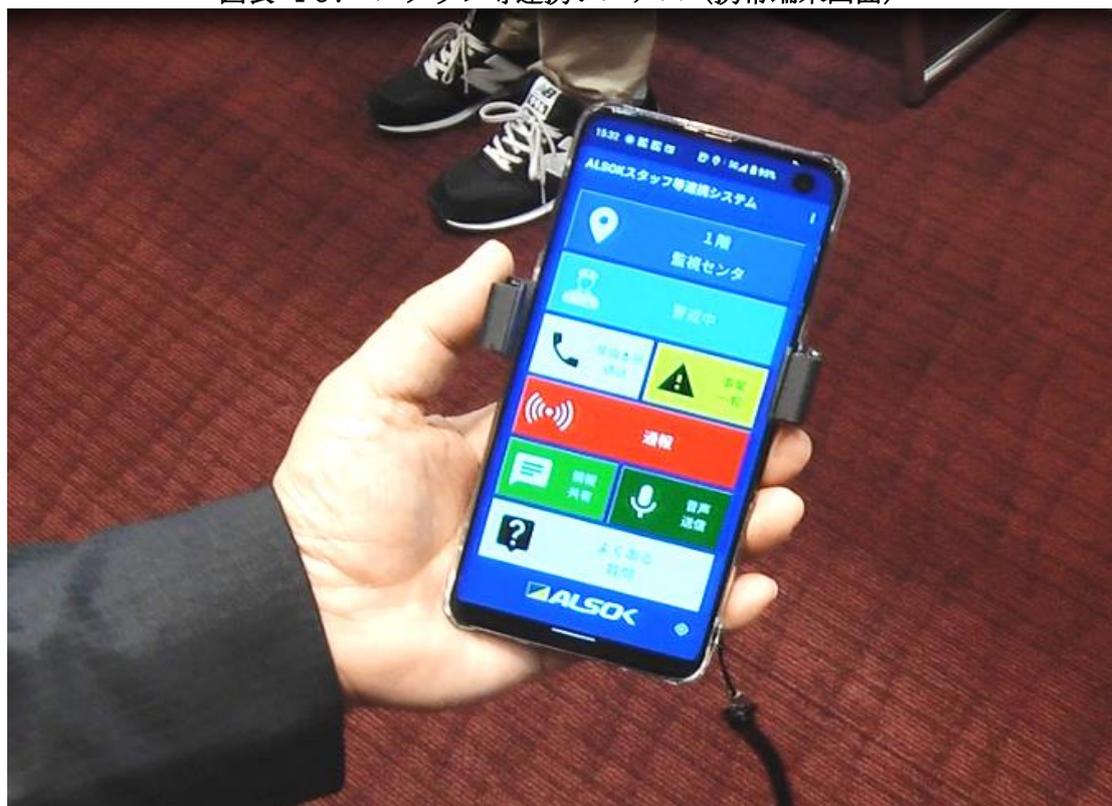
図表 4-95 警備員への対処指示（スタッフ等連携システム）



図表 4-96 スタッフ等連携システム監視画面（警備員位置と事案の紐づけ）



図表 4-97 スタッフ等連携システム（携帯端末画面）



図表 4-98 スタッフ等連携システム（事案位置情報表示）



図表 4-99 警備員による現場対応の様子（不審者対応）



図表 4-100 警備員による現場対応の様子（不審物対応）



本結果から、以下のとおり整理の上、考察を行った。

#### 【本システムの機能面】

- 遠隔監視によるインシデント検知をトリガーとして、現場警備員との連携による処置対応完了に至るまでの一連のプロセスについては、ロボット、スタッフ等連携システムの各基本機能が通信の輻輳を受けることなく想定通り運用できたことから、人的な巡回や立哨業務の代替は一部可能であることが確認でき、体力的・精神的疲労の負担軽減の効果が期待できるものとする。スタッフ等連携システムでは、通常イベント会場等でキャリア通信を使用して運用した場合、輻輳による映像通話の画質低下や遅延、直行指示の遅延等が発生していたが、本実証では警備員用の端末にもローカル 5G を使用したため、来場者が不在の場合と全く変わらず、映像通話の画質低下や遅延、直行指示の遅延等が発生しない安定した運用を行うことが可能であった。
- これらのことより、遠隔ロボット監視システムにローカル 5G を活用した場合、輻輳の影響を避けて高速で低遅延な通信が行えることにより、安定した遠隔監視と遠隔操作、相互連絡に大きく貢献することが確認できた。
- 但し、実際の警備の運用は屋内だけで完結することは少なく、屋外での運用を伴うことが多いため、ローカル 5G からキャリア 5G・4G へのスムーズな切り替えも今後の課題として、検証が必要な事項と考えている。

#### 【イベントの実態面】

- 一方で、イベント会場内部は安全・安心な会場を作るための工夫や仕組み（入場以前の入場者に対する確認）が施されているため、日中の警備事案の発生は抑制されている。万一の警備事案を想定して実施したシナリオ実証（詳細は機能検証の項において後述）は、発生頻度は極めて低いことから、費用対効果の面では日中の警備をロボットで行うことよりも、会場準備期間や夜間の自動巡回機能を活用するなどした警備業務の支援に対するニーズが高いものと考えられる。

## 2) レベニューモデル検証

施設利用者となるイベント主催者等に対し、付加機能に関するニーズを収集し、その実現性について検証した。また、当該追加機能に支出できる費用感についてもヒアリングを通じて価格感度分析を行うとともに、付加機能を追加した場合における当該モデルに関しての考察を行った。

なお、アンケート結果のうち、イベント警備における遠隔ロボット監視システムへの機能実装面とは関連性が低いもの(★)については本評価からは除外し整理した。

図表 4-101 主たるアンケート結果

	対象者	主たるアンケート結果
1	施設管理者	・夜間の自動巡回(侵入者・居待ち、温度監視:無人時の充電や通電による発火の恐れ)
2	イベント主催者	・夜間警備を行うニーズは高い ・過度の混雑時は走行可能か ・誘導業務で活用(案内だけでは誘導が難しい) ・同時通訳機能にて多言語で会話
3	イベント出展者	・緊急時の避難指示 ・カメラ以外のセンサー類搭載 ・会場の案内(簡単な会話の受け答えがあると先進感がある) ・拾得物検知 ・迷い人のサポート ・書類や物の運搬 ★ ・工場の点検管理 ★
4	イベント来場者	特になし。

- 上記の機能のうち、すでに開発・実装が可能な機能とそれ以外の機能を分類し、それぞれの導入費用感について評価した。

### 【凡例】

(実装可否)

- :すでに開発済みであり実装が可能な機能
- △:部分的な実装が可能であるが環境に応じた適用可否を見極める必要がある機能
- ×:技術的な課題が想定されるなど実装が困難な機能

(費用感)

4.4.1.1 効果検証において評価・検証した、遠隔ロボット監視システムの導入からレベニューモデルの収支面に関する検証結果を基に、各付加機能の収支面での影響度を費用感として評価した。

- :すでに開発済みであり実装にあたり追加費用を要しない
- △:影響度は低い
- ×:影響度は高い

図表 4-102 付加機能の評価結果

	付加機能	現時点での実装可否	費用感
(1)	夜間の自動巡回（侵入者・居待ち検知）	○	○
(2)	夜間の自動巡回（温度検知）	△	×
(3)	過度な混雑時の走行	—	—
(4)	誘導（案内係・迷い人サポート）	○	○
(5)	会話（自動受け答え）	△	×
(6)	会話（多言語での自動受け答え）	△	×

本結果から、以下のとおり整理の上、考察を行った。

【各機能評価結果】

- ・ 4.4.1.1 効果検証で記述のとおり、イベント会場内部は安全・安心な会場を作るための工夫や仕組み（入場以前の入場者に対する確認）が施されているため、日中の警備事案の発生は抑制されている。このような側面から、日中のイベント時間帯と夜間警備を棲み分け、特に夜間帯のロボットによる警備業務の支援に対するニーズが高いと考えられる。
- ・ 夜間の自動巡回機能については、現在開発済みのロボットの標準機能によって実現が可能であり、追加費用を要することなく提供が可能である。ただし、導入においては後述する運用面での課題（導入準備が短期間、遠隔での監視員）をクリアする必要がある。
- ・ 夜間のイベントスペースにおいては、施設管理者側はスペースを閉鎖し内部を人手による警備は行われていないのが現状である。よって、万一の侵入者や居待ちによる物品等への損害の発生や、機器類の充電や電源類のトラブル（原則、イベントスペース内の分電盤は OFF となる。）に起因する火災などの未然防止や早期発見といった観点から夜間のロボットによる自動巡回機能に対する期待は高いと考えられる。なお、温度検知機能については、サーマルセンサーや専用カメラを搭載することで実現が可能となる。
- ・ 過度な混雑時のロボット走行機能そのものについては、安全機構の作動によりロボット自らが人物等に衝突をされるといった事故回避は可能である。ただし、混雑状況下で警備業務を行うためには混雑状況下での移動を可能とすることはもとより、より高度な状況判断に資するカメラやセンサーの追加など機能面での見直しが必要と考えられる。
- ・ 誘導、会話機能に関しては、日本語・他国語を含めて自動会話技術の進展は目覚ましいもののロボット単体での実現は困難な状況にある。簡易な自動受け答え技術は一部が実用化をしており、自動受け答えが困難な状況を判断し、背後で警備員などの監視員や状況に応じた担当者が自動的にアサインされ、人が応答を引き継ぐといった運用手法による機能実現は可能と考えられる。
- ・ 会話やアナウンスといった機能は、人手により行うこととロボットが行うことによる差異がある。ロボットを用いることで、同じことを繰り返しアナウンスしたり音や光

を発生しアナウンス効果を高めたりすることができる。さらに、ロボットは無人格（機械的）であるため、人が言いにくいことや、反対的な感情を持つ相手に対しても均一的にアナウンスを継続することができるため、万一相手方から反感を受けた場合でも、警備員やスタッフ等のアナウンス要員が受傷事故等を回避できるといった点に秀でていると言える。

#### 【その他】

- ・ その他、具体的なアンケート・ヒアリング結果を基にしたものではないが、今後の付加機能として検討すべき項目を記述する。ただし、実現手段・費用等の面からの検証は含めない。
  - 階層間のシームレスな移動
  - イベントの騒音や環境に応じた音声案内の最適化（音量調整）
  - ローカル5G不感エリアでの他の無線通信へのシームレスな接続

#### 4.4.1.3 運用検証～A-1.遠隔ロボット監視システム～

##### (1) 評価・検証項目～A-1.遠隔ロボット監視システム～

本項では、ロボット1台による警備運用を前提とした評価・検証を行うこととした。

具体的には、4.4.4.1 効果検証と 4.4.4.2 機能検証で整理を行ったとおり、大規模施設における「警備力向上」に資する自らの施設に対する警備運用と並行し、レベニューモデルとして施設管理者がロボットの貸主となり、施設利用者（イベント主催等）に対し、満足を高めるツールとしてロボットを貸与するといった「収益化と施設の魅力向上」に資するロボット貸与といったモデルの運用を同時に運用することを想定した項目の洗い出しを行った。

## (2) 評価・検証方法～A-1.遠隔ロボット監視システム～

以下の各点に関する整理を行い、実運用フェーズにおけるスムーズな運用に資する準備と位置付ける。ロボット1台による運用を想定し、大規模施設警備でのロボット使用と本モデルにおけるロボット貸出しにおいて、ロボットをタイムシェア運用することを想定した整理すべき項目の洗い出しを行った。本前提のもと、施設管理者に対するヒアリングを通じ、課題の抽出と各運用項目について評価・検証を行った。

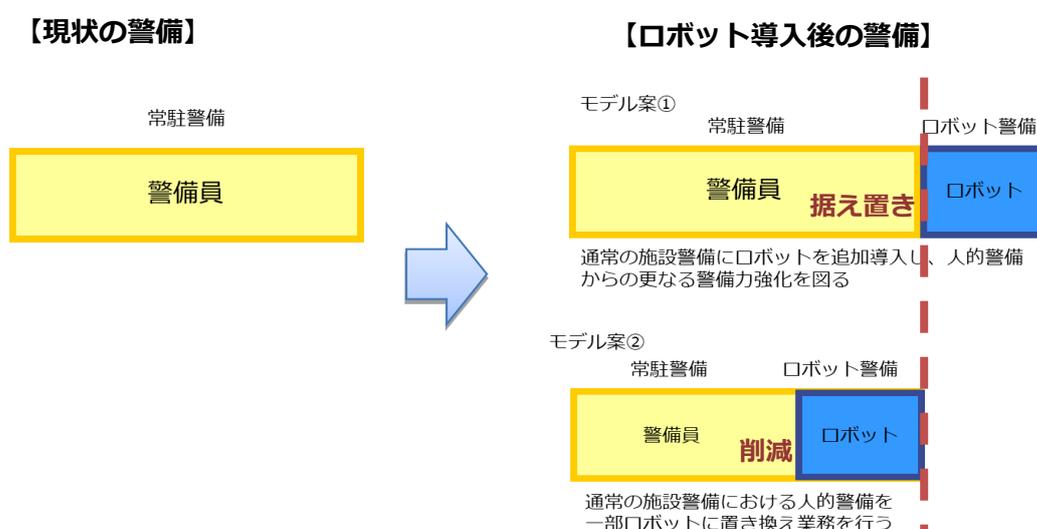
- 新たな警備運用方法の整理（警備モデルとロボット運用）
- 通年の施設警備業務と、イベントへのロボット貸出しのタイムシェアに関する業務フロー整理
- 運用において、あるべきシステム構成

### (3) 実証結果及び考察～A-1.遠隔ロボット監視システム～

#### ● 新たな警備運用方法の整理（警備モデルとロボット運用）

4.4.1.2 機能検証（レベニューモデル）の項で整理した、施設警備へのロボット導入とイベントでの貸出しを併用する警備モデルについて改めて整理した。レベニューモデルによるロボット導入においては、現状の施設警備におけるロボット導入を行うことを前提と仮定していることから、それぞれの運用の在り方が密接に関係する。以下は、ロボット導入時の施設警備の考え方を示したモデル案である。

図表 4-103 ロボット導入後の施設警備運用モデル案



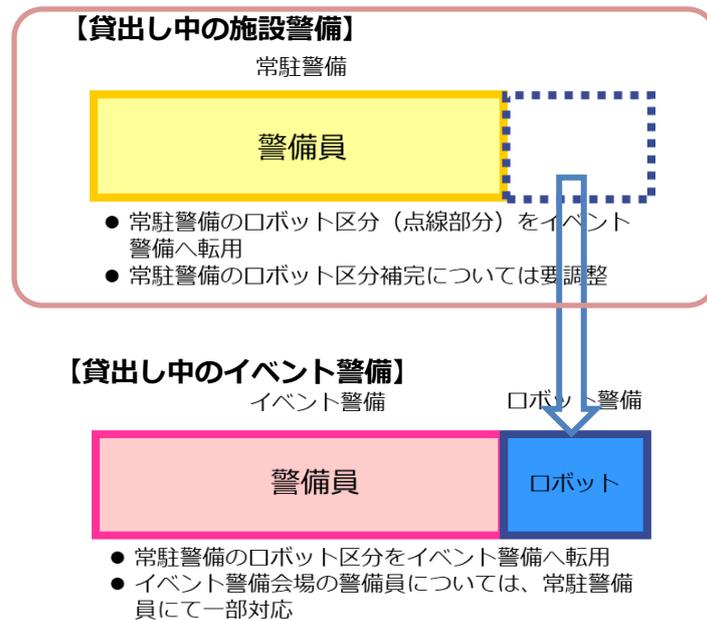
上記の施設警備運用のモデル案についてそれぞれ運用上想定される事項を整理した。各モデルの選択においては、現状の警備運用状況を詳細に分析したうえで実効性の判断を要する点など課題が存在することから、本項では検証すべき事項の抽出と想定される課題について整理・考察した。

図表 4-104 想定される検証事項と対応策・課題の整理・考察

カテゴリ	検証事項	対応策・課題
モデル案①	現在の施設警備員の業務をそのままに据え置き、ロボットによる警備強化を行うことが可能か。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状の施設警備業務を詳細に分析し、強化すべき点が存在するという前提が必要となる。</li> <li>・ロボット導入の初期費用、保守等ランニング費用の支出判断が必要となる。</li> </ul>
モデル案②	現在の施設警備員の業務の一部を代替し、ロボットに置き換えることが可能か。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同様に現状の施設警備業務を詳細に分析し、ロボットにより代替可能な業務分量の洗い出しと、代替による既存警備員の削減が可能となるか。</li> </ul>
共通事項	警備員によるロボットの運用を行うことができるか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ALSOK において、自社・他社を問わず運用マニュアルを提供しロボット監視システムの運用訓練を行う必要がある。</li> </ul>
	ロボット保守・トラブル対応が可能か。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用訓練において、ロボットの一時的なトラブル対処マニュアルを整備し、現場警備員による初期対処や軽微なトラブルへの対応に備え運用訓練を行う必要がある。</li> <li>・現場警備員による対処が行えない状況において、ALSOK にて保守支援体制を提供し電話等による遠隔対応とオンサイトでの保守対応を行う体制を提供する必要がある。</li> </ul>
	維持管理のサポートが可能か。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定期メンテナンスを行うことで、ソフトウェアアップデートによる最新の状態を維持し、予防保全の観点からも消耗品のメンテナンスサービス提供によりロボットのライフサイクルコストの低減や故障による非稼働時間を削減する必要がある。</li> </ul>

上記施設警備モデル案①・②において警備ロボットの運用を行うことを前提とした後、レベニューモデルにおいてイベントへロボットを貸し出すことにより従来とは異なる警備運用が行われることとなる。

図表 4-105 イベントへのロボット貸出し時の警備運用



施設警備で使用中のロボットをイベントへ一時的に貸出すことで、施設警備側ではロボットにより行っていた業務を人的に補完する必要性が想定される。

- 通年の施設警備業務と、イベントへのロボット貸出しのタイムシェアに関する業務フロー整理

レベニューモデルによるロボット導入においては、現状の施設警備におけるロボット導入を行うことを前提と仮定していることから、それぞれの運用の在り方が密接に関係することから、それぞれ並行して各フェーズにおいて必要と想定される運用作業について整理・考察を行った。

図表 4-106 業務フローの整理

カテゴリ	フェーズ	運用作業
施設警備	事前準備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・警備運用事業者の決定に基づく勤務調整を行う。</li> <li>・ロボットのイベント警備への貸出しに伴う、ロボットが行っていた業務の人的補完体制の検討を行う。</li> </ul>
	イベント警備へのロボット貸出し中（運用時）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ロボットが行っていた業務の人的補完による体制維持を行う。</li> <li>・ロボットのトラブル対応に備え、施設警備側でロボット一時保守対応が可能な要員を確保する。</li> </ul>
イベント警備	事前準備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イベント主催者とのロボット運用方法の調整を行う。 <ul style="list-style-type: none"> <li>- ALSOK への対応依頼 イベント警備用設定は ALSOK において行う必要があるため、施設管理者より ALSOK に対しイベント主催者との調整を要請する。要請に基づき設定内容をイベント主催者と調整し設定作業を行う。</li> <li>- 走行ルート設定 イベントホールの基礎ゴマ設置後に設定を行うため作業時間が限定される。そのため設定所要時間の見積もりと設定可否判断が必要となる。</li> <li>- 運用時間設定（日中・夜間） ロボット稼働時間と、それぞれの時間帯でのロボットの業務内容の詳細を調整する。</li> <li>- オプション機能設定 追加設定を要する機能の要望を受け作業日程の確保を調整する。</li> </ul> </li> </ul>
	運用時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トラブル対応に備え施設警備側でロボット一時保守が行える体制を敷くとともに、ALSOK 側にて臨時的保守対応体制を提供（遠隔問い合わせ、オンサイト対応）する。</li> </ul>
共通	運用後	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イベントでの利用終了後、施設警備でのロボット警備運用に復帰するための作業を行う。当該作業は ALSOK が現地での対応を行うことを想定する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>- イベント警備業務の終了と撤収作業を行う。</li> <li>- 施設警備用設定への変更作業を行う。</li> </ul> </li> </ul>

● 運用において、あるべきシステム構成

監視システムの構成については、イベント警備においてロボット運用を行う監視員がどのような形態で監視業務を行うかを想定し構成の在り方を考慮する必要がある。また、イベント警備の運用を行う警備会社については、①施設警備会社と同一の警備会社がイベント主催者からイベント警備を請負う場合と、②他の警備会社が請け負う場合の 2 通りが想定される。

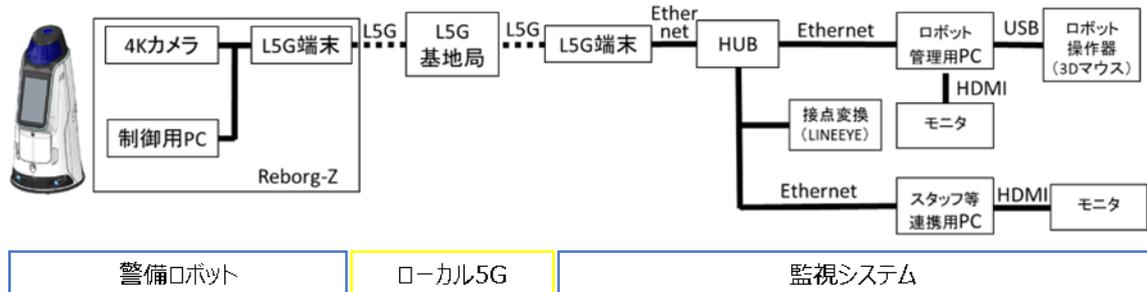
図表 4-107 監視システムの監視者別構成区分

警備会社	ロボット監視場所	システム再構築の要否
①施設警備会社	a) 防災センター内での監視	不要
	b) イベント主催者が指定した監視場所	監視システムの移設／仮設が必要
②他の警備会社	a) イベント主催者が指定した監視場所	監視システムの移設／仮設が必要

上記のとおり、イベント主催者が指定する監視場所において監視システムを構築する場合を想定し、柔軟な対応が可能となるようシステムの構成と監視システム機材の確保が必要となる点に留意が必要となる。

以下の構成図では、監視システム側の NW 接続構成をローカル 5G に対応させることで、b) イベント主催者が確保した監視場所においてロボット監視を行う必要があるケースであっても、イベント毎にNW工事を行う必要がなく、準備期間がタイトであることが一般的であるイベント警備においても短時間で構築を行うことができ有用なシステム構成であると考えられる。

図表 4-108 柔軟な監視システムの構成図例



#### 4.4.2 ローカル5Gを用いたソリューションの有効性に関する検証～A-2.混雑検知システム～

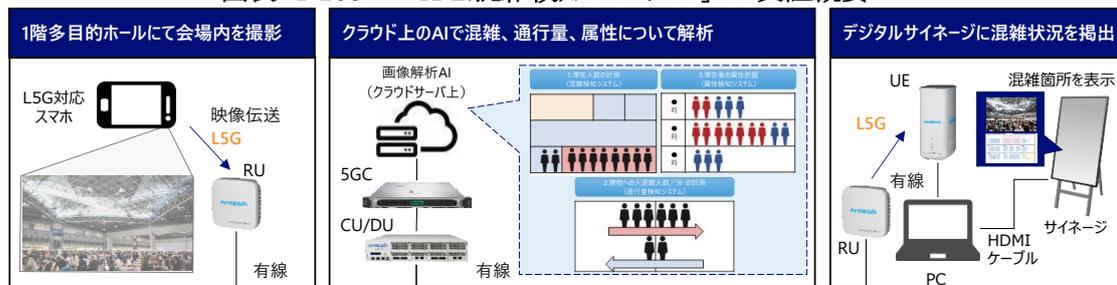
混雑検知システムは、NRI ソリューション部門が主担当としてすでにシステム自体を開発済みであり、2021年3月5日にパシフィコ横浜展示ホール内にてキャリア5G回線によるデモンストレーションを実施した実績を持つ。

本開発実証においては、まずパシフィコ横浜ノースの多目的ホールをスマートフォンカメラで撮影し、高精細映像をリアルタイムでローカル5G通信回線を用いてクラウドサーバー上にアップロードし、AI画像解析を行うことで混雑検知、通行量検知、属性把握等を行う。そして、混雑を検知・予測した際には混雑アラートを発出し、ローカル5G通信回線を用いて、館内のデジタルサイネージにて当該エリアへの入室制限等のアナウンスや撮影映像を来場者に向けて提示する。また、同時に混雑を検知した情報をメールにてイベント主催者等に通知する。

混雑検知や人流の把握は施設におけるサービス向上やイベントの付加価値向上に資する可能性がある。その活用の幅を広げていくためには、より簡単にどんなところでも使える仕組みとすることが必要と考えられる。そのため、今回はスマートフォンでの撮影とクラウド上での解析を行う今回の仕組みを使用する。例えばイベント等で利用する場合は、固定カメラでは、都度代わる出入り口に合わせてシステムの構築を行うことができない。また、行う場合は、有線の敷設のために施設管理者のみならず、施設保有者との調整等が必要になり、イベントごとに設営に長い時間とコストがかかる。また、開催するイベントに合わせて検知すべき箇所をフレキシブルに変更できることでよりイベントごとにカスタマイズされた情報取得が可能であり、イベントの来場者に必要な情報提供ができたり、出展者に来場者数に関するデータ提供を行えたり、滞留等の状況から主催者側がイベントの会場内の配置を見直す際に使用できる情報を取得するなど付加価値向上に資する仕組みとなると考える。今回の実証では、その汎用性や簡易さについてニーズの確認、展開の可能性についても調査を行う。今回のスマートフォンでの撮影とクラウドでの解析を実現するためには以下の理由より、ローカル5Gネットワークで実装する必要がある。

- 高精細カメラ映像を、画像解析AIを搭載したクラウドサーバー上に常時アップし続けるために、高速大容量通信が必要となる。
- 大人数の来場者・出展者が同時に通信を行う環境下において、人流管理に資するシステムが稼働し続ける帯域を確保し続けることが必要である。

図表 4-109 「A-2.混雑検知システム」の実証概要



実証本番での実施内容を下記に示す。

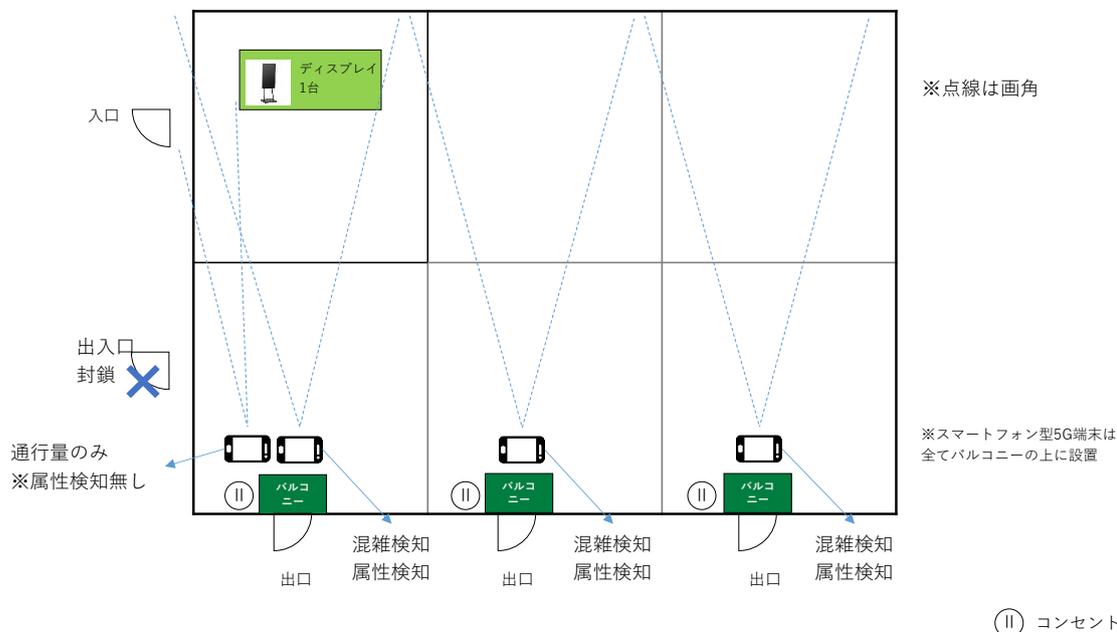
●機器の設置

会場内への機器の設置状況を下記に示す。実証実施時パシフィコ横浜ノース多目的ホール G1~G6 エリアが使用される。入り口は下図会場左上の 1 カ所で、来場者はイベント入場時基本的にこの入り口を通過する。入り口付近に混雑検知の結果を示すディスプレイ 1 台を設置する。ディスプレイには PC を接続し、PC はローカル 5G 経由で混雑検知の結果を取得する。

会場内の状況を撮影するスマホカメラは下図下側の多目的ホールのバルコニー3 か所に計 4 つ設置する。1 番入り口側の 1 台は入り口から入場する来場者のカウントを実施する通行量検知を行う。当該カメラはローカル 5G 経由で 4 K のカメラ映像をアップロードする。さらに 3 つのバルコニーそれぞれに 1 つずつ混雑検知、属性検知用のスマホカメラを設置する。これらのカメラは会場を見渡す形で設置し、ローカル 5 G 経由で 2 K のカメラ映像をアップロードする。今回 2 K の映像を使用する端末を設けた理由は、本実証の事前調整においてすべて 4 K 映像を使用すると通信帯域が不足する可能性が判明したため、イベント本番において継続的に混雑状況を把握することを優先したためである。4K の有効性についての検証も実施できているため、検証項目への影響はない。

スマートフォンは落下防止のため 3 脚に設置し、3 脚を重りとロープで固定した。また、発熱防止のため冷却装置を設置した。

図表 4-110 機器の設置場所  
パシフィコ横浜 ノース多目的ホールG1~G6



図表 4-111 スマートフォンカメラの設置状況



図表 4-112 サイネージの設置状況



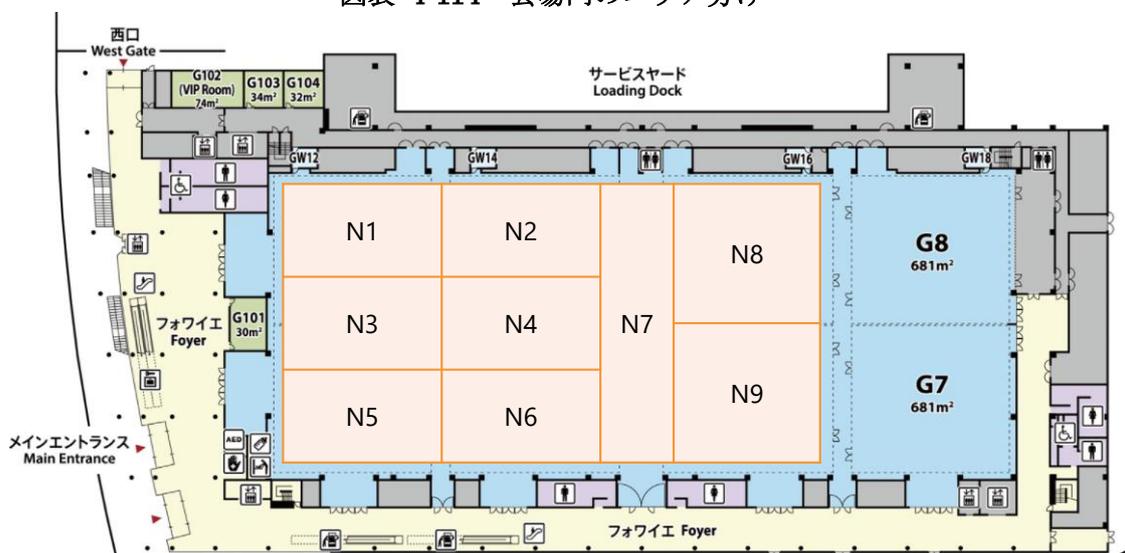
図表 4-113 サイネージへの掲示内容



●混雑検知の設定

混雑検知の設定においては下図のように会場を仮想的に9つのエリアに分割し、各エリアの滞在人数をカウントした。それぞれのエリア別に閾値を設定し、閾値を超える人数を検知した際には①施設管理者等へのメール配信を実施し、会場全体で閾値を超えた場合には、①に加えて、②会場内のサイネージへメッセージの表示を行う設定とした。当初は特定のエリアでの混雑についても②サイネージでの掲示を行う予定だったが、イベントの特性上出展者の不利益となる可能性もあり、主催者側との相談の上で、混雑状況に応じて主催者側が対応を判断することとした。また、別途連携実証においては警備ロボットによる混雑検知、分散アナウンスを実証した。本実証ではシステム上で、属性検知機能も動いているが、本実証におけるカウントおよび分析、GUIへの表示は行っていない。

図表 4-114 会場内のエリア分け



図表 4-115 混雑を検知した際の対応

	スタッフへのメール通知	サイネージのメッセージの切り替え	ロボットによるアナウンス
会場全体で閾値を超えたタイミング	会場内の上限人数を超えました。入場者の管理を行ってください。	Welcome to お城EXPO ↓ 会場内が混雑しております。密を避けた行動をお願いします。	—
分割したエリアで閾値を超えたタイミング	(N1~7) エリアが混雑しています。混雑状況を確認してください。	—	ブースから指定の位置に移動し混雑状況を表示 ※実証として1, 2回実施を想定

●その他の対応

混雑検知のためにカメラを設置するため、来場者への説明のため、下記の説明資料を作成し、実証ブースにおいて配布、説明を実施した。

図表 4-116 カメラ設置にあたっての説明文

**混雑検知実証実験のためカメラを設置しております**

平素は格別のご高配を賜り、厚く御礼申し上げます。

株式会社野村総合研究所では、5G カメラにより、ご来場者の混雑状況を把握することで、ご来場時の利便性向上およびサービス改善に向けた実証実験として、カメラ映像を活用した分析を実施いたします。

利用目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ バルコニー上のカメラにて、お客様の混雑状況（※）を取得します</li> <li>・ 取得した情報を分析し、エリアごとの混雑状況を把握し、案内表示を行うことなどで、お客様の利便性向上を図るための実証実験を行います</li> <li>※ お客様個人を特定する情報（氏名等）は取得しません</li> <li>※ 顔画像は利用しないため取得および保存はしません</li> </ul>
取得する情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 混雑状況</li> <li>・ 推定される属性（性別、年代など）</li> </ul>
取得する情報の取り扱い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 混雑状況は、施設の各エリア内における密集状態を検知するもので、個人別の情報は必要としません</li> <li>・ 属性の推定は、顔画像不要の全身外観特徴量（人間には判別できない符号に変換したデータ）から推定するもので、お客様の映像は保存しません</li> <li>・ 取得する情報は、3 社(弊社、株式会社横浜国際平和会議場、総合警備保障株式会社)のみで活用し、法令に基づく場合を除き、その他第三者提供はいたしません。また、他の情報等との紐づけ、共同利用も行いません</li> </ul>
データ取得期間	・ 2021年12月18日（土）～2021年12月19日（日）
利用カメラ台数	・ 4 台
本件に関するお問い合わせ先	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ YMM21 ローカル 5G 実証事務局</li> <li>Mail : [REDACTED]</li> </ul>

#### 4.4.2.1 効果検証～A-2.混雑検知システム～

##### (1) 評価・検証項目～A-2.混雑検知システム～

<システムによる混雑検知、表示効果の確認>

システム導入の効果として、混雑状況の確認が行われているか、混雑回避の行動に繋がっているか下記3項目を確認し定量的に評価した。

##### ① 混雑検知の周知状況

混雑状況を掲示する効果の検証として、混雑情報認知した来場者の割合を把握する。特定の時間において混雑情報を掲出したデジタルサイネージの前で立ち止まった来場者の数を把握した。また、来場者アンケート回答者における混雑検知システムの運用を認知していたかを把握し、周知状況を把握した。

##### ② 混雑検知の状況

本システムでは、会場内を仮想的にN1-N9の9つのエリアに分割し、各エリアにおける混雑状況を把握した。当初予定では、あらかじめ設定した閾値を超えた時間、回数をシステムのログから集計し、混雑の発生状況、検知状況を把握する予定であった。しかし、本実証においては、各エリアにおいて滞在人数があらかじめ設定した閾値を超えることがなかったため、本項目については機能検証において各エリアでの人数検知の状況、ランダムでサンプルの時間を取り、その時間内においては目視で人数確認を行い適切に人数カウントできているか精度の確認をすることとする。

<定性的な評価による混雑検知システムの有効性の確認>

来場者および施設関係者等に混雑検知システムの有効性等について質問することで、システムの有効性を定性的に評価した。

##### ③ 混雑検知システムの有効性

来場者アンケート、施設関係者に対するヒアリングにより、混雑検知システムの有効性を検証した。具体的には来場者に対しては、①システムに気づいたか（認知率）、②混雑を回避したか（混雑緩和の効果）、③安心感につながったか、④その他懸念点があるかを質問した。施設管理者等に対するアンケート、ヒアリングでは、混雑検知システムの効果や実装に向けた期待、付加されると望ましい機能などを質問した。把握した項目を下記に整理する。

図表 4-117 [来場者アンケート]

	設問	選択肢
1	今回の会場内で会場内の人数、混雑状況をモニター等に表示していました。混雑状況をご覧になりましたか。	1. 入り口のモニターで見た 2. 混雑検知のブースで見た 3. 警備ロボットのモニターで見た 4. 興味が無いので見なかった 5. 気づかなかった
2	混雑状況を参考に何か行動されたことがあればすべて選択してください。特に行動を変えなかった場合は③を選択してください。	1. 混雑している場所やタイミングを避けて行動することができた 2. 行きたい場所が空いているタイミングを狙って行動することができた 3. 特に行動は変えなかった
3	全体の人数管理や混雑状況の把握は安心に繋がりましたか？	1. とても安心できた 2. まあまあ安心できた 3. あまり安心感にはつながらなかった 4. まったく安心感にはつながらなかった

図表 4-118 [施設管理者等アンケート]

	設問	選択肢
高画質カメラを用いた混雑検知のための通信として、ローカル 5G を活用することについて、お考えをお聞かせください。		
1	混雑検知システムは撮影映像の解析を行うため、セキュアな通信環境が求められます。また、大容量の映像データを常時アップロードし続ける必要があります。こうした点において、ローカル 5G を活用することは有用と感じましたか？	1. とても無用 2. やや無用 3. どちらともいえない 4. やや有用 5. とても有用 理由 ( )
高画質カメラの撮影映像、及びその解析技術の活用展開可能性について、お考えをお聞かせください。		



7	<p>コロナ禍において、場内の人数管理が、本日のようなシステムを用いてなされていることで、来場者としての安心感※に変化はありそうですか？</p> <p>※例えば、「イベントの内容に集中して楽しめるようになる」、「安心してイベントに行ってみようと思える」など。</p>	<p>1. よりとても不安 2. よりやや不安 3. 変化なし 4. よりやや安心 5. よりとても安心</p> <p>理由 ( )</p>
8	<p>本システムは個人情報に係る内容の把握・記録を行うものではありませんが、撮影映像をもとにして人数管理等を行うことについて、来場者としての抵抗感は大きいと感じますか？</p>	<p>1. とても気になる 2. やや気になる 3. ふつう 4. やや気にならない 5. とても気にならない</p> <p>理由 ( )</p>
<p>貴社が行う事業・業務を想定して、お答えください。</p>		
9	<p>御覧いただいた結果、貴社で活用できそうな場面／活用を検討し得る点がありましたら教えて下さい。－アイデアでも構いません。</p>	

## (2) 評価・検証方法～A-2.混雑検知システム～

上記評価・検証項目の①は目視によるカウントを行う、②はシステムのログに基づく集計、およびランダムサンプルにおける目視の結果との比較による精度の検証、③はアンケートおよびヒアリング調査を実施した。

### <システムによる混雑検知、表示効果の確認>

#### ① 混雑検知の周知状況

混雑状況を掲出するデジタルサイネージの前を撮影し、一定時間内にデジタルサイネージの前に立ち止まった来場者の人数をカウントし、総来場者数に占める割合を算出する。

また、イベント主催者側が実施する来場者アンケートにおいても混雑検知システムを使っていたことを認識したかを質問した。

#### ② 混雑状況の把握

会場内を仮想的に N1-N9 の 9 つのエリアに分割し、各エリアにおける混雑状況を把握した。当初予定では、各エリアにおいて滞在人数が閾値を超えた時間、および回数を混雑検知システムにより集計する予定であったが、本実証においては混雑箇所が発生しなかったため、機能検証において各エリアでの人数カウントがどのように計測されているかを把握、整理する。合わせて機能検証では、精度の確認として、ランダムサンプルとしていくつかの時間内におけるエリア内の人数を目視によりカウントし、検知人数との比較を行う。

### <定性的な評価による混雑検知システムの有効性の確認>

#### ③ 混雑検知システムの有効性

施設側の来場者アンケートに設問を追加する形で来場者へのアンケートを実施した。同時に施設関係者等へのアンケート、ヒアリングを実施し、システムの有効性について調査・検証項目に記載の内容について、被験者の意見を把握、整理する。ヒアリングは施設管理者およびイベント主催者であるパシフィコ横浜の担当者を実施し、みなとみらい地区の関係者へは実証見学後にアンケート調査を実施した。

### (3) 実証結果及び考察～A-2.混雑検知システム～

＜システムによる混雑検知、表示効果の確認＞

#### ① 混雑検知の周知状況

総来場者に占める混雑検知状況の周知率を算出する。さらに、必要に応じて、来場者の関心が高いタイミング、低いタイミング等で混雑発生状況等への影響の有無を確認する。

実証を実施したイベントの来場者数は下記の通りである。

12/17 (金) 前夜祭	484 人	(※混雑検知非実施)
12/18 (土) 1 日目	6,784 人	
12/19 (日) 2 日目	6,356 人	3 日間合計 13,624 人

来場者はチケット購入後基本的には混雑検知を実施している多目的ホールに入場し、その後館内を自由に往来するが、誘導方法や多目的ホールを避けた移動を行う来場者もいたことから、総来場者全員が多目的ホールに入場するとは限らない点に留意が必要である。

デジタルサイネージ前を通過した人数とデジタルサイネージを見て立ち止まった人数をカウントした。

特定の時間内にサイネージの前で立ち止まった人数÷同時間帯に通過した人数  
＝サイネージの認知率

来場者数に対してサイネージを確認した人の割合が半分以下であることが多かった。サイネージ自体の説明表記が不足していたこと、施設内の案内図を合わせて表示しなかったことなどが原因として考えられる。

図表 4-119 サイネージ確認状況

月日	時刻	来場者数	サイネージ 確認者数	確認比率 (サイネージ確認者数/ 来場者数)
2021/12/18	10:03:00-10:03:59	19	11	58%
	11:00:00-11:00:59	23	6	26%
2021/12/19	10:30:00-10:30:59	15	3	20%
	10:32:00-10:32:59	12	4	33%
	10:35:00-10:35:59	15	3	20%
	11:30:00-11:30:59	13	2	15%
	11:32:00-11:32:59	10	5	50%

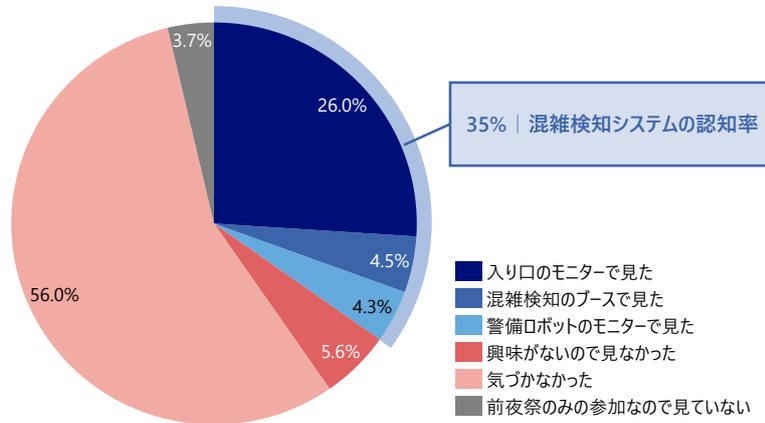
来場者アンケートによる混雑検知システムの認知率の結果を下記に示す。

アンケートによると本設問の回答者 1222 名のうち、約 35%の回答者が何らかの表示で混雑検知システムを見たと言っている。結果はサイネージの見た人数のカウントによる分析と類似しており、認知率は低い。来場者の方に見てもらえる画面設計や見せ方を検討する必要がある。混雑検知システムを見たと言っている人の多くが入り口のモニターで見たと言っていることから、表示方法については、入り口付近でモニターに表示することは効果的であったと言える。その他、ブースや警備ロボットで認知した

割合も 10 ポイント程度あるため複数個所に表示することには意味があると考えられる。

図表 4-120 混雑状況の確認状況

■ 今回の会場内で会場内の人数、混雑状況をモニター等に表示していました。混雑状況をご覧になりましたか。  
(回答者数1222)



## ② 混雑状況の把握

各エリアにおける混雑発生タイミングと混雑発生件数を集計・整理する予定であったが、本実証においてはあらかじめ設定した閾値を超える混雑は発生しなかった。ただし、人数カウントの状況および混雑検知の精度については、機能検証において検知された人数と目視によるカウントを比較し確認する。

今回、あらかじめ設定した閾値を超える混雑が発生せず、混雑発生の通知等は実施されなかった。この点では、混雑が発生しない安全なイベントが開催できたことを確認することができた。本実証においては実際の来場者を呼ぶイベントにおいて実証を実施しており、ダミーの混雑発生等は実施しなかったが、混雑が発生した場合どのような通知が行くか等はイベント主催者側にも説明を実施しており、その効果については③混雑検知システムの有効性について分析を行う。

## <定性的な評価による混雑検知システムの有効性の確認>

### ③ 混雑検知システムの有効性

[来場者]

来場者へのアンケート結果について下記に整理する。

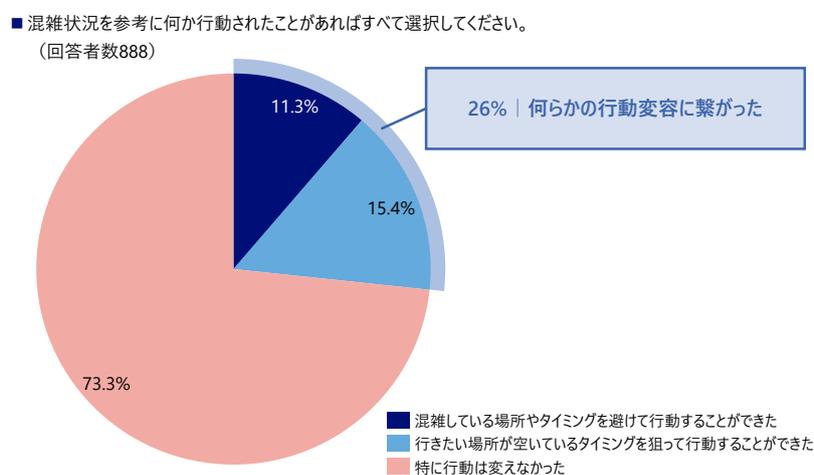
来場者アンケートによる混雑検知システムの効果に関する結果を下記に示す。

まず、混雑検知システムを参考に何か行動を変えたかという設問では、回答者 888 名のうち約 26%何らかの行動変容に繋がったと回答している。混雑している場所やタイミングを避ける行動よりも、自分が行きたい場所が空いているタイミングを狙って行動したという人の割合の方がわずかに多いが、混雑情報への対応方法としていずれの仕様の仕方もされうることが確認できた。

一方で 7 割以上は特に行動を変えなかったと回答している。今回のイベントにおいては、混雑が発生した場合は主催者側のスタッフが人流制御を行うというシナリオのもの運用していたためシステム単体で混雑解消を促す必要はないが、今後、商業施設や市

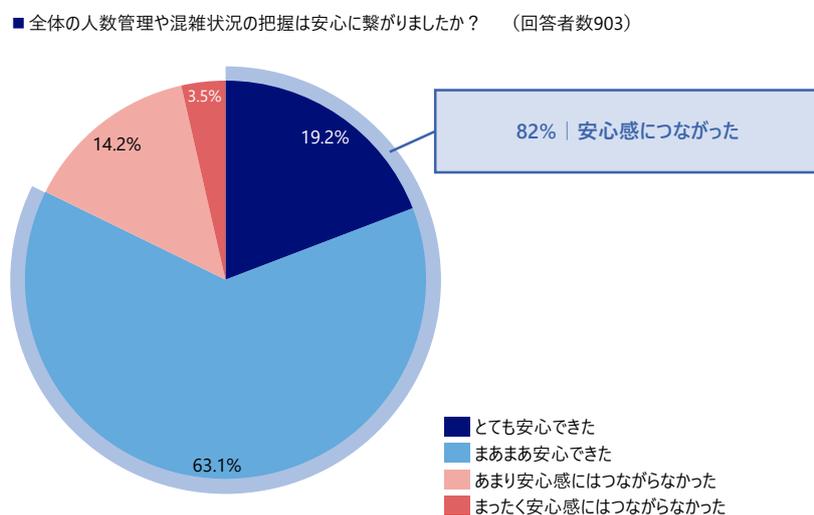
街地等で活用する際には、誘導するスタッフ等はいない。その場合混雑情報を提示するだけでは行動変容に繋がる割合は限定的であるため、表示方法を工夫する、あるいは、何らかの混雑解消方法とセットで運用していくことを検討する必要がある。

図表 4-121 行動変容



次に、混雑検知システムにより人数管理や混雑情報を把握することで安心につながったかでは、回答者 903 人中、約 82%が安心感につながったと回答している。コロナ禍において安心できるイベント開催を行うために、見える形で混雑管理を行う混雑管理システムが一定程度の効果を持つと考えられる。

図表 4-122 安心への寄与



〔施設管理者等〕

施設管理者等へのアンケート結果を下記に整理する。

施設管理者等として、みなとみらい地区の施設管理者や企業関係者に実証を見学してもらいアンケートに回答いただいた。回答者数は 12 名である。

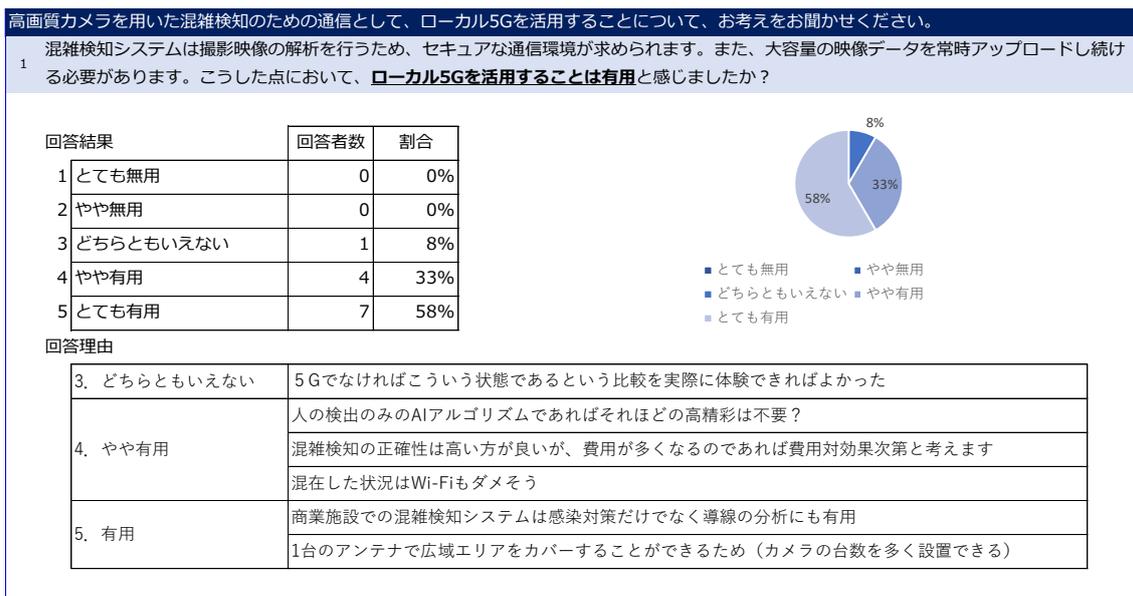
※アンケートの集計において、誤って回答している箇所が他の回答から明らかな場合、ま

た、当事者に回答内容について確認を実施した場合一部修正を行っている。

#### 設問1：混雑検知システムがローカル5Gを活用することの有効性

結果は「とても有用」が7名「やや有用」が4名と9割を超える結果となった。どちらともいえないと回答した人の回答理由をはじめとしてローカル5Gシステムの必要性を理解いただくのが課題であると分かる。この点については機能検証において高精度画像の伝送の効果等について分析を実施する。

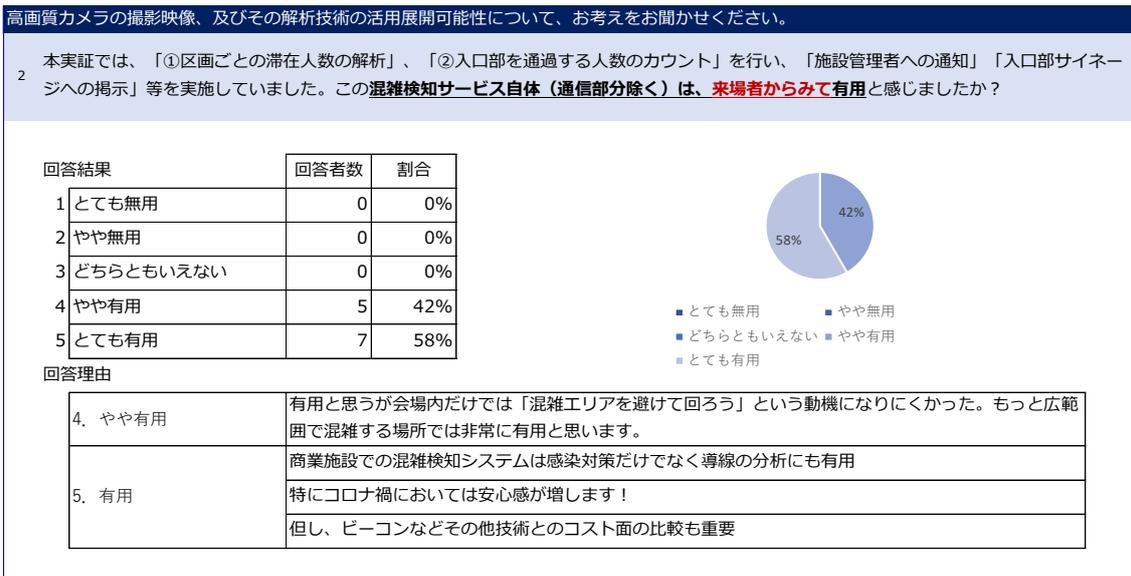
図表 4-123 設問1結果



#### 設問2：来場者から見た混雑検知サービスの有用性

結果は全ての回答者が「とても有用」または「やや有用」を選択した。安心感を醸成できるなどの意見が見られた。今後の課題として、来場者の混雑回避を促すためには更に多くの箇所で混雑状況を掲示すべき等の意見が得られた。

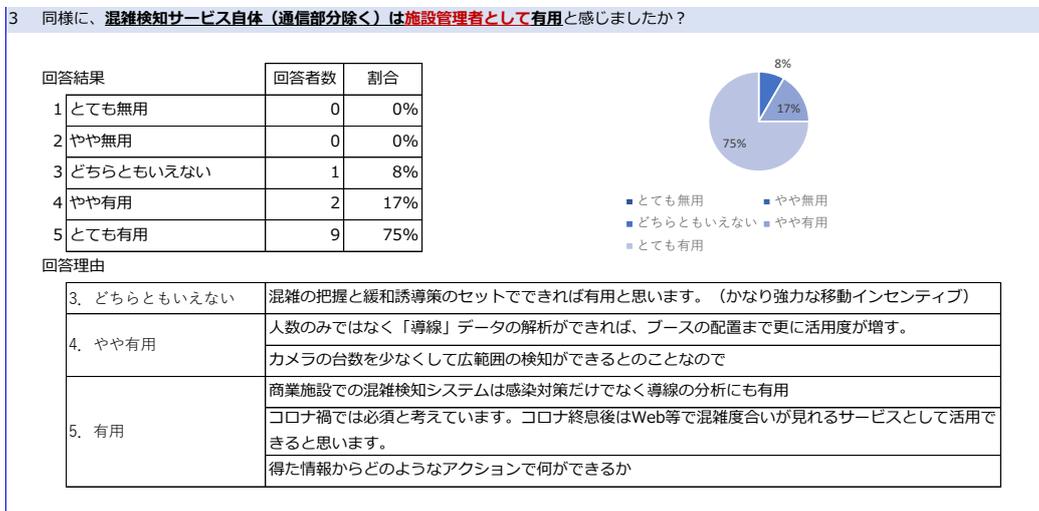
図表 4-124 設問 2 結果



設問 3：施設側から見た混雑検知サービスの有用性

回答では「とても有用」が 75%と、来場者視点での回答よりも有用性が低い結果になった。回答理由を見ると、来場者への安心感の醸成においては有用であると言える一方で、施設側では具体的な混雑緩和、人流誘導策に繋がることや他の付加的な機能に期待する意見が見られた。属性検知等の機能付加が有用性を高めることが期待される。

図表 4-125 設問 3 結果



設問 4：有用と感じた点

有効と感じた点については、省人化や問題が発生する前にリアルタイムで状況を把握できる点が挙げられた。また、閑散している箇所への誘導や来店傾向の分析、顧客への情報提供など他のサービスと合わせて活用することへの期待の声が見られた。また、一方で、具体的な人流誘導施策と組み合わせる必要性が指摘された。

図表 4-126 設問 4 結果

4 具体的に、どのような点が有効（来場者として/施設管理者として）と感じられたか、お知らせください。	
回答結果	
1	・来館者人数の把握と来店傾向の分析に有益 ・感染対策だけでなく閑散店舗等への案内にも使えるか？
2	問題が発生する前に対応ができる
3	確実な警備が可能になる
4	人件費の削減
5	・広範囲で混雑する場所では有用 ・混雑の把握と緩和誘導策のセットでの実施が必要
6	人数のみではなく「導線」データの解析ができれば、ブースの配置まで更に活用度が増す。
7	入場制限を実施しなければならぬエリアでの管理をシステムで可能になること（従来は人にて管理）
8	セキュリティ上も安心、省人化として有効、人による検知よりも誤りが少ない
9	全体の人の流れ（数を含む）が精度よくリアルタイムで把握できること
10	・ユーザーに来場を検討いただくためのサービス（情報提供）として有効 ・人手が少なくて済む ・入場人数のカウントができる
11	見学ルートの決定
12	来場者：優先順位が決めやすい 施設：レイアウト再考（次回以降）

設問 5：混雑検知システムの懸念点、改善が必要な点

サイネージに掲示している画像についての意見が多くみられた。見やすいと感じたという回答がある一方で、ニュアンス等が適切に伝わるかを懸念する声やもっと単純な情報にした方が良いなどの意見が見られた。また、来場者が求める施設案内等の情報と合わせて表示するのが良いのではないかという意見が見られた。

また、それ以外にも下記の点が改善点として挙げられた。

- ・サイネージの設置個所が少ない
- ・カメラの死角をなくす必要がある
- ・画像の個人情報の取り扱い（高精細になるほど取り扱いには注意が必要）

図表 4-127 設問 5 結果

5 本実証では、「①区画ごとの滞在人数の解析」、「②入口部を通過する人数のカウント」を行い、「施設管理者への通知」「入口部サイネージへの掲示」等を実施していました。気になった点、改善が必要と感じた点をお知らせください。	
回答結果	
1	導入コストが気になります。
2	来場者に対し施設案内もあつたほうがよい
3	正確に伝わるかどうか課題（ニュアンス等が伝わらない）
4	・広範囲で混雑する場所では有用 ・混雑の把握と緩和誘導策のセットでの実施が必要
5	今回は検証目的なので「死角」は気になりませんが、実際に導入・運用するには、いかに死角をなくすか、カメラ配置が重要
6	特に無しですが、エリア毎に人を囲っている色が変わると良いと思います。
7	画像解像度が高くなる分どこまで個人のプライバシー保護の問題に対応するのか、例えばスマホの画面の内容まで写ってしまうケースなど
8	サイネージの情報は見やすいと感じました。
9	もっと単純なUIが良い（直感的） 複数個所への設置

設問 6：混雑情報以外に取得したい情報

ブースへの来場者や来場者の導線、属性分析等の意見が見られた。それらの情報をも

とにブースの配置検討や、避難経路の検討ができるのではないかという意見があった。

図表 4-128 設問6 結果

本実証では、「①区画ごとの滞在人数の解析」、「②出入口部を通過する人数のカウント」を行っています。大型イベントや大型商業施設等において、**その他把握することができると望ましい情報**（来場者として/施設管理者として）についてのアイデアがあればお知らせください。

回答結果

1	会場内の気温、湿度、CO <sub>2</sub> の状況がわかれば、さらなるサービスができる
2	関係者と来場者の別カウント
3	ブースごとの立寄り人数（ヒートマップ的な物でもいい）
4	やはり「導線」の解析による有効なブース配置の検討があると思います。
5	なぜこういう人の流れになっているのか、それを変えるためにはどうするのか、例えばデジタルサイネージの組み合わせで仮説検証ができると良い
6	・各施設（ブース）の混雑状況（来場者として） ・来場者の滞在時間、異常行動検知
7	年齢、性別
8	非常時における避難ルートの想定

設問7：来場者の安心感につながるか 結果は全ての回答者が「とても安心する」「やや安心する」という回答となった。回答理由では、混雑の有無ではなく、そもそも主催者の意識が高いことで安心するという意見も見られた。

図表 4-129 設問7 結果

本日のイベントに「一般来場者として遊びに来た」と想定して、お答えください。

7 コロナ禍において、場内の人数管理が、本日のようなシステムを用いてなされていることで、**来場者としての安心感**に变化はありそうですか？ ※例えば、「イベントの内容に集中して楽しめるようになる」、「安心してイベントに行ってみようと思える」など。

回答結果

	回答者数	割合
1 よりとても不安	0	0%
2 よりやや不安	0	0%
3 変化なし	0	0%
4 よりやや安心	7	58%
5 よりとても安心	5	42%

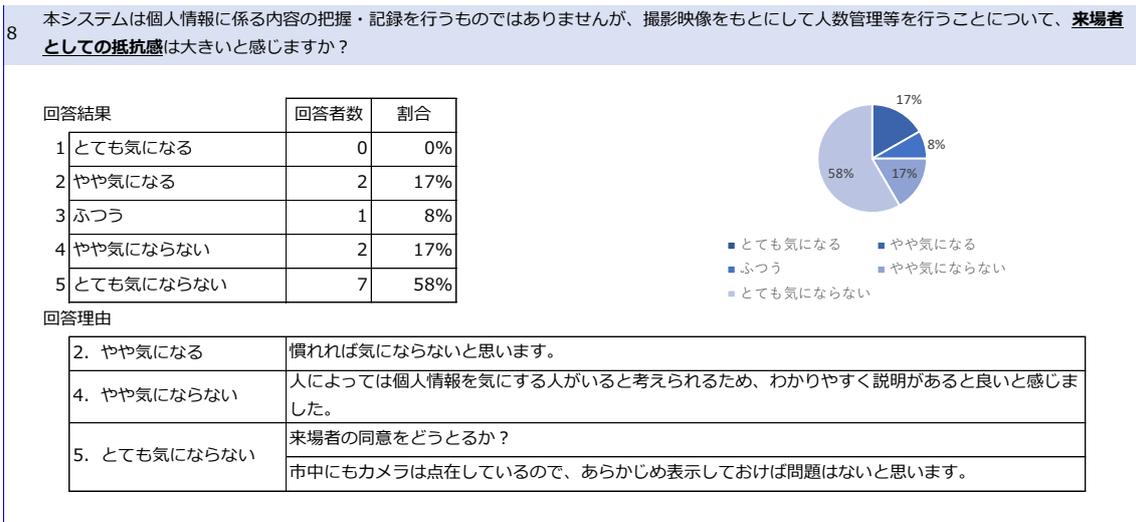
回答理由

よりやや安心	「主催者の意識が高い」という安心感につながる
--------	------------------------

#### 設問8：撮影することへの懸念点

結果は「やや気になる」が17%とネガティブ寄りの回答も見られた。回答理由では慣れれば気にならないとのことだったが、気にする人もいるため、情報の取扱について説明することは重要である。今回は画像を保存せずに解析できるシステムであり、その旨を資料として配布する形で対応したが、カメラ映像の取り扱い、来場者の同意を得るための表示や説明には工夫が必要である。

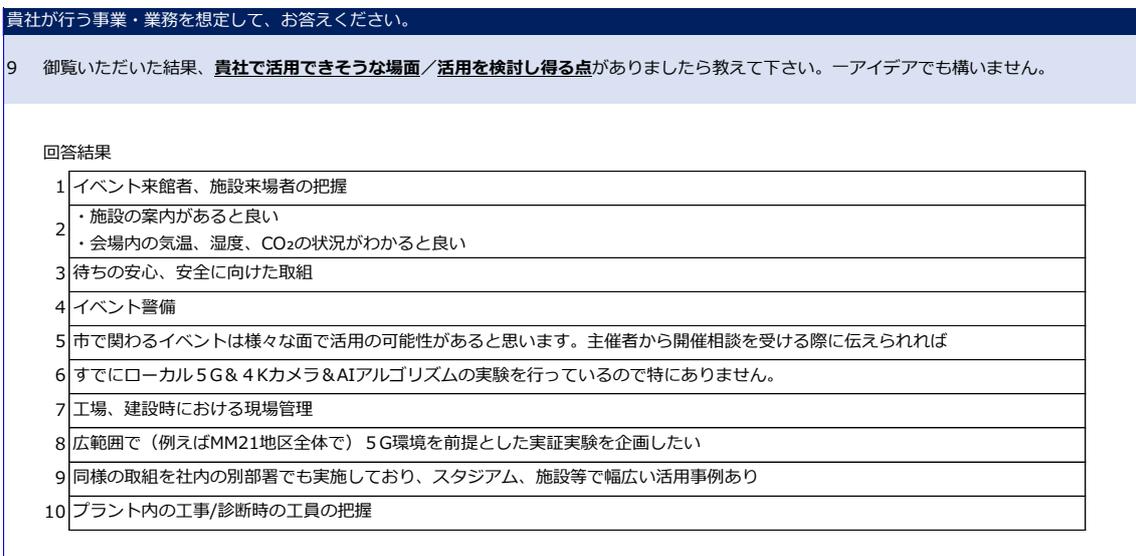
図表 4-130 設問 8 結果



設問 9：混雑検知システムが活用できそうな場面

結果として、イベント等における活用可能性が多くみられた。特に警備や、イベントの情報発信、気温や湿度、CO<sub>2</sub>濃度など情報を付加しての活用が期待される。また、イベント以外では、工事や建設現場等での管理業務等での活用が示唆された。

図表 4-131 設問 9 結果



〔イベント主催者（施設管理者）〕

イベントの主催者および施設管理者であるパシフィコ横浜の担当者に混雑検知システムについてヒアリング調査を実施した。結果として、混雑検知システムについては、コロナ禍等の密を避けるべきタイミング、および人の粗密が変動するイベントにおいて有効であると考えられる。また、イベントにおいて利用するうえではシンプルな機器で簡単に設置、撤去ができることが重要である。将来的には、属性検知の実用化、施設側が簡単に扱えるようなシステムの改善への期待の声が聞かれた。ヒアリングの結果を

混雑検知システムのニーズ、ニーズのあるイベント、有効な機能、運用上の課題に分けて、結果を下記に整理する。

※パシフィコ横浜の担当者へのヒアリングにおいては、システムを実際に使ってみた感想、率直な意見を把握するために一般的なイベント開催時の施設側の担当者、イベント主催者としての意見を伺っており、施設側の正式な見解等を求めるものではない。

### 1) イベント開催時等における混雑状況の把握に対するニーズ

コロナ禍においては詳細な人数把握ではなく会場内全体で何人いるかといったカウントが必要であるため、混雑検知へのニーズは高いが、コロナ禍でなければ人数が多いのはイベントにおいては良いことであるため、混雑検知という視点ではなく、人数管理といった視点でプロモーションしないと今後もニーズが継続しないのではないかという意見が得られた。一方で全体の人数を把握するのに、入り口、出口合わせて10カ所にカウントする人を配置する場合は、休憩時間を取ると毎日30~40人のスタッフが必要になる。人件費だけでも1日30~60万円が必要になる。さらにスタッフに渡す端末や管理費等を含めると、2、3日のイベントで300万円程度の費用が人数管理にかかることもあるとのこと、その費用を削減できるのがコロナ禍における混雑検知システムの魅力と考えられる。

今後はステージを開催したエリアや食事スペースなどエリアを分けてそれぞれの場所の混雑、閑散を把握することにニーズが出てくる可能性がある。今回のイベントであれば、1階多目的ホールで4階の休憩スペースの混雑状況も確認できると良かったとの意見が得られた。

### 2) ニーズのあるイベント

ニーズのあるイベントでは、人を1カ所にたくさん集める展示会等のイベントよりも、学会や企業の大規模研修などの、同じイベント期間中でも人が集まる場所が変わったり、各部屋に分かれたり、来場者の移動があり、粗密が変化するイベントでニーズが高い可能性が示唆された。イベント期間中に使わない場所がある、パーティーだけ別の会場で実施するといったケースもあり、スマホ1つで簡単に設置出来て、場所をフレキシブルに変えられる点が魅力になるとの意見が得られた。

### 3) イベント開催時に有益な機能

イベント開催時においては、一時的な利用、都度使用する場所が変わるため、可搬型、有線での接続が不要なシステムである点が利点であるとの意見が得られた。1つのカメラで複数にエリアをわけて広範囲を観測できることで、端末の数を減らせるためコスト削減に繋がる可能性がある。例えば学会等では、それぞれの部屋にカメラを設置するのではなく、廊下にカメラを置いて、各部屋の入口の出入りを撮影し、通過人数をカウントすれば、各部屋の人数把握ができる。ビーコンやGPSなど機器をたくさん使えばできることも多いが、極力機器を減らしてシンプルにすることが施設側にとってはメリットとなることがわかった。簡単に設置して簡単に撤去できるためには、天井等への設置等は望ましくない。

アラートに関しては来場者には見えない形で、開催側で把握しておきたいとの意見

が得られた。主催者側の想定としては、実際の混雑よりも手前の段階において開催側で把握し混雑を予知、対応できることが望ましいとのことである。

コロナ禍における人数検知ではスタッフも来場者も関係なく会場内の人数が重要であるためスタッフと来場者を分ける機能については不要との意見が得られた。今後來場者のみをカウントしたい場合は来場者しか使わない導線を用意して、そこでカウントを行えば良いためである。来場者とスタッフの導線を分けるのはイベント開催時には一般的とのことである。

属性検知についても精度が向上して実用化されれば魅力的であるとの意見が得られた。

#### 4) 運用上の課題

システム側とイベントのイメージを共有し、システムの調整を行うことが負荷となったことも明らかとなった。簡易な操作で施設側または主催者側がエリア分けや閾値の設定を行えるようなシステムの簡易化がなされると使いやすくなる可能性がある。

#### 4.4.2.2 機能検証～A-2.混雑検知システム～

##### (1) 評価・検証項目～A-2.混雑検知システム～

機能検証においては、通信面での機能、アプリケーションの機能に分けてシステムの実施に必要な機能が満たされているかを検証する。通信面の機能としては、リアルタイムの混雑状況の把握において、映像の伝送、サイネージへの送信がスムーズに行われているか、またその際に必要となるスループットを把握する。アプリケーションの機能については、機能を段階に分けてそれぞれの機能が適切に行われたかを確認するとともに、混雑状況の検知精度についても確認を行う。機能に何らかの問題がある場合には、どの段階において課題があるのか原因の分析、改善案の検討を行う。

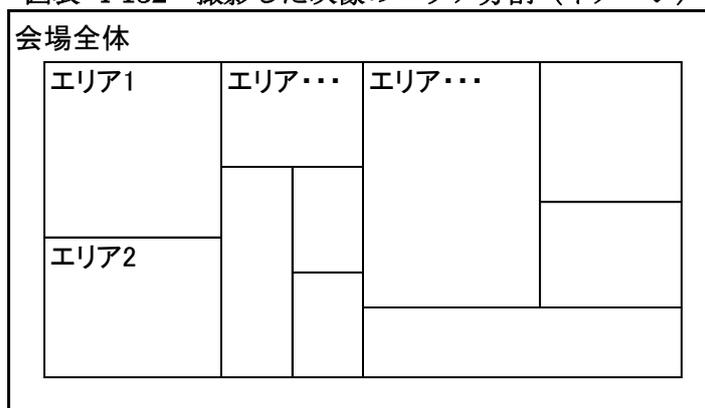
##### <通信面の機能評価・検証>

- ① アップロードに必要なスループットの整理  
スマホカメラで撮影した映像についてローカル5Gを介して、クラウドサーバー上の画像解析AIにアップロードするまでのスループットの確認を行う。
- ② アップロードにかかる所要時間の測定  
クラウドサーバー上における画像解析後、映像送信からデジタルサイネージへの表示までの時間を確認し、適切に混雑状況が掲出されているかを確認する。

##### <アプリケーションの機能評価・検証>

- ③ 仮想の区切りの設定および設定に応じて人を検知する機能  
下図の線で囲まれた箇所のように、カメラで取得した映像をイベント会場の出入り口やブースの構成に合わせて、仮想的に区切り、自由に個別のエリアとして設定できることを確認する。また、それぞれのエリアにおいて、混雑状態を表す閾値の設定が自由に行えることを確認する。

図表 4-132 撮影した映像のエリア分割 (イメージ)



- ④ エリアごとの滞在人数の検知および結果の表示機能  
クラウドサーバー上の画像解析AIにより人数のカウントが行われ、③で分割したエリアごとに滞在人数が、デジタルサイネージのGUIに表示されることを確

認する。

- ⑤ エリアごとの滞在人数および入り口の通行量の検知機能とその精度の確認  
④のエリアごとの滞在人数および、多目的ホールの入り口（1カ所）を通行した人数の検知精度を目視による確認との比較により把握する。また、カメラからエリアまでの距離によって精度に差が見られるかを確認する。
  
- ⑥ 4K画像による画像解析の機能とその精度の確認  
低解像度（SD（Standard Definition 640×480pixel 相当））の映像と4K映像による検知の精度の違いを比較し、4K映像による検知の有効性を確認する。
  
- ⑦ 混雑を検知した際のアラート機能  
③で設定したエリアの滞在人数があらかじめ設定した閾値を超えた場合に、デジタルサイネージのGUI上において、閾値を超えたエリアの色が変わり、閾値を超えたエリアへは行かないようにメッセージ(アラーム)が表示、あらかじめ設定したメールアドレスに通知メールが送信されることを確認する。
  
- ⑧ 混雑検知等の結果のリアルタイムでの表示機能  
解析が行われるタイミングに応じて、一定時間ごとにデジタルサイネージのGUIが更新されることをサンプリングし、確認する。
  
- ⑨ 解析後の人流データの記録機能  
エリアごと、時間ごとの滞在人数データが一定期間蓄積されることを確認する。

## (2) 評価・検証方法～A-2.混雑検知システム～

(1) で記載した 9 項目の検証項目についてそれぞれの評価検証方法をまとめる。

### <通信面の機能評価・検証>

#### ① アップロードに必要なスループットの整理

ローカル 5G 端末でアップロードのスループットを測定し、高精彩映像アップロードのスループットを確認する。

アップロードにかかる所要時間の測定

撮影した映像送信からデジタルサイネージへの掲出までの時間について各機器のタイムスタンプでの継続により所要時間の計測を実施する予定であったが、混雑検知システムにおいては超低遅延を求めるものではなく、混雑情報も 10 秒間隔で解析結果を送信する設定としている。そのため、所要時間の測定ではなく、むしろ大容量の高精彩映像が安定的に長時間アップロードし続けられたかを確認するとともに、リアルタイムの混雑情報として機能するために数秒以内の混雑状況が表示できるかを目視により確認することとする。

### <アプリケーションの機能評価・検証>

#### ③ 仮想の区切りの設定および設定に応じて人を検知する機能

自由なエリアの分割機能については、設定画面で会場を自由なエリアに分割し、それぞれのエリア内で上限閾値の設定、人数カウントの混雑検知システムが正常動作することを目視確認する。

#### ④ エリアごとの滞在人数の検知および結果の表示機能

エリア毎の人数が、デジタルサイネージの GUI に表示されるかについては、デジタルサイネージの GUI を目視確認し、エリアごとに検知された人数が表示されるかを確認する。

#### ⑤ エリアごとの滞在人数および入り口の通行量の検知機能とその精度の確認

入り口の通行人数、エリアごとの滞在人数の検知精度の確認については、解析を行った映像に映っている人数を目視でカウントし、混雑検知システムが検知した人数との比較を行い、検知できた割合の算出を行う。

#### ⑥ 4K 画像による画像解析の機能とその精度の確認

4K 画像による画像解析により、解析の精度を上げることができるかの検証のため、低解像度 (SD (Standard Definition 640×480pixel 相当)) の映像との比較を行う。実際に解析を行った 4K 映像の解像度を SD にグレードダウンし、同様に混雑検知システムにより AI 画像解析を行う。4K 映像による解析結果と比較し、4K 映像を使用することで解析の精度を高められるかを検証する。

#### ⑦ 混雑を検知した際のアラート機能

エリアにいる人数が閾値を超えた場合に、デジタルサイネージの GUI 上では、

閾値を超えたエリアの色が赤く変わり、閾値を超えたエリアへは行かないようにメッセージ(アラーム)を表示することができるかをデジタルサイネージの目視確認により確認する。アラートとなるメッセージについては、事前に定義し、定義通りに動作しているかについても目視で確認する。また、混雑を検知した際にはあらかじめ設定したメールアドレスに通知メールを送り、イベント主催者等に人流制御の必要性を通知することができるかを確認する。

- ⑧ 混雑検知等の結果のリアルタイムでの表示機能  
デジタルサイネージの GUI 更新の確認については、事前に設定した 10 秒間隔で更新されることを目視で確認する。
- ⑨ 解析後の人流データの記録機能  
データの取得状況の確認については、一定期間、エリアごと、時間ごとに滞在人数データが出力、記録されていることをログによって確認する。

### (3) 実証結果及び考察～A-2.混雑検知システム～

#### <通信面の機能評価・検証>

実証において使用したカメラ映像の容量、通信のスループットを整理するとともに、当該条件で継続して画像のアップロード、結果のダウンロードが行えたかを整理する。

#### ① アップロードに必要なスループットの整理

本実証においてはイベント開催中他のシステムとローカル 5G を共用するため、事前の調整でスループットを下記の通り設定した。下記を超えるスループットとした場合他のシステムに影響を及ぼす可能性がある。スループットに関する詳細は技術実証における分析で実施する。

##### アップロード

- ・通行量検知システム：解像度 4K ビットレート 10Mbps×カメラ 1 台

ローカル 5G システムはフレアシステムを使用した。

- ・混雑検知システム：解像度 2K ビットレート 5Mbps×カメラ 3 台

ローカル 5G システムうち、1 台はフレアシステム、2 台は NEC のシステムを使用した。

上記のスループットで計 4 台のスマートフォンカメラからイベント実施の 2 日間概ね滞りなく映像のアップロードを実施することができた。

※土曜日の午後に A-1.遠隔ロボット監視システムによるトラフィックの急激な上昇により通信が不安定になり、通信が瞬断した可能性があるが、その後すぐに復旧した。

#### ② アップロードにかかる所要時間の測定

映像のアップロードからデジタルサイネージのタブレットまたは PC に置いて受信するまでの時間を目視により確認した。概ね 2-3 秒以内に混雑状況の表示をすることが可能であり、アップロードが停止するといったこともなかった。結果、混雑検知システムとしては①のスループットで滞りなく運用できた。

#### <アプリケーションの機能評価・検証>

③、④、⑦、⑧、⑨についてはシステムが正しく機能していることを目視およびログの確認により把握し、機能に問題が発生した場合はその原因の検証、課題の整理を行う。

⑤、⑥については、目視による滞在人数との差分から検知精度を算出し、その精度を下図のように整理、比較することで、4K 映像による混雑検知の有効性を示す。

#### ③ 仮想の区切りの設定および設定に応じて人を検知する機能

本実証においては会場内を N1～N9 の 9 つのエリアに分けて混雑検知を実施した。下図の線で囲まれた箇所のように、カメラで取得した映像をイベント会場の出入り口やブースの構成に合わせて、仮想的に区切り、自由に個別のエリアとして設定できることを確認した。また、それぞれのエリアにおいて、混雑状態を表す閾値の設定が自由に行えることを確認した。

カメラの画角を確認したうえで自由にエリアを設定できるため、イベントの設営後の状況に合わせてエリアの設定をすることができた。一方で、カメラが何らかの影響で動いてしまうとエリアがずれてしまうため、カメラの固定を行うことが重要である。

また、カメラの設置場所、画角、イベントで使用するパーテーション等の影響により死角が発生したため、死角をなくす設置方法や死角を考慮した閾値の設定などが検討し得る。

図表 4-133 撮影した映像のエリア分割(検証時)



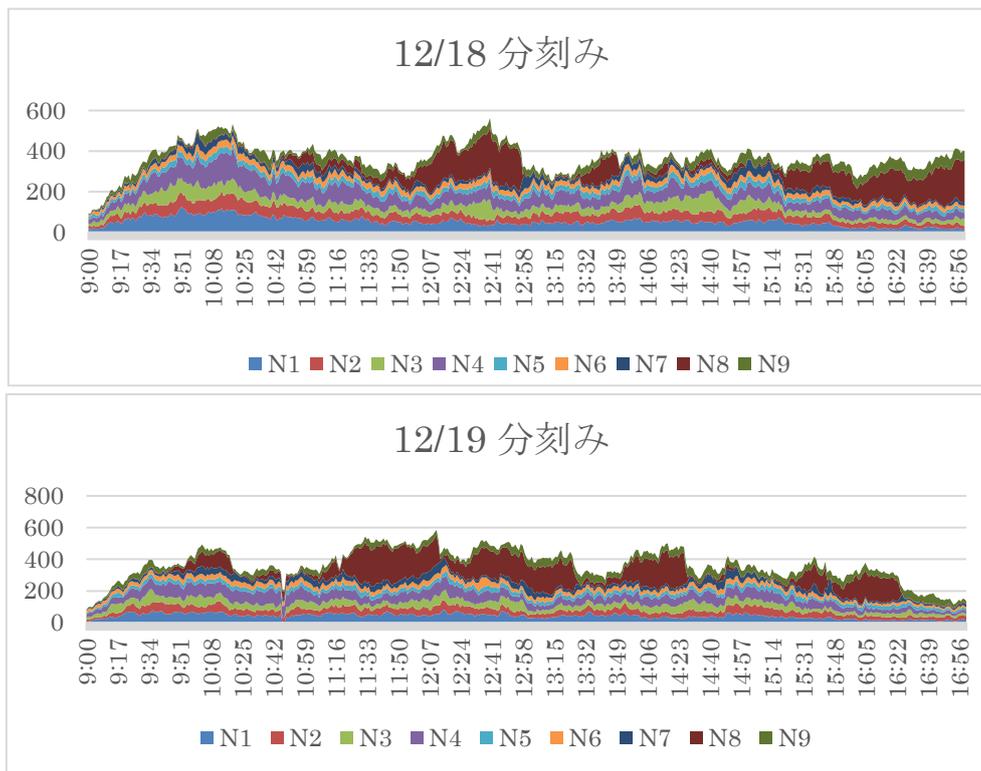
#### ④エリアごとの滞在人数の検知および結果の表示機能

継続的にクラウドサーバー上の画像解析 AI により人数のカウントが行われ、解析結果がデジタルサイネージの GUI に表示されることを確認した。また、エリアごとに滞在人数が計測されていることをログから確認した。

図表 4-134 デジタルサイネージの GUI



図表 4-135 エリア毎分刻みの検知結果のログ (2日分)



※縦軸は検知した人数 (人)

上記の混雑状況のうち N8 のエリアに注目する。N8 エリアはイベントステージが行われており、時間によって検知数に増減がみられる。N8 エリアの人数が増えて  
いるエリアとそのタイミングでのステージ内容を確認すると下記の通りとなる。  
今回のイベントでも人気の高いゆるキャラや武将隊のステージのタイミングと検  
知数の増加が重なっていることがわかる。

図表 4-136 N8 エリアの検知人数が増加したタイミングのステージ内容

N8 エリアの検知数が増えた時間		イベントステージの内容
12月18日(土)	12:00~13:00	12:00~ 松江は武者のまち with しまねっこ 12:30~ 名古屋おもてなし武将隊®
	13:30~13:45	13:30~ R4 全国山城サミット 恵那大会 PR イベント
	15:15~17:00	15:20~ 忍たま乱太郎キャラクターショー 忍たま七変化! の段 16:00~ グレート家康公「葵」武将隊 16:30~ 尼崎城三人衆 参上 17:00~ ひこにゃん
12月19日(日)	10:00~10:15	10:00~ 古戦場おもてなし武将隊 関ヶ原組 演武
	11:30~12:15	11:30~ 千田先生から重大発表! 「日本最強で不滅の城ライブ」出陣式
	12:30~13:30	12:30~ 上州真田武将隊/戦国茶屋娘 13:00~ 名古屋おもてなし武将隊®
	14:00~14:30	14:00~ 日本 100名城クイズ(くまモン)
	16:00~16:30	16:00~ ひこにゃん

⑤ エリアごとの滞在人数および入り口の通行量の検知機能とその精度の確認

⑤-1 エリア毎の滞在人数の検知精度

サンプルとして12月19日(日)の16:50と16:30の2時点で、複数のエリアの混雑検知を行っている画像を取り出し、目視で人数のカウントを実施した。分析を行ったタイミングのサイネージの画像を示す。また、目視による検知人数とAIによる画像解析の結果の比較から検知精度の算出を行った。結果を下表に示す。

図表 4-137 エリア毎の滞在人数をカウントしたデジタルサイネージの GUI  
12月19日 16:30 時点



図表 4-138 エリア毎の滞在人数をカウントしたデジタルサイネージの GUI  
12月19日 16:50 時点



図表 4-139 エリア毎の滞在人数の検知精度

月日	時刻	CAMERA	エリア	目視検知人数	AI検知人数	検知精度 (AI検知人数/目視検知人数)	備考	
2021/12/19	16:50	3	N9	32	30	94%	・カメラから近いほど検知精度が高い	
			N8	13	4	31%	・距離が遠い ・後ろ向きで座っている人を認識し難い	
		2	N6	11	8	73%	・出展ブースの壁など障害物が多い	
			N5	13	12	92%		
		1	N3	16	11	69%	・距離が遠い	
			N9	64	61	95%		
	16:30	3	N8	11	7	64%	・距離が遠い ・後ろ向きで座っている人を認識し難い	
			N6	14	11	79%	・出展ブースの壁など障害物が多い ・頭部だけでも検知できている	
		1	N5	22	21	95%		
			N3	29	27	93%		
		平均			225	192	85%	

検知精度は平均で 85%となり、利用方法によるが、実用に耐える精度であると考えられる。カメラから近いエリア(N5、N6、N9)は、精度が高い。カメラから比較的遠いエリア(N3)では精度が低くなる場合があった。滞在人数の検知は、ローカル 5G 環境の制約から、解像度 2K ビットレート 5Mbps で映像をカメラからローカル 5G 経由で混雑検知システムへ転送した。解像度、ビットレートともに不足していたためカメラから遠いエリアでは検知精度が低くなったと想定される。解像度の検知精度への影響については⑥ 4 K 画像による画像解析の機能とその精度の確認において分析を実施する。

またカメラから比較的遠く、カメラから見て後ろ向きで座るセミナー会場(N8)では、精度が低くなった。カメラから近いエリアでも、出展ブースの壁、柱など障害物が多い場合は精度が低くなる場合があった。

⑤-2 多目的ホール入口(1カ所)を通行した人数の検知精度

図表 4-140 通行量カウントの検知精度(サンプリング)

月日	時刻	CAMERA	エリア	目視検知人数	AI検知人数	検知精度 (AI検知人数/目視検知人数)	備考
2021/12/18	10:03:00-10:03:59	通行量カウント	入口	19	14	74%	・通行量をカウントする際の仮想ライン設定不足
	11:00:00-11:00:59	通行量カウント	入口	23	6	26%	・同上
2021/12/19	10:00:00-10:00:59	通行量カウント	入口	18	15	83%	
	11:01:00-11:01:59	通行量カウント	入口	12	12	100%	

12/18 は、12/19 より検知精度が低い。原因としては、仮想ライン(画面上に仮想的にラインを設定し、ラインを人が通過した場合にカウントする仕組みとしている)の設定不足が考えられる。12/17 までは、入口に机が置いてあり、机を除いて仮想ラインを設定していた。12/18 朝に机が撤去されて、机が置いてあった場所からも来場者が通過するようになり、仮想ライン上を通過しないためカウントできない来場者が発生した。

12/19 は、12/17 まで机が置かれていた位置に仮想ラインを追加したため、検知精度が向上した。平均すると 90%の検知精度であり、利用方法によるが、実用に耐える精度である

と考えられる。

図表 4-141 参考 通行量カウントの検知精度(総数)

月日	時刻	CAMERA	エリア	施設発表 入場者数	AI検知人数	検知精度 (AI検知人数/目視検知人数)	備考
2021/12/18	9:00-17:59	通行量カウント	入口	6784	7204	106%	・スタッフと来場者を区別せずに すべてカウントしている ・再入場者もカウントしている
2021/12/19	9:00-16:59	通行量カウント	入口	6356	7041	111%	・同上

施設発表の入場者数と検知人数を参考までに比較した。

通行量検知システムの方が施設発表の入場者数より多い人数となった。原因としては、スタッフと来場者を区別できないため、仮想ラインを通過した人を全てカウントしたことが考えられる。また、一度入場した後に退場し、再度入場した人も全てカウントしたことも原因であると想定される。

⑥ 低解像度映像 (SD) と 4K 映像の通行量検知精度の比較

4K で画像の解析等を実施した通行量検知について、解像度をダウングレードし、同様に画像解析をすることで、高精彩画像を用いることで検知精度にどのような影響を及ぼすのかを比較検証した。4つの時点の4K画像に対して、SD、HD、2Kにダウングレードした。使用した画像が下記である。

図表 4-142 通行量検知精度 解像度の比較のための画像



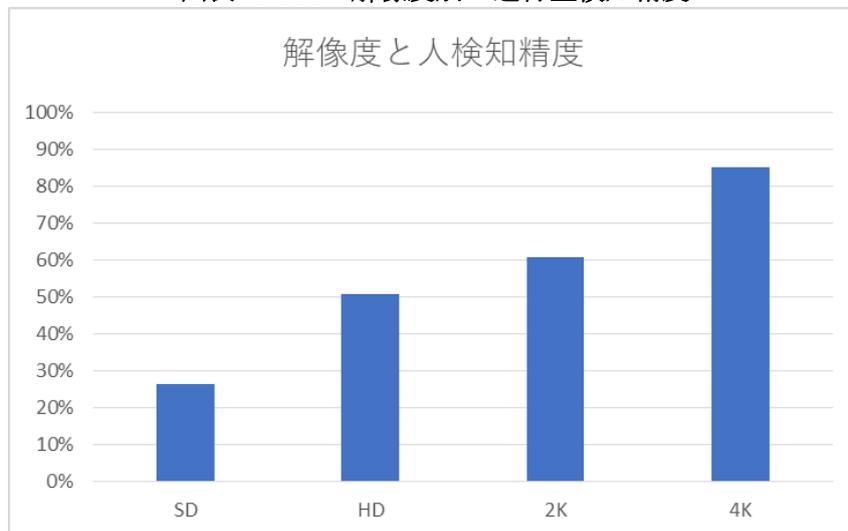
それぞれの解像度で AI 画像解析を実施し、検知人数を目視での人数カウントと比較し、検知精度を算出した。結果を下記に示す。

図表 4-143 通行量検知精度 解像度の比較表

Filename	検知人数・精度	SD	HD	2K	4K	目視検知人数
		640x384	1280x736	1920x1088	3840x2176	
001.jpg	AI検知人数	16	28	35	46	51
	検知精度	31%	55%	69%	90%	
002.jpg	AI検知人数	17	34	42	49	54
	検知精度	31%	63%	78%	91%	
003.jpg	AI検知人数	12	20	29	50	59
	検知精度	21%	34%	50%	85%	
004.jpg	AI検知人数	19	39	42	57	78
	検知精度	24%	50%	54%	73%	
005.jpg	AI検知人数	17	37	39	62	72
	検知精度	24%	52%	55%	87%	
トータル検知精度		26%	51%	61%	85%	

4K の画像では、トータル検知精度が 85%となり、利用方法によるが、実用に耐える精度であると評価した。一方で、SD、HD(1K 相当)ではトータル検知精度が 60%以下、2K でも 61%となり、人数を正確に把握できているとは言い難い。

図表 4-144 解像度別の通行量検知精度



⑦ 混雑を検知した際のアラート機能

検証当日に閾値を超えたエリアは発生しなかった。検証実施前の試験で、閾値を超えた際にエリアの表示が、緑色から赤色に変更されることを確認した。また、閾値を超えた際にあらかじめ設定した送付先に混雑を検知した旨を伝えるメールが送信されることも確認した。一方で、当日はイベント開催側との調整の結果、各エリアで混雑を検知したい場合も当該エリアへは行かないようにメッセージ(アラーム)を表示することは出展イベントという特性上出展者の不利益に繋がる可能性もあることから実施しない方針とし、特定のエリアで混雑を検知した場合は開催側への通知のみを行い、実証中に特定のエリアで混雑を検知した場合はイベント開催側が人流誘導策などを適宜判断することとした。そのため当初想定のメッセージの表示確認は仕様変更により確認対象外とした。

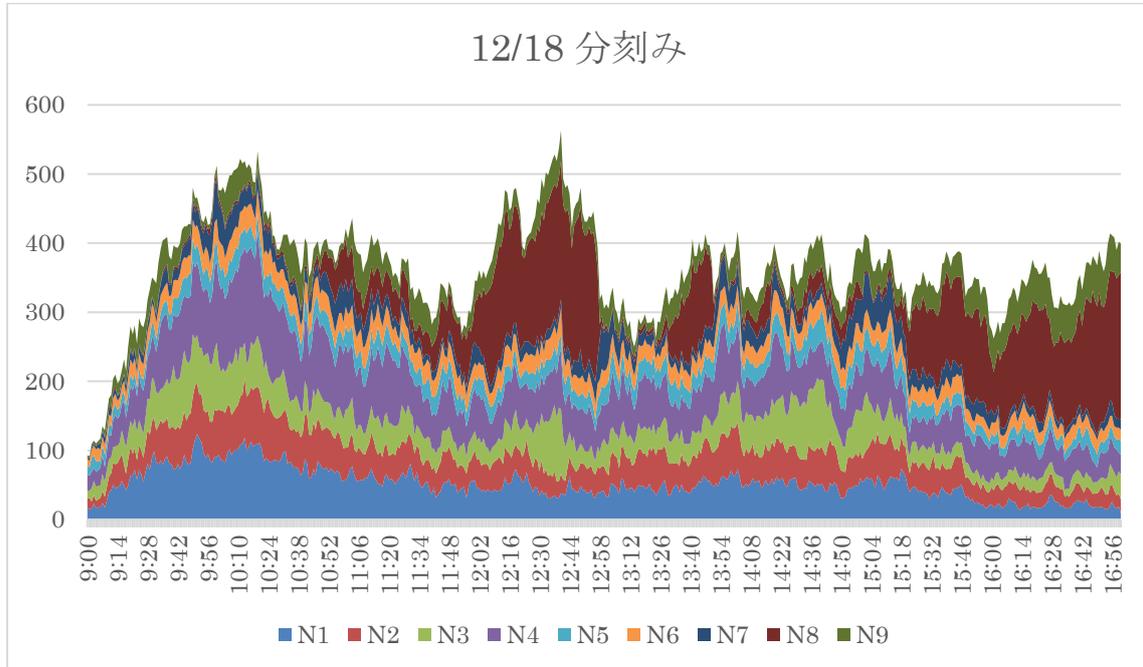
⑧ 混雑検知等の結果のリアルタイムでの表示機能

デジタルサイネージの GUI 更新の確認については、デジタルサイネージの GUI が秒間 2~3 回解析が行われるタイミングに応じて更新されることを目視で確認した。

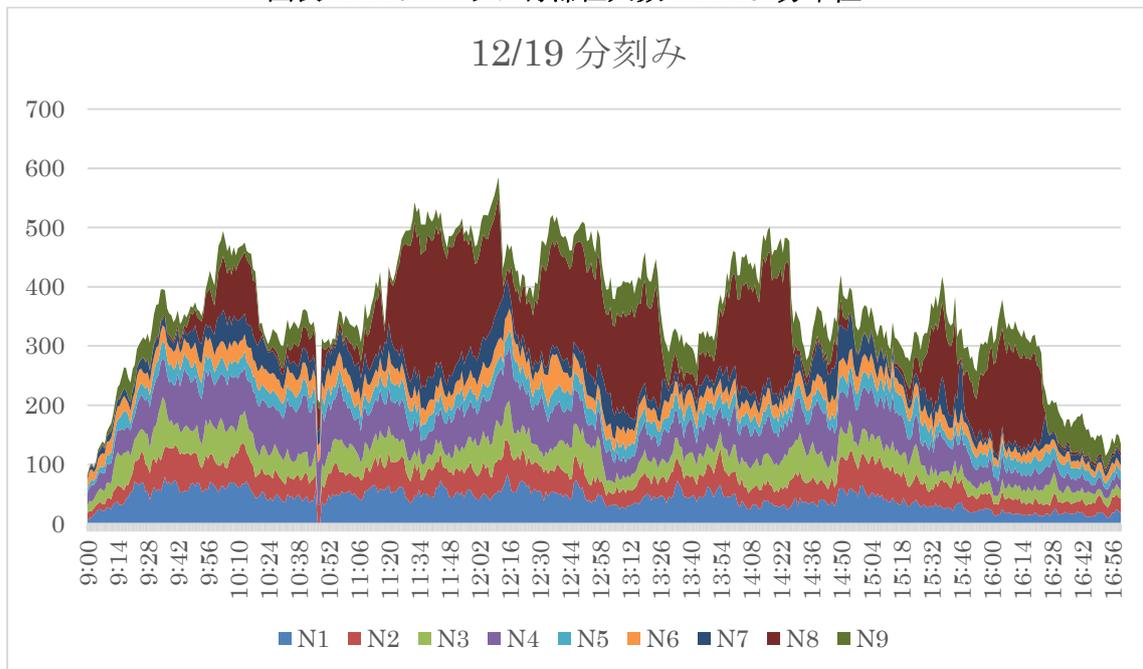
⑨ 解析後の人流データの記録機能

データの取得状況の確認については、一定期間、エリアごと、時間ごとに滞在人数データがログに出力されて蓄積されていることを確認した。

図表 4-145 エリア毎滞在人数 12/18 分単位



図表 4-146 エリア毎滞在人数 12/19 分単位



#### 4.4.2.3 運用検証～A-2.混雑検知システム～

##### (1) 評価・検証項目～A-2.混雑検知システム～

本実証で検討する「混雑検知システム」の運用にあたって影響が生じ得る下記点について評価・検証を行う。

###### ① 運用フロー、導入メリットの整理

混雑検知システムの運用においては、イベントに合わせてカメラ設置・撤去、エリアや閾値、アラーム通知設定、イベント後の撤去等の設営・撤去等の設備設置・撤去の業務が発生する。本実証においては、実証を通して各フローの業務をどこが担うのか整理する。そのうえで本システムのメリット、および今後改善が必要な課題を整理する。

###### ② 混雑検知システムへの運用上のメリット、デメリットの把握

①のフロー、メリットやデメリットに仮説に対して、実際にイベントにて使用したイベント主催者、及び施設側へのヒアリングを通して改善が求められる要件を把握し、整理する。

###### ③ 運用上のメリット、デメリット、システムの改善点の整理

①、②を踏まえて、運用上の混雑検知システムのメリット、デメリット、システムの改善案を整理する。

###### ④ 運用フローの見直し

①で検討した運用フローに対して、②、③を踏まえた見直しを実施する。従来のフローの比較も行い、運用しやすい仕組みとするための改善点等を整理する。

## (2) 評価・検証方法～A-2.混雑検知システム～

前述の評価・検証項目に基づき、以下の手順で施設管理者、システム管理者等にヒアリング調査を行い、保守・運用に係る課題や必要な対策の検討等を把握、整理する。

前述の評価・検証項目に基づき、以下の手順で施設管理者、システム管理者等にヒアリング調査を行い、保守・運用に係る課題や必要な対策の検討等を把握、整理する。

### ① 運用フロー、導入メリットの整理

実際に実証実験におけるフローを整理し、導入後の業務フローについて、無駄が無い  
か、導入によるメリット、懸念点等を整理する。

### ② 混雑検知システムへの運用上のメリット、デメリットの把握

混雑検知システムの運用上の魅力、課題について、実際にイベントにて使用したイ  
ベント主催者、及び施設側の業務が変化する部分についてヒアリングで把握する。また、  
実証を見学、説明を受けたみなとみらい周辺の関連企業へのアンケート調査からも  
運用上の課題、今後の期待を把握し整理する。

### ③ 運用上のメリット、デメリット、システムの改善点の整理

①、②の運用上の混雑検知システムのメリット、デメリットを踏まえて、システムの  
改善案の検討および整理を行う。

### ④ 運用フローの見直し

上記を踏まえて業務フローを見直し、実運用に際しての運用フローとして整理する。  
従来の手法でのフローとの比較を行い混雑検知の実施フローがシステムにより運用  
しやすくなっているかを確認する。

### (3) 実証結果及び考察～A-2.混雑検知システム～

#### ① 施設（パシフィコ横浜）への設備設置・撤去に係る運用フローの検証

本実証における「混雑検知システム」の運用フローを下記に示す。本実証においては、イベント主催者側と施設側がどちらもパシフィコ横浜であったが、今後の運用を想定し、それぞれ分けて記載する。イベント前のレイアウトの構築、機器の設置等からイベント開催中の運用、イベント終了後の撤去までの各フローについて、イベント主催者、システム管理者、施設管理者等の分担を整理する。

※本実証においては、主にシステム側が主導しシステムの設置、運用を行った。

図表 4-147 本実証における運用フロー

タイムライン	イベント主催者/管理者	警備員	システム管理者
イベント開催前	機器設置場所検討 ↓ エリア区分・閾値など仕様検討		機器設置場所検討 ↓ 仕様検討 ↓ 事前設定 ↓ 機器調達
イベント前日			機器搬入 ↓ 機器設置・初期設定 ↓ 稼働確認
イベント当日	アラーム受信 ↓ 現地駆け付け	アラーム受信 ↓ 現地駆け付け	システム起動 ↓ 稼働状況確認 ↓ 混雑検知 ↓ アラーム通知
イベント終了後			システム停止 ↓ 機器撤去 ↓ ログ分析

運用フローの課題としては、システム管理者の運用業務を施設管理者やベンダーほか、誰が行うか今後検討する必要がある。

これまでは、現地を見回って混雑状況を確認する必要があったが、本システム導入後は、アラームを受信してから現地駆け付けをすれば良いことになり、現地見回りの不要な稼働を削減することが可能になると想定される。

イベント開催前にある程度準備は必要であるが、機器搬入、設置自体はイベント前日約3時間で完了することができた。また、撤去は機器搬入、設置時よりも短く約1時間で終えることができた。設置、撤去の簡易さは、本システムのメリットと考えられる。

#### ② 混雑検知システムへの運用上のメリット、デメリットの把握

[施設管理者およびイベント主催者へのヒアリングの結果]

##### メリット

- 人件費の削減

全体の人数を把握するのに、入り口、出口合わせて 10 カ所にカウントする人を配置する場合は、休憩時間を取ると毎日 30～40 人のスタッフが必要になる。人件費だけでも 1 日 30～60 万円が必要になる。さらにスタッフに渡す端末や管理費等を含めると、2、3 日のイベントで 300 万円程度の費用が人数管理にかかる。その費用を削減できるのがコロナ禍における混雑検知システムの魅力である。

- 機器の設置数が減らせること

1 つのカメラで複数にエリアをわけて広範囲を観測できることが、コスト削減に繋がるため魅力的である。それぞれの部屋にカメラを設置するのではなく、廊下から各部屋の入口の出入りをカウントできるなどコストの削減に繋がるのが期待できる。

- 設置が簡単であること

イベントに合わせて使う場所、使う時間を簡単に換えられるように、スマホ 1 つで簡単に設置出来て、場所をフレキシブルに換えられるのは魅力になる。イベント開催時においては、一時的な利用、都度使用する場所が変わるため、可搬型、有線での接続が不要なシステムである点

#### デメリット（改善が求められる点）

- 来場者に開示する情報の制限

混雑情報は来場者には見えない形で、開催側で把握しておきたい。実際の混雑よりも手前の段階で、開催側で把握し混雑を予知し対応することが望ましい。情報の使い方は今後検討の余地がある。

- 施設側主催者側での設定ができないこと

システム側とイベントのイメージを共有し、システムの調整を行う負荷がかかった。簡易な操作で施設側または主催者側がエリア分けや閾値の設定を行えるようなシステムの簡易化ができると使いやすくなる。

[みなとみらい周辺の施設管理者等へのアンケート結果]

#### メリット

- 安心感の醸成

混雑状況が把握されていることによる安心感を醸成することができる。施設側の具体的な混雑緩和対策に役立てることができるなど、コロナ禍におけるメリットが挙げられた。

- 問題が発生する前に把握することができること

リアルタイムで把握できることで、混雑してからではなく、混雑し始めた段階で把握することができる点がメリットである。

- 人件費の削減

セキュリティ上も安心感が生まれる。警備などと合わせて省人化が期待される。

- 機器の設置数が減らせること

カメラ台数を減らして、複数エリアの検知、複数の入り口のカウントができることが経費削減になりメリットとなる。

### デメリット（改善が求められる点）

- 混雑緩和対策の強化  
混雑状況の情報の発信方法、掲示する箇所、さらには混雑緩和対策との組み合わせによって、混雑緩和に実際に繋がることが期待される。来場者がサイネージを見るように設置個所数を増やしたり、直感的にわかりやすい表現を検討したり、来場者に有益な情報を合わせて掲載することが良いのではないかな。
- 属性検知などの付加機能の充実  
属性検知、導線の把握、などの機能が付加されることで有用性が高まる。閑散しているエリアへの誘導や来店傾向の分析、来場者への情報提供（混雑具合をネットで見られるようにするなど）でコロナ収束後もニーズが残るのではないかな。ブースなどの配置検討や避難経路の検討にも活用の余地がある。CO<sub>2</sub>濃度や体感温度など取得できる情報が増えれば、商業施設や工事現場等でも管理用に使用できる可能性がある。
- カメラの死角対策  
混雑検知においては詳細な人数までは不要だが、今後詳細な人数把握が求められるケースにおいては、カメラの死角があると正確な情報が取得できないので、カメラの設置方法、設置個所については目的に応じた検討が必要である。
- 個人情報の取り扱い  
高精細カメラの撮影においては、個人のスマートフォンの画面が見えてしまうなどの個人情報の取り扱いに注意が必要である。サイネージでは人に色を付けて見えないようにするなどの対策が必要になる。

### ③ 運用上のメリット、デメリット、システムの改善点の整理

①、②より本システムのメリット、デメリットおよび改善点を下記の通り整理する。上記を踏まえたシステムのメリット、デメリットおよび改善点を下記に整理する。今回の混雑検知システムの仕組みとしては、簡易な機器で広範囲の混雑状況をリアルタイムに把握することができる仕組みとして概ねシステムの概要としては好評であった。

図表 4-148 混雑検知システム導入のメリット、デメリットの整理

メリット	
✓	費用の節約
✓	設置、および取り外しが容易なためイベント開催時の利用に適している
✓	リアルタイムでの混雑把握ができるためその場での対応を行うことができる
✓	1つのエリアを複数に分けて詳細に把握できるため設置コスト、機器のコストを削減できる
デメリット（改善が求められる点）	
✓	システム側とのやり取りが複雑なため簡易な仕組みとする。
✓	サイネージの設置場所、表示方法、UIを改良し、具体的な誘導策と組み合わせる
✓	来場者向けの情報と開催側の情報を分ける。
✓	個人を掲示しないUIの開発。
✓	カメラの死角を減らす設置場所等の検討

デメリットを踏まえ、改善案を下記の通り整理する。

- システムの設定等の簡易化

イベント主催者や施設側が独自に運用できる簡易な仕組みとする。具体的にはイベントに合わせたエリアの分割や、閾値、アラート等をイベント主催者または施設管理者が設定、変更できるアプリケーションの開発を検討する。具体的な運用フローの見直しは次の項目で行う。

- 具体的な混雑緩和の仕組みの構築

具体的な混雑緩和に繋がることへの期待の声もあり、来場者向け、主催者側などにどういった情報をどのような手段で提示していくかは今後検証が必要である。今回のイベントでは基本的には主催者側が管理を行う方針であったため、そういったイベントにおいては主催者側に事前の予知情報を提供することも考えられる。また、来場者の目に留まりやすいように来場者が欲しいイベントに関する情報と並べて表示することや情報の設置箇所、設置数を増やすことも検討し得る。本実証においては警備ロボットとの連携による混雑緩和についても実施しており、そういった実際の混雑緩和まで自動化することにもニーズがあると確認された。

- カメラ映像の使用方法的改善

今回の実証においては、カメラ映像をサイネージに表示して、個人情報等を取得していない旨を記載した資料の配布を行う、ブースにて質問に対応するなど来場者への個人情報の取り扱いに関する案内を行い、来場者からの不安の声等も見られなかった。しかし、今後は様々な場所での活用を想定するため、カメラ映像の人がわからないように加工する、カメラ映像は主催者側で閲覧し、来場者側には別のコンテンツを表示するなど個人情報を出さない等のインターフェースの開発を検討する。

- カメラの死角への対応

カメラの死角は機器台数を抑えるうへでは、発生を避けられないが、入り口を抑えることで滞在人数を管理する、詳細に把握したい場所については別途カメラを設けるなど、カメラの設置方法等の改善を検討する。

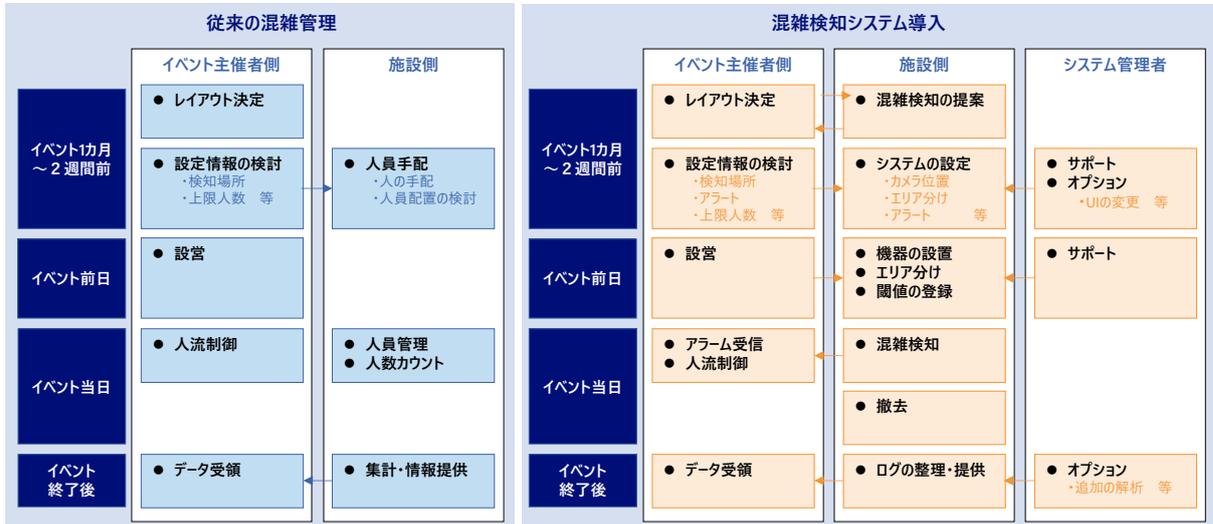
#### ④ 運用フローの見直し

上記を踏まえ、混雑検知システムのシステム自体の改善点が明らかになると共に運用フローも下記の通り、簡易にシステムを利用できるようにすることで、施設側、イベント開催側が自ら使える仕組みとなることが望ましいと考えられる。

従来の混雑管理と比較すると人件費やスタッフが持つ端末の機器代金などコスト削減を行える一方で、イベント開催までに踏む工程はシステムを導入することで機器の設置、エリアの分割などシステムの準備に関する工程が増加した上、施設側とシステム管理者間で調整する工程が必要であった。実際に導入する際には、機器の設置、エリアの分割などシステムの準備をイベント主催者側または施設側で行い、システム管理者はサポートやオプションでの追加分析などを行うのみで、基本的な利用はシステム管理者なしで完結できる仕組みとすることが運用上の負荷軽減としては理想的である。施設側が運用を担うことで、より柔軟なカメラの設置やイベント開催中

の設定変更等も可能になる可能性がある。システムの操作の簡易化などが今後の課題となる。

図表 4-149 見直し後のフロー案



#### 4.4.3 ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証～B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム～

本実証では、5Gを用いた超低遅延での音響の伝送を通じ、複数会場にいる演奏者の同期演奏（音響のズレの解消）の実証を行った。

場所は、パシフィコ横浜ノース 2 階の 2 つのガーデンラウンジを利用し、メイン会場に楽器の演奏者を配置し、サブ会場にボーカル等を配置することで、音声の同期の実証を行った。メイン会場の楽器は有線 LAN で接続し、サブ会場の楽器・ボーカルはローカル 5G で接続することで、両者の差異を定量的・定性的に比較検証することでローカル 5G の有用性の確認を行った。

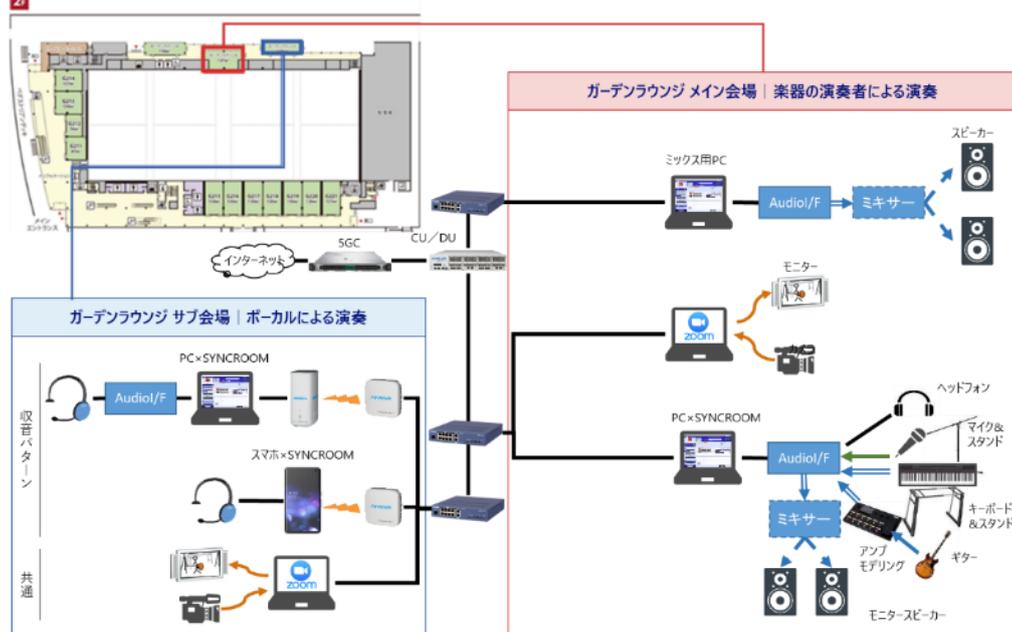
実施内容としては、1.ローカル 5G の超低遅延性を活かした遠隔同期演奏への有効性検証と 2.ローカル 5G の準同期を利用した遠隔同期演奏への有効性検証の大きく 2 つを行った。

まず、1.については、有線 LAN で通信を行うケースと同一のローカル 5G のコアネットワーク内で通信を行うケースとの比較により、通信システムの差異による 5G の超低遅延性の検証を行い、遠隔同期演奏への有効性の確認を行った。（なお、同一のローカル 5G のコアネットワーク内で通信を行うケースにおいても、SYNCROOM のユーザー認証のため、インターネットへの接続が必要になると想定している。）

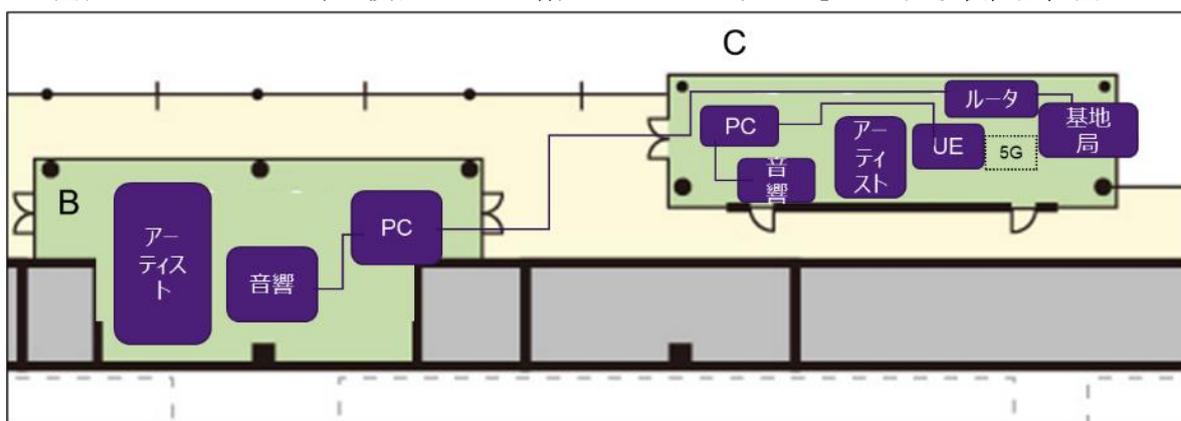
次に、2.については、ローカル 5G の TDD 3 により、遠隔同期演奏実施時の遅延や音質の違い等を検証し、その有効性を確認した。

なお、1.2.ともボーカルは PC の SYNCROOM を用い歌うパターン①と、スマートフォンの SYNCROOM アプリを利用し歌うパターン②の、2 つのパターンで実施した。パターン②の場合、無線であることを活かし、実際のコンサートでボーカルが移動しながら観客とインタラクティブな演出を行うことを想定し、マイクとスマホを接続しボーカルが自然な体勢で歌唱できる環境にて実施した。

図表 4-150 パシフィコ横浜ノース 2 階「ガーデンラウンジ」での実証概要図



図表 4-151 パシフィコ横浜ノース 2階「ガーデンラウンジ」での実験装置配置図



図表 4-152 SYNCROOM 搭載 PC およびスマートフォン



図表 4-153 ガーデンラウンジB (メイン会場) 実証風景



図表 4-154 ガーデンラウンジC (サブ会場) 実証風景



図表 4-155 ガーデンラウンジAのモニターPC



#### 4.4.3.1 効果検証～B-1.施設内2地点での遠隔同期演奏システム～

##### (1) 評価・検証項目～B-1.施設内2地点での遠隔同期演奏システム～

「施設内2地点での遠隔同期演奏システム」に係る各ユーザー（「演奏者」「施設管理者」「PA業者」）の視点から、本システムの効果を評価・検証した。設問型アンケート形式による評価の定量化に加え、個別インタビュー形式による本ソリューションの可能性のヒアリングを実施した。具体的な評価・検証項目は下記の通りである。

###### ① 演奏者

遠隔同期演奏時における「演奏のしやすさ」や「魅力度」について評価を行った。具体的には、音声のズレを感じず演奏できたか（低遅延の評価）、安定して演奏できたか（音質の劣化や音の途切れの評価）、新たな音楽演奏の在り方として本実証内容は展開可能か（新しい音楽体験の在り方としての評価）等を行った。演奏者の構成、音楽ジャンルによる特性も考慮し、4ジャンル・16名のプロ音楽家による評価を実施した。

###### ② 施設管理者/PA業者

演奏者同様の低遅延性や安定性の評価に加え、既存のオーディオ機器設置との比較によるローカル5G下の遠隔演奏準備時の作業フローの差異の確認を、ヒアリングを通じて行った。また、新たな音楽イベントとしての演出の有用性評価と、今後の施設・イベントでの活用可能性についてヒアリングを実施した。

## (2) 評価・検証方法～B-1.施設内2地点での遠隔同期演奏システム～

本課題実証に係る主たるユーザーである、「演奏者」「施設管理者」「PA業者」の3者それぞれの立場からみた効果について、評価・検証を実施した。

手法としてはアンケート調査で、その際に確認を行う項目は下図に示す。

なお、作業フローやサービス自体の価値等自由回答部分は、必要に応じてヒアリングを追加で深掘り調査を行い、その内容を整理した。

図表 4-156 アンケート調査による評価・検証項目

対象	検証項目	質問項目
演奏者	低遅延性	・ヘッドホンモニター、同室/別室の演奏者とそれぞれを比較して、音の遅れ、ズレを感じたか ・有線LANとローカル5Gと比較して、上記に差異を感じたか
	安定性	・ヘッドホンモニター、同室/別室の演奏者とそれぞれを比較して、音の途切れを感じたか ・有線LANとローカル5Gと比較して、上記に差異を感じたか
	音質	・ヘッドホンモニター、同室/別室の演奏者とそれぞれを比較して、音の印象の違い、音質の劣化を感じたか ・有線LANとローカル5Gと比較して、上記に差異を感じたか
	サービス自体の評価	・有線LANとローカル5Gと比較して、演奏について気付いた点、課題があるか ・映像の必要性についてどう感じたか ・遠隔演奏システムの利用可能性のある音楽・演奏シーン
施設管理者・ イベント業者・ PA業者	低遅延性	・2か所でリアル演奏と比較して、演奏のズレを感じたか。 ・モニタールームで2か所の音を同時視聴したときに、演奏のズレを感じたか。
	安定性・音質	・リアル演奏と比較して、楽器演奏の音の印象はどうか ・モニタールームで2か所の映像と音を視聴した時の印象はどうか
	サービス自体の評価	・遠隔演奏システムの利用可能性のある音楽ジャンル
		・遠隔演奏システムの利用可能性のあるイベント、演出
		・演奏メンバーの一部を分散させた新たな演出の可能性
	作業フロー	・観客席の一部を分散させた新たな演出の可能性、実施上の課題
		・遠隔演奏システムでの新たな演出を実現する際の課題
その他	・ローカル5Gや無線通信での音楽・イベントの可能性 ・本実証に対する改善要望、検討事項 ・その他お気づきになった点およびご意見（自由記述）	

### (3) 実証結果及び考察～B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム～

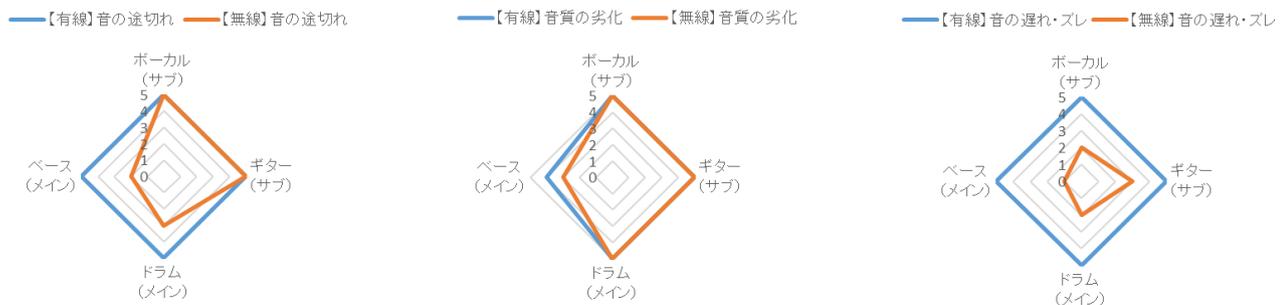
演奏者 4 組（1 組 3 名以上、計 16 名）のプロ・セミプロバンドのアンケート調査結果の一例を下図に示す。なお、演奏者の内訳は、ソウル 2 組（N、S）、ジャズ 1 組（A）、ロック 1 組（O）である。楽器の構成は、ボーカル 3 名、ギター 3 名、キーボード 2 名、ドラム 4 名、ベース 4 名である。（バンドの区別のため英文字イニシャルで表記）

グラフ中、青色は有線 LAN、橙色はローカル 5 G を示す（一部、青色が見えないところは、橙色と同スコアである）。評点は通常の演奏条件と差異を示し、5 普段と同じ > 4 わずかに気づく > 3 気づくが演奏可能 > 2 何とか演奏できる > 1 演奏できない、の順に、5～1 の 5 件法で評価した。

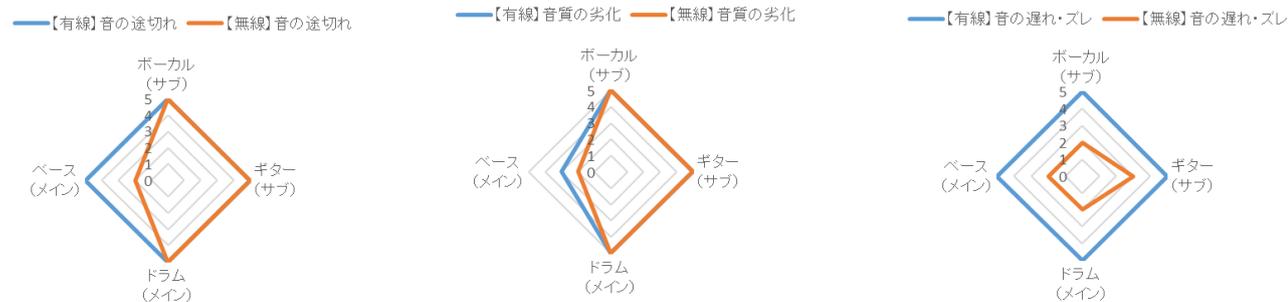
図表 4-157 SYNCROOM を使用した際のローカル 5G・有線 LAN での演奏比較結果（バンド単位）

#### グラフ 1.演奏者インタビュー結果（ソウル N、ボーカル、ギター、ベース、ドラム）

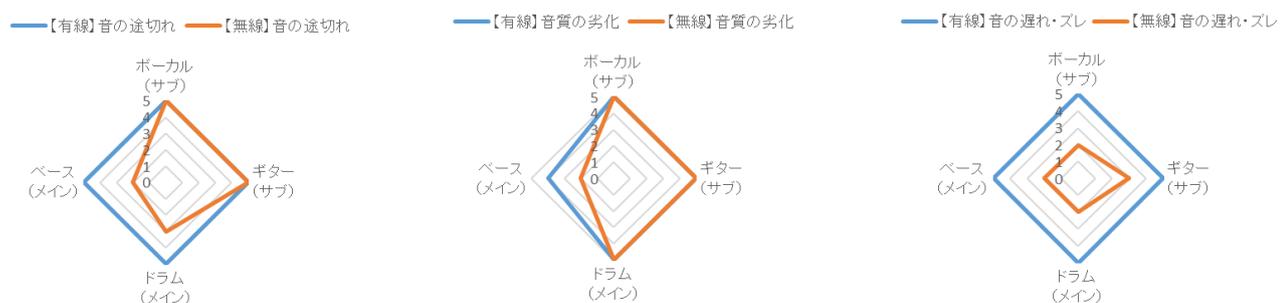
##### ヘッドホンモニタの自身の音の印象



##### 同室の演奏者の音の印象



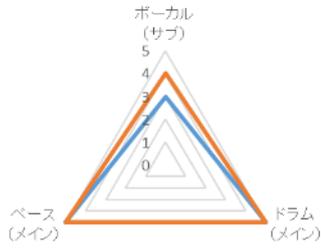
##### 別室の演奏者の音の印象



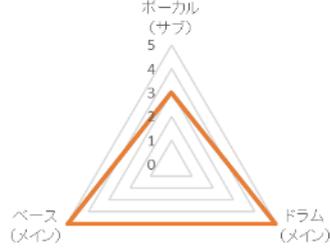
図表 4-158 演奏者インタビュー結果 (ソウルS、ボーカル、ベース、ドラム)

ヘッドホンモニタの自身の音の印象

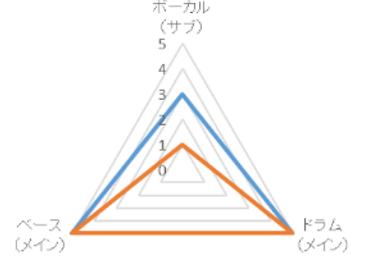
—【有線】音の途切れ —【無線】音の途切れ



—【有線】音質の劣化 —【無線】音質の劣化

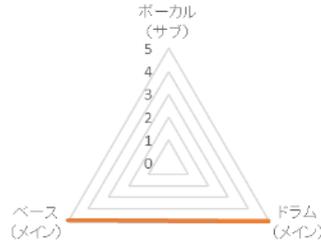


—【有線】音の遅れ・ズレ —【無線】音の遅れ・ズレ



同室の演奏者の音の印象

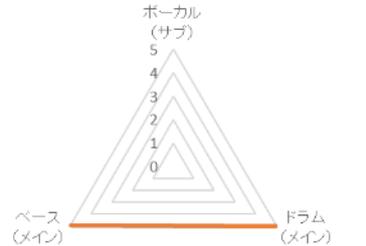
—【有線】音の途切れ —【無線】音の途切れ



—【有線】音質の劣化 —【無線】音質の劣化

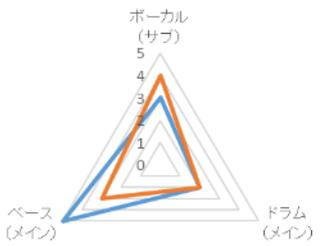


—【有線】音の遅れ・ズレ —【無線】音の遅れ・ズレ

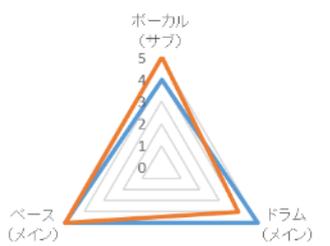


別室の演奏者の音の印象

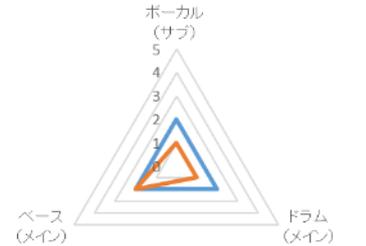
—【有線】音の途切れ —【無線】音の途切れ



—【有線】音質の劣化 —【無線】音質の劣化



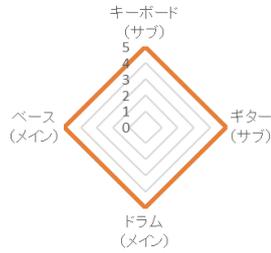
—【有線】音の遅れ・ズレ —【無線】音の遅れ・ズレ



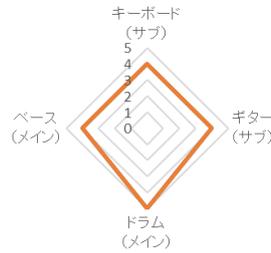
図表 4-159 演奏者インタビュー結果 (ジャズA、キーボード、ギター、ベース、ドラム)

ヘッドホンモニタの自身の音の印象

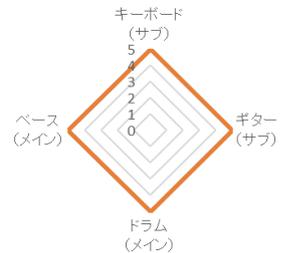
—【有線】音の途切れ —【無線】音の途切れ



—【有線】音質の劣化 —【無線】音質の劣化

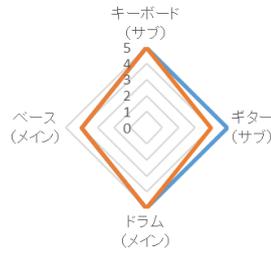


—【有線】音の遅れ・ズレ —【無線】音の遅れ・ズレ

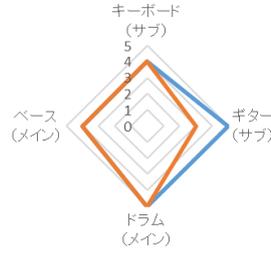


同室の演奏者の音の印象

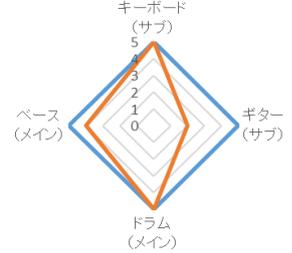
—【有線】音の途切れ —【無線】音の途切れ



—【有線】音質の劣化 —【無線】音質の劣化

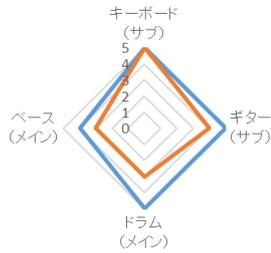


—【有線】音の遅れ・ズレ —【無線】音の遅れ・ズレ

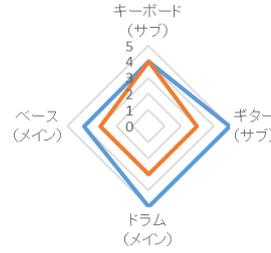


別室の演奏者の音の印象

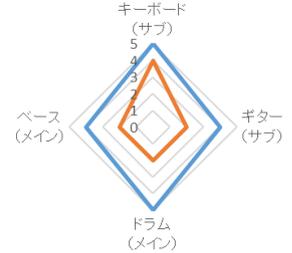
—【有線】音の途切れ —【無線】音の途切れ



—【有線】音質の劣化 —【無線】音質の劣化

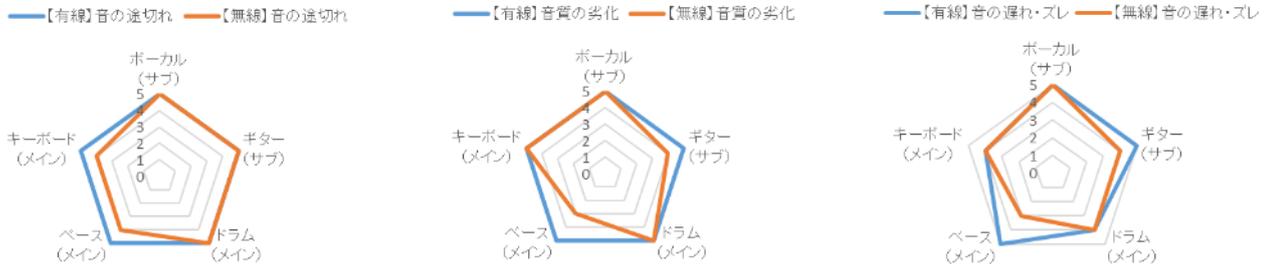


—【有線】音の遅れ・ズレ —【無線】音の遅れ・ズレ

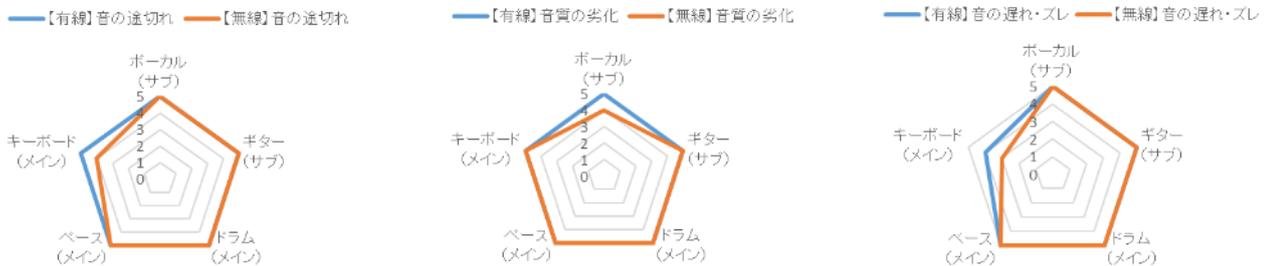


図表 4-160 演奏者インタビュー結果（ロック O、ボーカル、ギター、キーボード、ベース、ドラム）

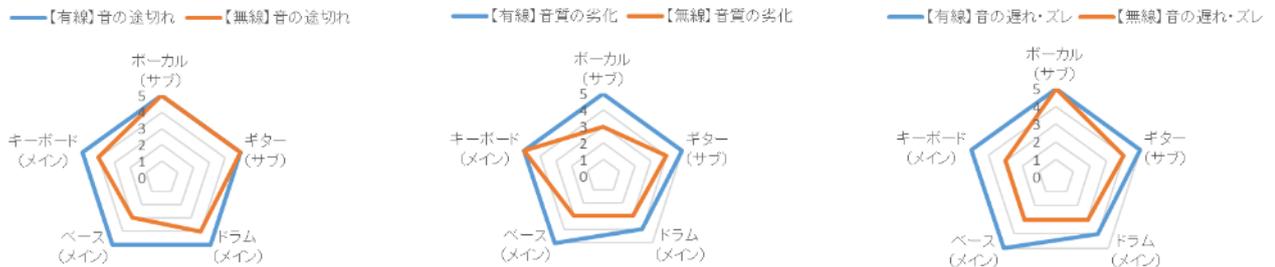
ヘッドホンモニタの自身の音の印象



同室の演奏者の音の印象



別室の演奏者の音の印象



まず、ネット接続コンサートの理想環境である有線 LAN では、音の途切れ、音質の劣化、音の遅れ・ズレのいずれに関しても、通常の演奏環境と変わらない高評価が得られている。

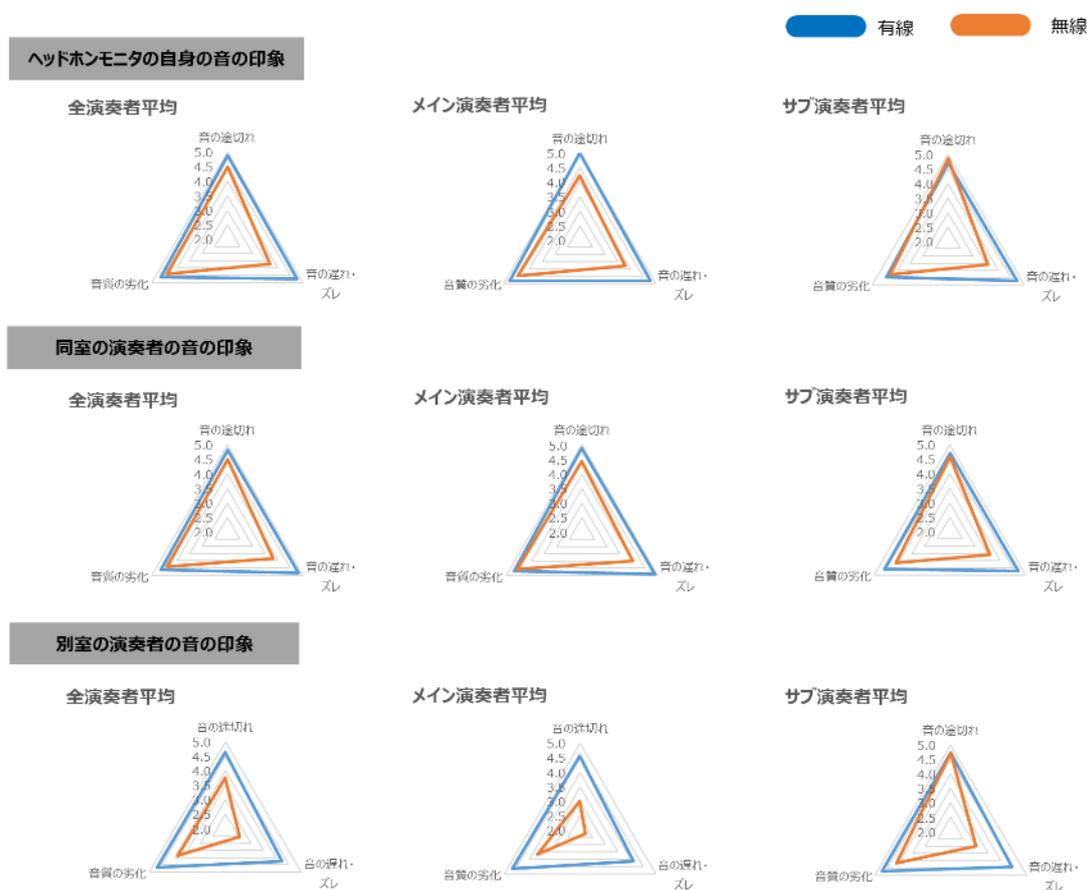
また、遠隔同期回線を介していない、同室の印象に比べ、ローカル 5 G を介した別室の印象では、ローカル 5 G 環境による評価の低下がみられる。この傾向は、サブ側よりもメイン側の楽器に顕著となる。即ち、有線 LAN 接続環境のメイン側からのアップリンクに比べ、ローカル 5 G 環境のサブ側からのアップリンクによる演奏の影響が大きくなっている。当該グラフは一部の演奏者による評価結果であるが、この傾向は、演奏者によらず、現れている。

また、演奏への影響は、「音の遅れ・ズレ」に対しては、ほぼすべての演奏者が指摘しているのに対し、「音の途切れ」「音質の劣化」については、演奏者（演奏曲）や楽器によっては指摘されないケースがある。これら、コンテンツ種類あるいは演奏者の力量による影響の大

小は否定できないが、今回の実験から系統的な考察をすることはできず、今後の課題となる。但し、今回の実験結果では音楽ジャンルおよび特定の楽器に依存した有意差はみとめられなかった。インタビューでも演奏した音楽ジャンル・楽器以外での影響の可能性についても収集したが、何れも音楽ジャンル・楽器による影響はないだろうという回答を得た。なお、インタビューにおいては、「力量の低い演奏者（アマチュア）では、「音の遅延・ズレ」に対応した本番演奏は困難であろう」との見解が、全ての演奏者から得られている。ローカル5G環境での低遅延性の向上が期待されている。

下記に演奏者全員の評価値を総集計した結果を示すが、自身・同室よりも別室演奏者の演奏音に対する無線環境の影響が大きいこと、メイン側演奏者の方がサブ側演奏者よりも影響が大きいこと、音の遅れ・ズレに対して最も大きな影響が出ていることがわかる。

図表 4-161 SYNCROOM を使用した際のローカル5G・有線LANでの演奏比較結果 (会場単位)



上記は、コンサートを想定したアンケート、ヒアリングの概要であるが、本番以外の用途について、自由記述およびインタビューで「練習及びリハーサルであれば実用に耐えるという」コメントを得ている。即ち、練習風景を見せるようなラフなスタイルの演奏会は許容範囲かもしれない。

課題である遅延については、遅延の絶対時間より遅延量に揺れが生じる事への指摘が多かった。遅延量の揺らぎの問題は、今回使用した遠隔演奏アプリケーションで遅延バッファ

一を設けることで遅延量の揺らぎを吸収することで解決を図ることが可能である。

音質については、通常のスタジオ練習と異なりミキサーを通し調整された音をヘッドホンで聞く形にしたことで、むしろ音がクリアで演奏しやすいという評価者もいた。

施設管理者・イベント業者・PA 業者については、自由記述形式のアンケート調査を主体としており、また、評価サンプル数が統計処理にそぐわないため、グラフ化は割愛するが、施設管理者・イベント業者 (N=7) の評価では、1名を除いて、メイン側・サブ側いずれについて、音の印象に「気になることがない」、との回答が得られた (1名は途切れが気になる)。むしろ、映像のズレ、および映像と音とのズレが気になるとの回答が複数寄せられた。また、演奏演目として考える音楽コンテンツとしては、ポップス6、ジャズ6、ソウル3、ロック1、クラシック5、民族音楽5、邦楽5があげられ、自由記述を加えるとゴスペルを推す記述が複数あった。ロックが少数であるのは、ガーデンラウンジからのイメージ想起として、近隣への騒音配慮が念頭にあると解釈できる。また、ゴスペルについては、一か所に収容できない大人数を、複数個所で集約して興行するイメージが想起されている。いずれにしても、有線 LAN とローカル 5 G と比較しても音の遅延を感じておらず、音質についても同様の高い評価を得られた。本サービス運用展開にあたり重要なステークホルダーである興行側から評価を得たことで目的を達せられたといえる。

一方 PA 業者 (N=3) からは、全員から遅延および音質劣化を指摘する評価が寄せられた。演奏演目としては、ジャズ、前項表 4.4.3.1(3)-1 があげられ、自由回答ではコーラスの可能性も指摘された。自由回答にて「既にライブビューイングなどの遠隔イベントが興行されている中、本システムを利用した分散会場型イベントも一般客に受け入れられる可能性はある」との意見もあり、遠隔同期演奏システムを活用したアフターコロナ型イベントに十分な可能性があるという評価できた。

図表 4-162 施設管理者・主催者へのヒアリング結果

	設問等	回答概略	考察、今後の課題など
調査概要	回答者属性など	施設側、主催側の7名。 みなとみらい4, 横浜市2, パシフィコ1。	技術実証とは別に、企画実証として主催側実験からの情報集約があれば、用途可能性が拡大すると考えられる。
実験時の音・映像の印象	ガーデンラウンジB(主にドラム、ベース)の音の印象	多数(6名)は気になることなし、 1名のみ音の途切れに気づく	聴衆としては、音の途切れには敏感だが、遅れ・ズレには気づきにくい。これは、演奏者とは異なる反応である。 映像と音がズレてしまうことの方が違和感を与えやすいため、配信時にシンクロ処理を加えるほうが望ましい。
	ガーデンラウンジC(主にボーカル、ギター)の音の印象	多数(6名)は気になることなし、 1名のみ音の途切れに気づく	
	ガーデンラウンジAでの音・映像同時モニターの印象	2点の音のズレよりも、映像と音のズレの方が気になる。 むしろ、音の途切れが問題。	
利活用の可能性、想定など	ガーデンラウンジで音楽イベントを催す場合の、想定される音楽ジャンル、課題や可能性	・幅広いジャンルを期待されている ポップス6、ジャズ6、ソウル3、 ロック1、クラシック5、民族音楽5、邦楽5+C8 ・大音量の公演は回避が無難。 ・レセプション、セレモニー、トークショーなども利用可能。	(音楽ジャンル) ガーデンラウンジは、騒音配慮の観点から、ジャンルを選んでしまうが、騒音問題がなければ、ジャンルの制約はない。 逆に音楽イベント以外のトークショー、セレモニーなどを含めたイベント構成の可能性が示唆された。
	演奏メンバーの一部(例.ボーカルとギター)を施設内に自由に配置できる場合の演出	・分散したバンドメンバーのうち、 推し/好みの近くで公演を楽しむ ・ボーカルだけが各所を移動(巡回)する ・観客はホールに、プレイヤーが別室から配信 ・プレイヤーは固定、観客は複数の場所を自由に回遊	(イベント会場の選択) 場所をガーデンラウンジに固定しなければ、演奏者と観客の場所を自由に組み合わせる価値を生むイベントの想起が見られている。例えば、推しに近づく/独占する、アーティストをタイムシェアする、リアルとライブビューイングの併用イベント、など、アトラクションとしての要素を企画することが可能となってくる。これには、港や屋外、など、ロケーションを最大活用する企画も含む。
	演奏楽曲の一部(例.ソロ、コーラスなど)を施設内に自由に提供できる場合の演出	・ゴスペル、第9合唱など、大人数音源を分散配置 收音 ・コーラス隊だけ別室、は現実的	(従来はできなかった演出) また、現状課題への解決策として、演奏参加者を分散配置した運営の容易さがあげられる。これは、ゴスペルや第9合唱のような、大人数参加のイベントが例示されている。
	観客席の一部または全部を、施設内に複数・自由に設置できる場合の演出	・イベント検討としては、(ガーデンラウンジに限定せず) ホールや野外を積極活用するとよさそう。 ・ストリートミュージックイベント連携を考えたい ・リアルとライブビューイングの併用イベント ・アーティストの巡回 ・演奏者/観客の場所の組合せを価値とするイベント ・従前コンサートというより、アトラクション活用の考え方が適する	

自由意見	今回の遠隔演奏実験での気づき	<ul style="list-style-type: none"> <li>・映像のズレが気になる。</li> <li>・演奏ジャンルとの相性などがわかる実験を今後期待。</li> <li>・演奏者は技量で音ズレをカバーしていたそうなので、通信技術改善を期待。</li> <li>・別施設接続、3か所接続実験の可能性。 MMホール、ぴあアリーナなど。</li> <li>・ポリュメトリックキャプチャ映像との同期実験。</li> <li>・Expo等イベントの中での演奏実証実験。</li> </ul>	<p>(展開)</p> <p>近隣施設での連携への期待も大きい。これは、上記アトラクティブな企画と重複すると考えられる。</p> <p>具体的には、計画中のストリートライブ連携での課題解決が望まれている。</p> <p>一方で、遠隔のハードルをいかに巧みに乗り越えるかを課題設定したイベント(お笑い)も、技術課題を逆手にとった企画と言えよう。会議・展示会では、移動時間短縮(体力温存)という観点でも、中継配信は有用と考えられる。</p>
	その他、ご意見、お気づきの点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・離れた場所を繋いだトークショー</li> <li>・お笑い(離れた場所のボケとツッコミ)が成立するとすごい</li> <li>・音楽・テック集積のみなとみらい地区ならではの音楽体験に5G活用したい</li> <li>・地区内19箇所を活用したストリートライブ「みなとみらい StreetMusic」の活用</li> <li>・パシフィコ横浜内の複数会場での会議、ツアーなどと本会場の連携</li> </ul>	

#### 4.4.3.2 機能検証～B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム～

##### (1) 評価・検証項目～B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム～

音声の同期速度（遅延時間）等を測定し、演奏に当たり支障が出ない速度が出ているか評価・検証を行った。具体的な評価・検証項目は下記の通りである。

図表 4-163 機能検証における評価・検証項目

対象	評価・検証項目
通信面の機能評価・検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 通信の遅延時間とそのジッタ（jitter、ゆらぎ）の程度を、有線 LAN で通信するケースと、ローカル 5G で通信するケースを比較することにより、通信システムの差異による（通信の安定度の差異）の評価を行う。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ パターン②のケースにおいて、スマートフォンで SYNCROOM アプリを起動しながらサブ会場内を移動し、自由に移動しながら演奏が可能か、移動による干渉、通信遅延の発生頻度、音質についても評価を行う。</li> </ul> </li> <li>● 有線 LAN とローカル 5G で、音声の遅延の違い等を検証する。</li> </ul>
アプリケーションや使用機器の機能評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>● PC で SYNCROOM のソフトウェアを活用する場合とスマートフォンのアプリ（β版）を使用する場合の遅延速度を比較することにより、アプリケーションや使用機器に求められる機能の確認を行う。</li> </ul>

(2) 評価・検証方法～B-1.施設内2地点での遠隔同期演奏システム～

通信面、アプリケーションや使用機器の機能の評価・検証方法は下記の通りである。

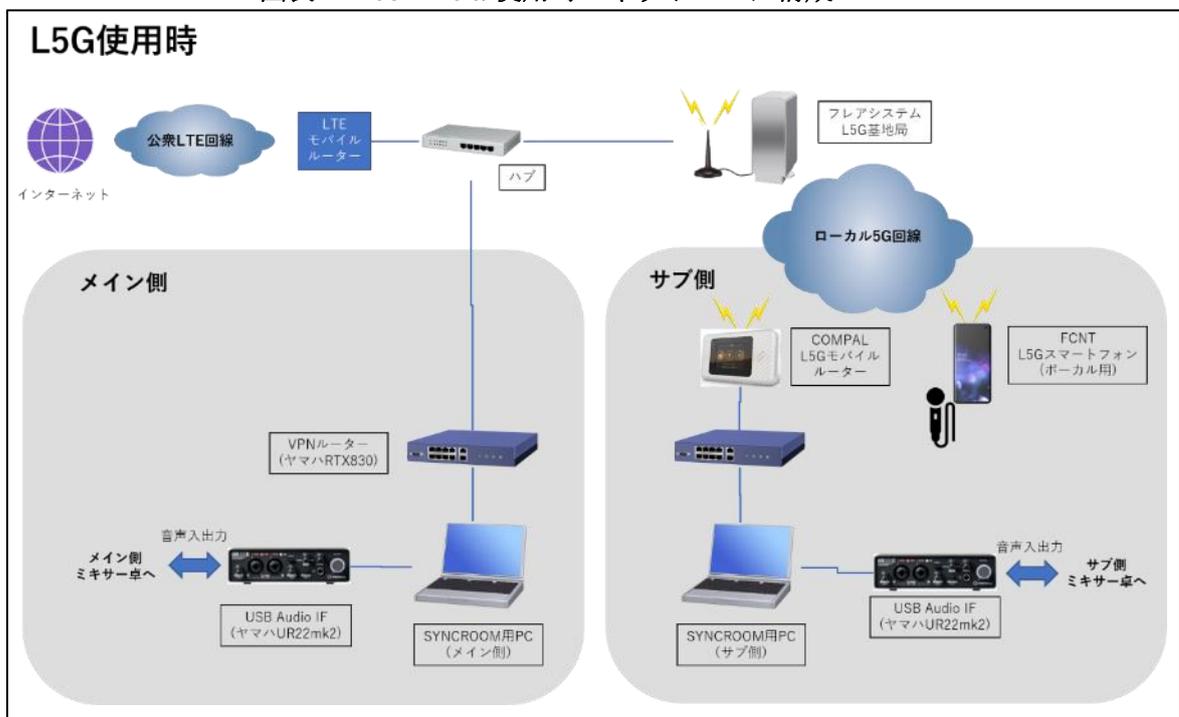
図表 4-164 機能検証における評価・検証方法

対象	評価・検証方法
通信面の機能評価・検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SYNCROOM 搭載 PC 上にて SYNCROOM の音声通信をパケットキャプチャし、遅延時間とジッタの測定と評価を実施する。</li> <li>● また、SYNCROOM 上の遅延量設定を変更し、最小遅延量での音質・音切れなどの単位時間あたり発生頻度を解析、評価する。</li> </ul>
アプリケーションや使用機器の機能評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 上記のパケットキャプチャに加え、PC とスマートフォンとの差異比較のため、両者同時に音声を発信し、ミックス用 PC にて両者のオーディオデータ比較を行うことで遅延時間の解析を行う。</li> </ul>

以下、具体的な遅延時間とジッタの計測方法について述べる。

有線 LAN 使用時とローカル 5G 使用時のネットワーク構成の概略は、それぞれ以下の様になる。

図表 4-165 L5G 使用時のネットワーク構成



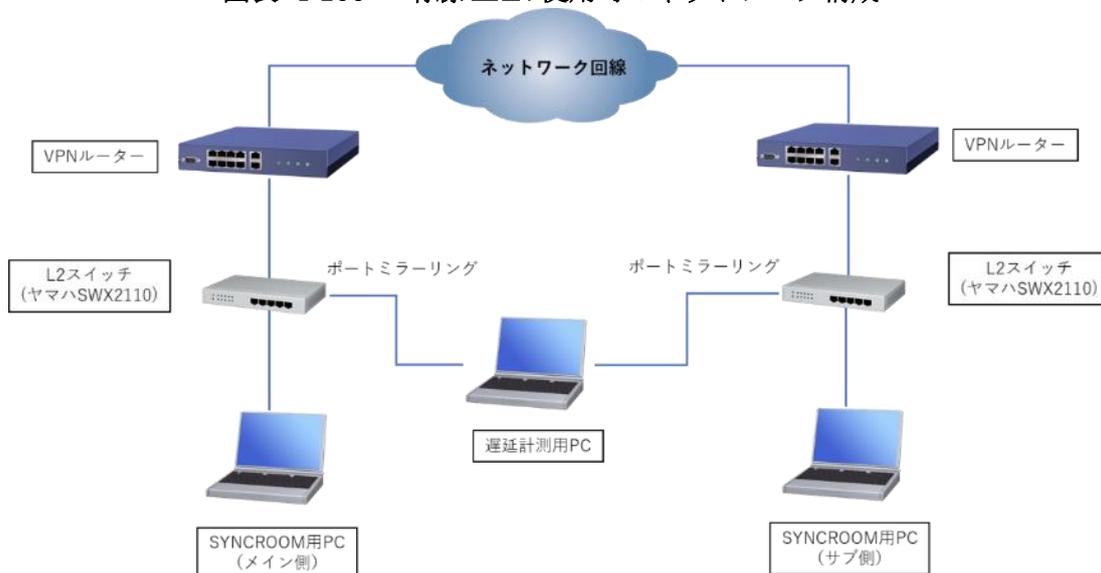
遠隔セッションはメイン、サブと名付けた2つの部屋の間で行う。メイン、サブそれぞれの部屋には遠隔セッションシステム ”SYNCROOM”をインストールした PC を設置する。

SYNCROOM は両部屋の音声を、ネットワークを通じ相互に低遅延で伝送することで、遠隔セッションを可能にする。SYNCROOM 間の通信は P2P 通信を用いているが、今回使用したフレアシステムのローカル 5G 基地局は P2P 通信を許可していないため、それぞれの部屋に VPN ルーター(ヤマハ RTX830)を挿入することでメイン-サブの部屋間に VPN を形成し、P2P 通信を可能にしている。

遅延時間とジッタの測定は、ネットワーク通信と音声出力の 2 つについて行う。

ネットワーク通信の遅延時間とジッタの測定方法について説明する。遠隔セッション時の実際のネットワーク構成はおおよそ以下の様になっている。

図表 4-166 有線 LAN 使用時のネットワーク構成



L2 スイッチ(ヤマハ SWX2110)は、ポートミラーリング機能を有している。ポートミラーリング機能により、SYNCROOM 用 PC が接続されているポートに流れているパケットを、別のポートにすべてコピーして出力することができる。メイン側、サブ側両方にこの L2 スイッチを挿入し、別に用意した遅延測定用 PC に設けた 2 個のイーサネットポートに 2 つの L2 スイッチからの線を入力することで、両方の SYNCROOM 用 PC に流れるパケットを 1 台の遅延計測用 PC でパケットをキャプチャすることができる。これにより SYNCROOM 用 PC 間のメイン→サブ方向、サブ→メイン方向、両方向の通信の遅延時間が測定できる。

ジッタは遅延時間のゆらぎのことなので、遅延時間のある程度の長さの時間だけ監視することで求めることができる。今回は測定した遅延時間の発生頻度のヒストグラムと標準偏差を用いてジッタの程度を表す。

また音声出力の遅延時間とジッタの測定については、以下のような構成で行う。

図表 4-167 遅延時間とジッタの測定時のネットワーク構成



メイン、サブ両方の USB Audio IF の音声入出力の信号線を分岐し、それを音声遅延計測用 PC に接続した別の USB Audio IF に入力することで、メイン→サブ方向、サブ→メイン方向の音声の遅延時間が測定できる。

音声の遅延時間はアナログの音声信号に対して信号処理を施して遅延時間の推定値を算出する。そのため、無音時や小音量時には遅延時間を計測できない。また信号にノイズが入る可能性や音声の波形形状によっては遅延時間を算出できないこともある。そのため音声の遅延時間の計測結果には異常値やノイズがある程度混入することを予め留意されたい。

音切れについてもこの仕組みを使って計測を行う。音声遅延計測用 PC で遅延計測と同時に音声を録音もしておき、録音データから無音部分を検出することで音切れの発生頻度や音切れの長さを計測することができる。ただし音切れを計測するためには送り側から音を途切れず送信し続ける必要がある。しかし実演奏の音声は瞬間的に音が無くなるが多々発生する。そのため音切れの計測はセッションの実演奏ではなく、別途テスト用の音声を流して行う。

ローカル 5G スマートフォンについては、機器や SYNCROOM のシステムの制約があるため、限定した測定のみ行う。

まずローカル 5G スマートフォンには有線 LAN が無いためネットワーク通信の遅延時間、ジッタの計測はできない。

また、ローカル 5G スマートフォン使用時の音声の遅延時間、ジッタについては、計測は可能だが SYNCROOM 側の制約があり計測結果にはノイズが多く含まれてしまうことになった。これは SYNCROOM が伝送できる音声信号のチャンネル数に限りがあるため、スマートフォンの音声だけを独立して伝送するにはチャンネル数が足りず、スマートフォンの音声と PC からの他の音声が混ざって伝送される。そのためスマートフォンの音以外の音声が邪魔となり遅延時間の推定値が安定させられなかったためである。従ってローカル 5G スマートフォン使用時の遅延時間測定データは参考程度に参照して頂きたい。

ローカル 5G スマートフォンのユースケースは音声を送信するのみになることから、計測はスマートフォン→メイン、スマートフォン→サブの 2 つについてのみ行う（逆方向の計

測は行わない)。

### (3) 実証結果及び考察～B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム～

(2) のローカル 5G での計測結果に対し、有線 LAN 等の計測結果との比較を行い、本実証の通信システムの安定性・遅延量について十分な品質を担保できるか考察する。

具体的には、階層別の伝送遅延発生数やジッタ発生数、オーディオデータ音切れ発生数、音質劣化発生数、演奏単位時間(分)あたりの問題発生時間量を元にした遅延量等を比較した。

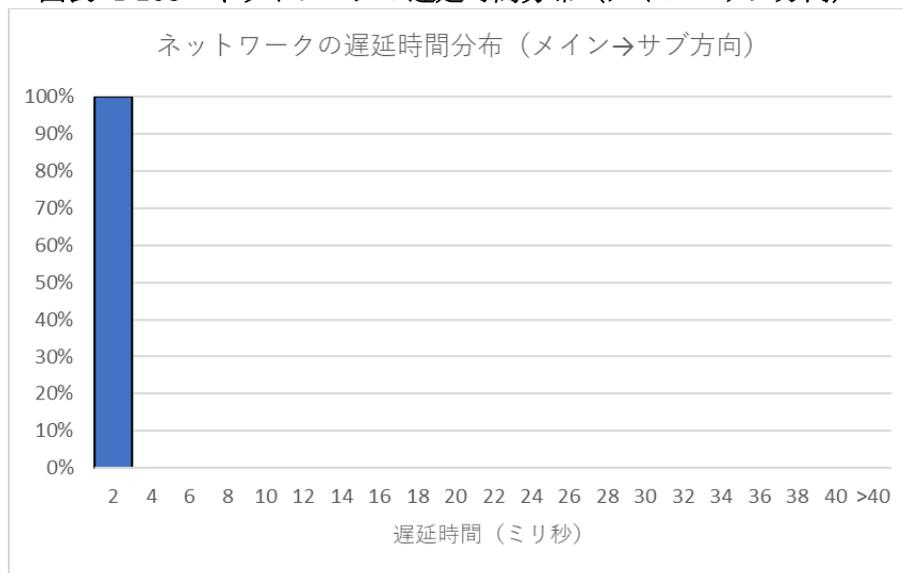
#### ・実セッション時の遅延時間・ジッタ計測

バンドに実際にセッション演奏をしてもらい、その最中のネットワーク通信と音声の遅延時間とジッタを計測した。

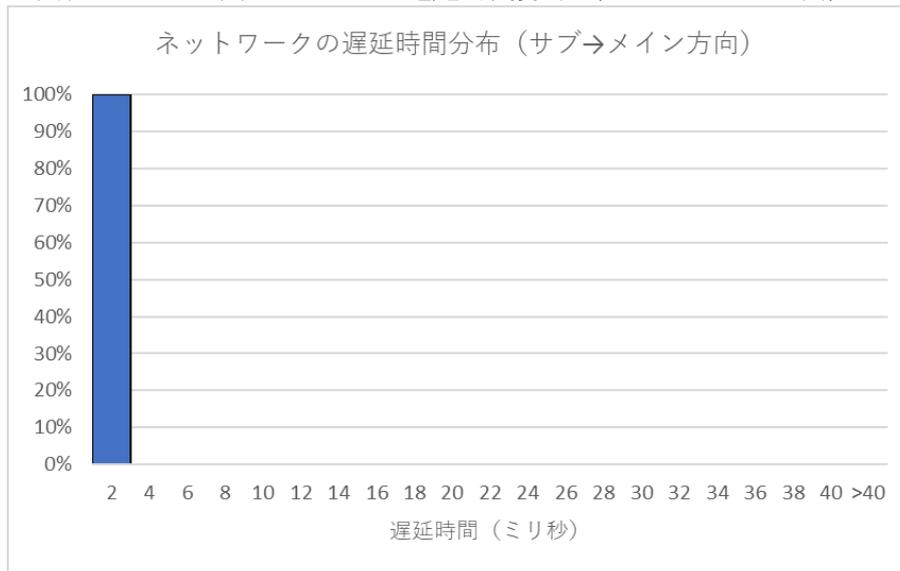
ローカル 5G の結果の前に、評価の基準となる有線 LAN を使用した時の遅延時間とジッタ計測結果を示す。

ネットワーク通信部分の遅延とジッタは以下の通りであった。

図表 4-168 ネットワークの遅延時間分布 (メイン→サブ方向)



図表 4-169 ネットワークの遅延時間分布 (サブ→メイン方向)



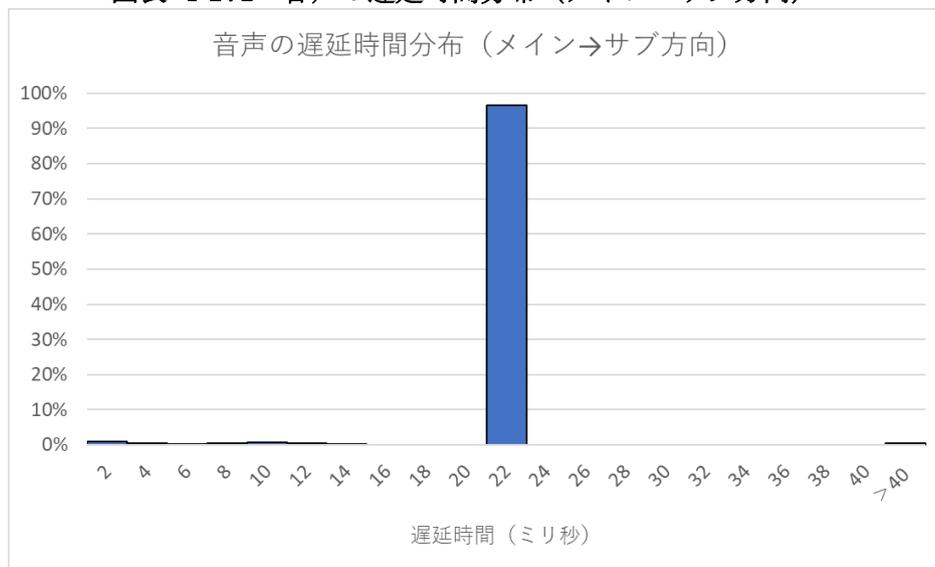
図表 4-170 ネットワークの平均遅延時間とジッタ

(単位 ミリ秒)	メイン→サブ方向	サブ→メイン方向
平均遅延時間	0.013	0.011
標準偏差 (ジッタ)	0.021	0.022

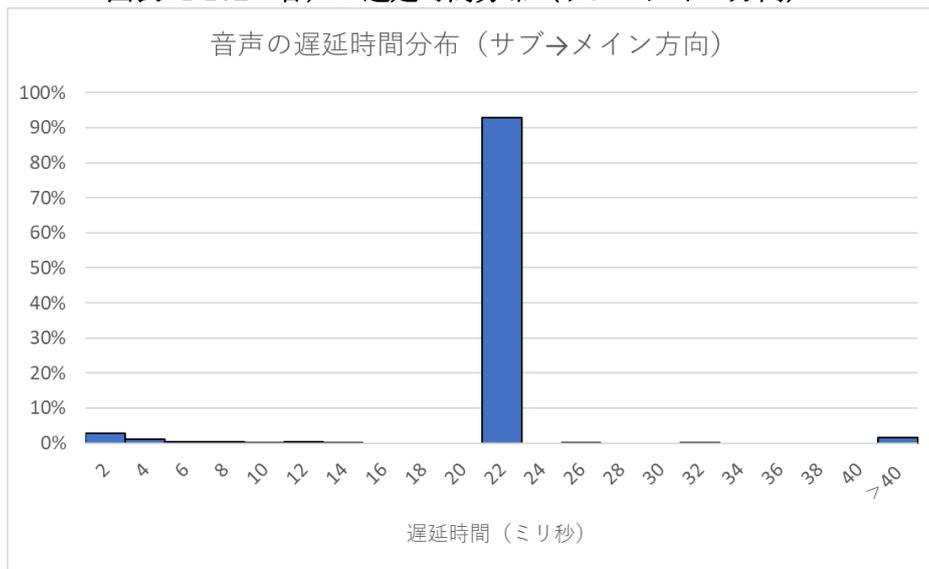
有線 LAN 通信はネットワークの遅延時間は 1ms を超えることはなく非常に高速で、遅延時間も安定していてジッタもほぼゼロとなった。理想的な通信路と言える。

次に有線 LAN 使用時の音声の遅延時間とジッタ計測結果を示す。

図表 4-171 音声の遅延時間分布 (メイン→サブ方向)



図表 4-172 音声の遅延時間分布（サブ→メイン方向）



図表 4-173 音声の平均遅延時間とジッタ

(単位 ミリ秒)	メイン→サブ方向	サブ→メイン方向
平均遅延時間	20.58	20.89
標準偏差 (ジッタ)	5.25	8.60

ネットワーク部分の遅延時間はほぼゼロであったのに対して、音声の遅延時間はおよそ 20msec となっている。これは音声を伝送するには通信以外に以下のような処理の時間がかかるためである。

- ◇ アナログ→デジタル変換処理 (送り側)
- ◇ デジタル→アナログ変換処理 (受け側)
- ◇ USB データ転送 (送り側、受け側)
- ◇ SYNCROOM 内部の処理 (送り側、受け側)

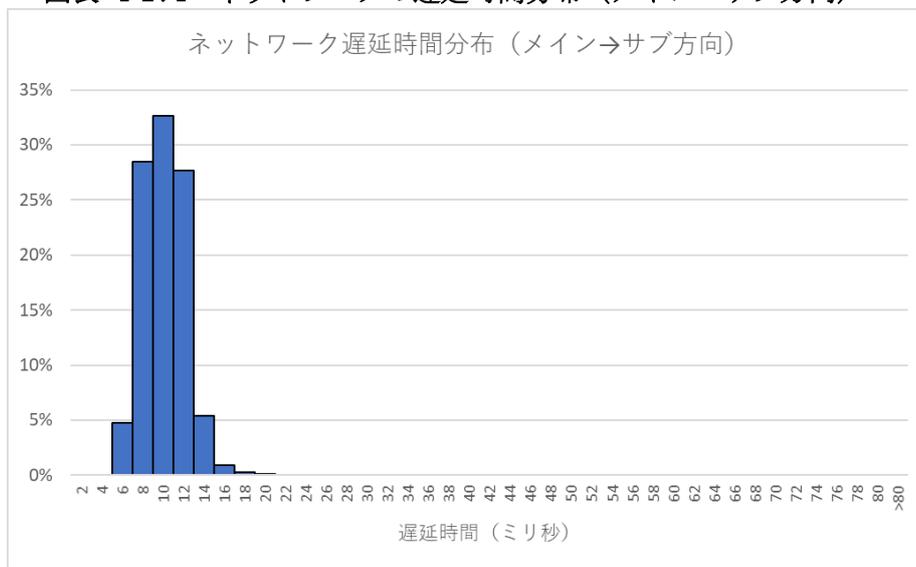
それぞれの工程で数 msec 程度の処理時間を要する。そのためネットワーク部分での遅延がほぼゼロであっても、音声を送られてから出てくるまで全体では 20msec 程度の遅延が発生する。もし、ジッタの大きい通信路を使用した場合には、SYNCROOM がジッタの影響を吸収する処理を自動的に追加するため、遅延時間は 20msec から更に増えることになる。

標準偏差がやや大きくなっているが、これは音声の遅延時間を推定する際に一部に異常値が発生してしまうため、実際には上記のヒストグラムを見て分かる通り遅延時間は安定しておりジッタはほぼ無いと言える。実際、演奏時には通信の影響による音の異常は認められなかった。

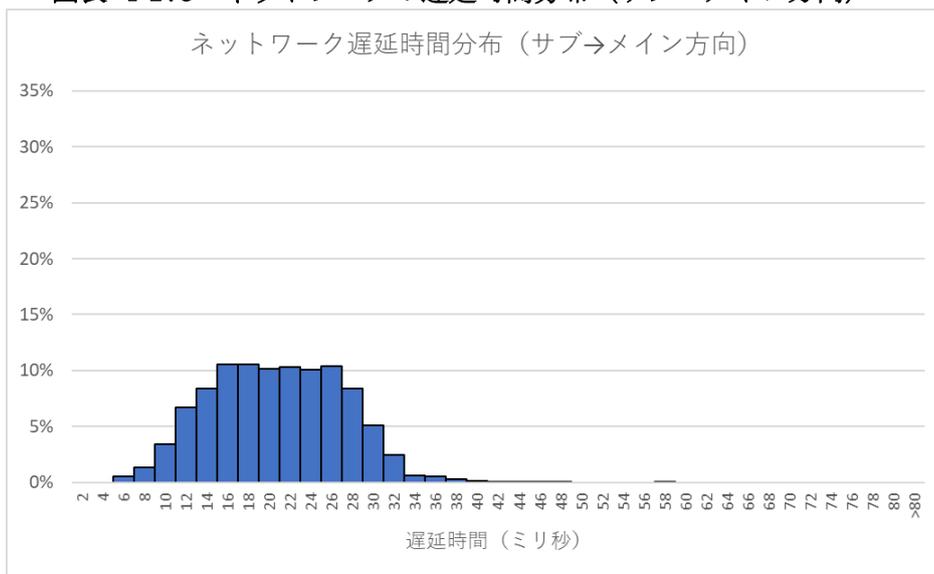
次に、ローカル 5G を使用した時の遅延時間とジッタ計測結果を示す。

ネットワーク通信部分の遅延とジッタは以下の通り。

図表 4-174 ネットワークの遅延時間分布（メイン→サブ方向）



図表 4-175 ネットワークの遅延時間分布（サブ→メイン方向）



図表 4-176 ネットワークの平均遅延時間とジッタ

(単位 ミリ秒)	メイン→サブ方向	サブ→メイン方向
平均遅延時間	9.07	19.73
標準偏差 (ジッタ)	1.98	6.26

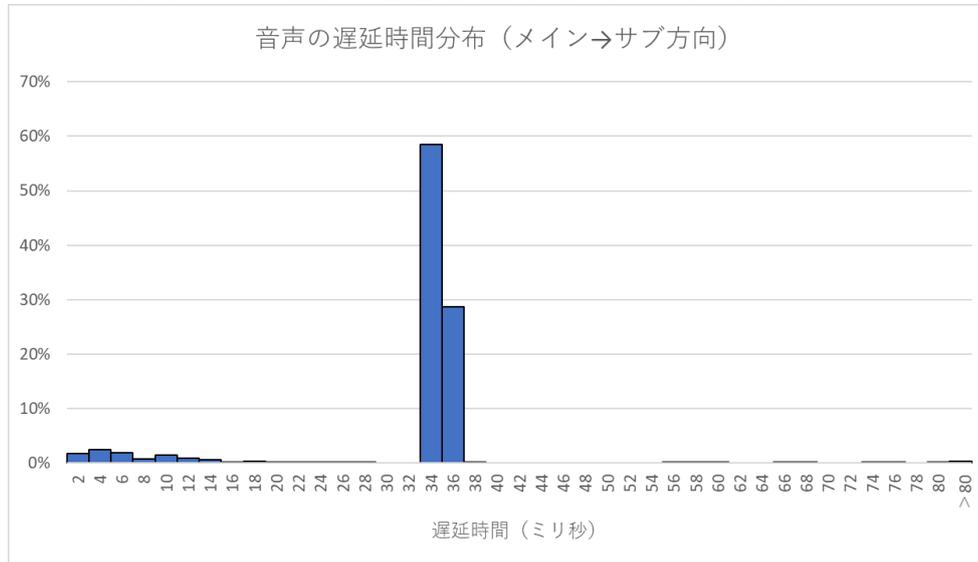
ローカル 5G 使用時の遅延時間、ジッタの特徴としては以下の 2 点が挙げられる

- 有線 LAN に比べると、遅延時間、ジッタは共に大きくなる
- メイン→サブ方向（ローカル 5G のダウンリンク方向）に比べて、サブ→メイン方

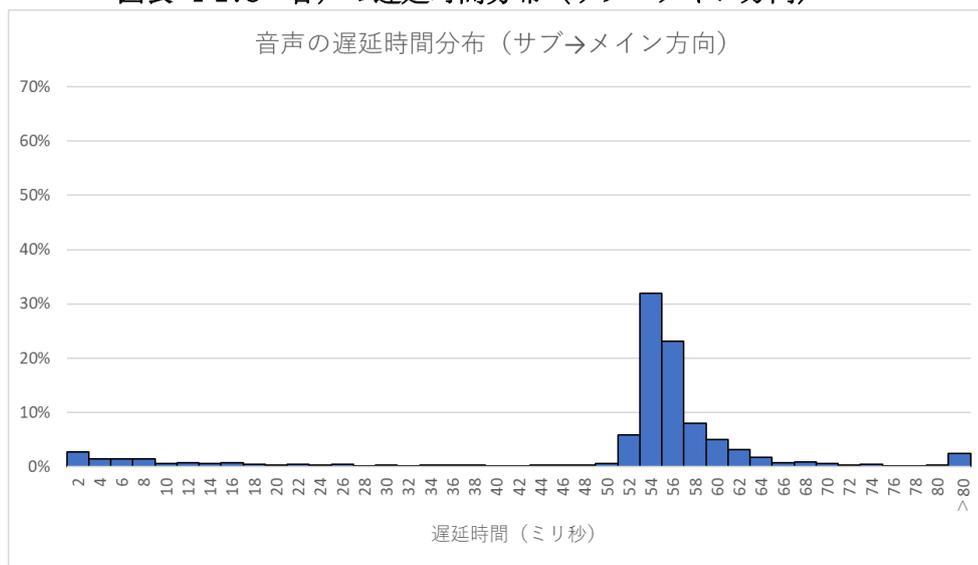
向（アップリンク方向）の方が、遅延時間、ジッタ共に大きくなる

次に音声の遅延時間、ジッタ計測結果を示す。

図表 4-177 音声の遅延時間分布（メイン→サブ方向）



図表 4-178 音声の遅延時間分布（サブ→メイン方向）



図表 4-179 音声の平均遅延時間とジッタ

(単位 ミリ秒)	メイン→サブ方向	サブ→メイン方向
平均遅延時間	31.28	50.19
標準偏差 (ジッタ)	9.83	17.15

ここまでの計測結果から以下の点が考察される。

第一に、L5G のメイン→サブ方向（ダウンリンク方向）であれば、遠隔同期演奏がある程

度可能であるという点である。音声の遅延時間計測において、平均遅延時間は有線 LAN 使用時の 20.58msec に対し、ローカル 5G 使用時は 31.28msec となった。同期演奏に関する評価としては別稿論文にて「30msec 以上の遅延だと認知され、50msec 以上の遅延だと困難」という評価があり、遅延は認知されるものの音楽セッションがある程度可能な範囲におさまっている。(参考論文：西堀佑・多田幸生・曾根卓朗著「遅延のある演奏系での遅延の認知に関する実験とその考察」(2003) URL: <https://ci.nii.ac.jp/naid/110002913434>) これは前項の演奏者評価において、サブ側の部屋のアーティストが高評価だったこととも合致している。また遅延時間のヒストグラムを参照するとダウンリンク方向の遅延時間は 30msec 半ばでばらつきも少なく、標準偏差も小さい。安定性の面からみても概ね許容範囲を確保できると実証できた。

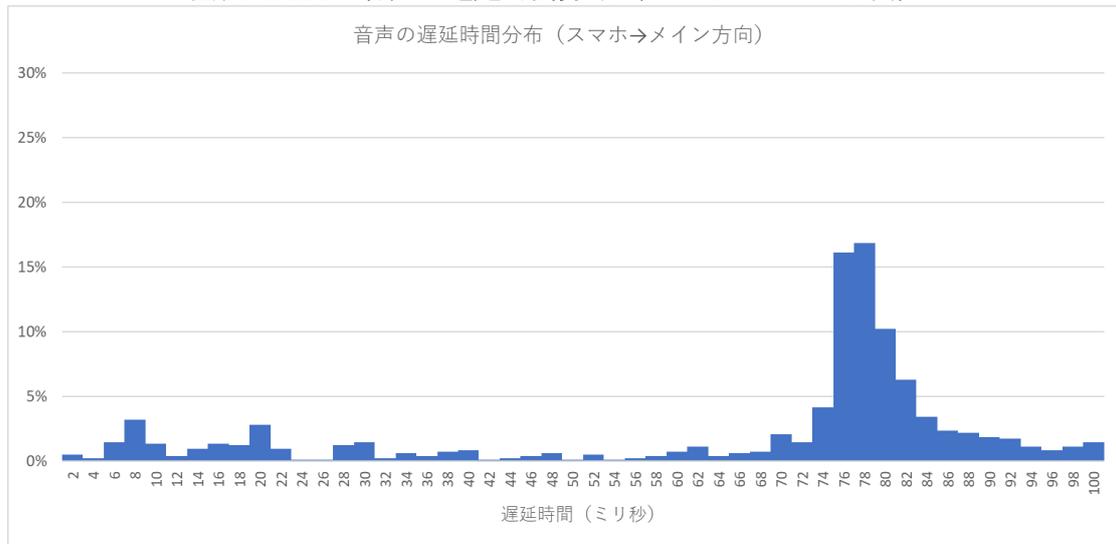
一方、サブ→メイン方向（アップリンク方向）においては、平均遅延時間が 50.19msec と大きく、80msec を超える大きな遅延も 2.4% も発生していた。また上図のヒストグラムや標準偏差を見て分かるようにジッタも大きい。前項の演奏者評価でもメイン部屋のアーティストの評価は低く、遅延の揺らぎの指摘が多かったこととも合致しており、演奏にも影響していたことが裏付けられる。

本実証でのローカル 5G の通信方式は、アップリンク方向の通信を重視して準同期パターン・TDD3 を適用した、アップリンク方向の通信を重視速度および安定性を確保した。しかしそれでもアップリンク方向の遅延時間は目標に達しなかった結果となった。原因としては端末や基地局の本実証を実施した空間が一般的な会議室クラスの狭い空間であったことから、端末及び機器の性能、端末及び移動局の配置や通信、距離の問題、使用環境など端末性能の違いなど様々な要因が考えられる。それについては技術検証の項に説明を譲るが、遠隔同期演奏アプリケーションを安定的に運用するためには更なるネットワーク・システムの改善が必要と考えられる。

今回はメイン側の部屋は有線 LAN で接続した。もしこれもローカル 5G 接続して両部屋ともローカル 5G 化をした場合には、片方から出た音はローカル 5G のアップリンクとダウンリンクを 1 回ずつ通って相手の部屋に届くことになる。そのため遅延時間は今回の結果よりも大きくなり、セッションが成立しなくなる。SYNCROOM は最大 5 部屋まで接続できるようになっているが、現状ではローカル 5G を 2 回通らないようにローカル 5G を使用する部屋を 5 部屋のうち 1 部屋に限定する必要がある。将来的には何部屋をローカル 5G 化してもセッションに耐えうるようなネットワークが望まれる。

最後に、ローカル 5G 対応スマートフォン (FCNT 製) で SYNCROOM を使用した場合の結果を掲載する。ローカル 5G スマホを使用した場合はネットワーク部分の遅延を計測できないため、音声の遅延のみを計測した。

図表 4-180 音声の遅延時間分布（スマホ→メイン方向）



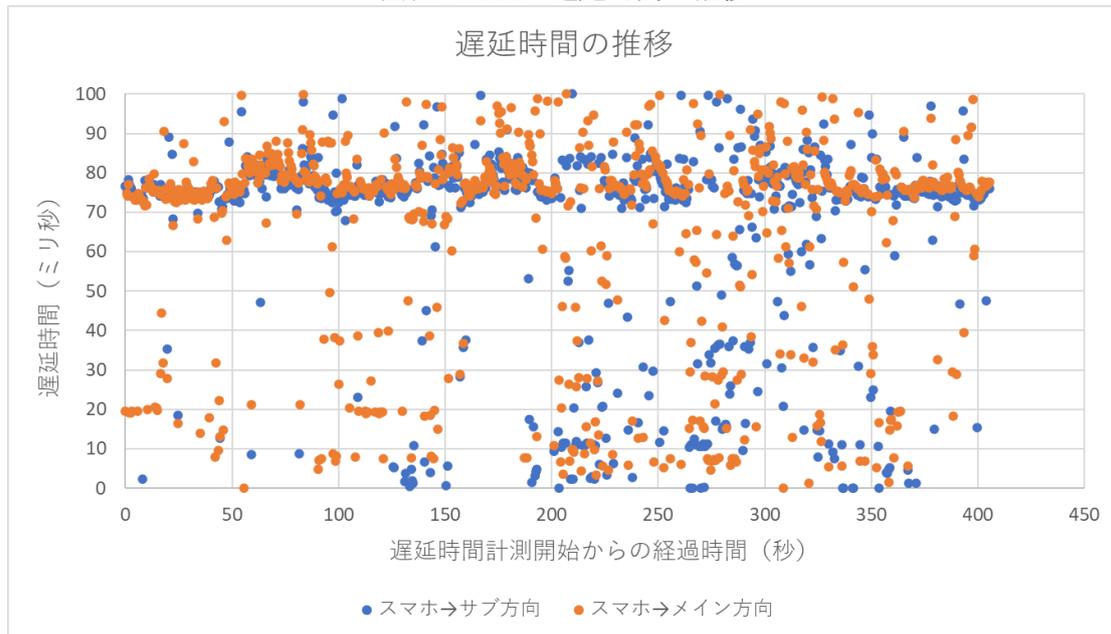
図表 4-181 音声の平均遅延時間とジッタ

(単位 ミリ秒)	スマホ→サブ方向	スマホ→メイン方向
平均遅延時間	66.01	65.38
標準偏差 (ジッタ)	24.6	25.69

スマホ→サブ方向、スマホ→メイン方向ともにアップリンク方向の通信となるため、遅延時間、ジッタ共に大きな値になった。同じアップリンク方向の遅延でも、PCを使用した場合よりも大きくなっているため、この差は使用した機器の性能差によるものと推測される。

平均遅延時間はおよそ 66msec となっているが、ヒストグラムを見れば分かるように、実際の遅延は 70msec を超えていることが多かった。これは 4.4.3.2 で述べたようにスマートフォンを使用した場合には遅延時間の計測結果にノイズが入り、遅延時間の短い誤った計測結果が平均値を下げてしまったためと考えられる。ここで参考に遅延時間の時間推移の図を掲載する。ノイズが入って遅延時間の計測結果がかなり乱れていることが分かる。

図表 4-182 遅延時間の推移



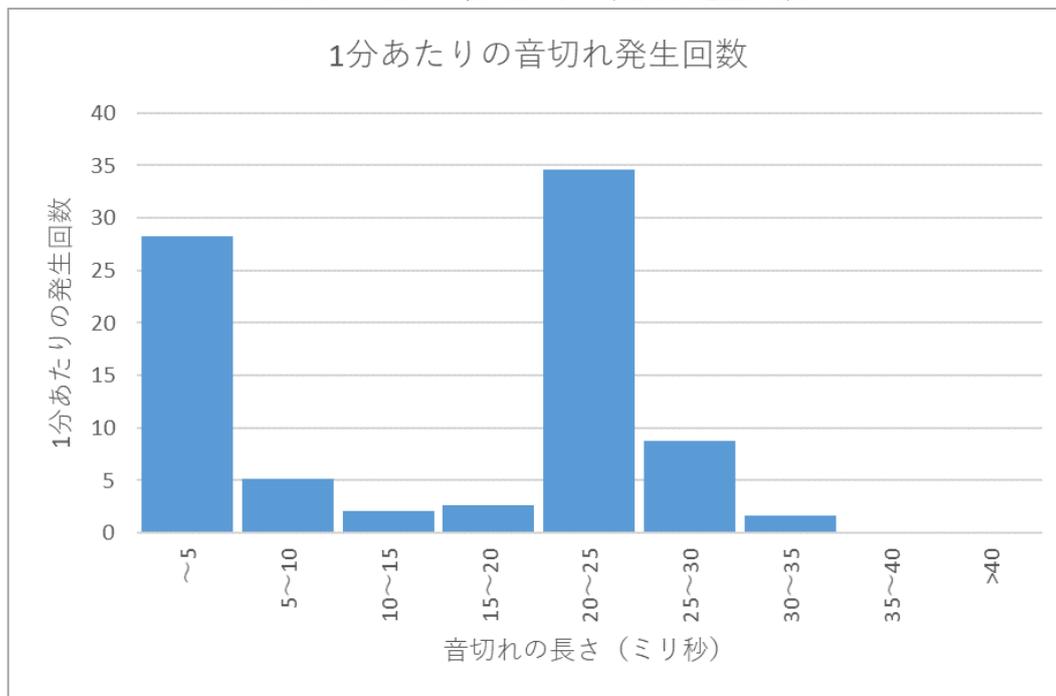
ここから先は図からの推測にはなるが、おそらく遅延時間 70msec 以下の測定結果はおそらくノイズで、実際の遅延時間は 70msec 中盤で推移したと想像できる。

### ・音切れの測定と評価

ローカル 5G 使用時にどれくらいの音切れが発生するかを測定した。その結果、音切れが発生したのはローカル 5G 使用時のアップリンク方向のみで、有線 LAN 使用時とローカル 5G 使用時のダウンリンク方向では音切れは発生しなかった。

音切れが発生したローカル 5G のアップリンク方向（サブ→メイン方向）の音声が、どれくらいの頻度で、どれくらいの時間音が途切れたかを下図に示す。

図表 4-183 1分あたりの音切れ発生回数



図表 4-184 音切れの長さ と 1分あたり発生回数

音切れの長さ (最長)	39.29 msec
音切れの長さ (平均)	14.76 msec
1分あたりの音切れ発生回数	83.3 回

1分間あたりの音切れの発生回数は 83.3 回で、およそ 0.7 秒に 1 回発生していることになる。うち 5msec 以下の非常に短い音切れが全体のおよそ 1/3 を占めていた。音切れの長さが演奏に与える影響を定量的に評価することは難しいが、おそらく 5msec 以下くらいの音切れであれば演奏上それほど問題にはならないと思われる。最長の音切れでも 40msec 程度で、ただちに演奏が破綻するような（数 100msec を超えるような）音切れは発生しなかった。

ただ、音切れの発生はたとえ短いものであっても演奏者に不快感をもたらすことは確実に、ダウンリンク方向では 1 回も音切れが発生していないことから、アップリンク方向でもダウンリンク方向と同じように音切れが全く発生しないことが望まれる。

#### 4.4.3.3 運用検証～B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム～

##### (1) 評価・検証項目～B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム～

本実証で検討する「施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」は、ローカル 5G 及び SYNCROOM に対応した音楽機器が必要となるため、その影響が生じ得る下記点について評価・検証を行った。

図表 4-185 運用検証における評価・検証項目

対象	評価・検証項目
①施設管理者・PA 業者	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 有線 LAN・WiFi と比較した場合の遠隔演奏準備に係る業務フローの変化</li> </ul>
②演奏者	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SYNCROOM という技術や利用方法への理解や対応</li> </ul>
③通信設備業者 (JTOWER・NEC ネットエスアイ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● オーディオ伝送に特化した準同期、遅延調整、特定パケット・特定機器の優先調停などといった機器設定への対応</li> </ul>
④技術 (SYNCROOM) 提供者 (ヤマハ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SYNCROOM のソフトウェアの機能を調整、スマートフォンの特定デバイスに依存したオーディオ処理の課題への対応</li> </ul>

## (2) 評価・検証方法～B-1.施設内2地点での遠隔同期演奏システム～

前述の評価・検証項目に基づき、ヒアリング調査を行い、保守・運用に係る課題や必要な対策の検討等、評価・検証を行った。

図表 4-186 運用検証における評価・検証の方向性

対象	評価・検証の方向性
①施設管理者・PA 業者	<ul style="list-style-type: none"><li>● 有線・WiFi と比較した場合の遠隔演奏準備に係る業務フローの変化する部分の検討を行う。</li></ul>
②演奏者	<ul style="list-style-type: none"><li>● SYNCROOM を用い、問題なく演奏ができるよう、ヤマハよりサポート（マニュアルの提供又は研修、説明会）を行い、理解度を確認する。</li></ul>
③通信設備業者 (JTOWER・NEC ネットエスアイ)	<ul style="list-style-type: none"><li>● オーディオ伝送に特化した通信機器の設定調整が必要な部分の検討を行う。</li></ul>
④技術 (SYNCROOM) 提供者 (ヤマハ)	<ul style="list-style-type: none"><li>● 遠隔同期演奏に当たり、ソフトウェアの機能調整、利便性向上が必要な部分があれば検討を行う。</li></ul>

### (3) 実証結果及び考察～B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム～

①施設管理者、イベント業者、PA 業者からのアンケートおよびインタビュー結果を次の表に整理した。本実証計画時の想定では、有線 LAN とローカル 5 G との比較において、ケーブルの引き回しなどの設置面のメリットを想定していたが、これは概ね想定通りであった。有線 LAN の場合、実際に設営を開始してからケーブル長が足りないといったアクセシビリティがあり得るが、そうした不安が解消される点は機材準備の観点ではメリットとなる。一方、遠隔同期演奏を利用したライブイベントの実現においては、複数地点それぞれの音響設備の設置とコントロールの実現には課題が多数あることが判明した。機材、人員の増加だけでなく、複数の地点それぞれに最適な音響状態を作り出すためには、各会場の音量レベルを把握する方法が必要である。そのため演奏者の楽器音だけではなく、会場全体の音をもう一方の会場に伝えるためのモニタマイクを設置するなど、運用面の工夫が必要である。

図表 4-187 運用上の課題

	有線/ローカル 5 G の運用上の課題	遠隔同期演奏自体の運用上の課題
施設管理者	有線/ローカル 5 G とでの運用面での違いはない	音は遅延が感じられないが、映像の遅延が課題
イベント業者	有線/ローカル 5 G とでの運用面での違いはない	声援などを返すために、演奏者と観客席を遠隔同期する場合の音の制御がほしい
PA 業者	ローカル 5 G (無線) になることでケーブルの引き回しは不要になり、会場内での配線の養生などしなくて済む 現場でケーブルの長さが足りない、断線する等の不安がなくなる	複数地点のそれぞれに音響機材と人員の配置が必要になる 2 会場間での音響、演出調整を行う全体監督とコミュニケーションのツールが別途必要

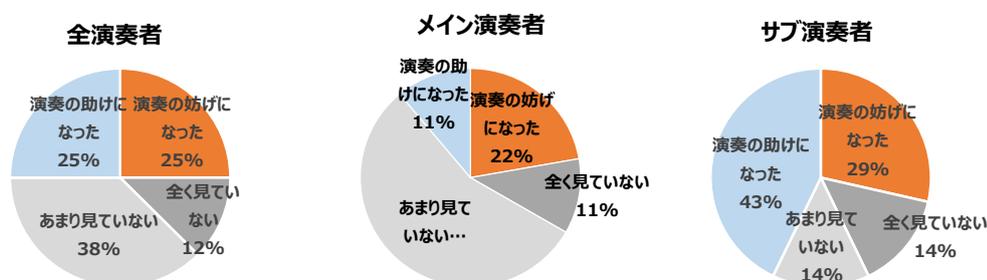
②演奏者の遠隔同期演奏への理解度について、アンケート及びインタビューの結果だが、今回選定した 4 組中 2 組は SYNCROOM の利用経験があることが判明した。打ち合わせやリハーサルなどでの利用が進んでいることが確認できた。実証では 2 部屋に別れてセッティングから開始していただいたが、4 組とも特筆すべき躓き箇所もなく、すぐ演奏を合わせることが出来た。このことから、プロミュージシャンであれば初めてであっても遠隔同期演奏が可能であることが実証できたと考えられる。ただし、インタビューにおいて「プロだからこそ遅延をカバーした演奏が可能であり、アマチュアには難しいのでは」という意見が多く見られた。従ってセミプロ、アマチュアの演奏会に展開するには更なる改善が必要と推測されるが、本実証の目的である「プロのライブ演奏シーンへの新たな価値提案」としては十分に達成されたと考えられる。

③通信業者である JTOWER・NEC ネットエスアイとは、SYNCROOM の環境仕様を満たすネットワーク構成実現が課題となった。SYNCROOM の仕様として次の(1)(2)が必須である。ローカル 5 G を使った遠隔同期演奏の運用展開のためには、以下の条件を簡便に実現できることが基地局・UE 側のシステムにも求められる。

- (1)ユーザー認証のための外部インターネット接続の確保
- (2)超低遅延を実現する P2P 通信のための内部ネットワーク構成の実現
  - (2-a)P2P 通信に対応していない基地局の仕様回避のための VPN 設定
  - (2-b)NAT 越えのための非多段ルーター構成のシステム構成

④技術提供者への課題としては、映像伝送の実現である。本実証では映像の演奏への影響度合いを検証するため、映像のみ Zoom を使用し、音声とのズレがある前提で実施した。そのアンケート結果を下表にまとめる。半数の演奏者は映像情報を利用していないことがわかる。また、通信環境の異なるメイン、サブの 2 室において、映像利用の状況が異なっている。メイン会場側では、映像情報は利用されず、インタビュー結果も踏まえると、音に集中して演奏していた様子を窺い知ることができる。一方で、サブ会場側は、相対的には映像情報を活用していることがわかる。サブ側演奏者のインタビューでは、メイン側演奏者の演奏音でタイミング合わせに苦労している様子が伝わったため、映像を頼りに弾き始めやエンディングのタイミングを計ったことがわかっている。即ち、演奏状況が万全でない時の補助情報として、映像活用が必要となる場合もある。この場合、映像配信遅れを最小限とするために一部情報を優先的に圧縮することも考えられるが、演奏支援情報として何を選択すべきかは今後の課題となる。

図表 4-188 演奏者へのアンケート結果（映像伝送について）



前述の運用面の評価・検証結果を踏まえ、①施設管理者・PA 業者、③通信設備業者それぞれに対する SYNCROOM 使用時の設営・設定方法を整備が必要となる。

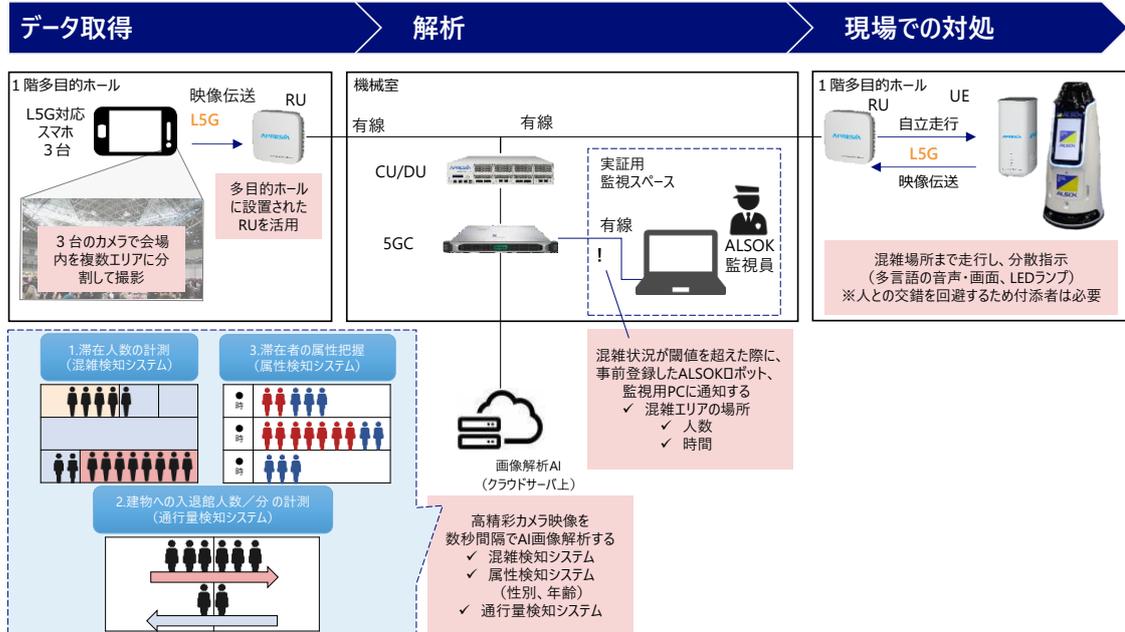
また、①施設管理者・PA 業者についてはバンド演奏を想定した基本的な PA システム構成案を作成し例示する必要がある。

上記については次項以降の実装性に関する検証にて運用案として示す。

#### 4.4.4 ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

ノース1階多目的ホールにおいて、シナリオ遂行型の実証を行った。

図表 4-189 「A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム」の実証概要



### 【実証1：混雑検知から混雑アナウンスまで一気通貫での実証】

A-2の混雑検知システムを用いてリアルタイムの混雑検知を実施し、結果として一定閾値以上の混雑が検知された場合に、システム連携によりロボット管理PCを経由し、A-1で用いた4Kカメラ搭載のロボットがホームポジションから分散指示を出すべき現場に自律走行で向かい、事前録音のアナウンス（多言語）やロボット搭載のサイネージ（多言語）、LEDランプの点滅により、来場者に対して分散指示を出し、混雑の解消を促す。分散指示の発令後は、再度ホームポジションに戻る。この一連の流れを行った。

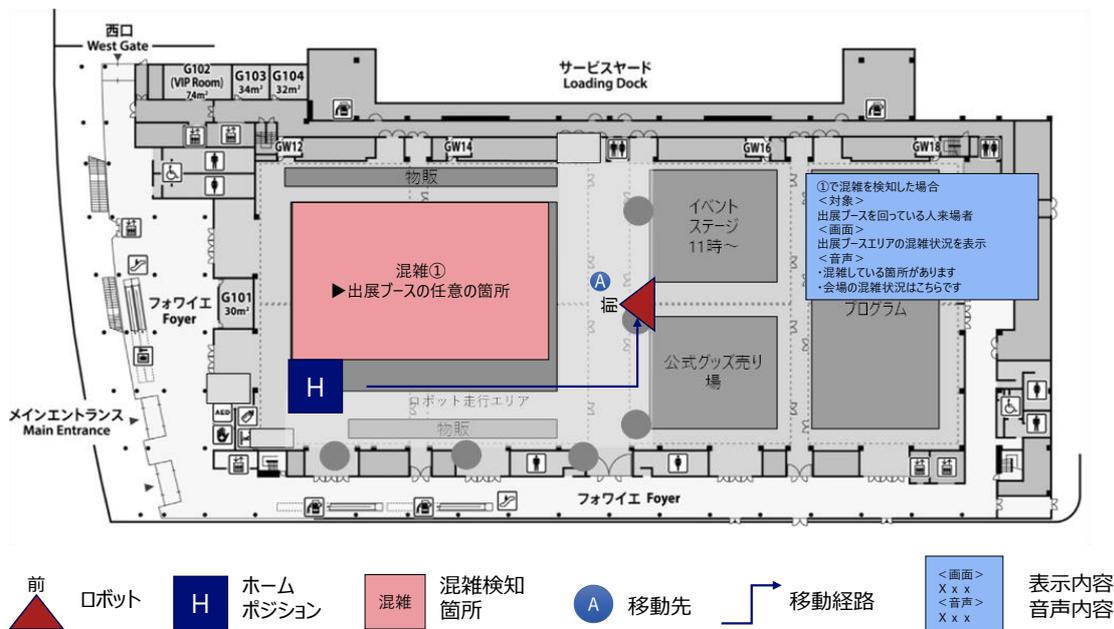
< 具体の流れ >

- ① 会場の混雑状況の自動把握
- ② その結果に自動連動する形でのロボットへのアナウンス実施箇所への走行指示伝達
- ③ ロボットの自律走行によるアナウンス実施箇所への移動
- ④ 混雑箇所への移動回避を促すアナウンスの発信

また、分散指示を出すべき現場については、1階大会場内の中央廊下の中央部分とした。図面上下方向に往来する来場者が多いことから、この来場者に対して、左部の出展ブースエリアの混雑状況を知らせることを意図した。

本実証については、お城 EXPO2021 本番中である12/18（土）13:00～14:30において行うこととし、加えて、この1.5時間の中に滞留人数が一定閾値を超過しないことも見越して12/17（金）の夕刻に、模擬的に閾値を超過させることによる、主には機能検証観点での実証についても実施することとした。

図表 4-190 実証の実施エリア（実証1：混雑検知から混雑アナウンスまで一気通貫での実証）

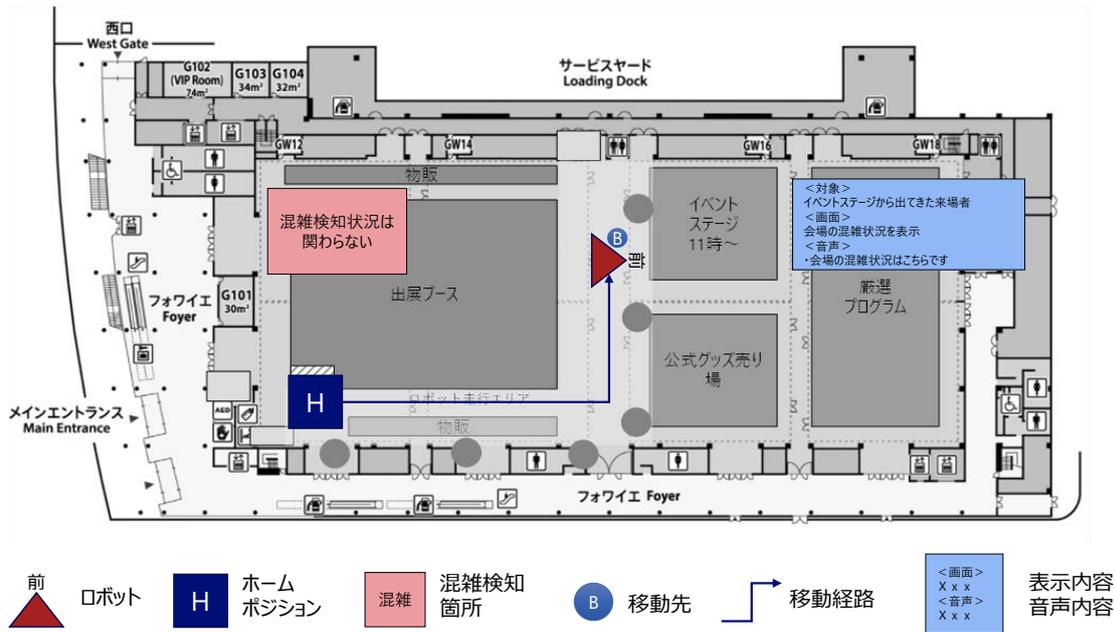


## 【実証2：イベント終了時アナウンスの実証】

イベントステージ終了後の出場口付近へ（その時点での混雑状況によらず）ロボットを走行・待機させて、会場内の混雑状況についてのアナウンス発信を行う、いわば「④混雑箇所への移動回避を促すアナウンスの発信」に特化させた実証についても実施した。

なお、ターゲットイベントについては、12/18（土）の15：20～忍たま乱太郎キャラクターショー、及び16：00～グレート家康公「葵」武将隊の2つに設定し、それぞれのイベントが終了するタイミングを見計らって実証を行うこととした。

図表 4-191 実証の実施エリア（実証2：イベント終了時アナウンスの実証）



図表 4-192 ターゲットイベント（実証2：イベント終了時アナウンスの実証）

イベントステージのスケジュール

12月18日（土）	
時間	イベント名
9：40～	御城印書家こーたによる「お城EXPOオープニング書道パフォーマンス」
10：50～	「忍たま乱太郎キャラクターショー『忍たま七変化！の段』」（NHKエンタープライズ）
11：30～	「歌舞姫withミナモトLIVE」（戦国のメインステージ岐阜）
12：00～	「松江は武者のまち with しまねっこ」（松江観光協会）
12：30～	「名古屋おもてなし武将隊の」（名古屋城）
13：30～	「R4全国山城サミット 恵那大会PRイベント」（岐阜・恵那の山城『織田VS武田の激戦の地』）
14：00～	「現代版組踊『肝高の阿麻和利』」（沖縄県うるま市）
14：30～	「朝倉ゆめまる」（ふくい城巡りPR隊）
15：20～	「忍たま乱太郎キャラクターショー『忍たま七変化！の段』」（NHKエンタープライズ）★
16：00～	「グレート家康公「葵」武将隊」（愛知のお城観光推進協議会）★
16：30～	「尼崎城三人衆 参上」（大阪・尼崎・岸和田 参城めぐりキャンペーン）(☆)
17：00～	「ひこにゃん」（国宝五城・彦根城・佐和山城）
17：30～	「上州真田武将隊/戦国茶屋娘」（真田街道推進機構）

15：30～17：00 ②イベントステージ開催に合わせた混雑案内  
 ✓ ★がターゲットイベント（イベント終了時にあわせてロボットサイネージで案内）  
 ⇒15：50頃、16：20頃が目安。（☆は、予備扱い）

#### 4.4.4.1 効果検証～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

##### 【実証1：混雑検知から混雑アナウンスまで一気通貫での実証】

お城 EXPO2021 本番中である 12/18（土）13：00～14：30 においては、混雑閾値を超過することがなかったため、この時間帯における実証については実施しなかった。なお、当該時間帯において模擬的な閾値を設定のうえ、一連の実証を行うことも事前想定し、コンソーシアムとして検討を行ったが、混雑からは程遠い状況下において混雑アナウンスを発信することで、お城 EXPO2021 の来場者の混乱を来たすことは避けなければいけなかったため、この案についても行わなかった。

代わりとして、12/17（金）夕刻に、翌日より開始される本番セッティングの済んだ会場内において、模擬的な閾値を設定のうえ、正常に挙動するかどうかの実証を行った。ただし、来場者がいない中での実証であったため、本効果検証項においては特段の考察は記載しない。

##### 【実証2：イベント終了時アナウンスの実証】

12/18（土）の 15：20～忍たま乱太郎キャラクターショー、及び 16：00～グレート家康公「葵」武将隊、それぞれのイベントが終了するタイミングを見計らって実証を行った。以下、本実証の効果検証の結果を記載した。

#### (1) 評価・検証項目～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

本システムの実装目的は、会場内の混雑緩和の実現である。そこで、本シナリオの遂行を踏まえ、混雑エリアにいる来場者が反応・移動し（実証 2-1）、また施設管理者及びイベント主催者視点からみた本システムの有用性（実証 2-2）について検証した。

図表 4-193 効果検証事項

項目	効果検証事項
実証 2-1	【来場者視点】 混雑エリアにいる来場者が、ロボットアナウンスによってどのように反応し、行動したか。
実証 2-2	【施設管理者視点、イベント主催者視点】 施設管理者、イベント主催者として、本システムを導入することの有用性、懸念点についてどのように考えるか。

## (2) 評価・検証方法～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

各項目についての評価・検証方法を示す。

### 【実証 2-1】

来場者視点については、イベントエリアの出場口付近に事前にロボットを移動・配置させ、ロボット前面のサイネージに、場内の混雑状況及びイベントスケジュールを表示しつつ、音声でのアナウンス（「拙者が混雑具合を見ているので、混雑していないエリアを、ご覧ください。／I am watching how crowded each area is. Please avoid crowded areas and enjoy the expo.」を行うことによる、来場者の反応・動きを目視により観測・考察した。

### 【実証 2-2】

実証 2-2 の結果を踏まえて、施設管理者かつ、イベント主催者であるパシフィコ横浜担当者へのヒアリングや視察者へのアンケートを行い、本システムを導入することの有用性、懸念点等を考察した。

### (3) 実証結果及び考察～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

#### 【実証 2-1】

来場者がロボットのアナウンスによって、何人が、どのような反応を示したかを観測、集計し、ロボットによる混雑検知アナウンスの効果を評価、整理した。

図表 4-194 検証項目

観測項目	
1	反応を示した（おおよその）人数
2	反応した来場者の行動（反応なし、離散する、離散し戻る等）の記録

#### 1.反応を示した人数について

イベントステージエリアから出てきて、ロボットの画面に反応した人の数は以下の通りであった。

- ①15：20～忍たま乱太郎キャラクターショー後（16時頃）：61人
- ②16：00～グレート家康公「葵」 武将隊後（16時30分頃）：63人

それぞれのイベントへの来場者数は、●●人、●●人（秘匿）であったことから、概ね●割程度の来場者がロボットの画面に反応したといえる。

#### 2.反応した来場者の行動（反応なし、離散する、離散し戻る等）の記録について

来場者の反応としては、以下が挙げられた。

- ・ 子供の視線に入りやすく、子供が興味を示すことが多い。
- ・ 画面に混雑情報とイベントステージのスケジュールの2つを載せているため、表示が小さく、情報が伝わっていない可能性があった。
- ・ ロボットに気付く人はいるが、一瞥して素通りが多いので、画面の見栄えやアナウンス音量を工夫して興味を引くよう改善が必要であった。
- ・ なお、ロボット動作に動きがある状況のほうが、来場者の注目を引き付ける効果が高いと判明した。
- ・ 混雑と判定する閾値を設定し、混雑状況に合わせた動き方について検討する余地がある。

#### 【実証 2-2】

パシフィコ横浜担当者へのヒアリング結果等に基づき、施設管理者視点、イベント主催者視点での有用性を把握し、改善点等を含め考察した。

会場入口1箇所のサイネージでご覧いただくよりも、動くサイネージとして適材適所動けるロボットと連携することによって、来場者と混雑検知情報との接点が増えるため、混雑緩和により貢献できるものと考えられる。なお、施設として許容し得る最大来場者数を混雑閾値として設定してしまうと、その状況下の会場において、ロボットを走行させることは現実的ではないことから、数割程度差し引いた来場者数をロボットの移動の閾値として別途設定することにより、混雑発生前にロボットの移動を開始し、混雑緩和の働きかけを可能とする、といった考えを持つことが望ましいといえる。

また、ロボット前面のサイネージにより混雑マップが表示されることにより、密状態を避けた行動ができるものと考えられ、この点は一定の効果が認められる。一方で、ロボッ

ト前面のサイネージに表示される混雑マップが小さく、情報発信効果がその分弱められていたと考えられることから、ロボット前面のサイネージのサイズに合わせた画面デザインを検討する必要がある。

イベント主催者の観点からは、サイネージを複数個所に設置する必要がなく、機器設備コストの軽減が図られる、人的リソースを使った混雑緩和の案内を行う必要がなくなる、というメリットが効果として考えられる。

#### 4.4.4.2 機能検証～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

本機能検証においては、「A-2 混雑検知システム」、及び「A-1 遠隔ロボット監視システム」にて構築するそれぞれのシステムの連携に関する検証を行う。なお、それぞれのシステムの機能検証については、4.4.1.2 目及び 4.4.2.2 目にて前述した。

本機能検証を通じ、当該基本機能の連携に関する検証を行い、次年度以降へ追加実装すべき機能と実現性を整理するとともに、本ソリューションが備えるべき機能の将来像について考察した。

##### (1) 評価・検証項目～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

システムの連携に関わる次の機能について、評価・検証を行った。

まず、混雑検知システムからロボット監視システムへの連携が適切に行われるかを確認する。連携が適切に行われない場合は、混雑検知システムにおける指示の送信、ロボット監視 PC における指示の受信、ロボット監視 PC からロボットへの指示の送信、ロボットの指示の受信がそれぞれ適切に機能したかを確認し、機能上の課題があればその改善方法について検討した。

ロボットの自律走行による移動においては、予め指定した場所への移動が行われるかを確認する。また、閾値を超えるエリアが変わった場合に移動先を適切に変更できるかを検証する。さらにロボットが適切なアナウンス等を行えるか、アナウンス終了後にホームポジションまで戻れるかについても機能検証を行う。適切に機能しない場合には要因について分析を行い、改善案を検討した。

図表 4-195 機能検証事項

No	評価・検証項目（実証1：混雑検知から混雑アナウンスまで一貫通貫での実証に基づく）
1	混雑検知システムからのトリガをもととした、ロボット監視システムへの連携機能 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 混雑検知システムで特定エリア（出展ブース）の人数が閾値を超えた場合に混雑検知システムからロボット移動の指示を送信したか</li> <li>✓ ロボット監視用 PC において、ロボット移動の指示を受信したか</li> <li>✓ ロボット側で指示を受信したか</li> </ul>
2	ロボットの自律走行によるアナウンス対象エリアへの移動 (閾値を超えるエリアに応じた、ロボットの移動先変更が機能するかどうか)
3	ロボットによる音アナウンス（日・英）
4	ロボットアナウンス終了後のホームポジションへの自動帰還

・ロボット配置

図表 4-196 実証の実施エリア（機能検証）



(2) 評価・検証方法～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

1) 検証方法

前項で定義した各機能について、効果検証で実施するシナリオ検証と並行して各機能が正常に作動するかを目視で確認、評価するとともに、信号の受信等に関しては、タイムスタンプの確認、各動作のレイテンシーの把握により、正常に機能が作動しなかった要因を分析、把握した。

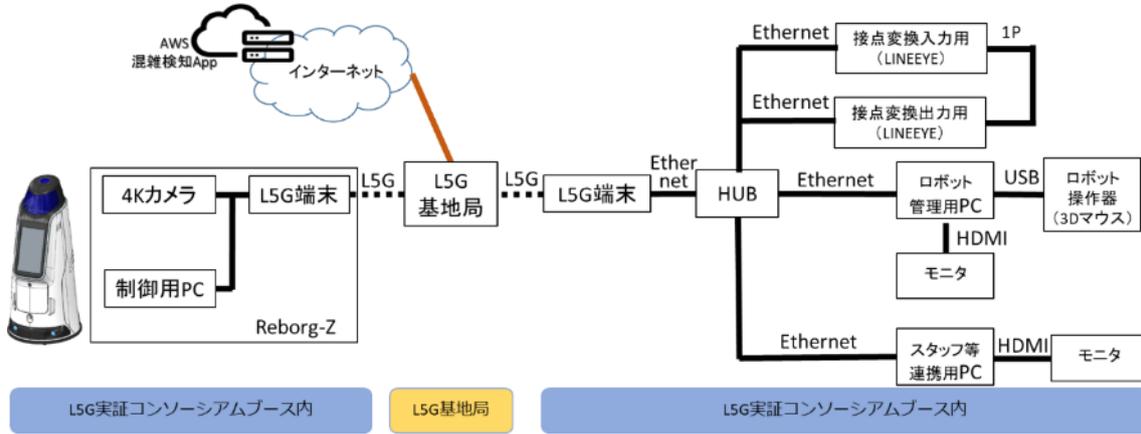
図表 4-197 機能検証の評価・検証方法

No	機能検証事項	評価・検証方法
1	混雑検知システムからのトリガをもととした、ロボット監視システムへの連携機能 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 混雑検知システムで特定エリア（出展ブース）の人数が閾値を超えた場合に混雑検知システムからロボット移動の指示を送信したか</li> <li>✓ ロボット監視用 PC において、ロボット移動の指示を受信したか</li> <li>✓ ロボット側で指示を受信したか</li> </ul>	信号の送受信に係るログを各システム内において確認する。 タイムスタンプを確認すること等により、各動作のレイテンシーについて把握する。
2	ロボットの自律走行によるアナウンス対象エリアへの移動 （閾値を超えるエリアに応じた、ロボットの移動先変更が機能するかどうか）	目視によりロボットが適切に目的地まで移動するかどうかを確認する。 タイムスタンプを確認すること等により、各動作のレイテンシーについて把握する。
3	ロボットによる音アナウンス（日・英）	適切な音アナウンスが発せられたか、聞き取れる音声であったか等を耳で確認する。
4	ロボットアナウンス終了後のホームポジションへの自動帰還	目視によりロボットが適切にホームポジションまで移動するかどうかを確認する。

## 2) システム構成

ロボット及び混雑連携システムの連携構成、ロボット設定内容を次の通り示す。

図表 4-198 ロボットシステム構成図



【実証1：混雑検知から混雑アナウンスまで一気通貫での実証】

図表 4-199 ロボット設定（実証1）



イベントステージ付近に立哨したロボットが出展ブースの混雑状況をお知らせする画面です。混雑結果は2つのエリアを表示します。

No	設定項目	設定内容
1	タッチ操作	無し
2	人接近	無し
3	音声認識	無し
4	時間経過	無し
5	BGM	無し
6	音声	男性音声(日・英) 「拙者が混雑具合を見ているので、混雑していないエリアを、ご覧くだされ。 I am watching how crowded each area is. Please avoid crowded areas and enjoy the expo.」
7	電飾	LED:青(点灯)／前照灯:消灯／後方灯:消灯
8	その他	—

注)コンテンツを透明化して背面にあらかじめ表示しておいたNRI混雑検知システムの画像を表示します。  
透明化するタイミングおよび音声出力タイミングは立哨ポイントで立哨を開始したタイミングです。  
注)デスクトップの画面にあらかじめ背景を表示しておきます。

※ただし、実証時には混雑検知システムにおいて混雑閾値を超過しなかったため実際の連動動作は行われなかった。以下は疑似的に混雑検知システムよりロボットへのトリガを与えた際のロボットの様子である。

図表 4-200 ロボット設定（実証1）



【実証2：イベント終了時アナウンスの実証】

図表 4-201 ロボット設定（実証2）



物販エリア付近に立哨したロボットが物販エリアの混雑状況とイベントの開催情報をお知らせする画面です。

No	設定項目	設定内容
1	タッチ操作	無し
2	人接近	無し
3	音声認識	無し
4	時間経過	無し
5	BGM	無し
6	音声	男声音声(日・英) 「拙者が混雑具合を見ているので、混雑していないエリアを、ご覧ください。 ※2秒インターバル※ 拙者の示すイベントスケジュールを、しかと見定めよ。I am watching how crowded each area is. Please avoid crowded areas and enjoy the expo. ※2秒インターバル※ Please look closely. This is the event schedule.」
7	電飾	LED:青(点灯)/前照灯:消灯/後方灯:消灯
8	その他	—

注1)コンテンツを透明化して背面にあらかじめ表示しておいたNRI混雑検知システムの画像およびイベント情報を表示します。  
透明化するタイミングおよび音声出カタイミグは立哨ポイントで立哨を開始したタイミングです。

図表 4-202 実証時の様子



### 3) 実証結果及び考察～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

機能検証項目のそれぞれについて、実証において正常に機能したかの評価を行う。正常に機能しなかった場合には、その原因について分析を行った。

図表 4-203 ロボットによる混雑アナウンスシステムの機能検証の方法と結果

No	機能検証事項	評価・検証方法	結果
1	<p>混雑検知システムからのトリガをもととした、ロボット監視システムへの連携機能</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 混雑検知システムで特定エリア(出展ブース)の人数が閾値を超えた場合に混雑検知システムからロボット移動の指示を送信したか</li> <li>✓ ロボット監視用 PC において、ロボット移動の指示を受信したか</li> <li>✓ ロボット側で指示を受信したか</li> </ul>	<p>信号の送受信に係るログを各システム内において確認する。</p> <p>タイムスタンプを確認すること等により、各動作のレイテンシーについて把握する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 実証期間中に特定エリアの人数が閾値を超えることはなかった。</li> <li>• 疑似的に混雑検知 AWS から混雑を検知した信号を送信することでロボット監視システムとの連携を確認した。</li> <li>• その結果、混雑検知 AWS からロボット監視システム(接点変換入力用)に混雑検知結果が連携されるまでにかかった時間は 81ms であった。</li> <li>• ロボット監視用 PC(接点変換出力用)から出力されたロボット移動の指示をロボットが受信するまでにかかった時間は 837ms であった。</li> </ul>
2	<p>ロボットの自律走行によるアナウンス対象エリアへの移動</p> <p>(閾値を超えるエリアに応じた、ロボットの移動先変更が機能するかどうか)</p>	<p>目視によりロボットが適切に目的地まで移動するかどうかを確認する。</p> <p>タイムスタンプを確認すること等により、各動作のレイテンシーについて把握する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 混雑検知 AWS からロボットが走行開始をするまでにかかった時間は 918ms であった。</li> </ul>
3	<p>ロボットによる音アナウンス(日・英)</p>	<p>適切な音アナウンスが発せられたか、聞き取れる音声であったか等を耳で確認する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 人混みの中の雑音が多い環境下でもアナウンスを聞き取ることができた。</li> </ul>
4	<p>ロボットアナウンス終了後のホームポジションへの自動帰還</p>	<p>目視によりロボットが適切にホームポジションまで移動するかどうかを確認する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 走行開始後、目的地まで移動を行いアナウンスを行った後、自動的にホームポジションまで帰還し充電装置にドッキングすることができた。</li> </ul>

本実証および効果検証における施設管理者、イベント主催者の意見を踏まえて、下表に例示するように次年度以降に追加実装すべき機能を抽出、整理する。また、そのそれぞれにおいて、実現可否・実現手段等について考察し本ソリューションの将来像として整理した。

図表 4-204 追加実装すべき機能の抽出結果の整理

No	実装すべき機能の抽出	実現可否・実現手段等
1	混雑検知の設定エリアと接点スイッチ信号の紐付けを現場でクイックに対応できることが必要である。	<ul style="list-style-type: none"> <li>実運用においては、混雑検知の設定エリアは直前で変更する可能性もあり、接点スイッチ信号との紐付けは、現地管理画面などで設定できることが望まれる。</li> </ul>
2	任意の地点において、一定の滞在人数を超過した場合、自動的に（間に監視員が介在することなく、）ロボットに対して混雑箇所への走行指示が伝達される。	<ul style="list-style-type: none"> <li>任意の地点（複数地点を想定）を予め想定することで対応可能。</li> <li>詳しくは混雑検知 AWS から複数の連携結果を受けられるように混雑検知 AWS およびロボットに新たに通信インターフェースを設ける必要がある。</li> </ul>
3	（視察者アンケート・中間報告有識者による意見） ロボットが、ホームポジションから、任意の混雑した地点に向けて、自律走行で移動する（※人混みの回避等の技術の運用も要する）。また、過度な混雑時にロボットの自動走行を行う必然性は無い場合も想定され、現実的な運用方法を実現する機能の実装。	<ul style="list-style-type: none"> <li>混雑したエリアに向かうためには混雑する前に予め混雑エリアで待機しておく方法がある。</li> <li>混雑検知 AWS の混雑閾値を 2 段階（例：1. イエロー（注意）、2. レッド（警告））に分けることで事前に混雑状況を察知できるような機能を設けておくことが必要である。そうすれば、ロボットが走行できない混雑状況に陥る前に混雑エリアに向かうことで混雑を回避することができると思われる。</li> <li>同様の技術により、混雑検知前や混雑時に会場外（フォワイエ等、会場外の別の場所）で混雑アナウンスを行うことにより対応が可能となる。</li> </ul>
4	ロボット画面に表示される画面は、来場者にとってわかりやすく設計する必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロボット画面の情報を通じて、来場者に対して混雑状況をわかりやすく伝える必要がある。視認性を高めるためには、画面サイズに応じたデザイン、インターフェース設計を講じる必要がある。</li> </ul>
5	（視察者アンケートによる意見） 遠隔の監視員と混雑箇所の来場者等との会話を行う、またはチャットボットによる自動応答との組み合わせ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロボットの既存機能であるインターホン機能を使用することですでに対応可能。</li> </ul>

#### 4.4.4.3 運用検証～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

本運用検証においては、2つのシステムの連携による混雑解消システムの実運用に資する保守・運用を想定し、その内容について検証を行う。各項目の内容の実施タイミング、実施にあたっての必要スキル等を整理し、施設管理者、イベント主催者、システム提供者のそれぞれの役割、実施タイミング等を運用フローとして整理する。あわせて、運用上の課題を抽出し、必要に応じてシステム改修等の解決手段についても検証し、実運用に資するシステム、およびその運用方法について考察、整理した。

##### (1) 評価・検証項目～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

実運用を想定し、各タイミングにおける運用フロー上必要な工程を整理し、それぞれについて下記の例のように、必要なスキル等についてそれぞれ評価・検討した。

図表 4-205 システム運用フローの整理に必要な検証項目

タイミング	工程	実施内容・必要スキル等
運用前の 事前設定	イベントの会場設計に合わせた混雑検知エリアの構築、イベントの来場者見込みに合わせた混雑閾値の設定	✓ イベント主催者によるイベント概要の整理が必要
	イベントの会場設計に合わせたロボットの走行ルートを設定	✓ 会場設営が完了後にロボットを使用したマップ取得および走行ルートの作成が必要
運用	ロボット走行エリアの設定・確保・調整	✓ 運用時には現場での対応が望ましい
	エラーが発生した際の対応	✓ エラー発生時には専門的な知識が必要

##### (2) 評価・検証方法～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

実運用を想定した工程のそれぞれについての考察と、施設管理者、施設利用者等へのヒアリング、ならびにシステム提供者、警備会社等を含めた意見交換を通じ、効率的かつ現実的な運用フローを整理する。また、各工程の実施にあたって課題がある場合には必要に応じてシステム改修等の解決手段についても検討した。

### (3) 実証結果及び考察～A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム～

上記の評価検証によって各工程の役割分担等を行い、本システムの実運用を想定した運用フロー案を整理するとともに、運用フロー上の課題となる点については、システム改修等の解決手段も含む改善方法について検討した。

図表 4-206 運用フロー案

タイミング	実施事項、留意事項
<p>営業フェーズ (連携ソリューションのサービスの提供方法案)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本連携ソリューションは、大規模施設での導入が望ましい。そのため、大型イベントホールや大型商業施設等に対し、本連携ソリューションについての導入に関して提案を行う必要がある。さらに必要に応じて、関係者（展示会・イベントであれば、イベント主催者等）に対しても同様に説明・提案を行う。</li> <li>・ 本連携ソリューションの導入スキームは、以下の2案が考えられる。①は管理業務の効率化の観点、②はサービス提供の観点といえる。</li> <li>・ 大型商業施設やイベント施設等が、施設の管理責任の一環として行う、混雑検知・混雑緩和の代替として、導入するのが一案。この場合は、施設側から月額・年額等で料金を徴収する。</li> <li>・ 大型商業施設やイベント施設等を対象とした場合、事前に施設側と基本契約を結んでおき、各テナントやイベント主催者のニーズに応じ、都度サービスを提供し、サービス対価として料金を徴収する方式が一案。</li> <li>・ なお、①②の別に関わらず、ALSOK と NRI との間において連携スキームの調整が必要となる。</li> <li>・ 利用者視点では、ALSOK ロボットの1オプションサービスもしくはNRI 混雑検知システムの1オプションという形態でのサービス提供となることが想定される。相互の契約形態および役割分担を明確にする必要あり</li> <li>・ ①の場合は初期設定したロボット移動経路および混雑緩和場所（目的地）を継続利用可能だが、②の場合は利用都度、移動経路および混雑緩和場所（目的地）の設定作業が必要となる。</li> <li>・ サービスの料金をいくらに設定するかを検討する。</li> </ul>
<p>導入各回の運用前ルーティンとして</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施設管理者やイベント主催者と事前協議のうえ、イベントの会場設計にあわせて、<u>混雑検知エリア</u>や<u>混雑検知の開始時刻・終了時刻</u>を調整・決定する必要がある。</li> <li>・ なお、会場内にセミナースペースなど、別途の入場人数管理を行っているスペースがある場合は、混雑検知エリアから除外することも考えられる。</li> <li>・ 施設管理者やイベント主催者と事前協議のうえ、<u>カメラの設置台数や設置位置、画角</u>等を調整・決定する必要がある。</li> <li>・ 以下は具体事項、留意事項である。</li> <li>・ カメラの設置位置・高さによっては、出展ブースの壁等によってカメラの死角が生まれる可能性がある。そのため、死角を考慮したカメラ</li> </ul>

	<p>設定が必要となる。具体的にはなるべく死角が少なくなるようにカメラ設置位置や画角を調節する（例えば、天井部に近い位置に設置する等）、カメラ台数を増やす、カメラ死角にいる人数を推計するロジックを組み込む等が考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実証中に、通行量検知カメラ（スマホ）のバッテリー切れにより、電源がシャットダウンすることがあった。そのため、事前にローカル 5G を利用した差異の消費電力量を把握したうえで、十分に給電可能な AC アダプターを選定しておく必要がある。</li> <li>・ 長時間スマホカメラを作動させ続ける必要があるため、冷却機能を持ったスマホホルダーにスマホを設置する。</li> </ul> <p>・ <u>施設管理者やイベント主催者と事前協議のうえ、ロボットの監視員の詰所の場所、混雑検知時のロボットの走行エリア、ロボットのホームポジション、ロボットの充電場所、混雑検知時のロボットのアナウンス地点（目的地）</u>の調整・決定が必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 混雑発生前に混雑発生を予測して事前に移動を開始する場合、その閾値を設定する必要がある。</li> </ul> <p>・ 施設管理者やイベント主催者と事前協議のうえ、ロボットの画面に提示する画面やアナウンス内容を調整・決定する必要がある。</p> <p>・ 施設管理者やイベント主催者と事前協議のうえ、イベントの来場者見込みに合わせた<u>混雑閾値の設定</u>が必要となる。</p> <p>・ 来場者から視認性の高く、<u>混雑緩和効果の高いアナウンス地点（目的地）</u>の設置が必要となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上記実施のうえ、本連携ソリューションの動作テスト（ローカル 5G との接続が可能か、混雑検知システムが作動するか、閾値超過時にロボット側に信号が伝達されるか、ロボットが自律走行で想定ルートを走行するか、目的地でアナウンス発出がされるか）を行う。</li> </ul>
運用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事前に想定していなかった障害物（出展ブースの壁やのぼり旗）の有無を適宜確認し、必要に応じてカメラの設置位置や画角を調整する必要がある。</li> </ul>
運用時のトラブル対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「画像解析 AI による混雑検知機能が停止する」、「スマホ自体がバッテリー切れ等により作動しなくなる」といった事態が発生した際に、本システムの管理者側等に対し、プッシュ型でアラートが発信されるような仕組みを構築しておく必要がある。</li> </ul>
運用後の対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本連携ソリューションを要する期間が終了次第、撤去を行う。</li> </ul>
保守・維持管理フェーズ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本格的に施設側に本ソリューションを導入するとなった場合に、定期・不定期に実施する事項として、ソフトウェアのアップデート、資機材の取替・メンテナンス等を行う。</li> </ul>

#### 4.4.5 ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証～マルチアプリケーション～

本マルチアプリケーションに係る検証では、パシフィコ横浜ノース 1 階多目的ホールにおいて、同期対応 TDD システム (NEC 製) のローカル 5G ネットワークと準同期対応 TDD システム (FLARE SYSTEMS 製) のローカル 5G ネットワークを混在させた環境下において、A.コロナ禍を契機とした各種施設管理業務の効率化・高度化を念頭に置いた「A-1.遠隔ロボット監視システム」「A-2.混雑検知システム」及び B.コロナ禍の流れを汲んだ新たな音楽パフォーマンスのモデル実現を念頭に置いた「B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」を同時並行運用した際、すなわち本課題実証システムにおける最大の通信負荷を掛けた際の挙動性や実現課題を明らかにする。

本マルチアプリケーション実証は、12/19 (日) に、お城 EXPO2021 の本番中の数時間に亘って実施した。

「A-1.遠隔ロボット監視システム」については、会場内来場者への影響を最小化するため実際にロボットを走行させることはしなかったが、遠隔でのロボットの回転操作や、ロボット前面のカメラによる周囲の様子を把握是非の確認等を行った。なお、通信部分への負荷量という観点ではロボットを走行させる場合と特段の差異がないことから、実証事項としては十分であると判断した。

「A-2.混雑検知システム」については、当該ソリューション単独での実証時同様、スマホカメラによる常時撮影及びクラウドサーバーでの画像解析、会場内サイネージへの結果の常時投影を実施した。

「B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」については、1 階多目的ホールの会場内にてイベントが開催されている中で音を出しての演奏を行うことができないこと、また、2 地点に分かれての演奏ができるほどのスペースがなかったことから、リアルタイムでの同期演奏は実施しなかった。ただし、通信部分への負荷量についてはリアルタイムでの同期演奏を行う場合と揃える必要があったため、お城 EXPO2021 よりも以前に実施した当該ソリューション単独実証時の演奏の音源データを用いて、擬似的に 2 地点での演奏、及び 2 地点間での双方向の音の送受信を行った。

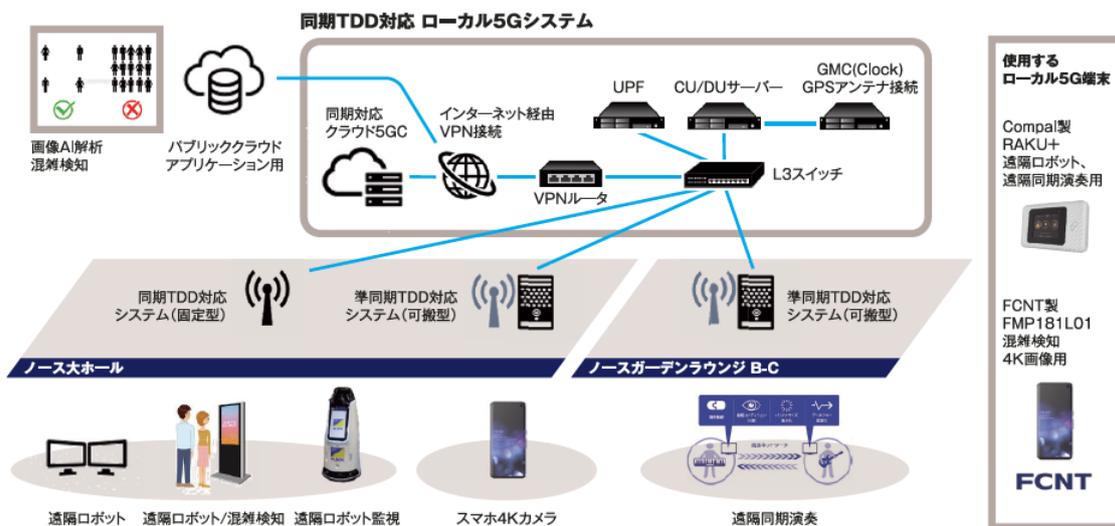
図表 4-207 「マルチアプリケーション」の実証概要

同期対応TDDシステム (NEC製)

項目	諸元
利用周波数帯	4.8GHz-4.9GHz 100MHz幅
最大出力	33.6dBm (2.29W) / アンテナ 36.6dBm (4.58W) / 局
スループット規格値	UL 60Mbps/DL 700Mbps

準同期対応TDDシステム (FLARE SYSTEMS製)

項目	諸元
利用周波数帯	4.7GHz-4.8GHz 100MHz幅
最大出力	+23dBm (200mW)
スループット規格値	UL 220Mbps/DL800Mbps



#### 4.4.5.1 効果検証～マルチアプリケーション～

##### (1) 評価・検証項目～マルチアプリケーション～

マルチアプリケーション検証において稼働させる3つのアプリケーション・サービス(A-1.遠隔ロボット監視システム、A-2.混雑検知システム、B-1.施設内2地点での遠隔同期演奏システム)それぞれの効果検証については、4.4.1項、4.4.2項、4.4.3項において評価・検証項目、評価検証方法、アウトプットを記載したため、そちらを参照されたい。

ここでは、これら3つのシステムが同時並行運用されることで発現すると考えられるシナジー効果について取り上げる。具体的には、「イベント企画者への発注機会の増加」、それに伴う「施設としての、安全・安心ブランドの向上」等について着目する。施設管理者視点として、3つのアプリケーション・サービスがあることによって、イベント企画者に対してディスカウントを掛けた価格設定でのオプションサービス提供が可能となることなどにより、より一層、ローカル5G回線を活用する機会を増加させ収益化につながる可能性がある。また、その積み重ねにより、施設管理者としての安全・安心ブランドを向上することにも繋がり得る。

##### (2) 評価・検証方法～マルチアプリケーション～

上述したマルチアプリケーション実装ならではのシナジー効果に関する仮説を深化・ブラッシュアップしたうえで、施設管理者かつ、イベント主催者であるパシフィコ横浜担当者、加えて横浜みなとみらい21地区の関係者へのヒアリングを行うことで評価・検証を行う。

### (3) 実証結果及び考察～マルチアプリケーション～

上述したマルチアプリケーション実装ならではのシナジー効果に関して仮説の検証結果を整理・考察する。

#### 「1. イベント企画者への発注機会の増加」について

マルチアプリケーション実証で実施した 3 つのアプリケーションは、それぞれ「警備」「人数管理/混雑管理」「楽器演奏」の高度化に資するアプリケーションである。これら 3 つを同時に充足させることが必要となるイベントは、現時点では限定的といえる。例えば、「楽器演奏」についていえば、通常、コンサート等では席が決められており、事前に予約・購入した人数が会場内に入ることとなる。そうなると、わざわざ「混雑検知システム」を用いて人数管理/混雑管理を行う必然性はやや低下するものと考えられる。もちろん、屋内型の大型音楽フェスティバルのアリーナ部など、特に固定の席が決められていない類いのイベントにおいてはこれら 3 つのアプリケーションの必要性を訴求できると考えられるため、今後の開催イベントの方針によって、十分に発注機会増加に資すると考えられる。

#### 「2. 施設としての、安全・安心ブランドの向上」について

安全・安心に係るこれら 3 つのアプリケーションのうち、そのイベントでの必要性に応じて 2 つないし 3 つを組み合わせることでイベント企画者及び来場者に対してサービス提供が可能となるというメニューを、施設として持ち合わせていることは、当該施設利用者に対する安全・安心ブランドの向上の観点から十分に訴求できる。

#### 4.4.5.2 機能検証～マルチアプリケーション～

##### (1) 評価・検証項目～マルチアプリケーション～

3つのアプリケーション・サービス（A-1.遠隔ロボット監視システム、A-2.混雑検知システム、B-1.施設内2地点での遠隔同期演奏システム）を1つのローカル5G通信回線を用いて同時並行運用することになるため、個々のアプリケーション・サービスを単体で稼働させる際よりも通信負荷が高まることが想定される。

そこで、4.4.1項、4.4.2項、4.4.3項で前述した個々の機能検証事項について改めて計測・検証を実施する。その上で各サービスのSLAが達成されているかどうかを評価・検証する。

##### (2) 評価・検証方法～マルチアプリケーション～

評価・検証項目自体は、(1)で前述した通り、4.4.1項、4.4.2項、4.4.3項と同様であるが、3つのアプリケーション・サービスを同時並行稼働させた際の各種機能水準を、システムログ・各種測定機器、あるいは関係者へのヒアリング等で把握の上、施設管理者及びイベント主催者として、それぞれのシステムが十分に活用し得るかどうかの考察を行う。

### (3) 実証結果及び考察～マルチアプリケーション～

評価・検証項目自体は、(1) で前述した通り、4.4.1 項、4.4.2 項、4.4.3 項と同様であるが、各種機能水準がどの程度維持・減衰したかを比較・考察する。

図表 4-208 マルチアプリケーション実証についての機能検証の結果

アプリケーション	機能検証の観点	機能検証の結果（考察）
A-1. 遠隔ロボット監視システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>映像の視認性（監視映像を監視モニター上より視認することができるか）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本実証（単独、及びマルチアプリケーション）において遠隔ロボット操作を実施した監視員へのアンケートによると、映像の視認性については特段の変化はなく、<u>問題はない</u>、との結果であった。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔制御の操作性（監視モニター映像を確認しながら、遠隔でのロボット操作を行うことができるか）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本実証（単独、及びマルチアプリケーション）において遠隔ロボット操作を実施した監視員へのアンケートによると、遠隔制御の操作性については特段の変化はなく、<u>問題はない</u>、との結果であった。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>接続安定性（監視員による現場警備員への対処指示、対処の実施、及び現場警備員による携帯端末からの処置完了操作といった一連のプロセスにおいて、各動作が通信の輻輳を受けずに完結するかどうか）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロボット前面の映像の伝送遅延については、特段変化がなかったことから、接続安全性については、<u>問題はない</u>、との結果であった。</li> </ul>
A-2. 混雑検知システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>4K 映像のアップロードが行えること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ローカル 5G 対応スマホによる 4K 映像のアップロードについては、単独実証時においてもマルチアプリケーション実証時においても特段変わりなく、動作に<u>問題はない</u>、との結果であった。</li> <li>ただし、マルチアプリケーション実証を見据えて、混雑検知システムを稼働させるための帯域広さについてはその上限閾値を厳し目に設定していたため、会場内の映像死角を減らすために本実証時以上にカメラ台数を増やした場合には、挙動が悪くなる可能性もある。そのため、その場合には、映像のビットレートを下げる、映像アップロードの頻度を下げる等の設定変更が必要になるものと考えられる。なお、仮に映像アップロードの頻度を下げたとしても、秒単位での解析結果が求められるようなソリューションではないため、運用上の影響</li> </ul>

		は特段ないと考えられる。
B-1. 施設 内 2 地点 での 遠隔 同期 演奏 システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>可搬型の準同期 TDD 対応ローカル 5G システムにて提供するローカル 5G 端末間の peer to peer 通信機能により超低遅延が実現できること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2つのローカル 5G システムが混在する環境下においても、<u>可搬型の準同期 TDD 対応ローカル 5G システムが正常に稼働</u>したことは確認された。 (超低遅延に関する考察は以下参照のこと。)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>他のアプリケーションと同時使用した場合においても、ローカル 5G 端末間のエンドエンドでの超低遅延 20msec 未満が実現できること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>単独実証時にも、エンドエンドでの遅延は、L5G のメイン→サブ方向（ダウンリンク方向）で 31.28msec、サブ→メイン方向（アップリンク方向）で 50.19msec であったことから、特にアップリンク方向において同期演奏に足る超低遅延性の担保に課題がみられていた。本件については、マルチアプリケーション実証時においても同様の傾向がみられており、この点は要改善事項である。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>他のアプリケーションと同時使用した場合において、一定時間中に（10 分間）、聴覚上認識可能な音声の途切れ区間が発生しないこと</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>単独実証時にも、アップリンク方向において 1 分間あたり 83.3 回の音切れが発生しており、最長 40msec 程度の音切れがみられた。ただちに演奏が破綻するような（数 100msec を超えるような）音切れはなかったものの、演奏者の不快感はあるものと考えられる。これは帯域不足が原因ではなく、ダウンリンクとアップリンクの伝送処理手続きの違いにある。5G システムではアップリンクはダウンリンクに比べデータ伝送までの手続きが複雑で、端末がデータを送信する時、基地局に対し無線リソースの割り当てを要求し、基地局側でリソース割り当て後によりやくデータ送信が実施される。この処理手続きの違いに加え、無線やトラフィックなどの通信環境・状況及び機器の処理遅延等により、上り方向の遅延値が不規則となったことで多数のジッタが発生したことが音切れの原因と考えられる。本実証では準同期 TDD3 を使用したが、アップリンクの転送容量を向上してもジッタが発生したのはこのためである。</li> <li>対策手法としては、端末側からのアップリンクデータの送信要求に関わらず、基地局側で無条件に一定の無線リソースを各端末用に割り当てる方法が考えられる。なお、L5G システムは特定用途に最適化することが求められるため、遅延やジッタ改善に特化した基地局パラメータチューニングやスケジューラの開発、QoS 管理の強化が今後の検討・改善事項として考えられる。</li> </ul>

#### 4.4.5.3 運用検証～マルチアプリケーション～

##### (1) 評価・検証項目～マルチアプリケーション～

施設管理者として、特定の個別アプリケーション・サービスを実装するためだけにローカル 5G ネットワーク網の整備は初期費用が多額であることから、導入を躊躇するケースも少なくないと聞く。他方、本課題実証では安全・安心なイベントを実現するうえでローカル 5G ネットワークを用いた 3 つのアプリケーション・サービスに着目・実証しており、これらを施設管理者としてまとめて導入することによって、1 サービスあたりのローカル 5G 通信環境の初期投資額の負担を低減させることができると考えられる。

また、パシフィコ横浜では、差し迫った課題として、老朽化してきた Wi-Fi 環境を Wi-Fi 環境として更新するか、ローカル 5G 環境として更新するかについて検討・決定する必要がある。

以上を踏まえ、本運用検証では、施設管理者視点として、「経済性（初期導入費用、運用費用）」、「保守・運用性」、「付加価値・サービス拡張性（イベント主催者等へのオプションサービス提供、安全・安心の担保、ポストコロナ時代のイベント企画の実現等）」といった複数の軸で評価を行う。なお、評価に際しては、特に Wi-Fi 環境との違い（メリット・デメリット）に留意する形での整理を行う。

##### (2) 評価・検証方法～マルチアプリケーション～

施設管理者、イベント主催者へのヒアリングを踏まえ、上記評価検証項目について、導入メリット・導入障壁を把握・整理する。

##### (3) 実証結果及び考察～マルチアプリケーション～

マルチアプリケーションに関わる運用検証結果を下表で整理・考察する。

図表 4-209 マルチアプリケーション実証についての運用検証の結果

評価・検証項目		(Wi-Fi と比した) ローカル 5G の運用メリット・デメリット
経済性	初期導入費用、運用費用	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設に新たにローカル 5G のネットワーク諸設備を導入する場合は、ローカル 5G の活用目的や活用シーンを設定し、それに基づきローカル 5G の規格や設置箇所等を検討し、免許取得・申請が必要となるため、初期導入に際しては、費用面の確保に加えて、詳細なユースケース検討が必要となる。</li> <li>また、運用費用としては、ローカル 5G ネットワーク諸設備の維持管理費用等がかかるほか、各種アプリケーション（本実証でいえば 3 つ）についての維持管理費用についても必要となる。</li> <li>ローカル 5G を活用したアプリケーションによるサービス実施による運用収益が見込まれる場合、この運用収益の大きさに対する、ローカル 5G ネットワークの初期導入費用の大きさを相対的に小さくすることで、初期導入障壁を抑えることに繋がる。大型</li> </ul>

		<p>複合国際会議施設等では、様々なイベント主催者により多様なイベントが開催されることから、ローカル 5G の実装に向けては、活用可能なアプリケーションをさらに探索し、その導入についても並行して検討することが求められる。</p>
保守・運用性	保守・運用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>ローカル 5G は無線で且つ高規格通信を実現し得ることから、資機材の搬出入や大規模なレイアウト変更が多い大型複合国際会議施設との親和性が高い。</li> <li>ローカル 5G 市場が発展途上であることから、当該通信手段を活用したアプリケーションのユーザーの発掘・教育等に係るコスト・工数を一定程度見積もる必要がある。具体的には、イベント時利用の際には、都度会場内レイアウトやイベント内容自体が変更となるため、標準化対応が難しい部分があることも想定され、その場合は、ローカル 5G 及び各種アプリケーションに関する初設定費用（エンジニアリングサービス提供のための人件費等）も計上する必要が出てくる。</li> <li>ローカル 5G を活用した各種アプリケーションをより柔軟に運用できるようにするためには、ローカル 5G ネットワーク部分の設定は難しいにせよ、せめて各アプリケーションについては、エンジニアリングサービスがなくとも、施設側あるいはイベント主催者側の人員要員だけで簡単に諸資機材を設置・設定できるようなユーザーインターフェースの作り込みやパッケージ化等が求められる。</li> <li>イベント時に、ローカル 5G ネットワークを活用して、アプリケーションを稼働させている際に、何らかのトラブルシューティングが発生することも考えられる。アプリケーションを複数同時並行で運用する際にはその発生確率自体が高まることが想定されるため、対応可能な人材を十分に揃えておくことが求められる。この点に関しては、施設管理者なりイベント主催者がその扱いに慣れている Wi-Fi ネットワークとの違いといえる。</li> </ul>
付加価値・サービス拡張性	イベント主催者への高付加価値サービス提供による収益化	<ul style="list-style-type: none"> <li>ローカル 5G の「高速大容量」特性を活かして、警備・混雑検知等の施設管理業務の高度化、職員・警備員間での安定通信が可能となる。また、ローカル 5G の「超低遅延」特性を活かして、ハイブリッド型イベント（遠隔同期演奏等）が可能となる。そしてこれらを踏まえて、来場者・イベント主催者等へのポストコロナ時代における安全・安心の打ち出しが可能となる。</li> </ul>

#### 4.4.6 ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証

##### 4.4.6.1 ローカル5G活用モデルの構築・検証

ユーザー企業等において、本事業の終了後も、本実証において実施するローカル5Gを用いたソリューションの一部または全てを継続的に活用、あるいは他のユーザー企業等や他分野での課題解決等を図っていくためのローカル5G活用モデルについて検証を行う。

本実証以降の社会実装を目指し、実証コンソーシアムを構成する団体や企業等が、ローカル5Gを活用したソリューションを持続的に導入・利用するための検討を行う。具体的には、前章までの効果検証や機能検証、運用検証の結果を踏まえつつ、下記の論点を中心に、整理を行っていく。

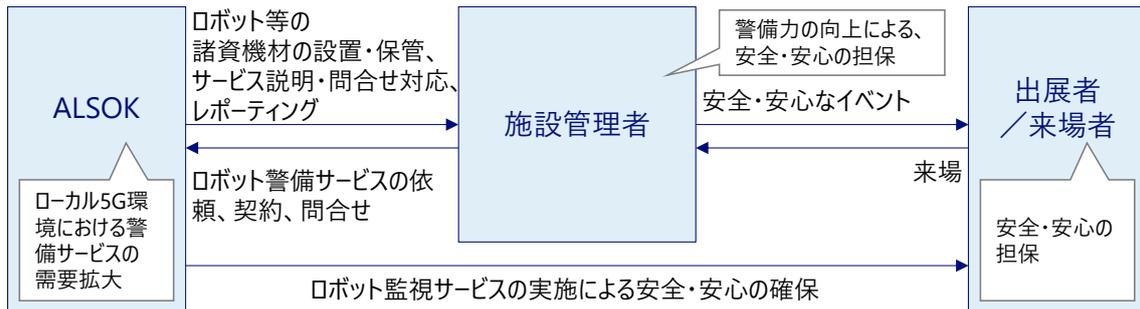
(1) A-1.遠隔ロボット監視システム

● 関係者の役割分担の構築

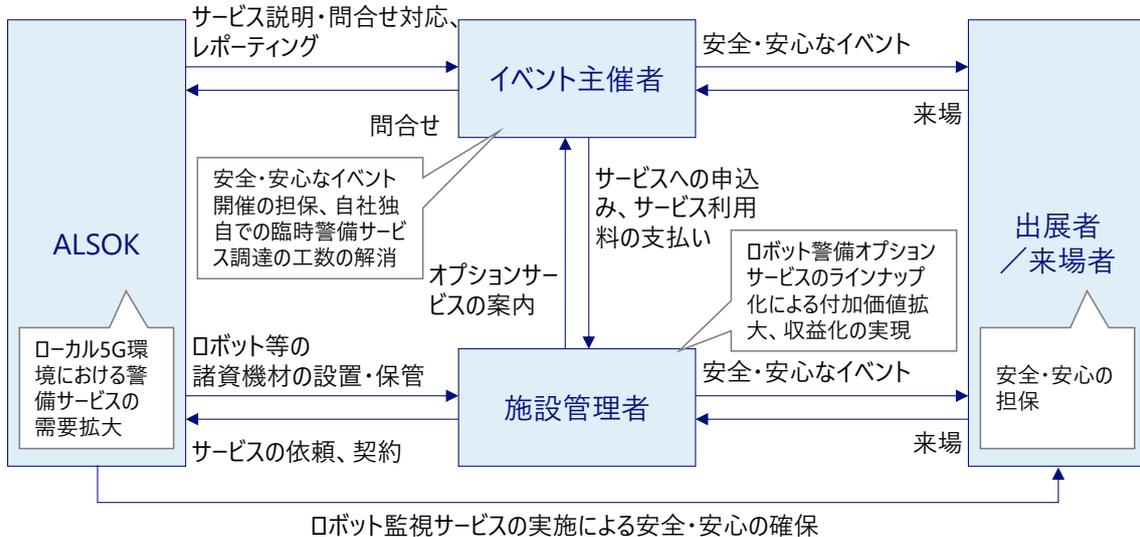
現状想定している「遠隔ロボット監視システム」のステークホルダーの関係図と各社の想定メリットを体制図に示す。なお、遠隔操作及び自律走行に対応した警備ロボットを持つ ALSOK として、ビジネスモデルとして 2 つのケースがあるものと考えている。

図表 4-210 体制図 (案)

<ケース 1：施設管理者の警備力向上>



<ケース 2：ロボット警備に関するサービス提供（レベニューモデル）>



● 想定される導入効果とその検証

ケース 1 は、施設管理者の警備力向上のために ALSOK がロボット警備サービスを導入する方式である。施設管理者は、施設の敷地内の安全・安心を担保するために常駐の警備員による巡回等を行っているが、これを支援・強化するという考え方である。

他方、ケース 2 は、施設管理者が都度のイベント主催者に対してロボット警備に関するサービスを提供できるよう、ALSOK として警備ロボットを活用した臨時警備サービスのメニューを施設管理者に対して提供する、というものである。ひとた

びイベント主催者によってイベントが開催されるとなるとイベント会場内における警備は、イベント主催者側において臨時調達してまかなわれることも多い。そうした背景を踏まえ、施設管理者としてロボット警備のサービスをサービスラインナップとして持つておくことは施設の付加価値向上、及び収益化にも資するという意味で、有用と考えられる。

これら各ステークホルダーにとってのメリット・デメリット等については、前述の課題実証の効果検証等を通じて把握・考察を行った。

#### 【整理・考察結果】

4.4.1.1 効果検証において一部記述のとおり、ロボット導入に対する費用投資とイベント警備費用の計上の判断材料を提供する手段としては、ロボット提供を行うALSOKが、①イベント主催者に対し無償や安価な費用でデモやテスト導入を行い、効果を訴求し次期開催時の予算化を促すとともに、②イベント主催者側の反応を受け施設管理者側における投資判断を行っていくといった手順が一案として考えられる。もちろん、その他にも、施設管理者側として警備業務の運用が複雑化するなどの実現障壁があるため、この点も十分な調整・検討が求められる。このような前提をもとに、下表に各ステークホルダーにとってのメリット・デメリットを整理した。

図表 4-211 各ステークホルダーのメリット・デメリット整理  
(初期仮説であり、今後更なる議論による精査・拡充が必要)

ステークホルダー	メリット	デメリット
施設管理者	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 施設付加価値向上</li> <li>✓ 収益性の向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 警備業務の運用の複雑化</li> </ul>
イベント主催者	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ イベント付加価値向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 追加費用の支出</li> <li>✓ 警備業務の運用の複雑化</li> </ul>
ロボットサービス提供者	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 収益性の向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 初期テスト導入時の費用負担と投資回収リスク</li> <li>✓ 都度都度の設定変更対応</li> </ul>

#### ● 運用・管理等に係る仕組みや方法の構築・定着

「遠隔ロボット監視システム」を、大規模施設の敷地内・各施設・会場・廊下等いずれの場所を優先して実装するか、その段取りを踏まえた上でローカル 5G 通信環境をどのような手順で整備すべきか、といった環境構築に係る検討を行った。

加えて、特にケース 2 において、ロボット警備に関するサービスを、イベント主催者に対してどのように説明すべきか、その後の準備・調整・当日の運用等の段取りについて、どのようなマニュアルとして整備しておくことが必要かといった運用面に関する検討を行った。また、当該サービスの単価設定・実施条件等についても検討を行った。

いずれも、課題実証の結果や関係者へのヒアリング等により整理した。

## 【整理・考察結果】

### (ローカル 5G 環境構築)

「遠隔ロボット監視システム」を、大規模施設の敷地内・各施設・会場・廊下等いずれの場所を優先して整備すべきか、整理の方向性として、ロボットが必要とする無線通信システムの観点からローカル 5G システムの導入優先順位整理の方向性は次の通りとなった。

考え方として、①イベント会場内、②会場周辺の廊下等動線となりうる場所、③通常の施設常駐警備で使用するエリアの整備の順となる。③においては、施設警備員の日常運用において柔軟にカバーできる点を考慮し、ローカル 5G システムの導入までの間は他の無線システム (Wi-Fi や LTE) を利用するなどの代替手段により暫定的にサービス提供を行うことも検討可能であるためである。

### (ロボットサービスの訴求)

国内の大規模施設では大小合わせて年間約 1,000 件以上のイベントが行われており、そのうち約 7 割は毎時期に定期的開催されるものとされる。また、前述したレベニューモデルにおける各ステークホルダーのメリット・デメリットを勘案しビジネス・普及方策に関し更なる検討が必要と認識している。

### (運用面での整備事項)

4.4.1.3 運用検証結果で示したとおり、施設警備側における警備運用モデルの整理 (検証事項と対応策・課題の整理・考察) と、施設警備側及びイベント警備側における業務フローを整理し運用作業の洗い出しを行った。

- 必要な技術・環境要件の整理

機能検証等の結果を踏まえ、ロボットの遠隔操作やスタッフ等連携システムの運用に求められるローカル 5G 環境のスペック等の整理を行った。

## 【整理・考察結果】

4.4.1.2 機能検証結果で示したとおり、監視員による現場警備員への対処指示、対処の実施、及び現場警備員による携帯端末からの処置完了操作といった一連のプロセスにおいて、ローカル 5G 環境下において各動作が通信の輻輳を受けずに完結することを確認することができた。他方で、上記ローカル 5G 環境構築の方向性でも示したとおり、暫定的な運用として、ローカル 5G 環境の整備までの間は他の無線システムを利用したサービス提供も検討可能である面を踏まえ、必要な技術・環境面における評価は完了したと言える。

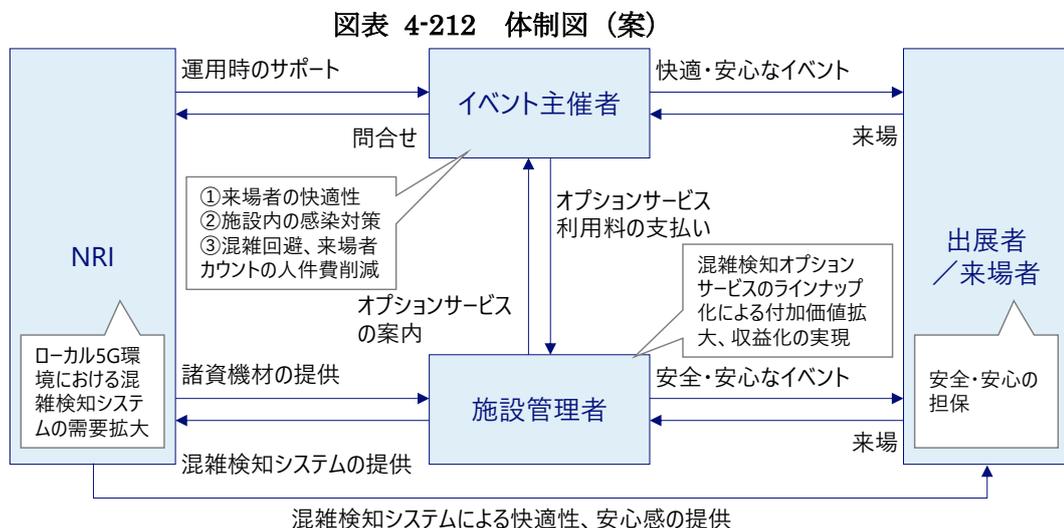
## (2) A-2.混雑検知システム

- 関係者の役割分担の構築

現状想定している「混雑検知システム」のステークホルダーの関係図と各社の想定メリットを体制図に示す。本システムの活用においては、イベント開催時など多数の人が集まる場所、タイミングでの活用が想定される。施設管理者（パシフィコ横浜）やイベントの企画・運営会社によるシステムの環境設定、運用を想定する。混雑検知システムを提供する NRI はそのサポートを行う。

- 想定される導入効果とその検証

「混雑検知システム」を構成する各ステークホルダーの想定される導入効果（メリット）は下記体制図に示している通りである。



- 運用・管理等に係る仕組みや方法の構築・定着

本実証以降の社会実装を目指し、サービス提供者（NRI）およびユーザー（施設管理者、イベント主催者）の視点で実用化に向けた論点整理を行う。特に今回システム開発側から手離れした運用についてのニーズが確認されたことから、具体的に使いやすいアプリケーションとしての改善を図る必要がある。さらに、イベント施設以外での実用化に向けては商業施設管理者や工事現場等への導入に向けたヒアリング等を行い、同様の仕組みが構築し得るのかの整理を行う。

- 必要な技術・環境要件の整理

本実証においては、広い会場内でカメラから遠いか所の混雑検知の精度を高めるうえで 4K 映像の解析の有効性が示された。また、通行量検知のスマートフォン 1 台では 4K 映像のアップロードを継続的に実施することができた。「混雑検知システム」では、イベントごとに出入り口等の会場設計に合わせたカメラの配置、システムの設定が行われることが望ましく、無線通信による 4K 映像の継続的なアップロード環境として、ローカル 5G による帯域確保がなされることが望ましいと考えられる。

複数フロアにわたって、廊下や飲食スペースなどにもよりフレキシブルにスマホカメラを設置できるようになると、イベント会場で、別の階の飲食スペースの状況がわかったり、廊下から各部屋に入った人数をカウントできたり、混雑検知システムの汎用性、付加価値も向上する。今後新設予定の施設において館内全域にローカル 5G が整備されると活用可能性が拡大する。また、その情報の提示手段もロボット等を含み多様化できる。

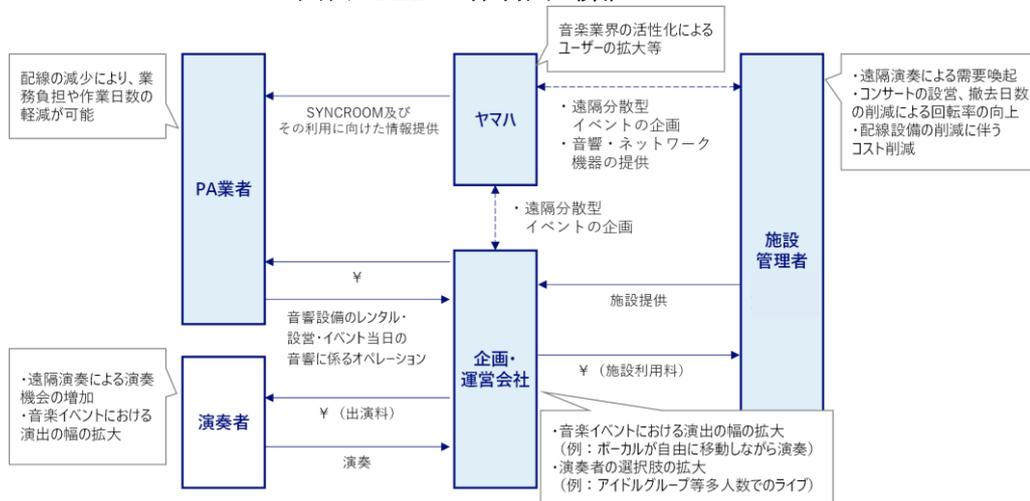
### (3) B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム

#### ● 関係者の役割分担の構築

現状想定される「施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」のステークホルダーの関係図と各社の想定メリットを体制図に示す。

遠隔同期演奏のソフトウェアである SYNCROOM を提供するヤマハは、施設管理者やイベントの企画・運営会社と連携し、遠隔・分散型イベントの企画やその検討を行う必要があると考えられる。将来的には遠隔・分散型イベントに必要な音響・ネットワーク製品の提供や、施設および企画・運営会社がニューノーマルなイベント実施能力の PR を行うなど、アフターコロナでの新たな音楽イベントの活性化を目指す。ヤマハは既にリリース済である SYNCROOM アプリケーションに関する情報提供を継続し、実際に遠隔・分散型イベントの実現や将来的な横展開に向けた運営側がノウハウ整備を行う必要があると考えられる。

図表 4-213 体制図 (案)



#### ● 想定される導入効果とその検証

「施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」を構成する各ステークホルダーの想定される導入効果（メリット）は下記体制図に示している通りである。

例えば、本実証でフィールドとなる大規模施設は、ハイブリッド型イベントとして遠隔同期演奏による新しいライブイベントの実施による需要喚起や無線化に伴う準備日数の削減による回転率の向上等が想定され得る。また、PA 業者についても、無線化による配線の減少により、有線 LAN と比較した場合の遠隔同期演奏の準備の簡易化（業務負担や作業日数の軽減）が想定される。そして、遠隔同期演奏技術を提供しているヤマハは、短期的には遠隔・分散型の新たな音楽イベント企画の増加、中長期的には音楽イベントの活性化により、音楽業界の発展とユーザーの拡大へと繋がることを期待している。

本実証の効果検証等を通じ、導入効果（メリット）が想定の通りか、各ステークホルダーへの自由回答形式のアンケートを元に、インタビューにて内容の補足を行う

た。質問項目として以下を設定し、無線化のメリット、場所、演奏者（アイドルグループ、伝統芸能の演者等）や楽器の違いによる「遠隔演奏を活用した新たな演出の可能性」を分類整理した。

最初に、「ローカル5G導入による準備負荷軽減」に関しては、施設管理者および関係者からのヒアリングの結果、負荷軽減への寄与可能性を確認できた。多目的大規模施設では、イベントに応じて区画を自由に変更して使用する。有線の場合は区画レイアウトを変更する都度、専門の工事業者に委託する必要があるため、例えばイベント会期中のレイアウト変更が困難である。しかし無線化することで工事不要となるため、例えば会期中のレイアウト変更を行う、一部区画を別のイベントで使用するなど、フレキシビリティが高まるとの回答が得られた。実証前に想定していた準備の簡易化に貢献できると共に、イベント主催者のリクエストに応えやすくなることで会場使用率の向上も期待できる。

次に、「遠隔演奏を活用した新たな演出の可能性」に関するアンケート結果について考察する。4.4.3.1 (3) にて示した通り、音楽ジャンルについては、ポップス・クラシック・民族音楽や、ゴスペルなどの合唱音楽での活用シーンの意見が最も多い。演出及び場所としては、合唱隊のみ別会場にして飛沫対策が可能になる、大規模会場を複数の区画に分けることで接触者を極力減らすなど、感染症対策に繋がるライブイベントのアイデアを多数得ることが出来た。また、ライブ会場の中に親子連れ・ペット連れなどの専用部屋を設けられるといった提案や、狭いスペースしかないオフィスビルなどの建物でも複数の部屋を使用することで多人数のオーケストラの上演が可能になるなど、アフターコロナでの新たな価値提案も得られた。事前検討での想定では感染症対策を主眼に置いていたが、新たな価値提案による需要喚起の可能性についても需要者側のニーズを確認できた。

- 運用・管理等に係る仕組みや方法の構築・定着

有線 LAN 等と比較して、SYNCROOM を用いた遠隔同期演奏を実施する際の準備に係る作業フローの変更点の確認を行い、運用・管理がスムーズに行われるよう検討を行った。具体的には、運用検証の章に記載している通り、施設管理者や PA 業者等に対しては、SYNCROOM 使用時の設営・設定方法等を整理することを通じ、SYNCROOM を用いた遠隔同期演奏実施時における運用・管理の仕組みを検討した。

まず今回の実験で用いた音響システムの構成の実際と課題について述べる。次の図は、今回のシステム構成の1部屋分を示したもので、メイン、サブ両部屋ともほぼ同じ構成となっている。この構成の大きな特徴として、メイン、サブ両部屋にはそれぞれ大型のミキサー卓(ヤマハ QL5)とそのオペレーターを配置している。これは通常の音楽イベントの2セット分にあたる。このような構成にした理由は、L5G の実力が未知数でどこまで耐えられるか分からないことから、L5G の負荷を下げた実験しようとしたためである。SYNCROOM は最大で5台の PC 間を接続可能であるが、接続する PC 数を増やすと通信量が大きく増える(※)。今回は最もネットワーク負荷が軽い構成にするため、SYNCROOM PC を2台の構成とした。

※SYNCROOM は完全メッシュ型の P2P 通信を行うため、接続する PC の台数を

N とすると、各ノードの通信量は  $N*(N-1)/2$  で表される。従って N=2 の時の通信量を 1 とすると、N=5 の時の通信量は N=2 の時の 10 倍となる。

図表 4-214 本実証実施における音響システム構成図



SYNCROOM PC の数を減らしたことで、送受信できる音声チャンネル数に制約が生じた。送受信できる音声は SYNCROOM PC 1 台あたり 2 チャンネルで、これは楽器 1 パートまたは 2 パート分の音に相当する。一方、今回の実験に参加したバンドは最大 5 パートで、片方の部屋には 2 パートまたは 3 パートが入る。そのためパート数に対して SYNCROOM で入出力できる音声チャンネル数が不足する。そこでメイン・サブ両部屋にそれぞれミキサーを置き、最大 3 パート分の音声を 2 チャンネルにミックスして SYNCROOM に送ることにした。この構成にすると、各パートへの返しの音声や PA 用の音声もミキサー上で生成する必要が生じたため、入出力チャンネル数が多く多機能な大型のミキサーを採用する必要も生じた。

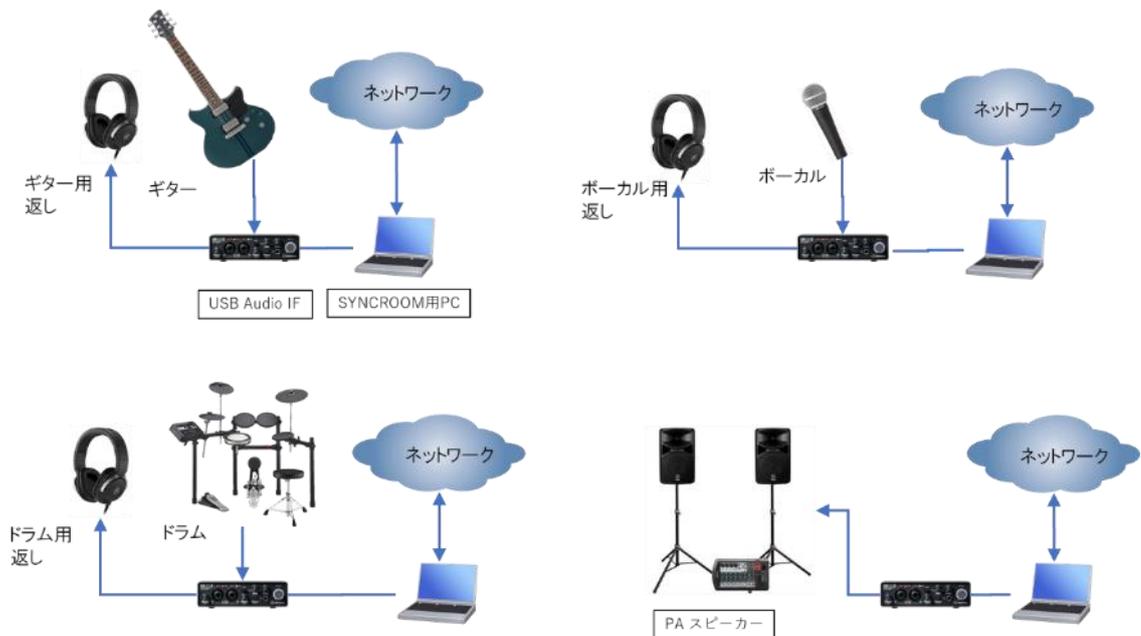
以上がこのような構成にした理由だが、その影響で大型機材が必要になるだけでなく、音量バランスの調整の難しさも生じることになった。反対側の部屋から送られてくる音は、最大 3 パート分の音が 2 チャンネルに混ざった状態で送られてくることになり、オペレーターは各パート間の音量バランスの調整をするために、反対側の部屋に居るオペレーターに連絡を取り、送信する音量の調節を依頼する必要が生じた。また、その連絡にはトランシーバーや音声通話用の別音声の回線などを用意する必要も有った。

この様に、今回の実験では通信路の性能的な制約から機材やオペレーションの負荷が増大する影響が生じた。しかし、L5G 通信のキャパシティや遅延時間の性能が

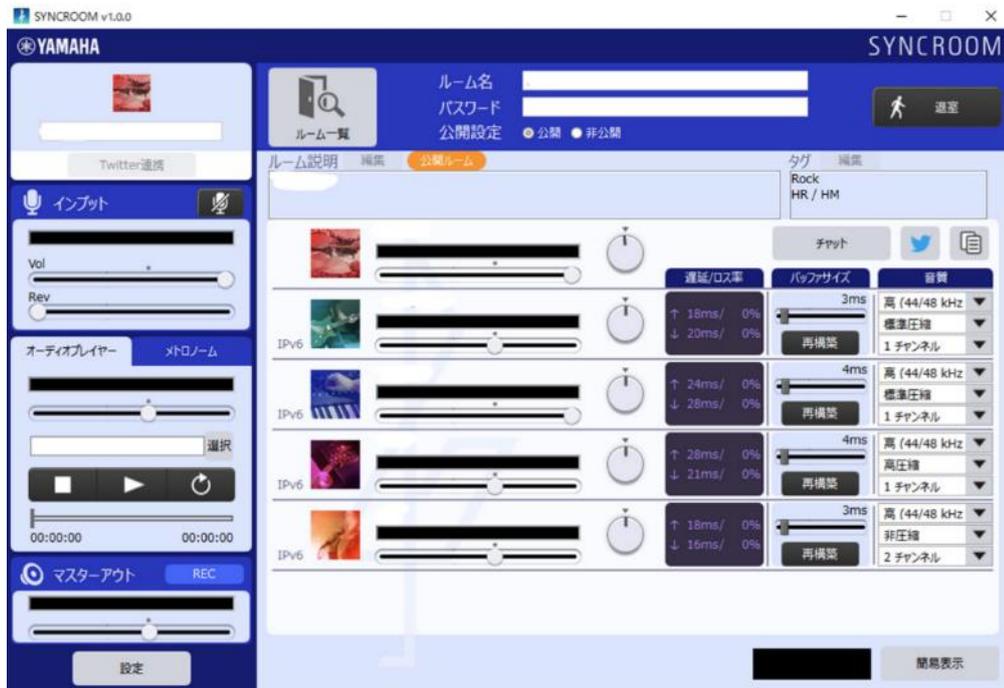
十分であれば SYNCROOM PC の台数制限は不要になり、より簡便な構成を取ること  
 ともできる。例えば、同じパート構成のバンドの場合、下図のようなシステム構成  
 に置換することができる。この構成では、1パートに1台ずつ SYNCROOM 用 PC  
 を割り当てている。使用する PC の台数は増えるが、大型ミキサーが不要になるた  
 め機材コストとオペレーターへの負担は軽くなる。また、複数パートの音をミキサ  
 ーで混ぜずに送信するので、各パートの音量を独立して制御できるようになり音量の  
 バランス調整が容易になる。例えば、各演奏者の SYNCROOM PC の画面（後述）  
 をキューボックス(※)のように使用することで、各パートへの返しの音声を、演奏者  
 自身の好みの音量バランスに調節することができるようになる。

(※) Cue Box。返しの音のバランスを調整するための小型のミキサーのこと。各  
 演奏者の手元に置き、演奏中に演奏者が自ら操作して使用する。

図表 4-215 遠隔同期演奏用音響システム構成例



図表 4-216 SYNCROOM アプリケーション画面  
(各パートの音量を独立して操作できるようになっている)



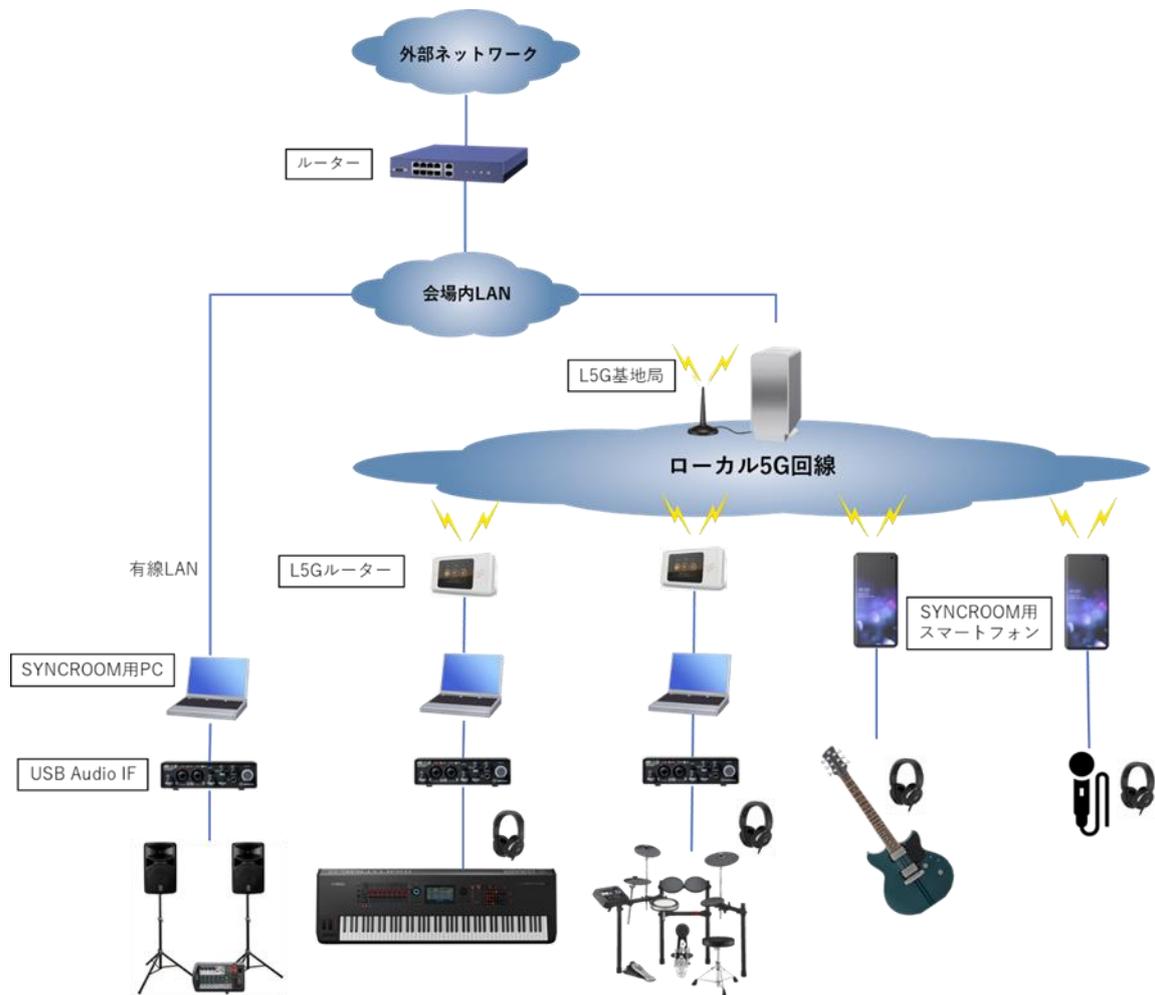
なお、演奏者側にも SYNCROOM アプリケーションの使用方法の理解が必要であり、利用方法の定着に向けた検討を行うことを想定していたが、前項 4.4.3.3.(3)②の演奏者への理解度確認の結果、事前の想定より SYNCROOM の利用経験、理解度が高いことが判明した。SYNCROOM は一般向けアプリケーションとしてリリースしてから1年以上経過しており、同社ウェブサイトなどを通じた啓蒙活動によって普及浸透が進んでいたことが改めて確認された。したがって事前に想定していたプロミュージシャン・演奏者への理解・普及施策は既に達成されていると結論付ける。

- ネットワーク技術・環境要件の整理

機能検証等の結果を踏まえ、遠隔同期演奏時において必要となるネットワーク要件として遅延やジッタの程度等を整理する。4.4.3.2 (3)にて示した通り、オーディオ出力段まで含めた End to End のシステム全体の要件は、アップリンク/ダウンリンクともに平均遅延時間 30msec/最大 40msec 以下が許容範囲とされる。ネットワーク部分には平均遅延時間 15msec/最大 20msec 以下が求められる。

また、サブ会場内のスマートフォン接続のパターンにおける遅延量、ばらつきの結果から、モバイルでのローカル 5G 運用の際には、機器が移動する事を考慮した電波到達エリア・遅延時間のチェック実施のプロセスが必須と考えられる。運用時のネットワークチェックを簡便にするためには、前項 4.4.3.3 でも触れた簡便なネットワーク構成が望ましい。本実証の結果を踏まえ運用性を想定したネットワーク構成例を以下に示す。

図表 4-217 遠隔同期演奏用ネットワーク構成例



検証時の構成と異なるのは

1. 1パートごとに1台の SYNCROOM PC、またはスマホを割り当てる
  2. 複数の SYNCROOM PC を L5G に接続する(有線 LAN 接続が混在しても良い)
  3. L5G スマートフォンの SYNCROOM を積極的に使う
  4. VPN ルーターなしに P2P 通信ができる
- の4点である。

変更点の利点を説明する。まず1によって大きなミキサーを不要にできるのと同時に、音量バランスの調節を容易にできる。2、3によって、バンドメンバーや機器配置の制約が減り、ステージの演出の自由度は大幅に増す。また配線が減ることで準備にかかる工数も削減もできる。また、必ずしも L5G を使う必要は無く、たとえば PA スピーカーの様に移動することがほぼ無いものは、有線 LAN を使うことで電波状態の悪化などによる音切れのリスクを減らすなど、柔軟な構成での運用も可能である。最後に4によって、使用機材を減らし機材コストや設置、設定のコストを削減できるのと同時に、ネットワーク上の中継機器が減ることで通信の遅延時間も削減することができる。

#### (4) A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム

- 関係者の役割分担の構築

現状想定している「ロボットによる混雑アナウンスシステム」のステークホルダーの関係図と各社の想定メリットを体制図に示す。A-1 の ALSOK のロボットによる警備システムと A-2 の NRI の混雑検知システムの双方を導入している施設を想定し、相互にシステム連携させることで、双方のサービスの付加価値向上を図る。

- 想定される導入効果とその検証

イベント時の混雑検知、ロボットによるアナウンスを施設管理者側からイベント主催者側にオプションとして提供することで、施設側のサービスラインナップの拡充に繋がることが期待される。

イベント主催者にとっては、イベント開催時に求められる混雑対策や感染対策等の手配を施設側のオプション依頼で、一括で行うことができ、人数の制御、カウントのための人件費を削減することができる。

導入効果の検証方法は、施設管理者およびイベント主催者に対してヒアリングを実施し、そのニーズ、導入に際しての懸念点等を把握する。

- 運用・管理等に係る仕組みや方法の構築・定着

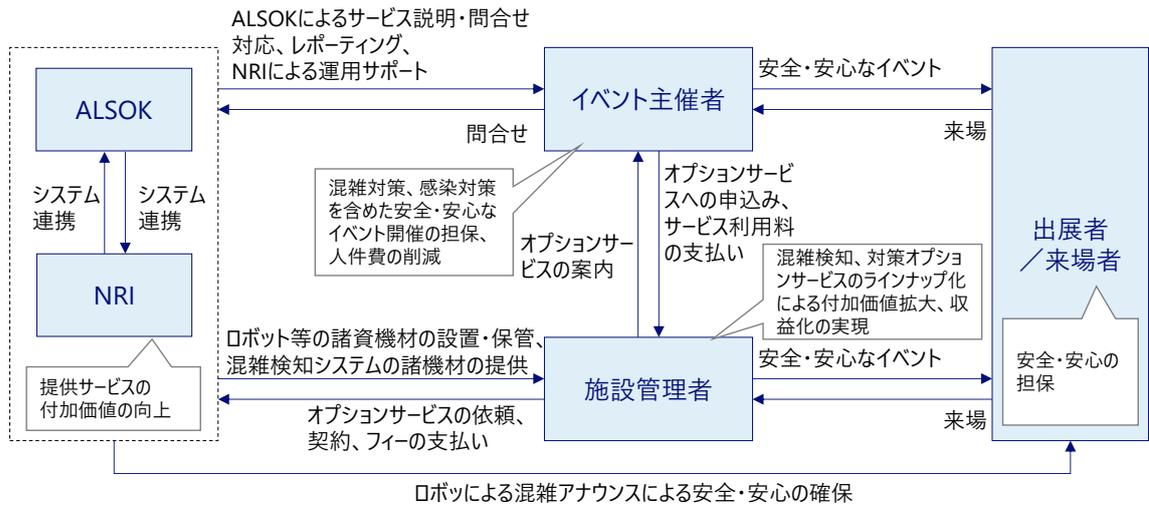
サービス提供者同士のシステム連携の方法（NRI および ALSOK）については、実証の運用検証等を踏まえて、実運用に繋がる連携方法の検討を行う。

ユーザー（施設管理者、イベント主催者）の視点で実用化に向けた運用・管理の仕組みについては、A-1、A-2 のそれぞれにおける仕組みの構築方法を踏まえ、連携した場合の仕組みについてもユーザー側との協議、論点の整理を行う。

- 必要な技術・環境要件の整理

必要な技術・環境要件についてはA-1、A-2それぞれの環境要件に対応することで、A-3についても対応できるものとなる見込みである。ただし、混雑環境下におけるロボットの走行等についてはその課題、要件を施設管理者、イベント主催者等との協議の上設定する。

図表 4-218 体制図 (案)



## (5) マルチアプリケーションの実現

- 関係者の役割分担の構築

現状想定している「マルチアプリケーション」のステークホルダーの関係図と各社の想定メリットを体制図に示す。

パシフィコ横浜は、JTOWER 及び NEC ネットスエスアイの構築するローカル 5G 環境を活用し、ALSOK、NRI 及びヤマハの提供する安全・安心に係る管理業務の高度化ないしハイブリッド型イベントへの対応に資するアプリケーション・サービスをイベント主催者に対してオプションサービスとして提供できるよう、サービスラインナップを充足させる。

- 想定される導入効果とその検証

施設管理者としては、オプションサービスのラインナップ拡大による付加価値拡大、収益化の実現が導入効果として想定される。また、イベント主催者にとっては安全・安心なイベント開催が担保できること、加えて自社独自の関連サービス調達の工数の解消、イベント自体の高度化の実現が、導入効果として想定される。アプリケーション・ベンダーとしての ALSOK、NRI、ヤマハにとっては、自社サービスのローカル 5G 環境実装の実現によって、大規模施設において今後ローカル 5G 環境におけるサービス展開の可能性が視野に入り、需要が拡大することが導入効果として想定される。

これら導入効果の検証については、施設管理者であり、お城 EXPO2021 のイベント主催者でもあるパシフィコ横浜担当者へのヒアリング、及び関係機関へのヒアリングを行うことで実現性やメリット・デメリット等の評価を行う。

その際、ローカル 5G 以外の無線システムである、Wi-Fi やキャリア 5G 等との比較についても留意する。

- 運用・管理等に係る仕組みや方法の構築・定着

複数のアプリケーション・サービスを同時並行運用するにあたり、大規模施設の敷地内・各施設・会場・廊下等いずれの場所を優先して実装するか、その段取りを踏まえた上でローカル 5G 通信環境をどのような手順で整備すべきか、といった環境構築に係る検討を行う。

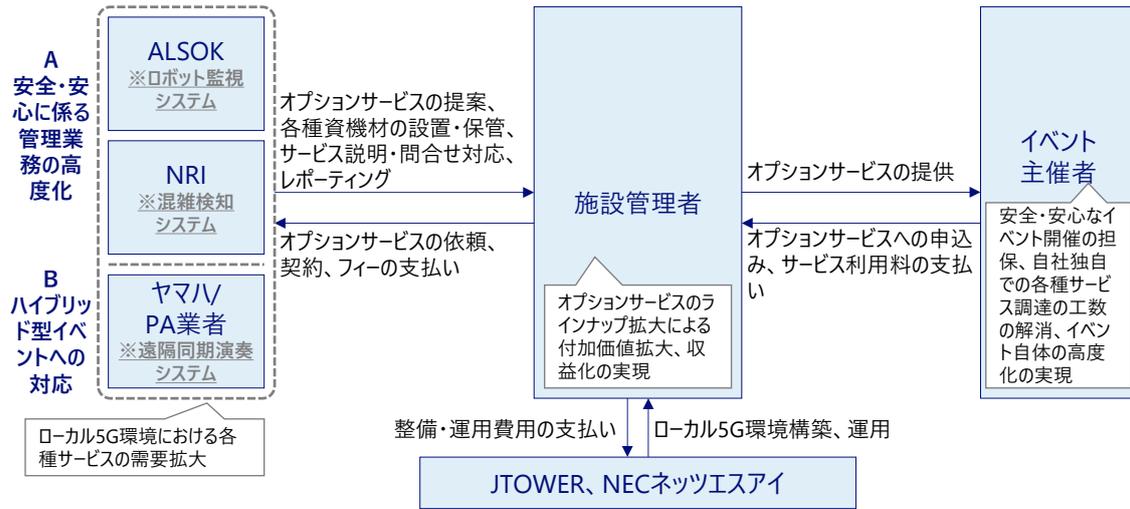
加えて、各種オプションサービスを、イベント主催者に対してどのように説明すべきか、その後の準備・調整・当日の運用等の段取りについて、どのようなマニュアルとして整備しておくことが必要かといった運用面に関する検討を行う。また、当該オプションサービスの単価設定・実施条件等についても検討を行う。

いずれも、課題実証の結果や関係者へのヒアリング等により整理する。

- 必要な技術・環境要件の整理

機能検証等の結果を踏まえ、ロボットの遠隔操作やスタッフ等連携システム、混雑検知システム、遠隔同期演奏システムの同時運用時に求められるローカル 5G 環境のスペック等の整理を行う。

図表 4-219 体制図 (案)



#### 4.4.6.2 普及展開方策の検討

##### (1) A-1.遠隔ロボット監視システム

ローカル 5G 活用モデルの普及展開の加速に向け、横展開の方向性について検討を行った。具体的には、「ロボットマルチユース（利用シーン）の拡大」と「導入施設や利用業者の拡大」の大きく 2 つの方向性を想定し、実証結果や関係事業者へヒアリング等を通じ、実現性や実現に向けた課題を整理した。

- ロボットマルチユース（利用シーン）の拡大

4.4.1.2 機能検証において、追加機能実装に関するニーズの取り込みによる利用者拡大の見込みと実装要否に関し。本実証を行った大規模施設におけるニーズについてヒアリング等を通じ、マルチユースに資する拡充機能の整理と、当該機能の実現性（技術面・コスト面・効果面）を勘案し、施設への実装と定着に資する機能の実装要否とその時期を整理した。なお、現時点でロボットの施設警備活用において、フロア間移動のためのエレベータ連携は、各ロボット個別に専用システムを用いた連携は可能であるが、新規、既設問わずエレベータ側に標準搭載されておらず個別対応していることから、汎用性のある連携システムを構築し、より機能性を高める必要があると認識している。

他方、イベント主催者の観点においては、混雑解消を人との接触を避けつつ実現するといった手段（実証 A-3）に関する実証を通じ仮説検証を行った。引き続き他施設、利用事業者拡大に向け当該実証施設とは異なるニーズの深耕をし、更なるロボットのマルチユースシーンを検証していく必要がある。

- 導入施設や利用業者の拡大

- ① 国内大規模施設の施設管理者への横展開

国内大規模施設の施設管理者とその利用者、及び他施設を運用管理する事業者に対するヒアリング等を通じ、同様のサービス展開の可否について検討を行うとともに展開を拡大する。

本実証内では、多目的スタジアム（野球をはじめ興行やコンサート、商品の展示会なども催す施設）を運営する事業者へのヒアリングを実施したものの、本モデルで想定をした設備類（物品及びサービスを伴うものを含み）の有償提供そのものを行っていない形態（イベント主催者がすべて持ち込み）をとっていることから、想定したヒアリング結果をえることができなかった。

本結果より、横展開の観点からは施設の利用形態や規模感のみならず、施設側の運用状況も十分に勘案し、提供方法、追加実装機能や運用フローの差分など異なるニーズや課題等を収集整理し更なる検証が必要である。

- ② 他施設への横展開

大規模施設のほか、その他イベントホールや商業施設等に対する横展開の可能性についても同様に、施設側の運用状況も十分に勘案し、更なる横展開の可能性を検証していく必要がある。

対象となる他施設とは、施設常駐警備を行っている警備対象先のうち、同施設

内においてイベント等を開催するなどし、通常の施設常駐警備に加えイベント時に臨時警備（一時的に警備を行うもの）を必要とする施設となる。警視庁「警備業の実態と指導強化推進状況」（令和元年）によれば、国内には約 42,000 件の施設常駐警備対象先があるとされ、これらのうち更に臨時警備を必要としている施設に対し、今後の横展開の可能性が見込まれる。新設施設の開所時点でロボットによる施設警備実装が可能であれば、イベントでのロボット提供モデルの促進へ繋がる可能性があると考えられる。

上述の普及展開方策を踏まえ、サービス展開計画（ロードマップ）を下図に示す。具体的には、令和 4 年度は、他施設、利用業者の拡大に向けた調査検討を行う。令和 5 年度は、マルチユース機能の追加開発と提供を行う。令和 6 年度には、サービス拡販を目指す。

図表 4-220 サービス展開計画（ロードマップ）

令和4年度	令和5年度	令和6年度～
<ul style="list-style-type: none"> <li>他施設、利用業者の拡大に向けた調査検討（例：大型MICE施設、イベントホール、商業施設等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロボットのマルチユース機能の追加開発と提供（例：フロア間移動のためのエレベータとの連動、移動型デジタルサイネージ等のおもてなし要素の実装等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R4-5年度検討を踏まえた、「遠隔ロボット監視システム」のサービス拡販</li> </ul>

## (2) A-2.混雑検知システム

ローカル 5G 活用モデルの普及展開の加速に向け、横展開の方向性について検討を行った。具体的には、イベント主催者、施設管理者等へのヒアリングを踏まえ、「同様のイベント施設内での機能拡張」と「導入施設や利用業者の拡大」の大きく 2 つの方向性が想定した。

- 同様のイベント施設内での機能拡張（利用シーンの拡大）  
利用シーンの拡大については、混雑検知機能の活用拡大と来場者の属性把握等の機能拡張についてイベント主催者、施設管理者等からコメントを得た。
  - ① 混雑検知機能の活用拡大  
混雑検知システムについては、イベント等での活用に関しては一定の有効性が示され、混雑検知システムの普及拡大にあたっては、下記の機能改善に期待する声があった。
    - i. 主催者側、施設側が簡単に設定を行えるようにする
    - ii. 来場者の認知をあげる情報の掲示方法の検討（場所、数、UI）
    - iii. 混雑状況の段階的な検知、施設側への情報の共有
    - iv. 飲食スペースや休憩スペースなどメインイベントを行っているホール以外の混雑情報の掲示
    - v. 具体的な混雑緩和方策との連携（ロボット等）
  - ② 混雑検知機能以外の機能拡張  
混雑検知以外にも下記の機能について期待する意見があった。
    - i. 性年代などの属性情報の検知精度の向上
    - ii. 温湿度などの快適性に係る情報の取得
    - iii. 混雑情報の商業的な活用に向けた集計分析の機能（導線把握等）
- 導入施設や利用業者の拡大  
導入施設や利用事業者の拡大については、施設管理者等から下記のコメントを得た。
  - ・ 商業施設等への展開  
施設管理者等へのアンケートから、商業施設等においても来場者がどこに滞在したのかの情報を取得することには一定のニーズがあることがわかった。商業施設等では、店舗以外にも施設内での臨時イベントの集客具合や飲食スペース等の混雑具合の把握などイベント施設と同様のニーズがあると考えられる。また、大型商業施設ではホテル等の別の施設と建物がつながっているケースもあり、そういった導線での誘客、送客の状況を知りたいとの意見が聞かれた。
  - ・ 工事現場等での活用  
施設管理者等へのアンケート調査から、工事現場等での活用の可能性も示唆された。工事現場では仮設で使用できるシステムに一定のニーズがある可能性があると共に、工員の状況把握が効率よく行える可能性がある。一方で、工事現場等では人数の把握以外にも危険性や体調管理などその他の情

報取得についての機能拡充も期待される。

上述の普及展開方策を踏まえ、サービス展開計画（ロードマップ）を下図に示す。

令和4年度は、混雑検知システムの実用化に向けた改善の取組を行う。具体的には、今回取得した意見を基に来場者に向けた情報提供の方法やアラート機能の改善、簡単に操作できるアプリケーションの開発等の改善を検討する。同時に、属性検知機能(性別、年齢層などを自動判別)の高度化に取り組むことで活用の幅を広げることを検討する。また、上記の改善にあたっては実際に大規模施設等への試験的導入を重ねて、令和5年度以降の実装を目指す。さらに、令和5年度は、キャリア・ローカル5Gの普及に合わせ、商業施設等のイベント施設以外での活用に向けて汎用化、機能の拡充を目指す。大規模施設へのローカル5Gやキャリア5Gの普及に伴い、施設間での情報連携やより可搬性を高めたシステムの構築が可能になる可能性がある。令和6年度は、5G対応のスマートフォン等の普及が見込めることから、都市全体における混雑検知、人流流動システムの検討および、スマートフォン(5G対応)へのリアルタイム配信などの機能追加を検討する。

図表 4-221 サービス展開計画（ロードマップ）

令和4年度	令和5年度	令和6年度～
<ul style="list-style-type: none"><li>混雑検知システムの実用化に向けた機能の改善</li><li>属性検知機能の精度の向上</li><li>混雑検知システムの大規模施設への試験的導入、上記改善の実証の実施</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>大規模施設における混雑検知、人流誘導システムの実装</li><li>大規模商業施設、観光地等での利用を想定した汎用化、機能の拡充</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>大規模商業施設等を含む都市全体での混雑検知、人流誘導システムへの拡大</li><li>スマートフォンへのリアルタイム配信等の機能追加</li></ul>

### (3) B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム

ローカル 5G 活用モデルの普及展開の加速に向け、横展開の方向性について検討を行う。具体的には、「演奏形態（利用シーン）の拡大」と「導入施設や利用業者の拡大」の大きく 2 つの方向性が想定される。

それぞれの方向性について、実証結果や関係事業者にヒアリング等を行い、実現性や実現に向けた課題の整理を行った。但し次項 4.4.7.(3)で述べるが、当ユースケースの利用拡大には技術課題の解決が先決である点には留意されたい。

- 演奏形態（利用シーン）の拡大

遠隔同期演奏の実装に向けて、本実証ではポップス、ソウル、ジャズ、ロックの 4 ジャンルの音楽について検証を行った。特にポップス、ロックの評価が比較的高いことから、同ジャンルでの実証実績を積み重ね、利用シーンの確立を進める必要がある。また普及展開にはより幅広い演奏者や楽器に活用されていく必要がある。前項 4.4.6.1(3)のヒアリング結果から、ゴスペルなどの合唱音楽、大人数のグループ音楽の可能性が見いだせたことから、今後これらの音楽ジャンルでも検証し、利用シーンの拡大実証を進めていく必要がある。

- 導入施設や利用業者の拡大

- ・ 国内大規模施設の施設管理者への横展開

効果検証や運用検証の結果を踏まえ、他の施設への横展開の方策を検討した。まず施設、イベント企画・運営会社側の観点でみた場合、演奏者側の演奏の準備に関して追加施策が不要であると確認できたことは大きい。施設、イベント企画・運営会社にとっての負担や新たな作業発生はないと想定される。

また、大規模施設へのヒアリングや効果検証におけるアンケート結果より、今後ニーズの可能性のある遠隔・分散型イベントとして、「親子連れ・ペット連れ専用ルーム」「会議室など小スペースの複数分散開催」を導き出すことができた。他の施設管理者が多様なイベント形態、観客増員に向けた方法を検討するにあたり、これらを参考例として示していくことで、大規模施設への提案に繋がられる。横浜市の施設管理者へのヒアリングと様々な展開を模索・検討継続する。

施設的设计時から、ホール以外の会議室、エントランス、フォワイエ等にもローカル 5G が整備されることにより、従来では実現できなかった演出（例：エントランスからホール内までを移動しながら演奏するなどの演出）が可能になると考える。施設内の別の部屋、空間に移動する際にマイクの受け渡しが必要なくなるなど、運用面の利便性向上も期待できる。

- ・ PA 業者への横展開

遠隔同期演奏実施時の作業フローおよび SYNCROOM 使用時の設営・設定方法等を整理することにより、利用の障壁を下げる事が考えられる。その一つとして、前項 4.4.6.1.(3)-3 にて「遠隔同期演奏用音響システム構成例」を示した。この構成であれば、演奏者用のモニター及び会場内の音量バランスの調整の自由度が高く、かつオペレーター人員の削減にも繋がる。但し今回はローカル 5G

の実力値からこの構成例での実証を実施できなかったため、次年度以降「遠隔同期演奏用音響システム構成例」での実証実験を行い、遠隔同期演奏を用いた音楽イベントの実用例を確立する必要がある。この点は次項 4.7.(3)にて課題と解決策として整理する。

また、遠隔同期演奏を可能にするアプリケーションの音楽機器・設備への導入の可能性や、当該アプリケーションの使いこなせることが PA 業者の差別化につながるかについて、企業等のパーティーへの遠隔生演奏提供や野外での利活用などが上がっており、これらについても今後の実証対象として検討を続ける。

上述の普及展開方策を踏まえ、サービス展開計画（ロードマップ）を下図に示す。

具体的には、令和 4 年度は、SYNCROOM の利用技術・スキルを持つ PA 事業者との実証を通じたノウハウの蓄積と、低遅延を利用した演出の検討や利用シーンの拡大の検討を行い、遠隔・分散型イベント普及のための基盤作りを行う。

令和 5 年度は、4.4.3.2 及び 4.4.7.(3)で取り上げた課題であるローカル 5 G の安定性向上が確認されたならば、遠隔・分散型イベントにおける新しい演出・活用の可能性を検討、実証を行い、運用可能な遠隔同期演奏の実現を目指す。

令和 6 年度以降、キャリア・ローカル 5G の普及に合わせ、遠隔同期演奏の対象施設を拡大する。本年度の実証結果を活かしながら、遠隔・分散型のライブパフォーマンスイベントの横展開に向けて、拡大した施設での整備および実証を重ねるに資するかを再検討する。

図表 4-222 サービス展開計画（ロードマップ）

令和4年度	令和5年度	令和6年度～
<ul style="list-style-type: none"> <li>• SYNCROOMの利用技術・スキルを持つPA事業者との実証を通じた運営ノウハウの蓄積</li> <li>• 低遅延を利用した演出の検討、グループ音楽や合唱音楽の利用シーンの検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ローカル5G基地局のスループット・レイテンシー向上を見越した、新たな遠隔分散型イベントの演出企画の検討、確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• キャリア・ローカル5Gの普及に合わせ、同期演奏による遠隔ライブの対象地域・施設の拡大</li> </ul>

#### (4) A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム

ローカル 5G 活用モデルの普及展開の加速に向け、横展開の方向性について検討を行う。具体的には、「混雑検知以外の機能の拡充」と「導入施設や利用業者の拡大」の大きく 2 つの方向性が想定される。

実証結果や関係事業者にヒアリング等を行い、実現性や実現に向けた課題の整理を行った。

- 混雑検知以外の機能の拡充

混雑検知以外のシステムの開発、追加、およびロボットによる来場者へのサービス提供についてのニーズ把握、サービスイメージの検討を行った結果として、大規模施設等においては、来場者の属性に合わせたおもてなしやマーケティング等への活用が検討し得る。また、顔認証等による入場受付や迷子の検知なども今後のニーズが期待される。

- 導入施設や利用業者の拡大

- ・ 国内大規模施設の施設管理者、イベント主催者への横展開

国内大規模施設の施設管理者とその利用者、及び他施設を運用管理する事業者へのサービス展開の可能性が考えられる。

- ・ 他施設への横展開

国内大規模施設のほか、その他イベントホールや商業施設等に対する横展開の可能性が考えられる。

施設の設計時からローカル 5G が館内に整備される場合は、メインホール以外でもローカル 5G を使用できるようになると、混雑検知のカメラ設置の自由度が向上し汎用性が高まると考える。メイン会場以外の混雑状況の把握や、廊下の人の移動状況などといった、イベントごとにカスタマイズされた混雑状況を把握することができるようになると思う。また、その混雑状況を伝えるロボットも自由に動くことができれば、情報の取得、提示のいずれもイベントの配置に合わせて対応できるようになるものと思う。

上述の普及展開方策を踏まえ、サービス展開計画（ロードマップ）を下図に示す。

具体的には、令和 4 年度は、本実証成果を踏まえて混雑検知後のロボットが自動で運行するロジックの確立、混雑箇所への単独自立走行の実現を目指す。また、イベントホールや商業施設等へのロボットによる混雑アナウンスの横展開の可能性を探ると共に、属性検知×おもてなし、顔認証×受付等といった新たなサービス連携のニーズ把握を行う。

令和 5 年度は、令和 4 年度に確立したロボットによる混雑アナウンスシステムの施設側におけるオペレーション方法を確立するとともに、新たなサービスの開発、連携体制の構築を行う。

令和 6 年度には、スマートフォン等の 5G 端末の普及、キャリア 5G、ローカル 5G のエリア拡大を見越して、新たな機能の追加を含むマルチソリューションとして、国内大規模施設、イベントホールや商業施設等に導入することを目指し、ビジネス化の検討を進める。

図表 4-223 サービス展開計画（ロードマップ）

令和4年度	令和5年度	令和6年度～
<ul style="list-style-type: none"> <li>混雑検知アラート発生時のロボットへの自動運行ロジックの確立、混雑箇所への自立走行の実現</li> <li>大規模施設、商業施設等でのロボットによる混雑アナウンスシステム、新たな機能追加のニーズ深掘り</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自律走行ロボットの混雑アナウンスシステムについて、施設側の運用オペレーションの確立</li> <li>混雑検知以外のニーズの高い機能の追加開発、新機能における連携体制の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新たな機能の追加を含むマルチソリューションとして、ビジネス化を検討</li> <li>イベントホールや商業施設等の国内大規模施設への導入を目指す</li> </ul>

## (5) マルチアプリケーションの実現

ローカル 5G 活用モデルの普及展開の加速に向け、横展開の方向性について検討を行う。具体的には、「同一施設内での機能拡張」と「導入施設や利用業者の拡大」の大きく 2 つの方向性が想定される。

特に、本実証が対象とする大型複合国際会議施設、またより一般化した大型複合施設においては、施設内に構築したローカル 5G ネットワークを、施設管理者、イベント主催者、来場者といった様々なステークホルダーが、様々な用途・目的で同時並行運用できることが大きなメリットである。例えば、ローカル 5G ネットワークを構築するに際しては、導入コストが大きいことが課題とも言われるが、様々なステークホルダー間で費用分担するようなスキームを一般化することができればローカル 5G の普及展開にも資するものとする。本検討においては、こうした大型複合施設への展開方向性について、考察を深めることとする。

これらについて、実証結果や関係事業者ヒアリング等を行い、実現性や実現に向けた課題の整理を行った。

- 同一施設内での機能拡張（利用シーンの拡大）

個々のアプリケーション・サービスごとにいえば、ローカル 5G 不感区間（例：エレベータ内、バックヤード、屋外敷地等）との間でのロボットのシームレスな往来実現による搬出入やスローモビリティ等による来場者の誘導、来場者属性や混雑状況の蓄積データをもとにしたマーケティング活用、演奏以外への遠隔同期セッションの活用（「親子連れ・ペット連れ専用ルーム」「会議室など小スペースの複数分散開催」）等の機能拡張を想定する。
- 導入施設や利用業者の拡大（国内大規模施設の施設管理者への横展開）

大規模施設、中小施設などへのヒアリングを実施し、ポストコロナ時代における安全・安心なイベント・集客環境を支えるマルチアプリケーションに対応したローカル 5G 環境を構築することについてのニーズや導入の懸念点、妥当な価格設定の感触等を伺った。

本検討では、実証の場となった「お城 EXPO2021」を主催する大型複合国際会議のパシフィコ横浜を実装先として想定したが、横展開先として、大型複合商業施設やホテル、地下街・駅ビル等が挙げられる。例えば、みなとみらい 21 地区には、大型商業施設が多数立地している。大型複合国際会議施設における「施設管理者⇄イベント主催者」の関係性は、大型商業施設における「施設管理者⇄テナント事業者」の関係性にアナロジーを効かせることもでき、同様のビジネスモデルを検討することも可能と考えられる。日次・週次でイベント主催者が出入りするイベントとは異なり、テナントの出入りの時間軸は年次単位であることから、運用ケースについてはより腰を据えて議論・決定することが求められる。具体的には、大型複合商業施設においては、施設管理者と多数のテナントがテナント契約を結ぶという関係がある中において、施設管理者が、オプションサービスとしてローカル 5G 環境を活用したマルチアプリケーション・サービスを月額・年額利用料型で拡販していくことなども想像できる。

加えて、地方の施設への横展開についても、その可能性があるものとする。地方部においても大型複合国際会議施設が立地しており、イベント開催時には国内外から数多くの来場者で賑わうこととなる。こうした施設においては、パシフィコ横浜同様安全・安心なイベント開催へのニーズが多いことから、同様のソリューションを導入する価値がある。特に、当該施設の立地エリアによっては、キャリア 5G ネットワークをはじめ、高規格な通信手段が十分に整備されず活用できない状況も可能性として想定され得るため、一層ローカル 5G ネットワークの整備の意義があるものと考えられる。一方、開催されるイベントの数や頻度が、都市部の大型複合国際会議施設に比すると少ないこと、またエンジニアリングサービスを実施し得るローカル 5G ベンダーの技術者の人数が少ない可能性があることなど、実現障壁もみられる。

上述の普及展開方策を踏まえ、サービス展開計画（ロードマップ）を下図に示す。

図表 4-224 サービス展開計画（ロードマップ）

	令和4年度	令和5年度	令和6年度～
遠隔ロボット監視システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>他施設、利用業者の拡大に向けた調査検討（例：大型MICE施設、イベントホール、商業施設等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロボットのマルチユース機能の追加開発と提供（例：フロア間移動のためのエレベータとの連動、移動型デジタルサイネージ等のおもてなし要素の実装等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R4-5年度検討を踏まえた、「遠隔ロボット監視システム」のサービス拡販</li> </ul>
混雑検知システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>混雑検知システムの実用化に向けた機能の改善</li> <li>属性検知機能の精度の向上</li> <li>混雑検知システムの大規模施設への試験的導入、上記改善の実証の実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模施設における混雑検知、人流誘導システムの実装</li> <li>大規模商業施設、観光地等での利用を想定した汎用化、機能の拡充</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模商業施設等を含む都市全体での混雑検知、人流誘導システムへの拡大</li> <li>スマートフォンへのリアルタイム配信等の機能追加</li> </ul>
施設内2地点での遠隔同期演奏システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>SYNCROOMの利用技術・スキルを持つPA事業者との実証を通じた運営ノウハウの蓄積</li> <li>低遅延を利用した演出の検討、グループ音楽や合唱音楽の利用シーンの検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ローカル5G基地局のスループット・レイテンシー向上を見越した、新たな遠隔分散型イベントの演出企画の検討、確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>キャリア・ローカル5Gの普及に合わせ、同期演奏による遠隔ライブの対象地域・施設の拡大</li> </ul>

#### 4.4.6.3 5G ソリューション提供センター（仮称）との連携可能性検討

大規模施設のローカル 5G 環境における様々なアプリケーション・サービスの利活用促進に向けては、「5G ソリューション提供センター（仮称）(5GSC)」に事前に、ALSOK、NRI、ヤマハ（、その他）のアプリケーションを登録し、シームレスなアプリケーション運用が可能となるような環境を構築する方向性が考えられる。各社のアプリケーションの概要については、以下の通りである。

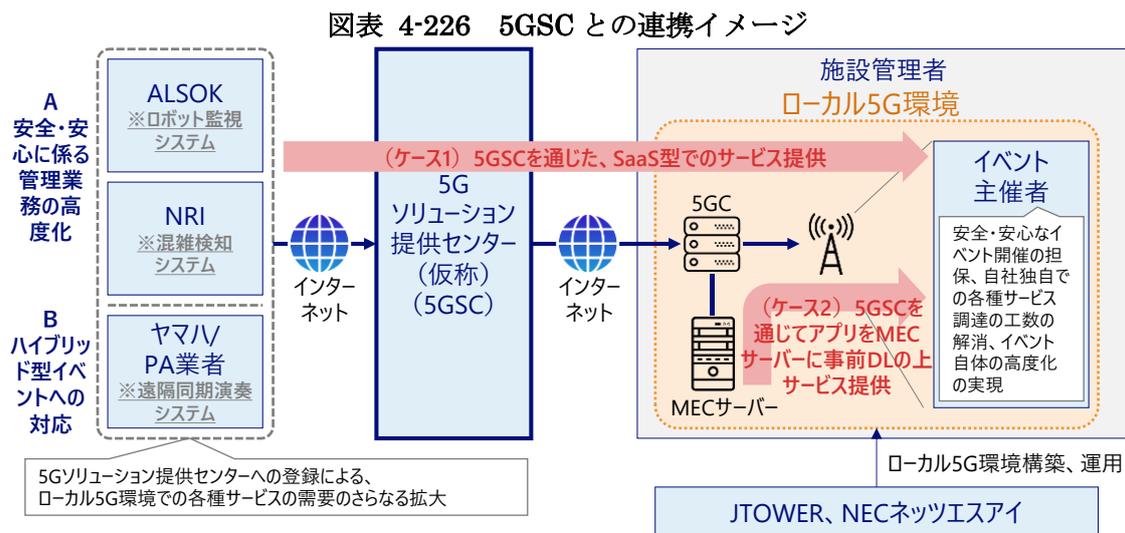
図表 4-225 アプリケーションの概要

<ul style="list-style-type: none"><li>● 遠隔ロボット監視システム<ul style="list-style-type: none"><li>・ 多くの人で混雑した環境下においては、通信輻輳が想定されるために、ロボットの遠隔操縦を行ったり、監視員・現場警備員間の指示伝達を行ったりする際に、通信安定性の面で課題がある。</li><li>・ そこで、本実証を通じて、ロボットの遠隔操縦、遠隔監視により、警備品質の向上と効率化の実現を目指す。</li></ul></li><li>● 混雑検知システム<ul style="list-style-type: none"><li>・ コロナ禍においては、会場内の滞在人数の管理が求められるが、人手等によって計測・把握すると工数が増大することから、運用の効率性の面で課題がある。</li><li>・ そこで、本実証を通じて、会場内を上部から俯瞰撮影した 4K 映像を、クラウドサーバー上の画像解析 AI で常時分析することにより、来場者の分散促進や来場人数管理の効率化の実現を目指す。</li></ul></li><li>● 遠隔同期演奏システム<ul style="list-style-type: none"><li>・ コロナ禍を機に増加したオンラインでのイベントでは、ライブならではの「臨場感」や「一体感」が醸成しづらいという点で課題がある。</li><li>・ そこで、本実証を通じて、異なる複数の場所にいるアーティスト同士での、同期を取りながらの演奏を無線環境で可能とすることにより、コロナ禍での感染対策や新たなスタイルでのイベントの実現を目指す。</li></ul></li></ul>
---

イベント主催者へのアプリケーションの提供方式として、現時点では以下 2 ケースを念頭に置く。

ケース 1 は、アプリケーション・ベンダーが、5GSC を通じて、SaaS 型でサービスを提供するものである。

ケース 2 は、MEC サーバーを設置・運用している前提において、5GSC を通じてアプリを事前に MEC サーバーにダウンロードしておき、当該アプリをローカル 5G 通信環境に閉じた形で運用するという方式である。



5GSC へ期待する機能・サービス等としては、アプリ・ソリューションのロングリストが閲覧でき、今後のソリューション導入の参考とできることを挙げる。また、ローカル 5G のアンテナ等が整備され、予め実証実験用の免許認可を受けた実際の都市空間等のフィールドが設置・開放されると、本分野における今後の発展にも寄与するものと考える。

既存の取引ネットワーク及びその延長線にあるであろう商談（すなわち、ユーザー企業としての課題意識や施設実情に精通している方々との商談）以上に、有用なソリューションや導入支援サービス（例：5G 自体の目標性能の発揮や、5G 通信側とアプリケーション側との調整等）をカスタマイズして 5GSC からのサービス提供を受けられるかどうかは注視したいと考える。

上記を踏まえ、現時点では、5GSC への参加意向を固めきれないとする。まずは、本コンソーシアム内での協議を通じた実装、及び各ソリューション開発企業が有する取引ネットワークを通じた営業横展開を優先する。あわせて、5G を活用したソリューションとしての標準形の構築、及びスケール化の目処立てを行う。その中で、参加意向を固めるという流れを想定する。

#### 4.4.7 ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

本ローカル5G活用モデルの実装について、次表に示すような課題を想定している。

図表 4-227 現在想定している課題

分類	想定課題
①導入効果	● 施設管理者、イベント企画者、来場者等各ステークホルダーが、ローカル5Gの高速大容量特性、超低遅延特性に裏付けられたアプリケーション・サービスの良さを実感し継続的な利用を望むようになるか。そのための必要条件とは何か。
②費用負担	● 施設管理者とイベント企画者という2大主体がいる中、導入しやすい方式は何か。
③技術	● 施設敷地内において展開範囲を拡大したり、さらなるアプリケーション・サービスが同時並行運用されたりするようになった際には、現状のスループット等が十分であるか否かを改めて確認・検証する必要がある。
④運用	● 現在は、人手によって取り組まれている各種施設維持管理業務等も残っている。本スキームに則ったDX化を機能強化として実施するのか機能代替として実施するのか等、ステークホルダー間において継続的な協議が必要。
⑤規制・法制度	● 大都市空間であることから、今後のキャリア5Gの普及展開状況を見据え、ローカル5G利活用のあり方についての検討が必要。
⑥実施体制	● 実装や横展開を考えた際、現在の実証コンソーシアム構成員で不足する業種・業態の企業等は何か。

想定課題を意識しながら、課題実証の準備、実施、実施後の検証を行い、実証目標と実証結果を比較した場合に、目標を達成できなかった場合には、その原因を分析する。

各アプリケーション・サービスに関する個別の課題は以下の通りである。

## (1) A-1.遠隔ロボット監視システム

「遠隔ロボット監視システム」の実現や実装に向けた課題を下記の視点等から整理を行う。本年度実証におけるアンケート調査結果や関係事業者へのヒアリング等を通じ、解決策の検討を行った。

図表 4-228 想定される実装に向けた課題

課題項目		概要
運用	ローカル 5G の設置・保守	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ローカル 5G 敷設、維持管理コストの負担</li> </ul>
	警備ロボットやスタッフ等連携システムの利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ロボットのタイムシェアによる貸出しモデルと、ロボットによる施設警備業務の併用運用上の課題</li> <li>● イベント主催者への貸出しに際し、ロボット運用時の事前設定、運用サポート</li> </ul>
技術	通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 通信不安定時のロボットの挙動（映像送信、制御）</li> <li>● 警備員がローカル 5G エリア内外を行き来する際の、キャリア通信網間とのシームレスな接続性</li> </ul>
	機器・アプリケーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機能検証結果を踏まえた、追加機能実装の実現性</li> </ul>
ビジネス・普及方策		<ul style="list-style-type: none"> <li>● イベント主催者へのロボット貸出しサービス訴求、価格設定、実施条件</li> </ul>

上記に関して、以下に示す課題が浮かび上がった。これらの課題に対し、それぞれ次の方針で対処を進めていく。

### 1. 運用：アプリケーション側がもたらす収益拡大の明確化

各アプリケーション共通の課題事項として整理し解決を図る。ローカル 5G システムそのものは施設管理者側が整備することが前提と捉えられるが、ロボット監視システムのレベニューモデルで示したとおりアプリケーション側がもたらす収益拡大をより明確化する。

### 2. 運用：業務フロー分析を通じたロボット運用の実現可否の見極め

各運用検証にて示したとおり、現状の施設警備に関する詳細分析を行い、ロボット運用の実現可否を見極める。イベント貸出し時においても同様に示したとおり、整理を行った業務フローに従い実際の導入提案活動を通じブラッシュアップする。

### 3. 技術：ロボット運用不可となった際の代替手段確保や不感エリア挙動の確認・探究

ローカル 5G は発展途上の技術であり、本実証期間中に発現しなかった挙動が生ずる可能性は排除できない。本モデルは警備サービスの一部として提供されることから、万一ロボット運用が不可となった場合の代替手段として人的代替手段などを用意するなどの考慮した運用体制を構築する。

同様に、本実証では確認ができなかった、無線通信エリアの拡大に伴い、無線不感エリ

アでの挙動や、他の無線通信間とのシームレスな連携といった技術の実現に向けた更なる探求を進める。

#### **4. 技術：ロボットが無人格（機械的）である点に着目した実装ユースケースの検討**

警備力の向上面においては、イベント開催時間外の自動巡回機能の提供に関するニーズ、及びロボットが無人格（機械的）である点に着目したアナウンスのメリットに関する機能提供ニーズが高く、これらの機能については実装が可能な技術でありニーズに十分応えられるものと考えられる。

他方、混雑連携機能については、混雑状況下のイベントホール内で実施することよりも、イベントホール外での事前アナウンスを行うことや、混雑状況の予測に応じたアナウンスを行うことも有用である可能性があり、これらの機能に対応すべくロボット連携機能を強化し対応していく。

#### **5. ビジネス・普及方策：イベント主催者・施設管理者等へのアプローチ手順の検討**

ロボット導入に対する費用投資とイベント警備費用の計上の判断材料を提供する手段としては、ロボット提供を行う ALSOK が、①イベント主催者に対し無償や安価な費用でデモやテスト導入を行い、効果を訴求し次期開催時の予算化を促すとともに、②イベント主催者側の反応を受け施設管理者側における投資判断を行っていくといった手順が一案として考えられる。もちろん、その他にも、施設管理者側として警備業務の運用が複雑化するなどの実現障壁があるため、この点も十分な調整・検討を進める。

## (2) A-2.混雑検知システム

「混雑検知システム」の実現や実装に向けた課題を下記の視点等から整理する。本年度実証におけるアンケート調査結果や関係事業者へのヒアリング等を通じ、解決策の検討を行った。

図表 4-229 想定される実装に向けた課題

課題項目		概要
運用	ローカル 5G の設置・保守	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 施設における免許取得の負担</li> <li>● ローカル 5G 敷設、維持管理コストの負担</li> </ul>
	画像解析 AI の利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 混雑緩和の効果を高めるための施設側、来場者側への情報発信の方法を検討</li> <li>● カメラの死角を減らす設置方法の工夫</li> </ul>
技術	通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 継続的に 4K 映像をアップロードし、混雑検知を行うために必要となるスループットの確保</li> </ul>
	機器・アプリケーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>● イベントごとにエリアや閾値を容易に変更できるアプリケーションの開発</li> <li>● 属性検知など更なる解析技術の向上</li> <li>● 個人情報を開示しない UI の開発</li> </ul>
ビジネス・普及方策		<ul style="list-style-type: none"> <li>● —</li> </ul>

上記に関して、以下に示す課題が浮かび上がった。これらの課題に対し、それぞれ次の方針で対処を進めていく。

### 1. 技術：イベントごとにエリアや閾値を容易に変更できるアプリケーションの開発

イベント施設における実装に向けては、混雑検知システムを使用することで人による人数管理に比べて大幅なコスト削減が見込める。一方で、本実証によってイベントの開催予定や施設の詳細について、システムが側に伝えるなどの調整によって工数が増えるというデメリットが明らかになった。イベントをよく知るイベント主催者や施設の詳細を把握している施設管理者が混雑検知システムの設定を行えるように、容易に設定ができ、イベントの状況に合わせて設定をすぐに変更できるアプリケーションの開発を進める。

### 2. 運用・技術：混雑緩和の効果を高めるための施設側、来場者への情報発信の方法の検討

今後混雑検知システムのニーズを高めるうえでは、適切な情報発信の方法の検討が重要である。今回の実証ではイベント主催者側において人流制御を行う方針であったため、主催者側への早めのアラートや詳細な情報の提供など、主催者側への情報提供できる仕組みが今後は求められることが分かった。この場合、来場者向けに表示する情報と施設側が管理する情報は分けることが求められた。また、主催者側だけでなく、情報発信そのもので来場者の混雑回避行動を促すニーズも確認できた。その場合は表示する情報のわかりやすさや、来場者にメリットがある形の情報表示（イベント案内を合わせて表示する、トイレや休憩室の空き情報も掲示するなど）ができる仕組みが求められる。また、A-3 のロボットとの連携の様に情報を必要なタイミングに Push 型で提供することも有効と考えられる。情報の提供方法と効果については上記の把握したニーズへの対応を試験的な導入を重ねて進める。

### (3) B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム

「施設内 2 地点での遠隔同期演奏システム」の実現や実装に向けた課題を下記の視点等から整理を行った。本年度実証におけるアンケート調査結果や関係事業者へのヒアリング等を通じ、解決策の検討を行った。

図表 4-230 実装に向けた課題

課題項目		概要
運用	ローカル 5G の設置・保守	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 施設における免許取得の負担</li> <li>● ローカル 5G を敷設するコスト負担</li> </ul>
	SYNCROOM の利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 施設管理者や PA 業者の設営時等における作業上の負担や利用方法の不明瞭さ</li> <li>● 演奏者の演奏時における利用方法の不明瞭さ</li> </ul>
技術	通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 違和感なく演奏できる水準と比した時の遅延時間の長さ</li> <li>● 移動時に機器や他の演奏者の陰に入り、電波が途切れるケースがある等の電波伝搬上の課題</li> </ul>
	機器・アプリケーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 移動時に電波の捕捉が追い付かず、音切れが生じることがある等の機器やアプリケーションの性能上の課題</li> </ul>
ビジネス・普及方策		<ul style="list-style-type: none"> <li>● ー（効果検証のアンケート調査における「展開が難しいと考える場合の理由と考えられる課題」等の結果を踏まえ、検討予定）</li> </ul>

上記に関して、以下に示す課題が浮かび上がった。これらの課題に対し、それぞれ次の方針で対処を進めていく。

#### 1. 運用：多拠点での遠隔同期演奏の準備・運用を簡略化するための音響システムの構築

本実証で実施した音響システム構成では、複数地点に会場を分散した場合に各会場に音響設備、オペレーター人員が必要となる。そのため音響設備機器のコスト、オペレーター人員の確保、音響調整の工数増大が課題となった。

解決策として、前項 4.4.6.1.(3)-3「遠隔同期演奏用音響システム例」で示した通り、1 演奏者（楽器）：1 SYNCROOM を接続することで、音響設備の削減、オペレーターの削減と調整の容易さの全てが実現できる。この構成では会場スピーカーにも SYNCROOM を割り当てることで、会場内の演奏音声の音量バランスも高い自由度で調整することができる。また、オペレーターも会場スピーカーのある部屋で全ての調整が可能になるため、オペレーションの人員を減らすこともできる。ただし、会場スピーカーに SYNCROOM を割り当てた場合にはデメリットもある。例えば最大のパート数 5 のうち 1 つをスピーカーに使用してしまうため、楽器のパートは 4 以下に制限される（※SYNCROOM のルーム接続機能を使うことで最大 9 パートまで増やすことは可能だが、一定の制約は生じる）。また、大型のミキサー卓を使わない場合は、ミキサー卓に搭載されている高度な音質調整機能が使えなくなるといった面もある。

今回、このシステム構成例で実証を行わなかった理由は、ローカル 5G の実力値が分か

らなかったためである。SYNCRROOM は完全メッシュ型 P2P 通信を行うため、PC を 5 台接続した場合には 10 倍の通信量・遅延量・ジッタ発生頻度全てを満たすレイテンシーが要求されるが、今回の実証では、まず 1 対 1 での通信量・遅延量・ジッタ発生頻度を計測し実装性を検証することを目標とした。従って、4.4.6.1.(3)-3 の構成例に基づいた遠隔同期演奏の準備・運用効率化の有効性については、実際のイベントを模した追加検証が必要であり、次年度以降の課題として実証計画に盛り込む。

## **2. 技術：遠隔同期演奏の実用要件を満たすアップリンク速度の達成**

4.4.3.2 項の考察でも述べたが、ローカル 5G のダウンリンク方向の通信は遠隔同期演奏が要求する遅延時間内に収まるが、アップリンクは平均遅延時間およびジッタ発生頻度が大きく、技術要件を満たすことが出来なかった。

遠隔同期演奏システムは、要求スループットは 2-3Mbps 程度と通信量は小さいが、1msec 以下の超高頻度で音声データパケットを送出することで、音声の同期と低遅延性を実現している。そのため遅延時間に変動が生じると、音声の間延びし音楽テンポが変化してしまう。この遅延時間の揺れを吸収するため、SYNCRROOM は一定のデータバッファリングを行い吸収する仕組みを実装している。しかし今回の実証で、アップリンクの平均遅延時間 19.73msec、標準偏差 6.26msec と大きなばらつきが生じており、最大 50-100msec の遅延が発生することが度々生じていた。最大遅延を吸収するためにアプリケーション側では最大時間に合わせたデータバッファリングを行うことになり、システム全体での音声遅延時間は平均 50.19msec、最大 80msec 超となった。

よって、アップリンクの遅延時間のばらつきをダウンリンク相当の値に抑制することが遠隔同期演奏実現の実現要件と分かった。

解決策としては、ネットワーク構成の簡略化による遅延改善を図る。4.4.6.1.(3)-4「遠隔同期演奏用ネットワーク構成例」に示した通り、中継機器を減らしたネットワーク構成での実装を行い再度実証を継続する。

## **3. 技術：電波受信エリアによるジッタ発生影響の回避**

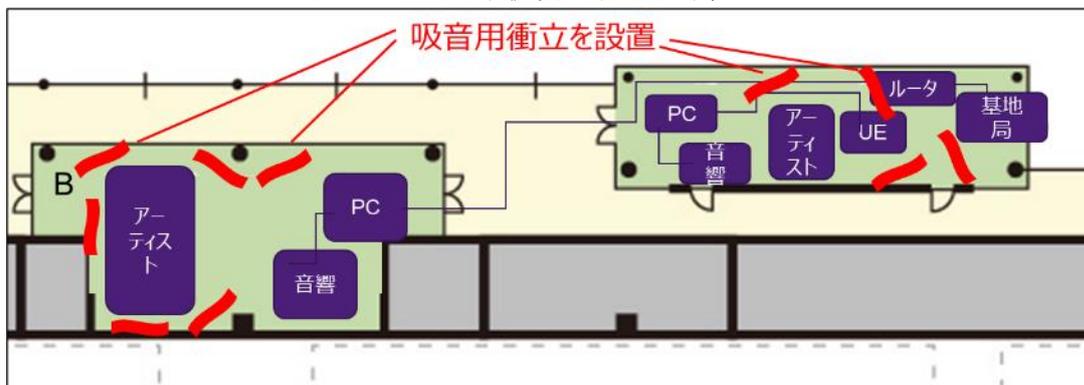
今回の実証では、パシフィコ横浜ガーデンラウンジを使用した。同ラウンジは会議用スペースという比較的小規模な空間で行った。4.4.3 項の実験装置配置図の通り、同ラウンジは 19.2m×5.1m とかなり横に長い空間のため、楽器演奏者・音響機器を配置した際に発信機・受信機の設置場所の自由度が限定されることとなった。更に、同ラウンジは天井が低く全面ガラス張りで音響構造的にも反射が大きく、音楽演奏を成立させるために多数の吸音板を配置したため、狭い空間内に多数の遮蔽物が存在する状態であった。

3.3.2.項の技術検証の結果では計測上は十分な電波強度が得られているが、UE の位置や周囲の人間の移動によって、ジッタが大量に発生する状況が度々発生していた。例えばアンテナと UE の間に遮蔽役の人間を立たせてみたところ、ダウンリンクの遅延時間には影響がなかったが、アップリンクの遅延時間増とジッタ大量発生が観測された。非常に不安定な通信状態の中で、比較的良好とされるポイントでの実証を行ったが、最善であったとは言いがたい。その結果、(2-1)の遅延時間に影響している。

今回の実証から得られた次への課題として、遮蔽物の少ない広い空間での再実証と、遅延時間、ジッタ発生抑制の効果について実証を継続する。特に今回使用した可搬型ローカ

ル 5G 基地局の特性を生かし、広大な空間での多種の基地局・受信機の組み合わせを検証し、アップリンクへの影響と実装のための要件を特定する。

図表 4-231 遠隔演奏実験時の障害物イメージ



図表 4-232 ガーデンラウンジ内の吸音用衝立設置状況



#### (4) A-3.ロボットによる混雑アナウンスシステム

「ロボットによる混雑アナウンスシステム」の実現や実装に向けた課題を下記の視点等から整理を行う。本年度実証におけるアンケート調査結果や関係事業者へのヒアリング等を通じ、解決策の検討を行った。

図表 4-233 想定される実装に向けた課題

課題項目		概要
運用	ローカル 5G の設置・保守	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 施設における免許取得の負担</li> <li>● ローカル 5G を敷設するコスト負担</li> </ul>
	混雑検知システムとロボット管理 PC の接続	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 混雑検知エリアの構成、およびロボットの走行場所の設定作業の負担、設定方法の不明瞭さ</li> <li>● エラー発生時の原因の検討、フォローアップの運用フローの検討</li> </ul>
	スタッフ等連携システム等との連携	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 必要に応じて警備員や施設従業員が介入する場合の運用フローの検討、ロボットの担う役割の明確化。</li> </ul>
技術	通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 混雑検知のための 4K 映像のアップロード、およびロボットの走行等の同時利用での帯域の確保。</li> </ul>
	機器・アプリケーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機器の管理方法、各システムの個別利用時と連携して利用する場合の運用フローの煩雑化。</li> </ul>
ビジネス・普及方策		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 混雑検知からアナウンスまでを人が介入せずに行うこと、多言語案内等の付加価値サービスのメリットの訴求効果、ニーズの把握。</li> </ul>

上記に関して、以下に示す課題が浮かび上がった。これらの課題に対し、それぞれ次の方針で対処を進めていく。

##### 1. 運用：ロボットの走行環境の見直し

本ソリューションの狙いは、ロボットがロボット周辺の来場者に対して音声ないしロボット前面サインージュを用いたアナウンスによって、会場内の混雑を緩和するないし未然に阻止することである。その狙い自体には特段の変更はないが、ロボットを走行させるタイミングや走行ルートについては検討を見直す。すなわち、混雑環境下においてロボットを走行させるのは技術面・安全面の観点から課題があるため、例えば会場外の廊下部を走行させて会場内の混雑状況を知らせる、あるいはロボットの専用レーンを設置する等の検討を行う。

##### 2. ビジネス・普及方策：NRI と ALSOK との役割分担の明確化

「ロボットによる混雑アナウンスシステム」は、本実証における試みとして、NRI の混雑連携システムと ALSOK の遠隔ロボット監視システムを連動させることによる、新しいソリューションの構築を企図したものである。そして、前述の通り、機能検証の結果、ソリューションとして成立すること自体は検証済みである。

ただし、本ソリューションをビジネスベースで展開していくにあたっては、2 社間での協業スキームについて、継続的な協議を行う。

### (5) マルチアプリケーションの実現

「マルチアプリケーション」の実現や実装に向けた課題を下記の視点等から整理を行う。本年度実証におけるアンケート調査結果や関係事業者へのヒアリング等を通じ、解決策の検討を行った。

図表 4-234 想定される実装に向けた課題

課題項目		概要
運用	ローカル 5G の設置・保守	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 施設における免許取得の負担</li> <li>● ローカル 5G を敷設するコスト負担</li> </ul>
	各種アプリケーション・サービス	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「施設管理者の維持管理業務の高度化」、「イベント企画者向けオプションサービスとしてのラインナップ強化」のバランス</li> <li>● 後者の場合の価格設定、イベント企画者へのオプションサービス提供に際しての準備・運用・片付けに至る業務オペレーションの確立</li> </ul>
技術	通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 複数のアプリケーション・サービスを同時並行運用する際の通信性能の十分性確保</li> </ul>
	機器・アプリケーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 各アプリケーション・サービスのスペック・機能の上限値の規定</li> </ul>
ビジネス・普及方策		<ul style="list-style-type: none"> <li>● —</li> </ul>

マルチアプリケーションの実現に向けては、(1)～(3)に挙げた個々のソリューションについて、課題の解消を行う。

#### 4.4.8 継続利用の見通し・実装計画

本年度実証事業終了以降のローカル 5G 利活用の方針については、横浜市、一般社団法人横浜みなとみらい 21、JTOWER、パシフィコ横浜（お城 EXPO2021）、NRI を中心に議論を進めてきた。次年度からの実装については、下記案を想定し、関係者へのヒアリング等を引き続き行うことで、具体化を図っていく。

##### **【方向性 1①】施設管理業務の改善（施設管理者の利用）**

- 人流管理、警備等の運用効率化、高度化を図る方向性（イベント誘致組織<sup>\*1</sup>及びイベント主催者等への意向確認）
  - ✓ <sup>\*1</sup>ぴあアリーナ MM、K アリーナ（建設中）は、MICE 誘致意向が高いこと、音楽との親和性において L5G 導入にポジティブなスタンスであることを確認済み。

##### **【方向性 2①】新たなスタイルでのイベントの実現、イベントの高付加価値化（イベント主催者向け）**

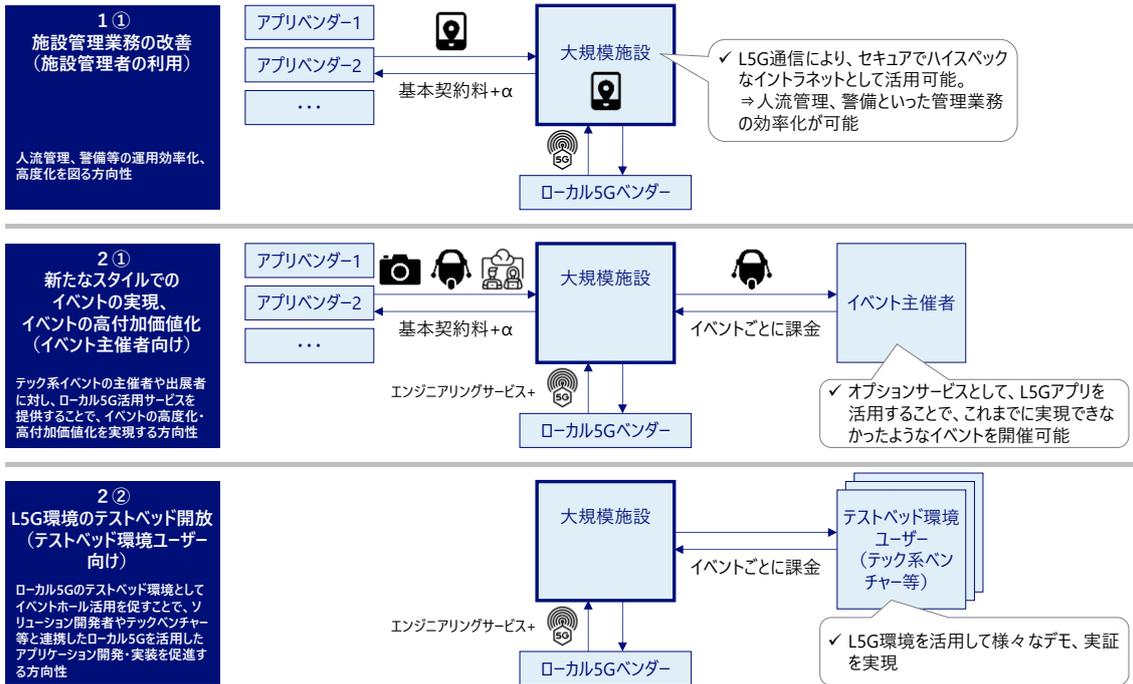
- イベント主催者向け：テック系イベントの主催者や出展者に対し、ローカル 5G 活用サービスを提供することで、イベントの高度化・高付加価値化を実現する方向性（例年イベントを開催する主催者等<sup>\*2</sup>・<sup>\*3</sup>への意向確認）
  - ✓ <sup>\*2</sup>半導体関係イベント主催者 A 談 「Bluetooth、Wi-Fi 等の環境が悪くなる展示会において、L5G 導入は大歓迎。また、5G の実験環境は東京の都産技研等があるが、今後パシフィコ横浜で L5G 環境が整えば、大規模な実験環境として有効に活用していきたい。」
  - ✓ <sup>\*3</sup>ロボット関係イベント主催者 B 談 「ロボット・モビリティのデモンストレーションに絶好の環境。出展企業にパシフィコ横浜で展示するメリットとして PR できるのは、主催者としても歓迎。」

##### **【方向性 2②】ローカル 5G 環境のテストベッド開放（テストベッド環境ユーザー向け）**

- テストベッド環境ユーザー向け：ローカル 5G のテストベッド環境としてイベントホール活用を促すことで、ソリューション開発者やテックベンチャー等と連携したローカル 5G を活用したアプリケーション開発・実装を促進する方向性。（MINATOMIRAI21 Activation Program (MAP) や横浜未来機構のプロジェクトにおける実証実験のための 5G 環境整備<sup>\*4</sup>等）
  - ✓ <sup>\*4</sup>YMM21 が、2022.2 から 5G 実証に関心ある大企業・スタートアップのエントリーを募集し、エントリー企業のニーズを起点に実証環境組成を検討（すでに xR 系のエンタメ、観光系のスタートアップ等の関心意向を確認済）。そして、年度明けより「5G を中心とした街の実証実験プログラム（仮）」への継続・展開を予定。加えて、ロボットワールドと連携したパシフィコ横浜での 5G デモについても、今後対話・調整する想定。

場所としては、パシフィコ横浜ノースのほか、パシフィコ横浜展示ホールや、MM21 地区内の大型商業施設への展開等を候補として幅広くフィージビリティを検討中である。

図表 4-235 大規模施設への導入を前提とした場合のビジネスモデル（案）



それぞれの課題実証システムの継続利用の見通し・実装計画を下記に示す。

(1) A-1.遠隔ロボット監視システム

遠隔ロボット監視システムは大規模施設等への導入実現に向けて引き続き今回把握した課題をクリアするための機能改善を進める。具体的には、無線不感エリアでの挙動（フロア間移動のためのエレベータとの連動）、他の無線通信間とのシームレスな連携、移動型デジタルサイネージ等のおもてなし要素の実装等である。また、あわせて運用改善も進める。具体的には、ロボットが無人格（機械的）であることに着目したアナウンス・呼びかけ機能の運用、万一口ロボット運用が不可となった場合の代替手段（人的代替手段などを用意する等）の考慮等である。

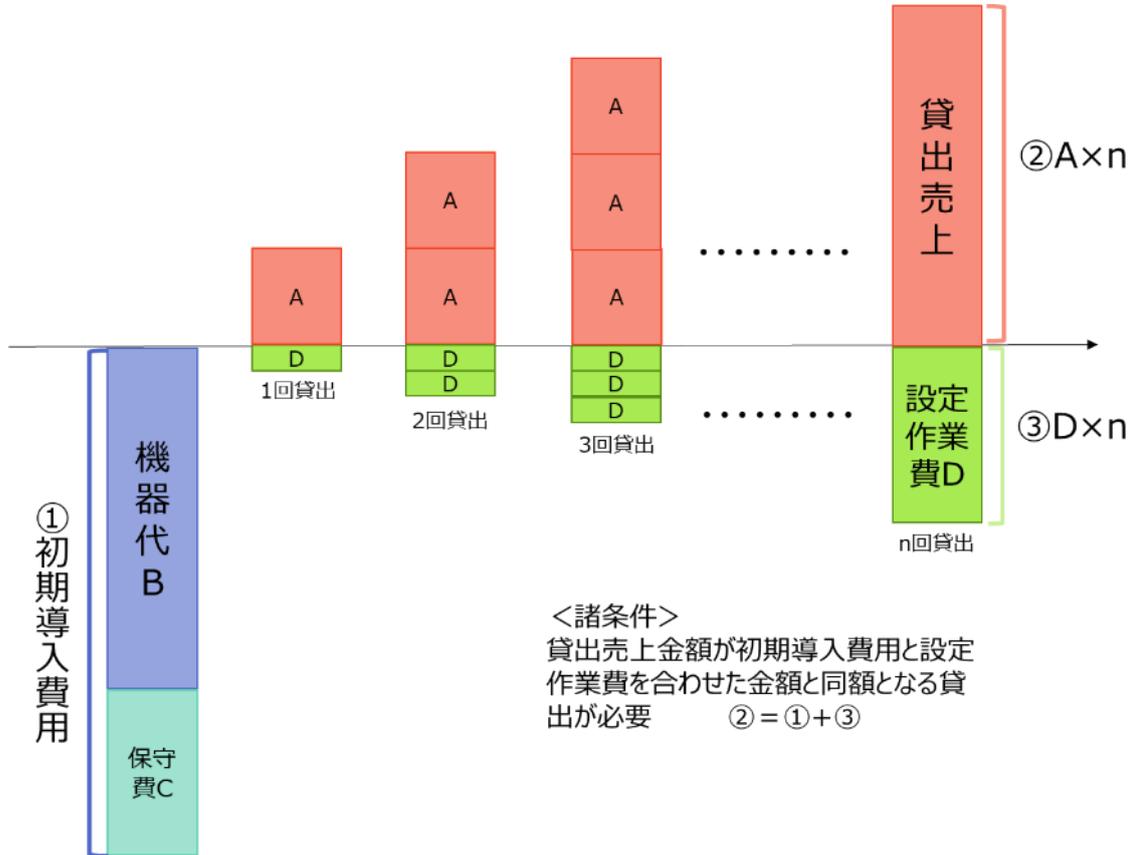
これら追加機能の開発や運用検討については、引き続き自社研究として実施しつつ、イベント主催者に対してロボット活用の提案を進め、デモやテスト導入を通じた効果訴求を行い、予算化を促すことにより、収益の確保につなげる。概ね令和5年度には開発・実証フェーズを終え、令和6年度には、各施設への「遠隔ロボット監視システム」サービスの拡販を目指す。令和7年度以降は、複数箇所での実装を進めるとともに、さらなる機能の改善、拡充を進める。

図表 4-236 遠隔ロボット監視システムの継続利用に向けた各年度の実施計画、およびビジネス化に向けたアクション

	実装計画	ビジネス化に向けたアクション
令和4年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>他施設、利用事業者の拡大に向けた調査検討（例：大規模MICE施設、イベントホール、商業施設等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>左記記載施設等におけるイベント主催者に対してロボット活用の提案を進め、デモやテスト導入を通じて効果を訴求し、次期開催時の予算化を促す</li> </ul>
令和5年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロボットのマルチユース機能の追加開発と提供（例：フロア間移動のためのエレベーターの連動、移動型デジタルサイネージ等のおもてなし要素の実装）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機能追加の開発とテスト導入を通じた機能改善</li> </ul>
令和6年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>令和4年度、5年度の検討を踏まえた、「遠隔ロボット監視システム」サービスの拡販</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>レバニューモデルを適用した他施設へのサービス拡販</li> </ul>
令和7年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>機能の改善、拡充</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>さらなる機能拡充やサービスの改善</li> </ul>
令和8年度～	<ul style="list-style-type: none"> <li>機能の改善、拡充</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>さらなる機能拡充やサービスの改善</li> </ul>

収支計画については、遠隔ロボット監視システム単体ではあるが、図表 4-237 のとおりレベニューモデルのイメージを再掲する。

図表 4-237 レベニューモデルのイメージ図（再掲）



<前提条件>

- ・ 機器代および保守費は年額
- ・ イベント貸出により発生する売上高、原価（設定作業費）は月間累計金額で記載
- ・ イベント実施時の貸出売上・・・A
- ・ ロボット機器代（初期導入費用）・・・B
- ・ ロボット保守費・・・C
- ・ イベント貸出におけるロボット設定作業費・・・D
- ・ イベント貸出適正価格・・・a
- ・ ロボット月額費用（施設警備導入時）・・・b（B/60+C）
- ・ イベント貸出回数・・・c、d

4.4.1 に記載に記述のとおり、益分岐点分析の結果、イベント貸出を c 回実施することで、ロボット初期導入費用と同額の売上高となる結果となった。また、d 回実施することで、初期導入費用に加え、イベント貸出時における設定作業費を含めた粗利ベースで、ロボット初期導入費用を回収できる結果となった。ロボットの利用年数を 5 年とし、収支シミュレーションを行ったところ、イベント貸出回数 d は、「10 数回程度」となった。国内を代表する大規模施設では大小合わせて年間約 1,000 件以上のイベントが行われており、そのため、貸出し回数 d を満たす貸出機会そのものは十分と言える。



## (2) A-2.混雑検知システム

混雑検知システムは商用化に向けて引き続き今回把握した課題をクリアするための機能改善を進める。具体的には施設側、主催者側が容易に設定を行えるアプリケーションの開発等である。機能開発は引き続き自社研究として実施し、同様の施設において実装に向けた試験的導入を進め、令和5年度の実装を目指す。また、商用化に向けては、多様なシーンで使用できることが求められるため今回と同様に人流管理のニーズのある商業施設、観光地等での試験的導入を今後も継続的に検討し、令和6年度の実装を目指す。令和7年度以降は複数箇所での実装を進めるとともに機能の改善、拡充を進める。

収支計画としては、主に開発費用等は自社研究として行うものとする。収益にかかる価格設定は今後の開発、実証に係る費用を踏まえ、具体的な実装を検討する際に、導入側との契約形態に合わせて設定するものとする。参考として、類似の仕組みで小規模の会議室で数十万円、大規模オフィスでは200万円以上（工事費や設置、保守費用は別途）の価格設定で商用化されているものがある。ただし、イベント施設においては、オフィス等よりも設備の利用方法が多様であり、1度設置してそのまま継続的に利用するのではなく、イベントごとにレイアウト変更がありそれに合わせて設置方法を変えて使用する可能性が高い。小規模店舗向けに機器の導入費用と月額の利用料による提供を行っている類似サービスもある。小規模店舗で初期費用が機器1台あたり6～12万円、利用料が月額4千～1万円程度である。小規模店舗と比べると検知すべき範囲や人数が異なるため、機器台数や価格規模は変わるが、大規模施設においても同様に月額やイベントでの利用に合わせた利用料金を設定していくことも今後検討する。

図表 4-238 混雑検知システムの継続利用に向けた各年度の実施計画  
およびビジネス化に向けたアクション

	実装計画	ビジネス化に向けたアクション
令和4年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>混雑検知システムの実用化に向けた機能の改善、属性検知機能の精度の向上</li> <li>混雑検知システムの大規模施設への試験的導入、上記改善の実証の実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機能改善については引き続き自社研究として実施する</li> <li>試験的導入については、大規模施設のニーズ把握をし、連携可能性を模索する</li> </ul>
令和5年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模施設における混雑検知の実装</li> <li>大規模商業施設、観光地等での利用を想定した汎用化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>汎用化は、機能追加などを自社研究として実施</li> <li>試験的導入については、ニーズのある商業施設や都市などの連携可能性を模索する</li> </ul>
令和6年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模施設等を含む都市全体での混雑検知システムの拡大</li> <li>スマートフォンへのリアルタイムの配信等の機能追加</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>都市での導入では、混雑情報のニーズを把握し、送客先からの収益等を得られるビジネスモデルを検討する</li> <li>スマートフォンへの配信機能については5G対応スマートフォンの普及に合わせて自社研究として実施する</li> </ul>
令和7年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>実装、機能の改善、拡充</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実装により得られた収益による機能拡充やサービスの改善を行う</li> </ul>
令和8年度～	<ul style="list-style-type: none"> <li>実装、機能の改善、拡充</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実装により得られた収益による機能拡充やサービスの改善を行う</li> </ul>

### (3) B-1.施設内 2 地点での遠隔同期演奏

遠隔同期演奏は、システム自体の商用化はすでに実現しているため、利用シーンの拡大など、システムを活用した企画・提案を含む新たなビジネスモデルの構築を進める。令和 4 年度は、まず、運営側の人材育成として、システムを利用できる PA 事業者との実証を通じた運営ノウハウの蓄積を行うとともに、低遅延を活かした新しい演出・利用シーンの検討を進める。令和 5 年度以降は、新型コロナウイルス流行からの回復、ローカル 5G 基地局のスループット・レイテンシー向上を見込んで、新たな遠隔分散型イベントの演出企画を検討し、モデルを確立する。令和 7 年度以降は、キャリア・ローカル 5G の普及に合わせて、同期演奏による遠隔ライブの対象地域・施設の拡大を図る。

4.2.3 にて背景・課題として記載した通り、本実証は遠隔演奏というシステムによってコロナ禍で急減したライブイベント需要を回復させることを目標としている。そのため図表 4-213 の体制図(案)で示した通り、サービスを無償提供することで PA 業者、企画・運営会社などへのイベント企画実施を促進し、市場回復に結びつけることを企図している。2021 年度は課題の実装性検証を中心に 1 イベント（4 バンド）での検証に留まったが、次年度以降は同規模・多種類の検証を複数回（2～3 回程度）行うことで運用性改善と演出事例増により、業界内への浸透を促す。次年度以降、試験的イベントの実施回数に比例した支出を見込む。

図表 4-239 遠隔同期演奏システムの継続利用に向けた各年度の実施計画  
およびビジネス化に向けたアクション

	実装計画	ビジネス化に向けたアクション
令和 4 年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔同期演奏のアプリ利用スキルを持つ PA 事業者との実証を通じた運営ノウハウの蓄積</li> <li>低遅延を利用した演出の検討、グループ音楽や合唱音楽の利用シーンの検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ローカル 5G 基地局のスループット・レイテンシー向上によって試験的なイベントを継続実施し、イベントの種類、規模によるコストイメージを模索</li> </ul>
令和 5 年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>ローカル 5G 基地局のスループット・レイテンシー向上を見越した、新たな遠隔分散型イベントの演出企画の検討、確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多目的施設及びイベント・PA 事業者を主体に、新たな演出を盛り込んだイベント企画提案を行い、コロナ禍で激減したイベント実施回数の回復を模索</li> </ul>
令和 6 年度～	<ul style="list-style-type: none"> <li>キャリア・ローカル 5G の普及に合わせて、同期演奏による遠隔ライブの対象地域・施設の拡大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔同期を用いた付加価値イベントによる多目的施設の収支改善を図る</li> <li>新たなイベント形態の他地域・対イベントへの展開により、イベント・PA 業者の収益改善を図る</li> </ul>

## 5. 普及啓発活動の実施

ローカル 5 G の普及の観点から、下記の普及啓発活動に積極的に取り組む。また、本事業に関する情報発信については、普及啓発に関する取組状況として、成果報告書にも記載する。

### 5.1 映像制作への協力

三菱総合研究所より依頼のあった映像制作への協力を行った。具体的には、指定のあった以下 6 シーンについて動画撮影を行った。

- 1. イベント会場の風景【NRI】
  - ✓ 1 階多目的ホール設置の 2 階ベランダ部から、会場を見下ろしてパンを振る形で会場の風景を撮影した。
- 2. 遠隔ロボットの動作、3.2 のモニタリング【ALSOK】
  - ✓ イベント前日までに実施する「不審者検知シナリオ」を撮影対象とした。
  - ✓ 監視員がモニター越しにロボットを遠隔操作しているシーン、遠隔操作によってロボットが進行しているシーン、監視員がモニター越しに不審者を捉えるシーン、監視員が現場警備員に対しスタッフ等連携システムで現場急行依頼を行うシーン、現場警備員が現場で不審者に対して話しかける（対処）シーンを断続的に長回しで撮影した。
- 4. 混雑検知システムの様子【NRI】
  - ✓ 2 階ベランダ部から、スマホで撮影した。
  - ✓ 大会場入口部のサイネージ画面を、一定秒数撮影した。
- 5. 遠隔同期演奏の収録【ヤマハ】
  - ✓ 12 月 10-11 日の本番実験の日に、片方の部屋（ガーデンラウンジ B ; Ba、Dr、Key）での演奏の様子を撮影する。音声は、その部屋に流れている音そのもの（= Ba、Dr、Key の演奏音と、スピーカー越しに Vo、Vo+Gt の音声）とした。
  - ✓ 並行して、もう片方の部屋（ガーデンラウンジ C ; Vo、Vo+Gt）での演奏の様子についても撮影した。音声は、その部屋に流れている音そのもの（=Vo、Vo+Gt の演奏音と、スピーカー越しに Ba、Dr、Key の音声）とした。
  - ✓ 必要かどうかの判断は、制作会社に委ねるが、適宜 SYNCROOM のアプリ画面についても撮影した。
- 6. 遠隔同期演奏の再生【ヤマハ】
  - ✓ 12 月 10-11 日の本番実験の日に、モニタールームで、担当者がモニター越し・スピーカー越しに上記 2 部屋の様子をチェックしているシーンを撮影した。

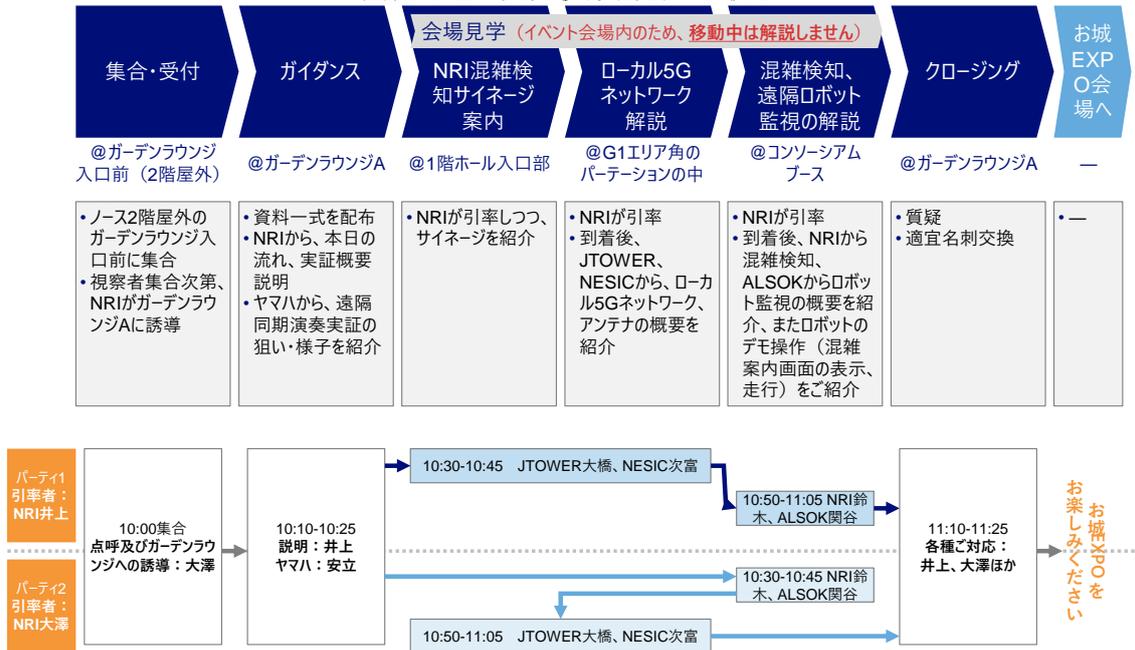
## 5.2 実証視察会の実施

ローカル 5G の普及に向けて、関係省庁等に対する実証視察会を下記概要で実施した。

図表 5-1 実証視察会の概要

実施日	2021年12月18日(土) 10:00~11:30
実施場所	パシフィコ横浜ノース お城 EXPO2021
参加者	<p>【総務省】          情報流通行政局地域通信振興課 デジタル経済推進室 池田室長、小笠原課長補佐          総合通信基盤局電波部移動通信課 鈴木係長、杉山係員</p> <p>【関東総合通信局】          情報通信部 情報通信振興課 前田課長</p> <p>【三菱総合研究所】          デジタル・イノベーション本部 ICTインフラ戦略グループ 伊藤主席          研究員、宮脇研究員</p>
プログラム	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ガイダンス             <ul style="list-style-type: none"> <li>• NRI から本日の流れや諸注意、実証概要を説明。</li> <li>• ヤマハから遠隔同期演奏実証の狙い・様子を、資料及び動画を用い説明。</li> </ul> </li> <li>2. NRI 混雑検知サイネージ案内             <ul style="list-style-type: none"> <li>• お城 EXPO2021 のイベント会場である 1 階多目的ホールの入口部に設置した、一般来場者向け混雑検知サイネージの機能などを紹介。</li> </ul> </li> <li>3. ローカル 5G ネットワーク解説             <ul style="list-style-type: none"> <li>• ローカル 5G ネットワークの諸設備等を設置した 1 階ホールの角部 (G1 エリア角) において、フレアシステムの実機を紹介。</li> <li>• あわせて、本実証で構築したローカル 5G ネットワークについての解説を実施。</li> </ul> </li> <li>4. 混雑検知、遠隔ロボット監視の解説             <ul style="list-style-type: none"> <li>• お城 EXPO2021 のブース群の 1 つとして設置した、本実証コンソーシアムの実証ブースに掲示したパネル等に基づき、NRI 混雑検知システムに関する実証、ALSOK 遠隔ロボット監視システムに関する実証等についての解説を実施。</li> <li>• ブース内に設置した ALSOK ロボット及び ALSOK ロボットの遠隔監視のための監視室を紹介すると共に、ALSOK ロボットのデモ操作を実施し、運用イメージを紹介。</li> </ul> </li> <li>5. クロージング             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1~4 に関する質疑応答及び名刺交換を実施。</li> </ul> </li> </ol>

図表 5-2 実証視察会当日の流れ



また、クロージング時の質疑応答では、1~4の技術実証、課題実証それぞれについて下記のような質疑応答がなされ、技術の運用や今後の横展開・普及可能性などについて活発な議論がなされた。

図表 5-3 質疑応答の概要

	質問	回答
技術実証	● NECシステムとフレアシステム (FS) の2つのローカル 5Gシステムを用いているが、片方のシステムのみで実施することは可能か。	● 実施することは可能。遠隔同期演奏の実証における準同期への対応など課題実証側のニーズを踏まえ、2つに分けた。
	● FS は今後さらに小型化など改良されるか。	● 現状は実証モデルだが、今後は小型化、防水対応など屋外設置にも耐えられるようにしていきたいと考えている。
	● FS の運用面での評価はどうか。	● 起動が早く、稼働が容易であり、同期・準同期もリモートで変更が可能などのメリットがある。
課題実証	● 混雑検知の仕組みは全国的にニーズがあるのか。	● コロナ禍での生活様式の変化を踏まえると、機能としてあることが当たり前になるのではないかと考えている。
	● 遠隔同期演奏の実証において、L5G と有線の比較をしたのは理解したが、LTE や WIFI との比較は行ったのか。	● WIFI と LTE は既に自社で検討を行っており、限界を感じていた。自社内での検討時の数値と比して、L5G の方が遅延は少ない。
	● 超低遅延という動画を用いる実証が多かった。動画の場合	● 詳しい技術の内容は機密情報のため話すのは難しいが、ヤマハのアプリケー

	<p>合、圧縮と解凍がネックとなって、低遅延を活かしきれないケースがあった。今回の遠隔同期演奏実の実証は、音が対象とはなるが、同様の影響はあったか。</p>	<p>ションは独自の技術を用いており、そこでの遅延は既に少ない。</p>
<p>実証 全体・ その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 今回は大型複合国際会議施設で実施しているが、似たような領域としてどのような施設への展開があり得るのか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 大規模な商業施設が考えられる。テナントが多く入っている場合は、基盤部分については共通とし、そのテナントごとに固有のアプリを入れてもらう、というのはあると思う。</li> </ul>

### 5.3 その他普及啓発活動

#### <実証実施に関する共同プレスリリースの発出>

2021年12月の実証実施に向けて、本コンソーシアム共同でのプレスリリース発出を企画した。プレスリリースにおいては、実証の概要・目的等を詳細に記載することで、普及啓発につとめた。

図表 5-4 プレスリリース

**8 者のコンソーシアムで、ローカル 5G を活用した「安全・安心」なイベント開催の実証実験を実施**

2021年12月19日

株式会社野村総合研究所  
株式会社 JTOWER  
NEC ネットウェア株式会社  
総合警備保障株式会社  
ヤマハ株式会社  
株式会社徳島国際平和会議場  
横浜市  
一般社団法人横浜みなとみらい 21

株式会社野村総合研究所 (以下「NRI」)、株式会社 JTOWER (以下「JTOWER」)、NEC ネットウェア株式会社 (以下「NEC ネットウェア」)、総合警備保障株式会社 (以下「ALSOK」)、ヤマハ株式会社 (以下「ヤマハ」)、株式会社徳島国際平和会議場 (以下「パシフィコ横浜」)、横浜市、一般社団法人横浜みなとみらい 21 (以下「YMM21」) の 8 者は、新型コロナウイルス時代の安全・安心なイベント開催に向け、ローカル 5G を活用した実証実験を本年 12 月に実施します。

総務省は、2019 年 12 月に「ローカル 5G」（地域のニーズや多様な産業分野の個別ニーズに応じて、様々な主体が柔軟に構築し利用可能な第 5 世代移動通信システム）制度を整備し、普及に向けた取り組みを推進しています。地方、インバウンド都市・観光）を促進する観点からは、企業や大学、スタートアップなどのオープンイノベーションにより、社会課題の解決を目指しています。その中、横浜みなとみらい 21 地区では、5G の早期実用化推進やユースケース創出に向けた取り組みを進めており、5G の普及を促進して先進的な新産業の創出や活性化につなげていくことを目指しています。

NRI、JTOWER、NEC ネットウェア、ALSOK、ヤマハ、パシフィコ横浜、横浜市、YMM21 の 8 者は、NRI を代表機関とする「横浜みなとみらい 21 地区ローカル 5G 実証コンソーシアム」を形成し、総務省「令和 3 年度課題解決型ローカル 5G 等の実用化に向けた関係実証」において、「大型複合商業施設向けにおけるポストコロナを見据えた通商監視等による安心・安全なイベントの開催」の実証事業企画を推進し、2021 年 8 月 31 日に採択されました。この度、2021 年 12 月 19 日、19 日にパシフィコ横浜で開催されるイベント「お城 EXPO2021」にあわせて、実証実験（以下「本実証」）を実施することになりましたので、その概要をお知らせします。

※ 取材についてのお問い合わせ（12 月 17 日締切）  
当実証実験はパシフィコ横浜で行われているイベント「お城 EXPO」のなかで行われております

---

・遠隔検知システム（主担当：NRI）  
コロナ禍においては、会場内の滞在人数の管理が求められますが、人手等によって計測・把握する工数が膨大することから、運用の効率性の面で課題があります。そこで、本実証を通じて、会場内を上層から俯瞰監視（※）した 4K 映像を、クラウドサーバ上の画像解析 AI で実時分析することにより、来場者の分散化や会場人数管理の効率化の実現を目指します。  
実証においては、複数のローカル 5G スマートフォンで撮影した 4K 映像の伝送、来場者向けに監視状況を提示するサイネージへの映像伝送において、ローカル 5G 回線を活用し、その有用性を検証します。

※ 撮影映像については、本実証の実証にあたってのみ活用し、個人を特定する情報（氏名、顔画像等）は取得および保存しません。

・遠隔同時演奏システム（主担当：ヤマハ）  
コロナ禍を機に増加したオンラインでのイベントでは、ライブならではの「臨場感」や「一体感」が醸成しづらい点が課題があります。そこで、本実証を通じて、異なる複数の場所にいるアーティスト同士での、同期を取りながらの演奏を無遅延環境で可能とすることにより、コロナ禍での感染対策や新たなスタイルでのイベントの実現を目指します。  
実証においては、複数のローカル 5G スマートフォンで演奏する旨の双方向伝送においてローカル 5G 回線を活用し、その有用性を検証します。

・遠隔アナウンスシステム（主担当：ALSOK、NRI）  
コロナ禍においては、時刻表や変わる混雑状況に応じて会場内の来場者の分散を促す必要があり、人手等によって都度声掛け等を行う工数が膨大することから、運用の効率性の面で課題があります。そこで、本実証を通じて、遠隔検知システムで把握される混雑状況と連動する形で、ロボットが自律走行で特定領域に向かい、周辺の来場者への遠隔アナウンスを行うことにより、来場者の分散促進の実現を目指します。  
実証においては、複数のローカル 5G スマートフォンで撮影した 4K 映像（※）の伝送、ロボットの制御用 PC 及びロボットへの混雑状況に係る情報の伝送において、ローカル 5G 回線を活用し、その有用性を検証します。

※ 撮影映像については、本実証の実証にあたってのみ活用し、個人を特定する情報（氏名、顔画像等）は取得および保存しません。

(3) 技術実証（主担当：JTOWER、NEC ネットウェア）  
本実証で構築するローカル 5G ネットワーク自体に関して、電波伝送等の詳細なデータの取得を行うことで、混雑が異なる会場内の複数ホールにおける建物侵入（壁等により電波が減衰すること）を考慮した、ローカル 5G の電波伝送モデルの精緻化、回線地と季節変動の実験を用いた共同検討を実施します。

が、会場内での、【実証実験のみ】のご取材は、お受けすることができません。実証実験のみのご取材をご希望の際は、別窓にて、コンソーシアム担当者より対応させていただきます。ご不便をおかけしますが、ご了承願います。お問い合わせは、お問い合わせ先へお願いいたします。

**1. 実証実験の背景**  
ポストコロナ時代の大型複合施設での安全・安心なイベント開催においては、警備活動の向上と効率化、感染予防対策の実施、イベントのハイブリッド化が必要とといった課題が存在します。  
そこで、ローカル 5G を活用し、安全・安心なハイブリッド型イベントに向け、遠隔ロボット監視システム、遠隔検知システム、これらを連携させたロボットによる遠隔アナウンスシステム、及び遠隔同時演奏システムの実証を実施します。  
本実証を通じて、ローカル 5G を活用して、ポストコロナ時代における、来訪者・施設管理者・主催者・出演者にとって安全・安心なイベント開催を実現するための方策や課題を明らかにすることを目的とします。

**2. 実証実験の概要**  
(1) 実証期間、実証会場  
2021 年 12 月の数日間をわたって、パシフィコ横浜ノース（住所：神奈川県横浜南区西區みなとみらい 21-01 の 1 階多目的ホール・2 階オーデリアンラウンジ）において、課題実証及び技術実証を実施します。  
このうち、12 月 18 日（土）、19 日（日）に 1 階多目的ホールで行う実証実験については、前日に開催 EXPO 実行委員会（公益財団法人日本経済連合会、並びに（株）会社東洋新聞社）、株式会社ムラヤマ、パシフィコ横浜）が主催する「お城 EXPO2021」の会場で実施します。  
(2) 課題実証  
本実証で構築するローカル 5G ネットワーク環境において、以下の各システムについて、その効果や機能、運用に係る検証を実施します。また、以下のシステムを同時に稼働させた際の稼働状況についても検証を行うことで、ローカル 5G ネットワーク環境におけるマルチアプリケーションの実現性についても評価します。

- ・遠隔ロボット監視システム（主担当：ALSOK）  
多くの人で混雑した会場下においては、遠隔監視が想定されるために、ロボットの遠隔制御を行ったり、監視員（※1）、遠隔監視員からの指示伝達を行ったりする際に、通信安定性の確保が重要です。そこで、本実証を通じて、ロボットの遠隔制御、遠隔監視により、警備活動の向上と効率化の実現を目指します。  
実証においては、ロボット前面のカメラ映像（※2）の伝送、監視員によるロボットの遠隔制御、監視員と現場警備員間の指示伝達において、ローカル 5G 回線を活用し、その有用性を検証します。
- ※1 撮影映像については、本実証の実証にあたってのみ活用し、個人を特定する情報（氏名、顔画像等）は取得および保存しません。
- ※2 この中でいう監視員及び現場警備員は、本実証のために配置する者であり、お城 EXPO2021 の警備員とは異なります。

**3. 各社の役割**  
8 者は共同でコンソーシアムの運営を行い、各社の強みを活かして活動を推進します。

株式会社野村総合研究所	コンソーシアムの代表機関として、全体統括を行う。加えて、遠隔検知システム、遠隔アナウンスシステムの課題実証を担当
株式会社 JTOWER	ローカル 5G の免許の取得、実証環境構築や技術実証を担当
NEC ネットウェア株式会社	ローカル 5G の実証環境構築や技術実証を担当
総合警備保障株式会社	遠隔ロボット監視システム、遠隔アナウンスシステムの課題実証を担当
ヤマハ株式会社	遠隔同時演奏システムの課題実証を担当
株式会社徳島国際平和会議場	実証会場の提供、及び各種調整を担当
横浜市	実証会場の行政主体として、各種調整・広報等を担当
一般社団法人横浜みなとみらい 21	みなとみらい 21 地区実証の事業者・団体からの意見聴取、普及展開に向けた広報等を担当

NRI、JTOWER、NEC ネットウェア、ALSOK、ヤマハ、パシフィコ横浜、横浜市、YMM21 の 8 者は今回の実証実験を通じて、我が国におけるローカル 5G の普及促進を目指すと共に、安全・安心な社会の実現に寄与していきます。



## <お城 EXPO2021 の実証ブースでのパネル展示の実施>

お城 EXPO2021 実行委員会の協力のもと、イベント期間中横浜 MM21 地区ローカル 5G 実証コンソーシアムとしてブースを出展しパネルおよび現物の展示等によって実証内容の説明を実施し、普及啓発につとめた。

ブースには実証の概要を説明するパネルおよび配布用の説明資料を配置した。パネルの構成は下記の通りである。

- 第1パート 実証実験全体の説明<A1>1枚
  - ・ 実証概要の説明
  - ・ コンソーシアム体制図等
- 第2パート ローカル 5G 機器・システムの技術的な説明<A1>1枚
  - ・ ローカル 5G 機器等の説明 <A2>1枚
  - ・ ネットワーク構成図 <A2>1枚
- 第3パート 課題実証システム（アプリケーション）の説明<A1>2枚
  1. 遠隔ロボット監視システム（ALSOK）
  2. 混雑検知システム（NRI）
  3. 遠隔同期演奏システム（ヤマハ）
  4. 混雑アナウンスシステム（ALSOK、NRI）
- 横浜未来機構のパネル 1枚

同様の内容で、配布資料として A4、8 ページの配布資料も作成した。また、横浜みなとみらい 21 が事務局を務める横浜未来機構によるパネル展示も合わせて実施した。ブースにはこのほか ALSOK のロボットおよび実証用の警備室を設置した。イベント開催中は実証関係者が常駐し、来場者に対して実証内容について解説を行った。

実際のパネルおよび配布資料の内容について下記図表に示す。

図表 5-5 第1パート 実証実験全体の説明

**実証概要 ローカル5Gを活用した「安心・安全」なイベント開催の実証実験**

- 位置づけ** 本実証は、総務省「令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」に採択された、「大型複合国際会議施設におけるポストコロナを見据えた遠隔監視等による安心・安全なイベントの開催」として実施します。
- 実施者** 横浜MM(みなとみらい)21地区ローカル5G実証コンソーシアム  
(株式会社野村総合研究所、株式会社JTOWER、NECネットエスアイ株式会社、総合警備保障株式会社、ヤマハ株式会社、株式会社横浜国際平和会議場、横浜市、一般社団法人横浜みなとみらい21)
- 背景**
- 総務省は、2019年12月に「ローカル5G」制度を整備し、普及に向けた取り組みを推進しています。
  - 「イノベーション都市・横浜」を推進する横浜市では、企業や大学、スタートアップなどのオープンイノベーションにより、社会課題の解決を目指しています。その中で、横浜みなとみらい21地区では、5Gの早期通信環境やユースケース創出に向けた取り組みを進めており、5Gの普及を通じて先端的な新産業の創出や街の活性化につなげていくことを目指しています。

第5世代移動通信システム(5G)の目標性能		ローカル5Gとは何か
<b>超高速</b>	<b>最高伝送速度 10Gbps</b> 現在の移動通信システム(LTE)より100倍速いブロードバンドサービスを提供	<b>ローカル5G</b> 地域や産業の個別のニーズに応じて地域の企業や自治体等の様々な主体が、自らの建物内や敷地内でスポット的に、自営の5Gシステムとして構築可能。  <b>他システムと比較した特徴</b> ①携帯事業者の5Gサービスとの比較 ●使用用途に応じて必要となる性能を柔軟に設定することが可能。 ●他の場所の通信障害や災害などに対する耐性が高い。 ②Wi-Fiとの比較 ●無線局免許に基づく安定的な利用が可能。
<b>超低遅延</b>	<b>1ミリ秒程度の遅延</b> 遅延時間(タイムラグ)が短いため、例えば、リアルタイムに遠隔地のロボット等の操作・制御が可能	
<b>多数同時接続</b>	<b>100万台/km<sup>2</sup>の接続機器数</b> スマートフォン、PC、センサーやカメラなど身の回りのあらゆる機器がネットに接続可能	

出所) 総務省公開資料をもとにNRI作成

横浜MM21地区ローカル5G実証コンソーシアム

**実証概要 ローカル5Gを活用した「安心・安全」なイベント開催の実証実験**

- 実証内容**
- 1. 技術実証** 主担当: 株式会社JTOWER、NECネットエスアイ株式会社  
 パシフィコ横浜ノースの1階多目的ホール・2階ガーデンラウンジに、お城EXPO2021の開催期間にあわせてローカル5Gネットワーク環境を構築し、電波伝搬特性に関する各種技術計測を実施します。この結果を分析することで、本施設の特徴となっています大規模・多様な構造を持つ空間においてローカル5Gがより安定的に性能を発揮できるための知見を得ます。
- 2. 課題実証**  
 1で構築したローカル5Gネットワーク環境を用いて、各システムに関する課題実証(効果や機能、運用に係る検証)を実施します。
- 遠隔ロボット監視システム 主担当: 総合警備保障株式会社(ALSOK)
  - 混雑検知システム 主担当: 株式会社野村総合研究所(NRI)
  - 遠隔同期演奏システム 主担当: ヤマハ株式会社
  - 混雑アナウンスシステム 主担当: ALSOK、NRI

横浜MM21地区ローカル5G実証コンソーシアムの構成員の役割	
株式会社野村総合研究所	コンソーシアムの代表機関として、全体統括を行う。加えて、混雑検知システム、混雑アナウンスシステムの課題実証を担当
株式会社JTOWER	ローカル5Gの免許の取得、実証環境構築や技術実証を担当
NECネットエスアイ株式会社	ローカル5Gの実証環境構築や技術実証を担当
総合警備保障株式会社	遠隔ロボット監視システム、混雑アナウンスシステムの課題実証を担当
ヤマハ株式会社	遠隔同期演奏システムの課題実証を担当
株式会社横浜国際平和会議場	主催事業である「お城EXPO2021」を実証場所として提供、及び各種調整を担当
横浜市	実証地域の行政主体として、各種調整・広報等を担当
一般社団法人横浜みなとみらい21	みなとみらい21地区周辺の事業者・団体からの意見聴取、普及展開に向けた広報等を担当

横浜MM21地区ローカル5G実証コンソーシアム

図表 5-6 第2パート ローカル5G 機器・システムの技術的な説明

**技術実証 ローカル5Gの機器・システム**

**背景・目的** 国内最大級の大型複合国際会議施設であるパシフィコ横浜ノースにおいて、お城EXPO2021の開催期間にあわせて、複数のソリューションに対応することを目的としたローカル5Gネットワークの構築を行いました。  
本実証を通じて、ローカル5Gネットワークを活用したソリューションの有用性、並びにネットワークをより効率的に構築するためのフィールド検証をおこなうことで、大型複合施設におけるローカル5Gの導入モデルを示し、今後のローカル5Gの普及促進につなげたいと考えています。

**実証内容** 構造が異なるパシフィコ横浜ノースの複数ホールにおけるローカル5Gの電波伝搬特性の測定と検証、建物侵入損(壁等により電波が減衰すること)を考慮した電波伝搬モデルの精緻化、同期局と準同期局の実機を用いた共用検討を実施します。

**担当企業**

**株式会社JTOWER**

5Gの取組み

ローカル5Gのフィールド検証  
5Gインフラシェアリング

5G共用ソリューション  
スマートボール  
(都市型の5G基地局サイト)

**JTOWER**

**NECネットエスアイ株式会社**

5Gの取組み

NEC  
NECネットエスアイ

昨年度の総務省実証(広島)

弊社5Gラボ

横浜 MM21 地区ローカル5G実証コンソーシアム

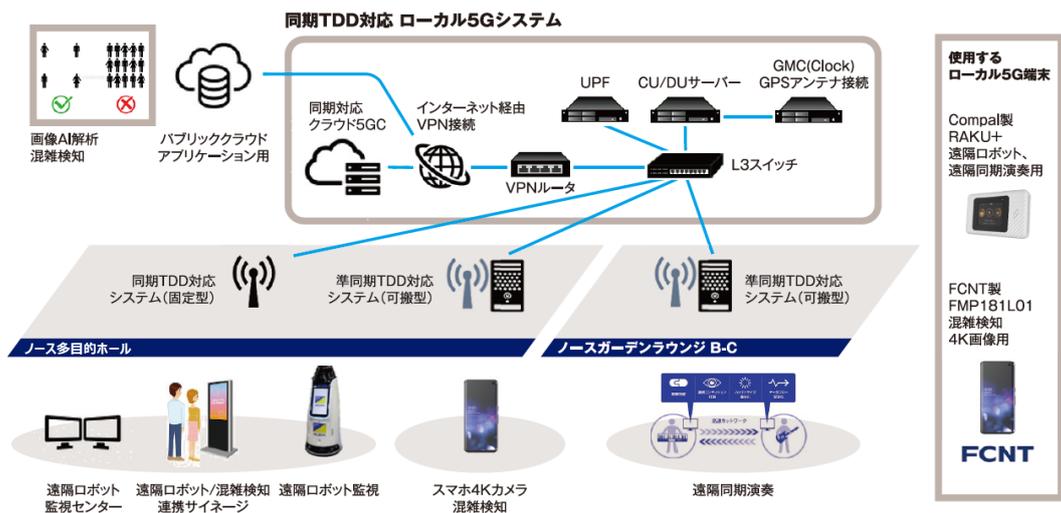
**ローカル5Gの機器・システム**

**同期対応TDDシステム (NEC製)**

項目	諸元
利用周波数帯	4.8GHz-4.9GHz 100MHz幅
最大出力	33.6dBm (2.29W) /アンテナ 36.6dBm (4.58W) /局
スループット規格値	UL 60Mbps/DL 700Mbps

**準同期対応TDDシステム (FLARE SYSTEMS製)**

項目	諸元
利用周波数帯	4.7GHz-4.8GHz 100MHz幅
最大出力	+23dBm (200mW)
スループット規格値	UL 220Mbps/DL800Mbps



横浜 MM21 地区ローカル5G実証コンソーシアム

図表 5-7 第3パート1. 遠隔ロボット監視システム (ALSOK)

**課題実証 1 遠隔ロボット監視システム** 超高速 → 超低遅延 → 多数同時接続

**背景・目的**

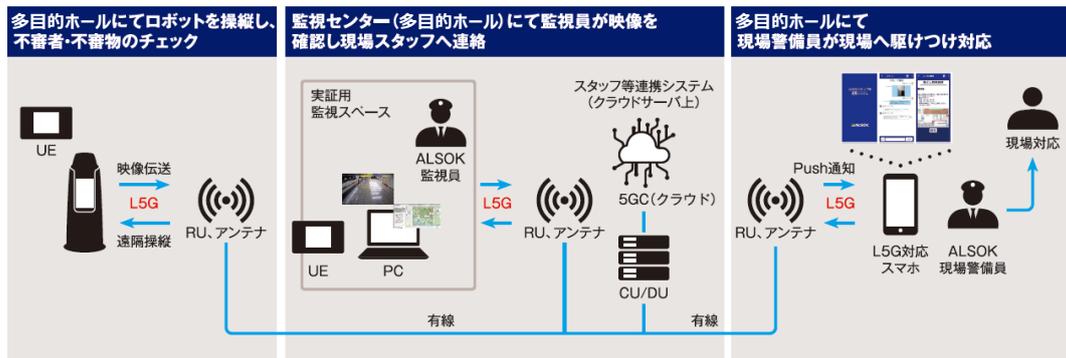
- ポストコロナ時代のイベントにおいては、更なる安全・安心の提供と、施設の魅力向上が求められています。人手を中心とした警備業では、新技術を活用することで効率化しつつ、警備の高度化を図る必要があります。
- 大規模集客施設においては通信の輻輳が課題であり、ローカル5Gを活用することによる円滑な遠隔監視・遠隔操縦の実現性を確認します。

**機能**

- 実際の運用を想定したイベント会場の混雑環境下において、①遠隔操作によるロボットの操縦、②遠隔監視での不審者・不審物の発見、③現場警備員への対処指示、④現場警備員による対処までの一連の警備運用を輻輳の影響を受けずに実現します。

**担当企業** ■ 総合警備保障株式会社(ALSOK)

**遠隔ロボット監視システムの実証の流れ**



横浜 MM21 地区ローカル5G実証コンソーシアム

図表 5-8 第3パート2. 混雑検知システム (NRI)

**課題実証 2 混雑検知システム** 超高速 → 超低遅延 → 多数同時接続

**背景・目的**

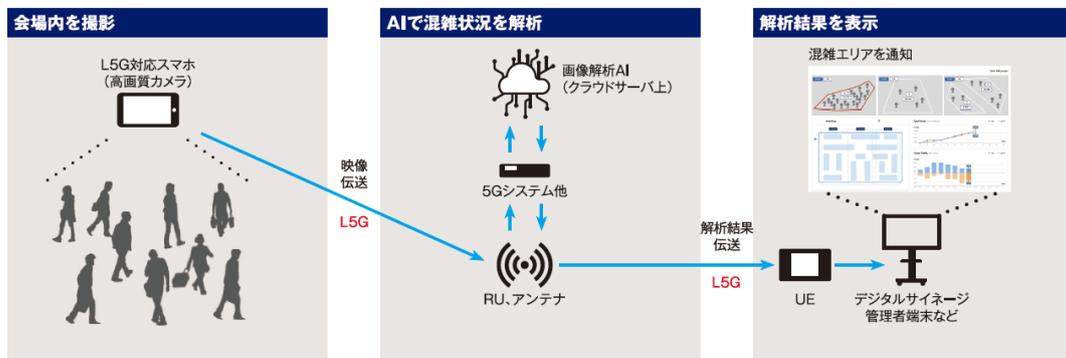
- 新型コロナウイルス感染症が終息した後でも多くの人々が集まる施設やイベントでは、混雑緩和に対する取組が重要になることが予測されます。高精細映像で特定エリアの混雑状況をリアルタイムに分析し、結果をイベント管理者や来場者へお伝えすることで、混雑緩和を促すことを目的としています。

**機能**

- スマホ高画質カメラで取得した高画質映像をAIにより画像解析し、ヒトの混雑状況を把握します。特定エリアの混雑状況が事前に設定した閾値を超えた場合に、管理者端末などへアラーム通知します。オプション機能として、ヒトの流量、属性を可視化する機能も備えています。イベントに合わせて一時的な設置、利用が可能です。

**担当企業** ■ 株式会社野村総合研究所(NRI)

**混雑検知システムの実証の流れ**



横浜 MM21 地区ローカル5G実証コンソーシアム

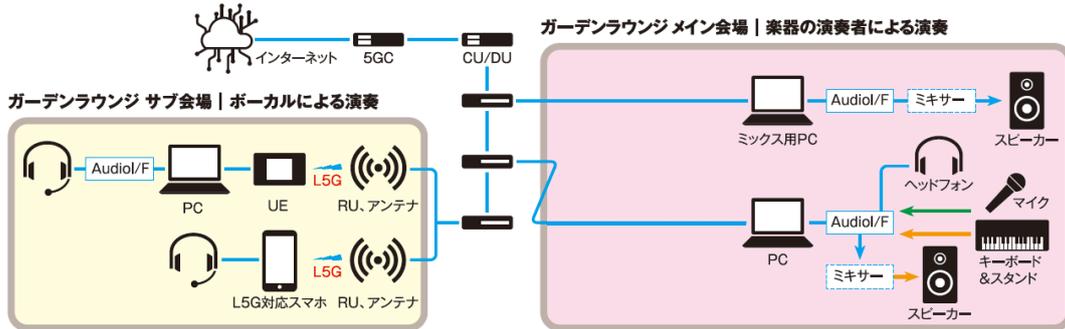
図表 5-9 第3パート3. 遠隔同期演奏システム (ヤマハ)

課題実証 **3** 遠隔同期演奏システム 超高速 → 超低遅延 → 多数同時接続

- 背景・目的**
- 新型コロナウイルスの広がりや、音楽ライブや演劇などのライブ・エンタテインメント市場が大きくおちこんでおります。同時にオンラインでのイベントなどライブの楽しみ方も大きく変化しつつあります。
  - 本システムは低遅延伝送技術を活用し、同一施設内の複数会場を結ぶことで、密にならずに楽しめる新たなライブ・エンタテインメントの実現を目的としています。
- 機能**
- 低遅延音声伝送が可能なソフトウェアを用いて、複数会場にいるミュージシャン同士がリアルタイムに音楽演奏をすることが可能となります。
  - ローカル5Gで無線でミュージシャン同士が同期できるため、ステージ演出の自由度も高まります。
- 担当企業** ヤマハ株式会社

**遠隔同期演奏システムの実証の流れ**

ヤマハ株式会社が開発した低遅延音声伝送技術を用い、ローカル5G下の2拠点を結び、同期演奏を行う。



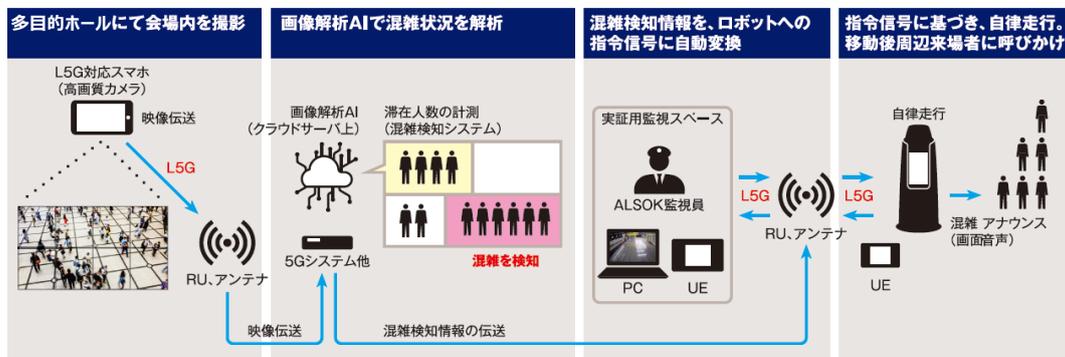
横浜 MM21 地区ローカル5G実証コンソーシアム

図表 5-10 第3パート4. 混雑アナウンスシステム (ALSOK、NRI)

課題実証 **4** 混雑アナウンスシステム 超高速 → 超低遅延 → 多数同時接続

- 背景・目的**
- コロナ禍においては、時々刻々と変わる混雑状況に応じて会場内の来場者の分散を図る必要がありますが、人手等によって都度声掛け等を行うと工数が増大することから、運用の効率性の面で課題があります。
  - そこで、スマホ高画質カメラと画像解析AIによる「混雑検知システム」の仕組みと、前面に動くサイネージ機能を備えたロボットの「自律走行機能」を組み合わせ、来場者の分散促進の実現を目指します。
- 機能**
- 混雑検知システムで把握される混雑状況と連動する形で、ロボットが自律走行で特定地点に移動し、周辺の来場者への混雑アナウンスを行うことにより、来場者の分散を促進します。
  - 同様に、イベントステージの出口付近で、周辺の来場者への混雑アナウンスを行うことで、来場者の分散を促進します。
- 担当企業** 総合警備保障株式会社 (ALSOK)、株式会社野村総合研究所 (NRI)

**混雑アナウンスシステムの実証の流れ**



横浜 MM21 地区ローカル5G実証コンソーシアム

<お城 EXPO2021 における、MM21 企業向け視察ツアーの実施>

以下の3点を目的として、MM21 地区で活動を行う企業による実証の視察ツアーを実施し、L5G での新規ビジネスを考えている企業、L5G 関連業務に携わっている企業など8団体11名が参加した。

- コンソーシアム企業の営業・宣伝の機会として：JTOWER・NESIC、ALSOK・ヤマハ・NRI がそれぞれ各自のソリューションをアピールし、事業の普及展開につながることを期待して、本視察ツアーを企画した。
- MM21 地区での 5G 機運醸成の機会として：横浜未来機構及び横浜市として目指す、MM21 地区における 5G 取組推進のための一つの機会として、関連事業者の皆様の実証をご覧いただく。
- 実証検証として：他の施設運営者、イベント主催者になり得る事業者から、L5G 導入及びアプリケーション導入に関する関心程度、期待や懸念事項（自社導入を想定した場合に取り組んでみたいこと、他の通信手段と比した場合の、技術面・費用面・契約手続面等の懸念）をアンケートで把握した。
  - ▶ 主に、ALSOK ロボット、NRI 混雑検知に関するアンケートを配布し、視察後の控室で回答いただいた。

当日は、「図表 視察ツアー当日の流れ」に示したような手順で視察ツアーを実施した。まず、ガーデンラウンジにて NRI より本日の流れと実証概要（全体）を説明した後、個別の課題実証を別日に実施したヤマハより、実証内容・結果についてその日の映像等を用いて説明した。その後、お城 EXPO 会場内に視察者を案内し、NRI 混雑検知サイネージやローカル 5G のネットワーク・アンテナについて実物を紹介しながら説明を行った。続いて、お城 EXPO2021 内のブースに視察者を誘導し、前述のパネルを活用して、NRI、ALSOK よりそれぞれ実証内容・結果について説明し、必要に応じてロボットのデモ操作を実施した。最後にガーデンラウンジに視察者を戻し、アンケートへの記入をお願いしつつ、質疑応答への対応等を行った。視察者からは、L5G のネットワーク・アンテナの精度に関する質問や、課題実証の事業実現性に関する質問が多く寄せられた。

図表 5-11 視察ツアー当日の流れ

集合・受付	ガイダンス	NRI混雑検知サイネージ案内	ローカル5Gネットワーク解説	混雑検知、遠隔ロボット監視解説	クローキング	お城 EXPO 会場へ
@ガーデンラウンジ 入口前 (2階屋外)	@ガーデンラウンジA	@1階ホール入口部	@G1エリア角の パーテーションの中	@コンソーシアム ブース	@ガーデンラウンジA	—
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ノース2階屋外のガーデンラウンジ入口前に集合</li> <li>・視察者集合次第、NRIがガーデンラウンジAに誘導</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資料一式を配布</li> <li>・NRIから、本日の流れ、実証概要説明</li> <li>・ヤマハから、遠隔同期演奏実証の狙い・様子を紹介</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NRIが引率しつつ、サイネージを紹介</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NRIが引率</li> <li>・到着後、JTOWER、NESICから、ローカル5Gネットワーク、アンテナの概要を紹介</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NRIが引率</li> <li>・到着後、NRIから混雑検知、ALSOKからロボット監視の概要を紹介、またロボットのデモ操作（混雑案内画面の表示、走行）をご紹介</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・質疑</li> <li>・適宜名刺交換</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・—</li> </ul>

## 6. 実施体制

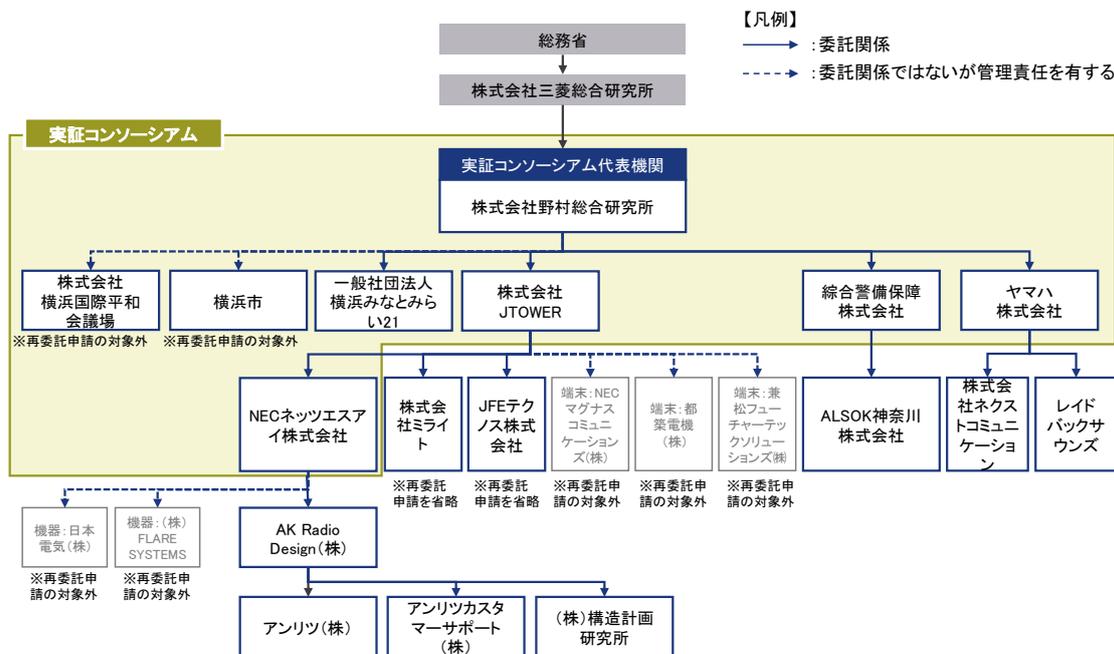
実施体制（コンソーシアム）の構築にあたっては、技術実証・課題実証を効果的・効率的に推進できること、本コンソーシアムの運営を円滑に進められること、次年度以降におけるローカル 5G を活用した課題解決システムの実装についての検討が進められることに重点を置いた。

### 6.1 体制及び役割

本実証の実施体制として、野村総合研究所、株式会社横浜国際平和会議場（パシフィコ横浜 お城 EXPO 実行委員会）、総合警備保障（ALSOK）、ヤマハ、JTOWER、NEC ネットエスアイ、横浜市、一般社団法人横浜みなとみらい 21（横浜未来機構事務局）から成るコンソーシアムを形成した。

なお、野村総合研究所がコンソーシアムの代表団体となった。

図表 6-1 コンソーシアム構成



※株式会社横浜国際平和会議場は、お城 EXPO 実行委員会として参画。

コンソーシアム各社の役割は以下の通りである。

図表 6-2 コンソーシアム内の役割

団体名・会社名	実証コンソーシアムにおける役割
株式会社野村総合研究所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンソーシアムの代表機関として、全体統括を行う。加えて、混雑検知システム、混雑アナウンスシステムの課題実証を担当</li> </ul>
株式会社 JTOWER	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ローカル 5G の免許の取得、実証環境構築や技術実証を担当</li> </ul>
NEC ネットエスアイ株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ローカル 5G の実証環境構築や技術実証を担当</li> </ul>
総合警備保障株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 遠隔ロボット監視システム、混雑アナウンスシステムの課題実証を担当</li> </ul>
ヤマハ株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 遠隔同期演奏システムの課題実証を担当</li> </ul>
株式会社横浜国際平和会議場（パシフィコ横浜）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事務局の「お城 EXPO 実行委員会」として、主催事業である「お城 EXPO2021」を実証場所として提供、及び各種調整を担当</li> </ul>
横浜市	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実証地域の行政主体として、各種調整・広報等を担当</li> </ul>
一般社団法人横浜みなとみらい 21（横浜未来機構事務局）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ みなとみらい 21 地区周辺の事業者・団体からの意見聴取、普及展開に向けた広報等を担当</li> </ul>

## 7. スケジュール

本事業の実施スケジュールを以下に示す。コンソーシアムでの初期協議の結果として、12月18日、19日のお城 EXPO2021 の開催にあわせて技術実証、課題実証を行うこととしたため、この日程に照準をあわせてローカル 5G 免許の取得、実証環境の構築を実施した。課題実証は12月10日、11日に遠隔同期演奏システムに関して、12月14～19日にその他の課題実証システムに関して滞りなく実施した。

技術実証は、12月6日以降、課題実証の合間を縫う形で各種測定を実施した。

1月以降は、実装・横展開に係る協議、及び報告書作成を行った。

図表 7-1 実施スケジュール

項目	備考	10上	10中	10下	11上	11中	11下	12上	12中	12下	1月以降
実証環境構築 【JTOWER、NESIC】	—		各種許可等の調整・手続き (免許関係、施設利用関係)				L5G ネットワーク システムの 構築				実装・ 横展開 に係る 協議  報告書 作成
技術実証 【JTOWER、NESIC】	<ul style="list-style-type: none"> <li>電波伝搬特性の測定</li> <li>電波伝搬モデルの精緻化</li> <li>準同期TDDの追加パターン</li> </ul>		実施方針、 検証方針の検討			ラボでのテスト		技術実証			
課題実証 【ALSOK、ヤマハ、NRIシステム】	<ul style="list-style-type: none"> <li>A-1 遠隔ロボット監視</li> <li>A-2 混雑検知</li> <li>A-3 混雑検知×ロボット自律走行</li> <li>B-1 遠隔同期演奏</li> <li>マルチアプリケーション</li> </ul>	実施方針、検証方針の検討		機材準備、システム・アプリケーションの 設計・準備		単体 テスト	L5G との 結合 テスト	課題 実証			

図表 7-2 実施スケジュール（「お城 EXPO2021」開催前後）

	パシフィック様スケジュール		実証スケジュール		通信環境	ガーデンラウンジ
	ノースG1～G6	ガーデンラウンジ	通信環境	ノースG1～G6		
12月						
6日	設備点検				○	可搬型アンテナ搬入・設置 L5G電波発射、結合テスト
7日	設備点検		○	搬入、ネットワーク、屋上、MDF室 5G関連機器設置工事、L5G電波発射、結合テスト	○	ヤマハ結合テスト
8日					○	ヤマハ結合テスト
9日		設備点検			○	ヤマハ搬入
10日		設備点検			○	ヤマハ実証本番
11日					○	ヤマハ実証本番、搬出 可搬型アンテナ等搬出
12日						
13日(月)	設備点検		○	可搬型アンテナ搬入 ALSOK搬入、セッティング、単体結合テスト NRI搬入、単体結合テスト(ベランダ)		
14日(火)	設備点検		○	ALSOK各種機器セッティング、不審者検知実証 NRI単体テスト(ベランダ)、ALSOK×NRIの接点接合テスト(16時-)		
15日(水)	お城EXPO設営日		○	ALSOK不審物検知実証、予備日、ロボットのセッティング NRI単体テスト(ベランダ) 予備日		
16日(木)	お城EXPO設営日 基礎小間完成		○	ALSOKロボットのセッティング NRIカメラ設置、エリア構成(ベランダ)		
17日(金)	お城EXPO前夜祭 12:00～18:00出展者準備	お城EXPO前夜祭	○	ALSOK: 18時まで各種機器セッティング、18時以降自律走行の走行調整 NRIサイン設置 横浜市による現場確認		実証控室
18日(土)	お城EXPO1日目	お城EXPO1日目	○	NRI実証(終日) ALSOK×NRI連携実証(13時-14時半、15時半-17時) 総務省・MRI視察(およそ10-12時)		実証控室 視察対応
19日(日)	お城EXPO2日目	お城EXPO2日目	○	NRI実証(終日) マルチアプリケーション実証本番(10-12時、13-14時) MM2(関係企業による視察(およそ15-17時(、11-12時)) 搬出(※5G通信設備に関してアンテナ等は搬出しません)		実証控室 視察対応
20日	撤収日	撤収日	○			
イベント終了後の日程			○	技術実証		(技術実証)