

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

ローカル5Gネットワーク網を活用したコンサート
空間内におけるワイヤレス映像撮影システムの構築

成果報告書

令和4年3月25日

株式会社 stu

目次

| | |
|---|------------|
| 1. 実証概要 | 4 |
| 1.1 背景・目的..... | 4 |
| 1.2 実証の概要..... | 4 |
| 2. 実証環境の構築 | 6 |
| 2.1 実施環境..... | 6 |
| 2.2 ネットワーク・システム構成..... | 8 |
| 2.3 システム機能・性能・要件..... | 17 |
| 2.4 免許及び各種許認可..... | 32 |
| 2.5 その他要件..... | 34 |
| 2.6 実証環境の運用..... | 35 |
| 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） | 39 |
| 3.1 実証概要..... | 39 |
| 3.2 実証環境..... | 40 |
| 3.3 実証内容..... | 42 |
| 3.3.1 ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定..... | 42 |
| 3.3.1.1 実証目標..... | 42 |
| 3.3.1.2 評価・検証項目..... | 43 |
| 3.3.1.3 評価・検証方法..... | 43 |
| 3.3.1.4 実証結果及び考察..... | 50 |
| 3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化..... | 76 |
| 3.3.2.1 実証の目的・目標..... | 76 |
| 3.3.2.2 実証仮説..... | 77 |
| 3.3.2.3 評価・検証項目..... | 89 |
| 3.3.2.4 評価・検証方法..... | 105 |
| 3.3.2.5 実証結果及び考察..... | 117 |
| 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） | 144 |
| 4.1 実証概要..... | 144 |
| 4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標..... | 145 |
| 4.3 実証環境..... | 154 |
| 4.4 実証内容..... | 155 |
| 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..... | 155 |
| 4.4.1.1 可用性検証..... | 155 |
| 4.4.1.2 効果検証..... | 161 |
| 4.4.1.3 機能検証..... | 170 |
| 4.4.1.4 運用検証..... | 179 |

| | | |
|-----------|----------------------------------|------------|
| 4.4.2 | 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..... | 187 |
| 4.4.2.1 | ローカル5G活用モデルの構築・検証..... | 189 |
| 4.4.2.2 | 普及展開方策の検討..... | 201 |
| 4.4.3 | 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..... | 213 |
| 4.4.4 | 継続利用の見通し・実装計画..... | 219 |
| 4.4.4.1 | 次年度以降の継続課題..... | 219 |
| 4.4.4.2 | 継続利用に向けた今後の協議スケジュール案..... | 222 |
| 4.4.4.3 | 実装・横展開に向けたロードマップ案..... | 223 |
| 4.4.5 | 課題実証における追加提案..... | 224 |
| 4.4.5.1 | 評価・検証項目..... | 224 |
| 4.4.5.2 | 評価・検証方法..... | 224 |
| 4.4.5.3 | 実証結果及び考察..... | 227 |
| 5. | 普及啓発活動の実施..... | 230 |
| 5.1 | 映像制作への協力..... | 230 |
| 5.2 | 実証視察会の実施..... | 230 |
| 5.3 | その他普及啓発活動..... | 231 |
| 6. | 実施体制..... | 232 |
| 7. | スケジュール..... | 234 |

1. 実証概要

1.1 背景・目的

我が国のライブ・エンターテインメント市場（音楽コンサートその他のステージにおけるパフォーマンスイベント関連市場）は、公演回数と動員数の増加により継続して市場規模を拡大させており、2019年には6,295億円にまで成長した。しかし2020年以降、新型コロナウイルスの感染拡大の影響を受けて公演中止が相次いだことから市場が急激に縮小しており、2020年の市場規模は前年度約8割減の1,306億円となっている。

こうした新型コロナウイルスによる影響を最小限に抑えるため、ライブ・エンターテインメント業界及びスポーツ業界関連団体においては、新型コロナウイルス感染症対策専門家会議「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」（令和2年5月4日）を踏まえ、オンラインライブを含む無観客公演のガイドラインを作成するなど配信形式の公演開催に活路を見出しており、昨年からは多くの公演がオンライン配信によって開催されている。このような形式の公演開催は、新型コロナウイルス影響下の新しい生活様式が定着することにより、新型コロナウイルス終息後も継続して成長する領域であると考えられている。

一方、オンライン配信形式の公演には、通常の公演と同程度の開催コストがかかるにも関わらず、視聴者に対して単に映像を配信する以上の高い価値を提供できていないため十分な動員がなされず、また回数を重ねるごとに動員数が減少するといった課題が指摘されている。したがって、今後は公演の開催コストを削減するとともに、視聴者に対して高い価値を提供可能なオンライン配信形式の公演モデルを構築することが期待されている。

そこで本実証においては、地域や産業の個別ニーズに応じて企業や自治体等の様々な主体が柔軟に構築可能な第5世代移動通信システムであるローカル5Gについて、ローカル5Gの適切な技術基準等の改定や低廉な機器の普及に資する技術的検討として電波伝搬モデルの精緻化等を行うとともに、イベント事業の課題解決及び令和4年度からの事業化に向けて、公演の開催コストを削減し、動員増加につながる高次元の映像体験を実現する配信形式の公演モデルに関する検証・評価を実施した。

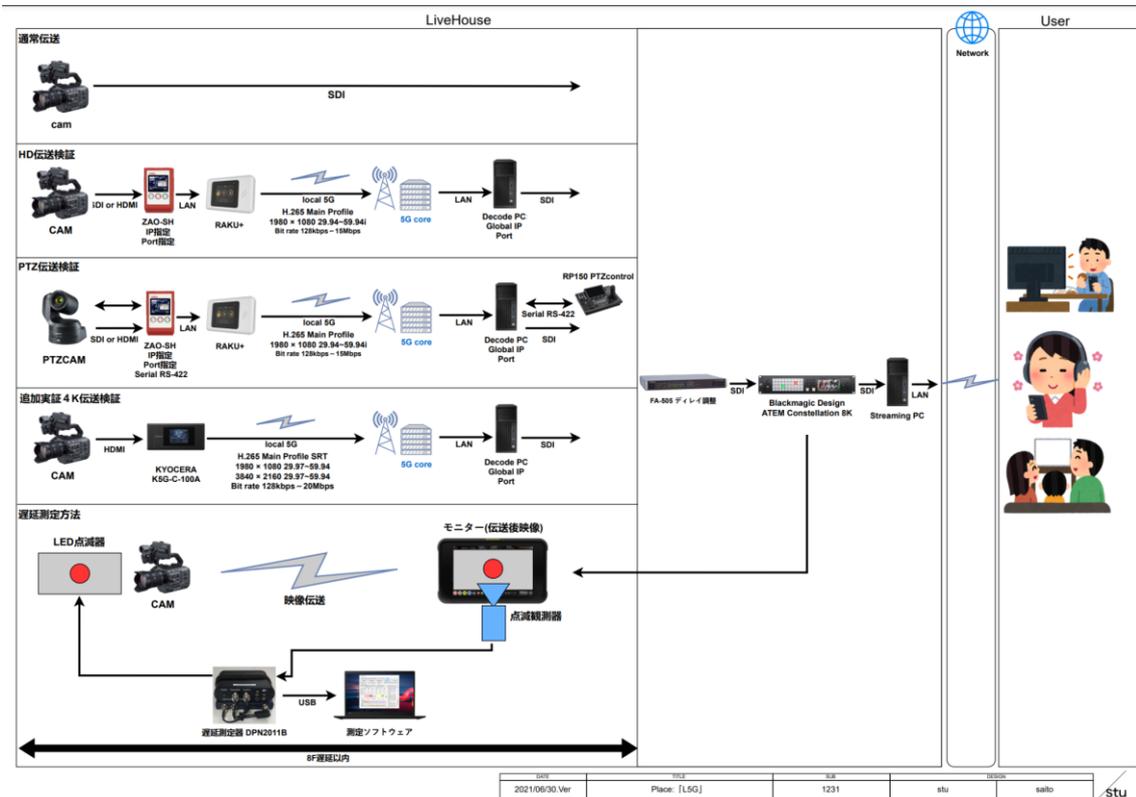
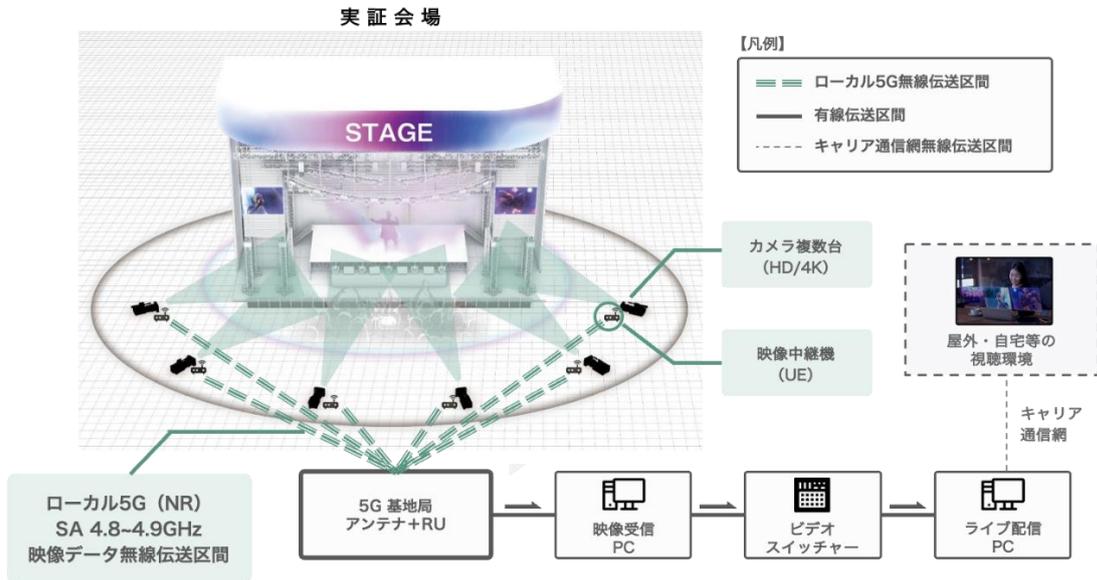
1.2 実証の概要

本実証は、実証場所となるコンサートホールにおいて、ローカル5Gを活用したワイヤレスカメラによる映像配信システムを構築したものである。その上で技術的検討として、特殊な環境であるコンサートホールにおけるローカル5Gの電波伝搬特性等の測定を行うとともに、コンサートホールの特異な壁面構造を利用して電波伝搬モデルの精緻化を行った。

また、ライブ・エンターテインメント業界が抱える課題の解決に資するローカル5Gユースケースの検討として、ワイヤレスカメラを活用したライブイベントの映像配信システム

の可用性や有効性等について検討した。

図 1.2.1 実証システム概要



2. 実証環境の構築

本実証の実証地である渋谷区は東京 23 区のほぼ中心部に位置し、商業・サービス業が全産業の大半を占める商業地域である。中でもサービス業ではアパレルやデザイン関連企業の集積が高いことが特徴であり、渋谷駅周辺や原宿界限では表参道ヒルズ、渋谷ヒカリエ、渋谷ストリーム等の商業ビルが立ち並ぶほか、ライブハウスやミニシアター等が多く立地するなど、文化・情報の発信地として独自の文化を生み出し発展してきた地域でもある。

渋谷区では 5 G を活用した産業・観光振興を推進しており、渋谷区が策定した基本構想「渋谷区長期基本計画 2017 - 2026」に基づく産業振興分野の計画である「渋谷区産業・観光ビジョン」においては、「常に新たなカルチャーやエンターテインメントが生まれるまち」を将来像として設定し、その手段として 5 G を含む新たな技術を活用することとされている。当該将来像の実現の一環として、令和 2 年 8 月には渋谷区と東急株式会社との間で「グローバル拠点都市の形成等に関する包括連携協定」が締結され、5 G をはじめとする技術革新を活用したエンターテインメント産業の育成において連携することとされた。また、渋谷区は KDDI 株式会社及び一般社団法人渋谷未来デザインが中心となって進める「渋谷 5 G エンターテインメントプロジェクト」にも参画するなど、5 G のエンターテインメント分野における利活用で民間企業との連携を進めている。

実証においては自治体との連携が不可欠であるが、本実証ではこうした取組を進める渋谷区の協力を得るとともに、一般社団法人渋谷未来デザインを含むコンソーシアム体制としており、渋谷区が目指す将来像の実現に貢献する街全体の取組の一環として位置づけ実証を行った。また、令和 4 年度以降に行う実証モデルの日本全国への普及促進の観点からも文化・情報の中心地である渋谷区で実証を行うことが効果的であると考えられたため、渋谷区において実証を行うこととした。

実証施設については渋谷区の協力の下、渋谷区が所有する「LINE CUBE SHIBUYA (渋谷公会堂)」を使用し、当該施設内に 4.8GHz~4.9GHz (100MHz 幅) のローカル 5 G エリア (SA 方式) を構築した。

2.1 実施環境

本実証は、東京都渋谷区の市街地 (平地) に位置する「LINE CUBE SHIBUYA (渋谷公会堂)」 (東京都渋谷区宇田川町 1-1) 内の多目的コンサートホール (屋内環境) にて実施した。

本施設のコンサートホールは、3 階席までを含む約 2,000 席の規模であり、ライブ・エンターテインメント関係の公演が開催される全国各地のコンサートホールの標準的な規模・構造である。このため本施設において実証することにより、全国の多くの会場において大きな環境面の差異を考慮することなく、本実証結果に基づき実証システムを構築・導入することが可能である。

また本施設は、1964年に竣工し東京オリンピック（ウエイトリフティング競技）の会場としても使用された歴史あるホール（渋谷公会堂）が老朽化のために建て替えられたものであり、渋谷区役所やNHK放送センターに隣接した市街地中心部に位置している。一般社団法人日本音響家協会による「音響家を選ぶ優良ホール100選」にも選定され、国内外の音楽家が公演を行っている著名な施設であるため、全国の公演会場運営者に対する本実証システム及び実証結果の認知向上に資すると考えられたことから本施設において実証することとした。

図 2.1.1 LINE CUBE SHIBUYA（渋谷公会堂）の所在地（東京都渋谷区）



(出所) 国土地理院地理院地図

(<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.104611/140.084556/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k010u0t0z0r0s0m0f1>)よりコンソーシアム作成

図 2.1.2 LINE CUBE SHIBUYA (渋谷公会堂) の外観



(出所) 株式会社シアターワークショップ WEB サイト (<https://theatre-workshop.co.jp/works/kanto/line-cube-shibuya>)

【施設概要】

- 建物所有者：渋谷区（指定管理者：渋谷公会堂プロジェクトチーム（㈱アミューズ、LINE㈱、㈱パシフィックアートセンター））
- 開館年月日：2019年10月13日（建替後）
- 対象用途：多目的コンサートホール
- 構造・規模：鉄骨鉄筋コンクリート造
- 建築面積：2228.09 m²
- 延床面積：9712.89 m²
- 建物の高さ：地上より 31.95m
- 座席数：1956席（オーケストラピット 126席含む）
 - 1階席：1180席
 - 2階席：424席
 - 3階席：352席

2.2 ネットワーク・システム構成

ローカル5Gシステムの概要は下表のとおりである。

表 2.2.1 ローカル5Gシステム（基地局）の概要

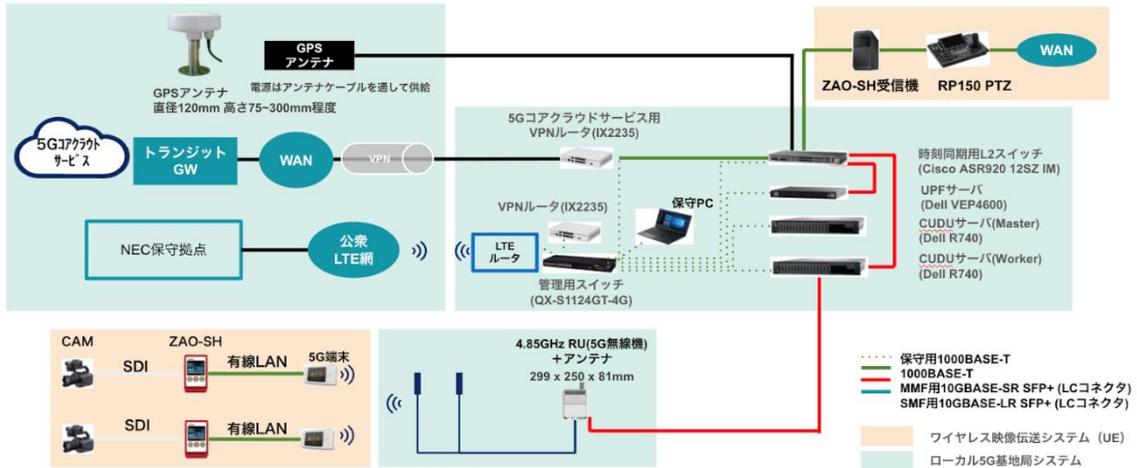
| 項目 | 基地局(MB5400-r7790-81) |
|-------------|----------------------|
| 製造ベンダー | 日本電気株式会社 |
| 台数 | 1台 |
| 設置場所（屋内/屋外） | 屋内 |
| 同期/準同期 | 同期 |
| UL : DL 比率 | 1:4 |
| 周波数帯 | 4.8GHz 帯 |
| SA/NSA | SA |
| UL 周波数 | 4.8~4.9GHz |
| DL 周波数 | |
| UL 帯域幅 | 99.96MHz |
| DL 帯域幅 | |
| UL 中心周波数 | 4.84998GHz |
| DL 中心周波数 | |
| UL 変調方式 | OFDM |
| DL 変調方式 | |
| MIMO | DL 2レイヤ UL 1レイヤ |

(1) ネットワークの全体構成

今回の実証環境における全体構成は下図のとおりである。実証場所であるコンサートホール内において、最大10台のカメラとの接続が可能となるようローカル5Gシステムの装置仕様に基づき構成した。また、実証コンソーシアムに参画している日本電気株式会社において評価実績があるネットワーク構成をベースとして構成品を選定し、本実証の要件を満たす構成とした。

なお、コアをクラウド化して普及促進に資するモデルとしている一方で、本課題解決システムにおいては映像伝送の遅延を最小限度にとどめる必要性からUPFや映像処理機器についてはオンプレの構成とした。

図 2.2.1 ローカル 5 G システム 基本構成図



(2) 対象周波数帯

本実証環境は3階席までを含むコンサートホールであり、ホール2階・3階（建物の4階・5階）部分は下の階の席の一部を覆うようにせり出した構造となっている（2.3 システム機能・性能・要件参照）。下の階のカメラの動く位置によっては、その構造上2階席・3階席が遮蔽物となる場合が想定されたことから、ローカル5Gに割り当てられた帯域の中でも4Gと同様に遮蔽物を回り込む性質が強く、広いエリアをカバーすることができる4.8~4.9GHz帯（100MHz幅）を採用した。

(3) ネットワーク構成の詳細

ネットワーク構成機器及びネットワーク構成機器以外の機器は下表のとおりである。

表 2.2.2 ネットワーク構成機器の明細

| # | 設置場所 | 使用機器 | 機能・役割 | 数量 | 設置形態 | ベンダ・調達先 |
|----|------------|---------------|--|----|------|----------------------|
| 1 | クラウド | 5G-Core | 5Gコアネットワーク装置 | 1 | 固定 | NEC |
| 2 | コントロールセンター | UPF | ユーザーデータ制御 | 1 | 固定 | NEC |
| 3 | コントロールセンター | CU/DU(Master) | コアNW側及び無線周波数側の ファンクション群 | 1 | 固定 | NEC |
| 4 | コントロールセンター | CU/DU(Worker) | | 1 | 固定 | NEC |
| 5 | ステージ横 | 4.85GHz RU | Small Cell(250-1000m)タイ プの5G無線装置 | 1 | 固定 | NEC |
| 6 | ステージ横 | アンテナ | | 2 | 固定 | NEC |
| 7 | カメラ | RAKU+ | ルーター(基地局との電波送 受信) | 12 | 可搬 | Compal (調達はNEC経由) |
| 8 | カメラ | K5G-C-100A | ※同時接続はいずれかの端末 10台のみ(RAKU+2台、SIM カード5枚の予備を準備) | 10 | 可搬 | 京セラ |
| 9 | 端末 | SIMカード | | 15 | 可搬 | NEC |
| 10 | コントロールセンター | L2SW | ネットワーク中継機器 | 1 | 固定 | NEC |
| 11 | コントロールセンター | VPNルータ | 専用線設定ルーター | 2 | 固定 | NEC |
| 12 | コントロールセンター | GPSアンテナ | 位置情報取得 | 1 | 固定 | NEC |

表 2.2.3 ネットワーク構成機器以外の機器の明細

| 設置場所 | 使用機器 | 機能・役割 | 数量 | 設置形態 | ベンダ・調達先 |
|---------------|---|---|----|------|------------|
| ホール内でカメラマンが携帯 | SONY FX6 | 撮影カメラ | 9 | 可搬 | SONY |
| ホール内でカメラマンが携帯 | Panasonic UE150 | リモートでパン、チル、ズー ムができる撮影カメラ | 1 | 可搬 | Panasonic |
| カメラ | ZAO-SH送信機 | 映像をエンコードしネット ワークに乗せて中継する送 信機 | 10 | 可搬 | Soliton |
| コントロールセンター | ZAO-SH受信機 | ZAO-SHで送信された映像 を受信するPC端末 | 10 | 固定 | Soliton |
| コントロールセンター | FOR-A FA-505 | フレームシンクロナイザ FOR-A FA-505は、(同期 を揃え、映像の遅延を補正 する装置) | 2 | 固定 | 朋栄 |
| コントロールセンター | Blackmagic Design ATEM Constellation 8K | 映像入力の切替えをする 装置(映像スイッチャー) | 1 | 固定 | Blackmagic |
| コントロールセンター | Panasonic RP150 | Panasonic UE150をコント ロールできるコントローラー | 10 | 固定 | Panasonic |

(4) 機器設置位置・ネットワークのカバーエリア

本実証は、実証場所であるコンサートホール内においてカメラからワイヤレスで配信に耐え得る品質の映像伝送が可能となるかを検証したものであり、下図のとおり撮影用カメラの通常の移動範囲（ホール内通路部分）及び客席部分をエリア化している（平面図の黄色の箇所）。

5Gアンテナ・RUについては以下の事項を考慮してステージ横の高さ(2FL+3.75m)のキャットウォークの位置に設置した。

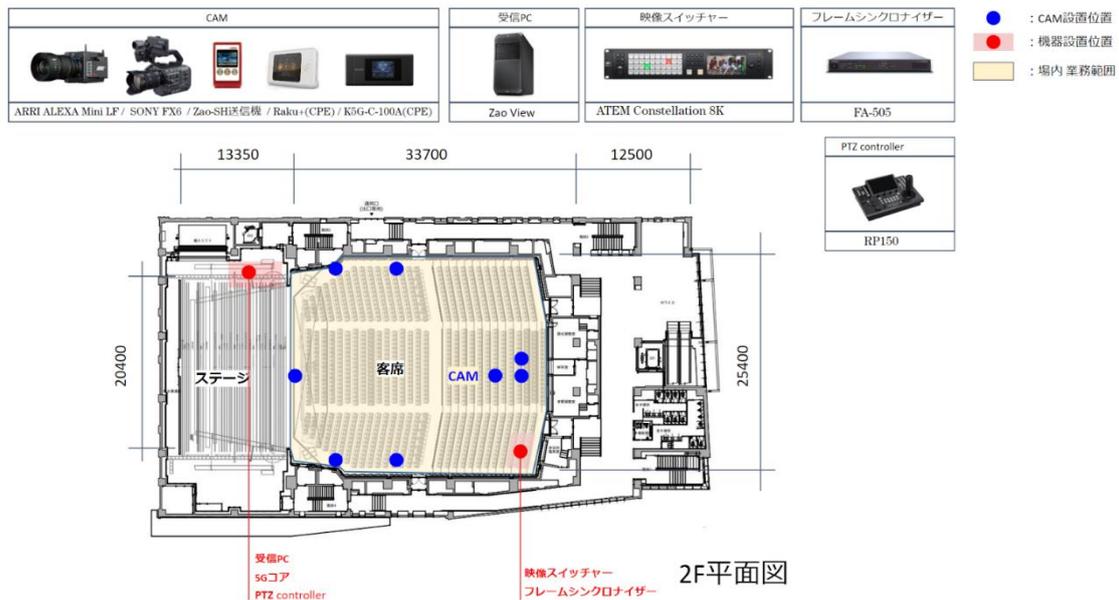
- ・ 遮蔽物(2階席(4F)・3階席(5F)のせり出した部分)を考慮してエリア化する必要があったこと

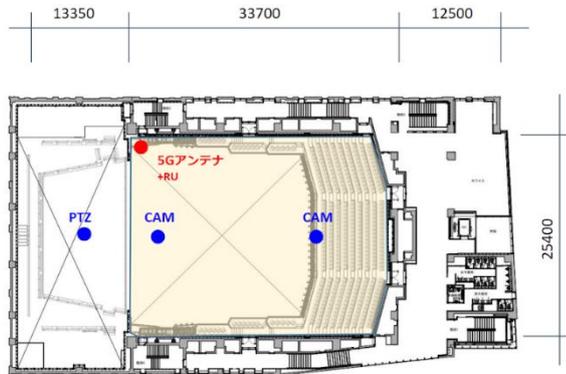
また、5G基地局等を格納するラックについては、以下の事項を考慮してステージ上手袖の位置に設置した。

- ・ GPSアンテナと接続する同軸ケーブルの長さから、GPSアンテナ設置位置の直下に配置する必要があったこと
- ・ 会場運営の条件を満たすための機器設置場所であること
- ・ オペレーションができる有効面積があること

GPSアンテナの設置位置については、GPS信号の強度や固定可能位置を考慮して既存のテレビアンテナの支持柱に設置することとした。

図 2.2.2 ホール内見取り図及び機器設置場所

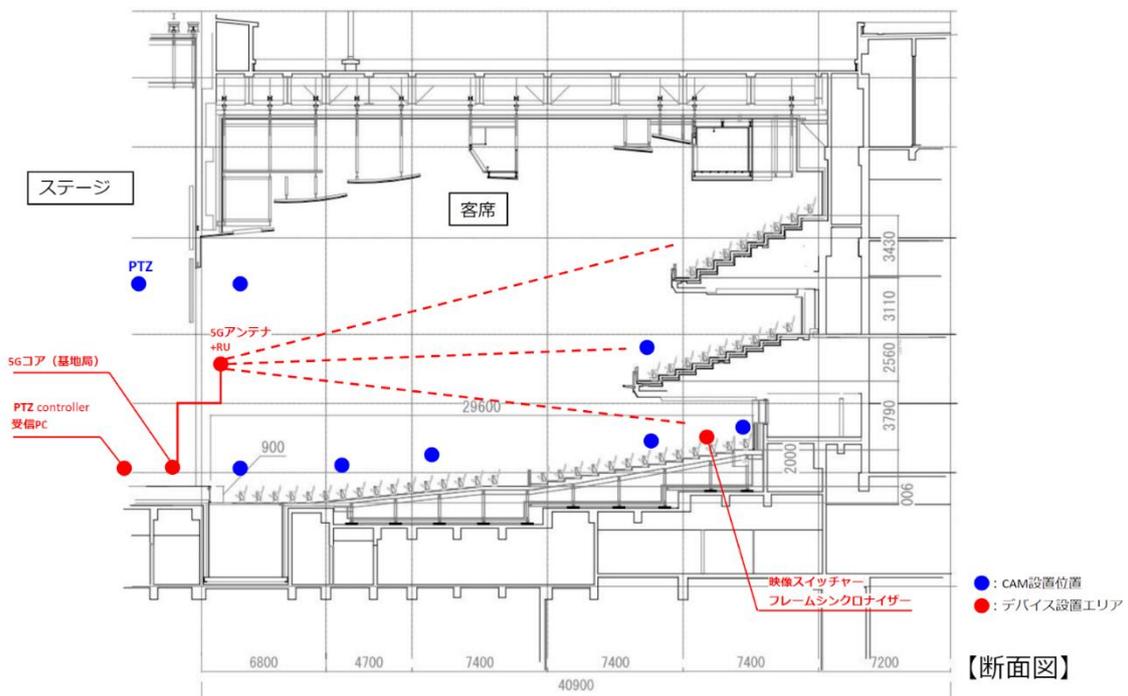




4F平面図

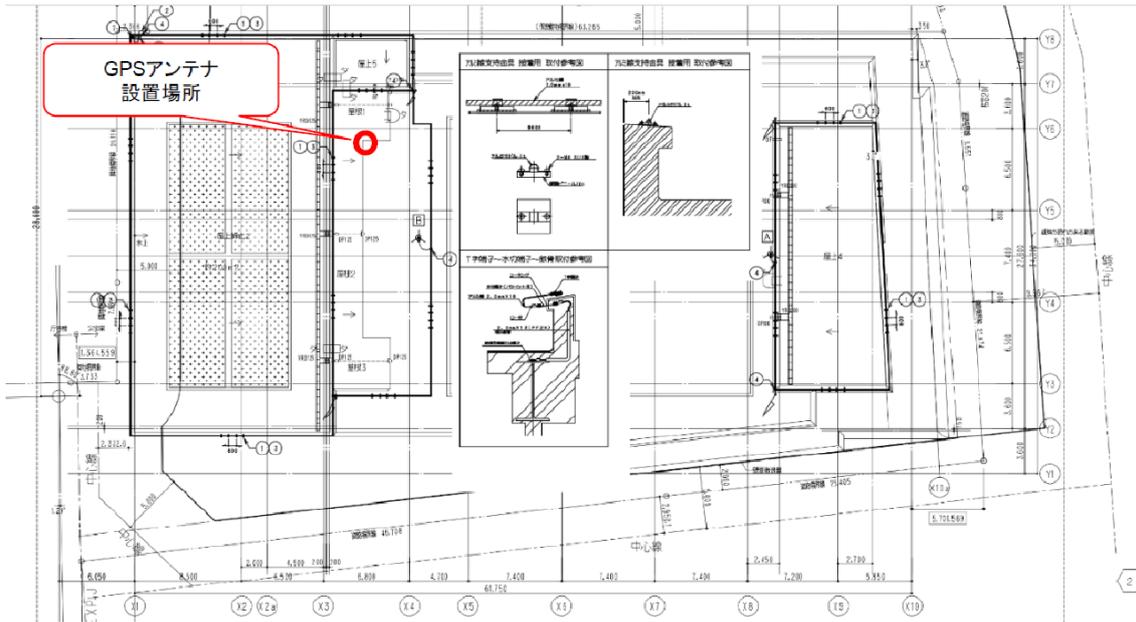
(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成

※カメラは送信機 (ZAO-SH) 及び RAKU+の端末を使用する構成を基本としているが、京セラの K5G-C-100A を利用する場合も同様の位置関係である。



【断面図】

R階平面図



(出所) 渋谷区提供の図面を基にコンソーシアム作成

図 2.2.3 5Gアンテナ・RU及びラックの設置位置の様子

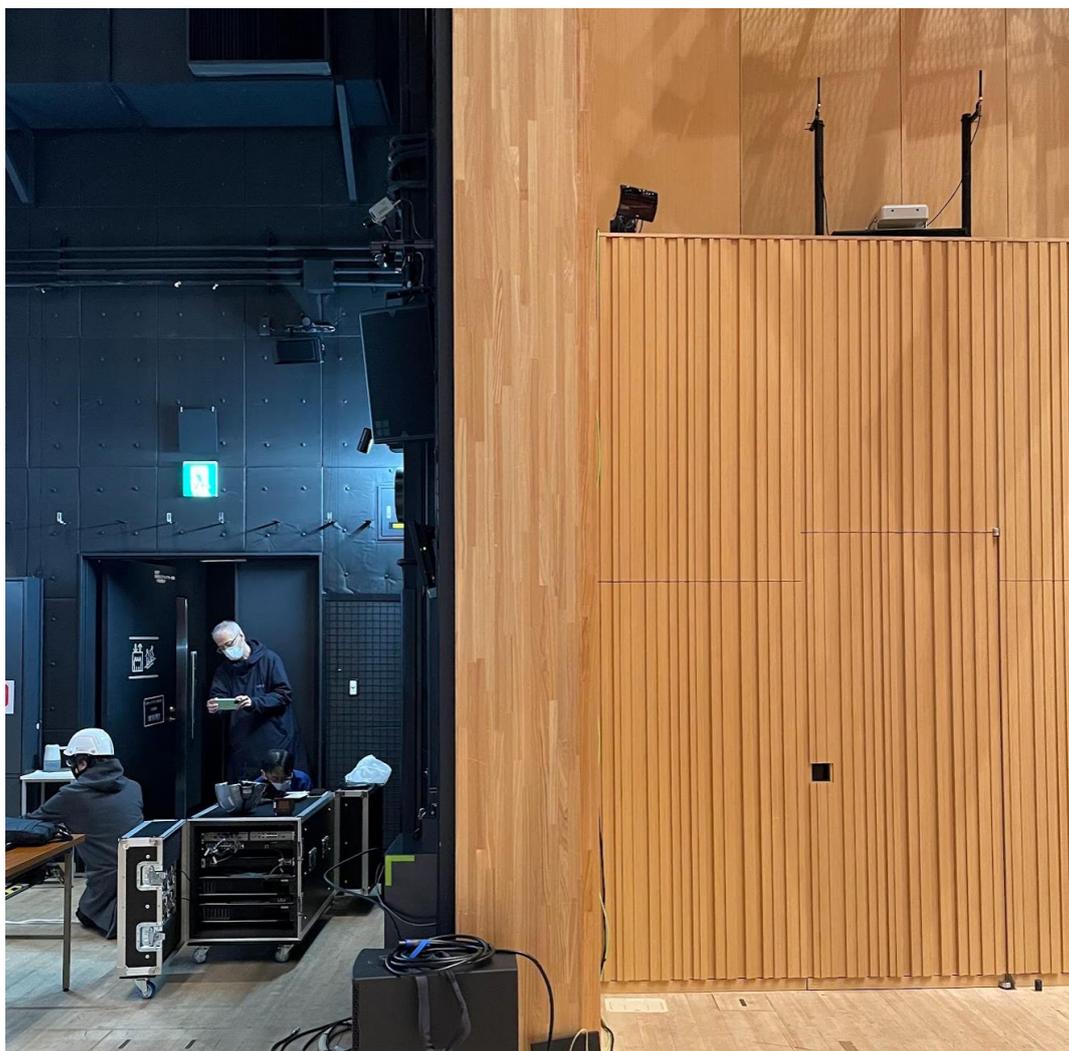


図 2.2.4 GPS アンテナの設置位置の様子



(5) 構築スケジュール

構築スケジュールは下図のとおりであり、2月8日の実証開始日に間に合うよう免許申請・環境構築を行った。

環境構築に関しては、ネットワーク性能の担保の観点からネットワーク機器提供ベンダー（NEC）、施工工程等の観点から施工会社（ヒビノイマジニアリング社）及び構築内容・方法の許容性の観点から施設所有者（渋谷区）と現地調査の結果を踏まえた最適な機器設置位置、配線経路、施工方法について調整を行い、配線工事・機器設置を行っている。

表 2.2.4 構築スケジュール

| 項目 | 9月 | | 10月 | | | 11月 | | | 12月 | | | 1月 | | | 2月 |
|---------------|----|---|-----|---|---|-----|---|---|-----|---|---|----|---|---|----|
| | 中 | 下 | 上 | 中 | 下 | 上 | 中 | 下 | 上 | 中 | 下 | 上 | 中 | 下 | 上 |
| 免許申請 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 免許交付(当初分・追加分) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 調達機器・備品の検討調整 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ラボNWテスト | | | | | | | | | | | | | | | |
| 現地調査 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機器設置位置・配線経路調整 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 配線工事 | | | | | | | | | | | | | | | |
| RU等機器設置 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 疎通・結合試験 | | | | | | | | | | | | | | | |

※環境構築については仮設（実証期間中における実証環境構築）・本設（上記実証結果を踏まえ技術面・運用面の評価を経た上で令和4年度以降の実運用を考慮した環境構築）の2段階で行うこととしており、会場側と継続的に協議をしながら詳細を確定する予定（表2.2.4は実証に向けた仮設のスケジュール）。

2.3 システム機能・性能・要件

(1) システム全体のスループット

本実証システムはワイヤレスカメラによってライブイベントを配信するものであり、会場内の複数のカメラ映像を同時にローカル5G回線で伝送するものである。実証場所であるLINE CUBE SHIBUYA（渋谷公会堂）の規模で一般的に行われている演者1人のライブイベントを想定した場合、①フェイスアップ狙い ②バストアップ狙い ③フルサイズ（全身）狙い ④ステージ全体の俯瞰 ⑤動きのある別アングルといった役割で5台程度（全て同時に伝送を行い映像調整室でリアルタイムに切り替えた映像を配信）が最小構成になる。

このため、カメラ1台当たりのビットレートが高品質の10Mbpsであることを前提に、システム全体のアップリンク（以下「UL」という。）スループットの要求条件を合計50Mbpsとして設定した。

また、本実証システムのスループットはローカル5Gの無線部に依存しており、本実証において採用したネットワーク構成の理論値は上記要求条件を満たすものである。

※3～5年後を見据えた映像フォーマットの進化を想定した場合、

- ・解像度（2K→4K）
- ・フレームレート（30fps→60fps）
- ・高ビットレートへの対応（10Mbps→15Mbps）

が想定されるところ、上記の性能向上は人間の知覚能力上、差異を認識できる上限値と考えられており、それ以上は「高品質化ニーズ」としては存在しないスペックであると考えられる。

※なお、現状の LINE CUBE SHIBUYA を想定した場合、HD カメラ 5 台で必要十分と考えているが、より大きな会場を導入対象として考えた際は品質よりもカメラ台数部分での拡張性が求められる（この点は今後の基地局の性能向上により対応可能と想定している）。

また、本実証システムでは DL においてデータの伝送は行わないことから、ダウンリンク（以下「DL」という。）スループットの要求条件は存在しない。

表 2.3.1 システム全体のスループットに関する要求条件

| 解像度 | フレームレート | ビットレート | カメラ台数 | スループット理論値 | 映像品質ベンチマーク |
|-----|---------|--------|-------|-----------|------------------------|
| HD | 30fps | 10Mbps | 5 | 50Mbps | HD 映像配信において最高画質と呼ばれる品質 |

（2）システム全体の遅延時間

本実証システムは複数台のカメラによって撮影した映像をローカル 5 G 基地局経由で映像の切り替え（スイッチング）を行うコントロールセンターに伝送するところ、それぞれのカメラと基地局の位置関係・距離は異なることから、コントロールセンターに到達する映像の遅延時間にはばらつきが生じる。

こうしたばらつきが生じたままコントロールセンターにおいて映像の切り替えを行う場合、映像が繰返し又はスキップした状態で配信されてしまうことから、各カメラの映像伝送の遅延のずれを補正（映像同期変換）することが視聴者に対して円滑かつ不快感のない配信を行う上で不可欠である。

上記の遅延のずれを補正する映像同期変換装置（フレームシンクロナイザ）は、一般的に固定遅延時間を定めることにより 8 フレーム以内の遅延であれば補正することができるものの、8 フレームを超えて遅延が発生した場合は補正することが困難である。このため、本実証システム全体において許容される遅延時間は 1 フレーム当たりの表示時間である 33 ミリ秒に 8 を乗じた 264 ミリ秒以下であることが求められる。したがって本実証システム全体の遅延時間に係る要求条件を 133 ミリ秒と設定した。

なお、従来どおり有線でカメラを接続した場合も少なからず遅延が生じるが誤差が低く一定で計算しやすいところ、無線の場合は通信環境や位置によって遅延量の変化やバラツキが生じる。このため本実証では、映像同期システムは従前の有線の場合と同様のシステムを利用したものの、上記の無線化に伴う遅延量の変化・バラツキに応じて遅延

補正を有機的に調整している。

※フレームとは動画を構成する静止画像を指す。

また、本実証システムの遅延はローカル5Gの無線部のほか、カメラ—エンコーダー間、デコーダー—映像同期変換装置間の遅延状況にも依存する。現状、上記区間の遅延は約120ミリ秒であることから、無線区間の遅延許容時間については34ミリ秒として設定した。

※①遅延補正のシステム上許容できる遅延量：264ms

②有線カメラの遅延量=110ms

③エンコード・デコード・スイッチャーで発生する遅延量=120ms

④無線通信部分で「許容できる」遅延量：① - ② - ③ = 34ms

図 2.3.1 映像同期変換の概要

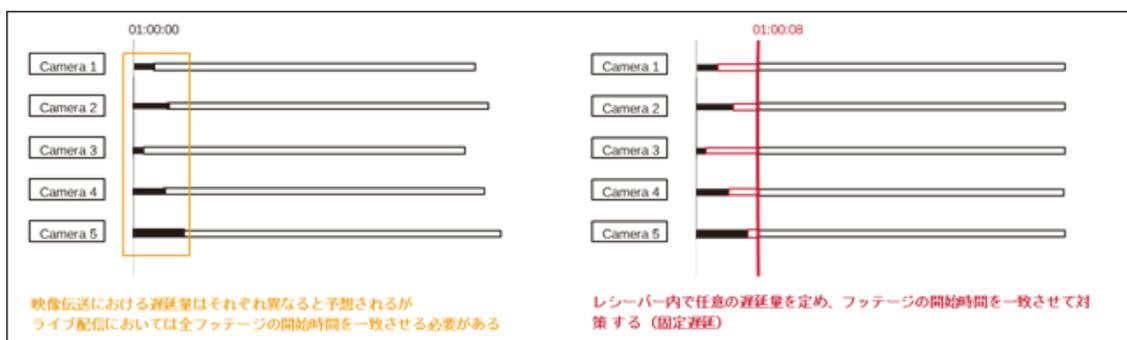


図 2.3.2 システム全体の遅延時間に関する要求条件の内訳



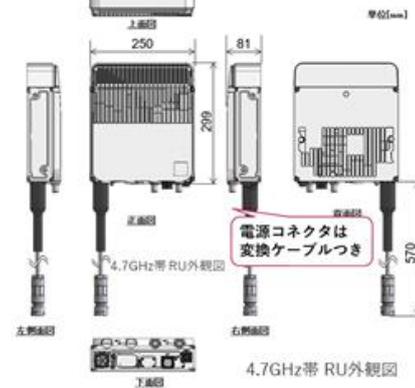
(3) その他の要件

ライブイベントの配信は公演中映像を絶え間なく伝送する必要があることから、一般的なライブの公演時間である150分の継続稼働を要件として設定した。

そのほか、本実証で使用したローカル5Gネットワーク機器及びその他の機器の諸元は以下のとおりである。

①ローカル5G基地局

| ハードウェア諸元 | 4.7GHz帯 RU |
|----------|---|
| 寸法, 体積 | 299 x 250 x 81mm (電源ケーブル除く) 約 6 L |
| 質量 | 約 9kg (TBD) |
| 電源電圧 | AC100/200V, 50/60Hz |
| 消費電力 | 最大 270VA |
| 冷却方式 | FAN 強制空冷 |



| 動作環境条件 | 4.7GHz帯 RU | 備考 |
|--------|-----------------|----|
| 運用温度 | -20 °C ~ +50 °C | |
| 運用湿度 | 湿度65% ± 30% | |
| 防塵・防水 | IPX4 | |

| システム諸元 | 4.7GHz帯 RU | 備考 |
|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 無線アクセス方式 | OFDMA | |
| 対応周波数 帯域 | 4.8 ~ 4.9GHz | |
| 送信電力 (空中線電力) | 33.6dBm /アンテナポート | |
| アンテナタイプ, 利得 | アンテナ分離型 | 小池電気製アンテナ (VAT505Sタイプ) を接続 |
| Fronthaul Split Option | Lower Layer Split (Option 7-2x) | O-RAN準拠 |
| 複信方式 | TDD | |
| チャンネル帯域幅 | 100MHz | |
| 送受信系統数 | 2 | |
| 最大MIMOレイヤ数 | DL 2レイヤ UL 1レイヤ | |
| Beamforming | 非対応 | |
| 変調方式 | OFDMA | |
| スロット長 | 0.5ms @30kHz | |
| TDD DL/UL Configuration | DL:UL=4:1 | |
| DU-RU間 同期方式 | PTP | |

(出所) 日本電気株式会社提供資料

②CU/DU用サーバー・UPF用サーバー (Power Edge R740・Virtual Edge Platform)



| 項目 | 諸元 | |
|----------|---|---|
| システム諸元 | R740 (CUDUサーバー) | VEP4600 |
| CPU | 2 x Intel Xeon Gold 6230R 2.1G, 26C/52T | 1 x Intel Xeon-D 2.1G 16 core |
| メモリ | 512GB (16 x 32GB RDIMM) | 64GB (1 x 64GB RDIMM) |
| HDD/SDD | 2 x 480GB SSD, RAID | 1 x 960GB SSD |
| NIC | RJ45(1Gbps)x4ports x1 SFP+(10Gbps)x2ports x4 | RJ45(1Gbps)x4ports x1 SFP+(10Gbps)x2ports x1 |
| その他 | PCIeスロットにFPGAボードを搭載 | |
| ハードウェア諸元 | | |
| 寸法 | 86.8 x 434 x 715.5 mm (2U) | 43.7 x 381 x 434 mm (1U) |
| 質量 | 約26kg | 約7.43kg |
| 電源 | AC120V, 50/60Hz | AC120V, 50/60 Hz |
| 消費電力 | Max.500W, Typ.390W | Max.311W, Typ.206.5W |
| 冷却方式 | FAN強制空冷 | FAN強制空冷 |
| 動作環境条件 | | |
| 運用温度 | 10 ~ 35°C @ 高度950m未満 | 0° C ~ 45° C @ 高度3.048m未満 |
| 運用湿度 | 10 ~ 80%RH (結露しないこと) | 5 ~ 90%RH (結露しないこと) |

(出所) 日本電気株式会社提供資料

③同期用 L2SW



| 諸元・動作環境条件等 | 内容 | 備考 |
|------------|---|-------------------------|
| 寸法 | 約 44(h) x 444.5(w) x 286.54(d) mm (1U) | |
| 質量 | 約 6kg | |
| 電源 | AC100-240V, 50/60Hz | 1+1 Redundancy |
| 消費電力 | Max. 150W, Typ. 130W | |
| 冷却方式 | FAN 強制空冷 | |
| 運用温度 | -40 ~ 70°C @ 高度 300m | |
| 運用湿度 | 5% ~ 95%RH (結露しないこと) | |
| Ether ポート | 4 x SFP+, 4 x SFP, 8 x RJ45(1Gbps/PoE) | |
| 同期 | PTP / IEEE1588v2 (G. 8275.1 Profile)を使用 | GPS アンテナ接続によりグランドマスタとして |

| | | |
|--|--|----|
| | | 動作 |
|--|--|----|

(出所) 日本電気株式会社提供資料

④VPN ルーター



| 項目 | 仕様 |
|-----------|--|
| 寸法 | 135mm X 196mm X 36mm (ゴム足含む) |
| 質量 | 0.8kg 以下 |
| 電源 | AC100-240V, 50/60Hz |
| 消費電力 | 14VA(7W) 以下 |
| 発熱量 | 25.2kJ/h = 6.0kcal/h 以下 |
| 運用温度 | -40 ~ 50°C |
| 運用湿度 | 5% ~ 90%RH (結露しないこと) |
| Ether ポート | 10/100/1000BASE-T 5 port (うち 4 ポートは QoS/ミラーリング/リンクアグリゲーション/ループガード対応の SW-HUB) |

(出所) 日本電気株式会社 IX2000 シリーズマニュアル

⑤管理用 L2SW



| 項目 | 仕様 |
|-----------|----------------------------|
| 寸法 | 330×230×43.6(1U) |
| 質量 | 約 2.1kg |
| 電源 | AC100-240V, 50/60Hz |
| 消費電力 | 22W |
| 運用温度 | 0 ~ 40°C |
| 運用湿度 | 5% ~ 90%RH (結露しないこと) |
| Ether ポート | 4 x SFP+, 16 x RJ45(1Gbps) |

(出所) 日本電気株式会社 WEB サイト (<https://jpn.nec.com/qxseries/qx-s1100g/index.html#anc-spec>)

⑥CPE (RAKU+)



※構成
 本体
 USB ケーブル
 AC アダプタ(T.B.D)

| 製品名 | RAKU+ (Compal社製) |
|-----------|---|
| 搭載モデム | Qualcomm Snapdragon X55 |
| 対応バンド | 5G : n79(Sub6)、n257(mmWave) LTE: B41 |
| SIMカードタイプ | Nano SIM |
| インターフェース | 無線LAN IEEE802.11a/b/g/n/ac/ax 2.4GHz帯/5GHz帯対応 有線LAN (RJ45) 1000BASE USB (TypeC) USB3.1、Gen2 |
| バッテリー容量 | 5,300mAh |
| 外形寸法 | 119mm x 72mm x 23.5mm |
| 質量 | 235g |
| 技術基準適合証明 | 日本国内認証取得済み ※UL-MIMOは2020年12月頃取得予定 |

(出所) 日本電気株式会社提供資料

⑦CPE (K5G-C-100A)



| 項目 | 仕様 |
|-------------|---|
| サイズ | 約 78(H) x 165(W) x 27(D)mm |
| 重量 | 約 326g |
| ディスプレイ | 約 2.6 インチ |
| 電池/充電端子 | リチウムイオン電池 (6,000mAh) /USB Type-C™ (PD3.0) |
| 位置測位 | GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo/みちびき/A-GPS |
| CPU | Qualcomm Snapdragon 865 5G Mobile Platform, Snapdragon X55 5G Modem-RF System |
| メモリ | RAM : 8GB / ROM : 128GB |
| インターフェース | USB Type-C |
| Bluetooth | 5.1 |
| Wi-Fi | Wi-Fi (802.11 a/b/g/n/ac/ax) |
| Wi-Fi 同時接続数 | 20 デバイス |
| 通信方式 | 5G NR (Sub6/mmW) 、Local5G (Sub6/mmW) 、4G LTE (マルチバンド) |
| ネットワークタイプ | NSA/SA |
| SIM | nano SIM x2 |

(出所) 京セラ株式会社 WEB サイト

(<https://www.kyocera.co.jp/prdct/telecom/office/iot/products/k5g-c-100a.html>)

⑧映像をエンコードしネットワークに乗せて中継する送信機（ZA0-SH 送信機）



| 項目 | 仕様 |
|------------|---|
| 重量 | 約 350g |
| サイズ | 幅 77mm×高さ 123mm×奥行き 35mm（突起を除く） |
| 電源 | 専用コネクタ × 1 基、内蔵バッテリー （約 20Wh、約 60 分稼動、約 150 分充電） × 1 基 搭載 |
| 消費電力 | 約 20W |
| 映像入力端子 | BNC (75Ω din1.0/2.3) × 1 基、HDMI × 1 基搭載 |
| 通信端子 | micro USB2.0 × 3 基、USB2.0 × 1 基搭載 |
| 動作環境 | 動作時：0～+40℃ / 20～80%RH（結露無きこと） 保存時：-20～+60℃ / 10～80%RH（結露無きこと） |
| 適用回線 | 5G、LTE、WiFi、Ethernet |
| エラー訂正 | ARQ、パケットソート |
| プロトコル | UDP/IP, TCP/IP (RASCOW2) |
| マルチリンク | 最大 4 回線 |
| シリアル通信 | 指定の USB シリアル変換ケーブルによる拡張 |
| 符号化方式 | H.265 Main Profile |
| 対応入力フォーマット | <ul style="list-style-type: none"> ・ HDMI 1980 × 1080 : 25p, 29.97p, 30p, 50p, 50i, 59.94p, 59.94i, 60p, 60i 1280 × 720 : 50p, 59.94p, 60p ・ SDI 1980 × 1080 : 25p, 29.97p, 30p, 50i, 59.94i, 60i 1280 × 720 : 50p, 59.94p, 60p |

| | |
|---------|---|
| ビットレート | 128kbps～15Mbps |
| フレームレート | 最大 29.97fps (入力映像が 1080p 59.94 / 29.97 の場合) 最大 59.94fps (入力映像が 720p 59.94 の場合) |
| 符号化方式 | Opus |
| チャンネル | Stereo |
| サンプリング | 48kHz |
| 入力 | Embedded Audio |
| 出力 | 3.5φ ステレオミニプラグ |
| ビットレート | 16～510 kbps |

(出所) (株) ソリトンシステムズ WEB サイト
(<https://www.soliton.co.jp/lp/zao-sh/>)

⑨ZAO-SH で送信された映像を受信する PC 端末 (ZAO-SH 受信機)



| 項目 | 仕様 |
|----------------|---|
| 受信用ソフトウェア | Zao View |
| 推奨動作環境 | HP Z4G4 Workstation |
| OS | Ubuntu 18.04 LTS |
| CPU | Intel® Xeon® W-2123 Processor (3.6GHz、4Core、8.25M キャッシュ) |
| RAM | 32GB DDR4 SDRAM (2666MHz ECC Registerd、8GB x4) |
| HDD | 1TB HDD (SATA、7200rpm) |
| GPU | NVIDIA® Quadro® RTX4000 8GB |
| 出力インターフェース | DisplayPort / SDI* *SDI 出力はオプション |
| ネットワークインターフェース | LAN 1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T 対応 |

| | |
|-----------|---|
| 同時接続数 | Zao-SH×1 |
| 伝送モード | 遅延優先モード (Low-latency) / 帯域優先モード (Bandwidth) |
| 符号方式 | H.265 Main Profile |
| 映像ビットレート | 128Kbps～15Mbps |
| 音声 (双方向) | 符号化方式 Opus |
| チャンネル | Stereo |
| サンプリング | 48kHz |
| 入力 | 内蔵サウンドカード |
| 出力 | Embedded Audio (DisplayPort 又は内蔵サウンドカード) *SDI 出力はオプション |
| ビットレート | 16～510 kbps |
| 追加遅延量設定 | 0ms～1000ms |
| 遅延警告表示 | 有 (50ms～1000ms) |
| 外部機器遅延量設定 | 0ms～1000ms |
| シリアル通信 | 指定の USB シリアル変換ケーブルによる拡張 |
| ビットレート | 16～510 kbps |

(出所) (株) ソリトンシステムズ WEB サイト
(<https://www.soliton.co.jp/lp/zao-sh/>)

⑩映像入力の切替えをする装置(映像スイッチャー) (Blackmagic Design ATEM Constellation 8K)



| 項目 | 仕様 |
|-------------|--|
| ビデオ・プロセッシング | 4:2:2、10 ビット |
| 入力映像フォーマット | 最大 4320p59.94 |
| 出力映像フォーマット | 最大 4320p59.94 |
| 入力端子 | ビデオ入力合計 SDI 40 , SDI レート 1.5G、3G、6G、12G オーディオ入力合計 LINE x2、マイク x1 |

| | |
|--------|-----------------------------------|
| 出力端子 | 出力合計 SDI 24 オーディオ出力合計 LINE × 2 |
| その他の端子 | マルチビューSDI、LAN、USB2.0、RS-422 |
| 電源 | 内蔵 100-240V AC x2 4ピン 12V DC |
| 消費電力 | 300W |
| 外形寸法 | 302mm×423mm |
| 重量 | 8.4kg |

(出所) Blackmagic Design WEB サイト
(<https://www.blackmagicdesign.com/jp/products/atemconstellation/techspecs/W-APS-12>)

⑩フレームシンクロナイザ (同期を揃え、映像の遅延を補正する装置) (FOR-A FA-505)



| 項目 | 仕様 |
|-------------|---|
| ビデオ・プロセッシング | 4:2:2 デジタルコンポーネント |
| 入力映像フォーマット | 最大 1080/59.94P |
| 出力映像フォーマット | 最大 1080/59.94P |
| 入力端子 | SD-SDI : 270 Mbps、75Ω、BNC x 5 |
| 出力端子 | SD-SDI : 270 Mbps、75Ω、5出力 (5系統2分配)、BNC x 10 |
| ビデオ遅延調整 | 最大 8 フレーム (Frame モード時) |
| 電源 | 内蔵 100-240V AC x1。4ピン 12V DC |
| 消費電力 | 86 W |
| 外形寸法 | 430 (W) x 400 (D) x 44 (H) mm |
| 重量 | 7.0 kg |

(出所) 株式会社朋栄 WEB サイト (<https://www.for-a.co.jp/products/fa505/details.html>)

⑫撮影カメラ (SONY FX6)



| 項目 | 仕様 |
|------------|--|
| 撮像素子 | 35mm フルサイズ相当単板 CMOS イメージセンサー |
| 出力映像フォーマット | 4K 3840 x 2160 (59.94/50/29.97/25/23.98)、 HD 1920 x 1080 (59.94/50/29.97/25/23.98) |
| SDI 出力 | BNC 端子×1、12G-SDI、6G-SDI、3G-SDI |
| HDMI 出力 | HDMI 端子(タイプ A)×1 |
| その他の端子 | TC 入力/TC 出力 , BNC 端子×1, 入力/出力 切替式 XLR タイプ 3 ピン(凹)×2、LINE/MIC/MIC+48 V 切り替え式 ステレオミニジャック (Φ3.5mm)×1 USB タイプ C×1、マルチ/マイクロ B×1 ステレオミニミニジャック (Φ2.5mm)×1 |
| 液晶パネル | 3.5 型カラー液晶、約 276 万画素相当 |
| 電源 | DC 19.5V |
| 消費電力 | 約 18.0W |
| 外形寸法 | 約 114x116x153mm |
| 重量 | 約 0.89kg (本体のみ) |

(出所) ソニーマーケティング株式会社 WEB サイト (<https://www.sony.jp/pro-cam/products/ILME-FX6V/specification.html>)

⑬撮影カメラ (ARRI ALEXA Mini LF)



| 項目 | 仕様 |
|-----------|---|
| 撮像素子 | ラージフォーマット ARRI ALEV III (A2X) CMOS センサー |
| 収録映像解像度 | LF 16:9 ProRes HD: 1920×1080 LF 16:9 ProRes UHD: 3840×2160 |
| SDI 出力 | BNC 端子×2、6G-SDI、3G-SDI |
| カラーアウトプット | Rec 709 Rec 2020 Log C Custom Look (ARRI Look File ALF-2) |
| レンズマウント | LPL マウント (LPL-PL 変換併用時 PL マウントレンズも使用可能) |
| 収録フォーマット | MXF/ARRIRAW MXF/Apple ProRes 4444 XQ MXF/Apple ProRes 4444 MXF/Apple ProRes 422 HQ |
| 電源 | 1x LEMO 8pin (11-34 V DC) |
| 消費電力 | 約 65W |
| 外形寸法 | 約 140 x 143 x 188 mm |
| 重量 | 約-2.6 kg |

(出所) ARRI 社 WEB サイト (<https://www.arri.com/en/camera-systems/cameras/alexa-mini-lf#K1.0024074>)

⑭リモートでパン、チル、ズームができる撮影カメラ (Panasonic UE150)



| 項目 | 仕様 |
|------------|--|
| 撮像素子 : | 1.0 型 MOS×1 |
| 出力映像フォーマット | 4K 3840 x 2160 (59.94/50/29.97/25/24/23.98)、 HD 1920 x 1080 (59.94/59.94i/50/29.97/29.97psf/25/24 /23.98/23.98psf/) |
| SDI 出力 | BNC 端子×1、12G-SDI, 3G-SDI |
| HDMI 出力 | HDMI 端子(タイプ A)×1 |
| その他の端子 | MONI OUT SMPTE292 / 75 Ω (BNC×1) Optical Fiber ・ SFP+準拠 LAN IP 制御用 LAN 端子 (RJ-45) RS-422 CONTROL IN RS422A (RJ-45) マイク/ライン入力 |
| レンズ | 電動 20 倍光学ズーム F2.8 ~ F4.5 (f=8.8 mm~176.0 mm、35 mm 換算 : 24.5 mm~490.0 mm) |
| 電源 | DC 12 V±10 % (10.8 V ~ 13.2 V) |
| 消費電流 : | 4.0 A (XLR コネクター入力) 、 1.2 A (PoE++電源) |
| 外形寸法 | 幅 213 mm×高さ 267 mm×奥行 219 mm |
| 重量 | 約 4.2 kg |

(出所) パナソニック株式会社 WEB サイト (https://biz.panasonic.com/jp-ja/products-services/proav_remote-camera-system/lineup/aw-ue150)

⑮UE150 をコントロールできるコントローラー (Panasonic RP150)



| 項目 | 仕様 |
|------------|---|
| 入出力端子 | LAN (RJ-45) (LED 付き) 100BASE-TX PoE+入力 シリアル (RJ-45) RS422 (リモートカメラ用制御信号) TALLY OUT TALLY / GPIO D-Sub 25 ピン×2 個 TALLY IN : 20 入力 (R-TALLY、G-TALLY 各 10pin) |
| LCD ディスプレイ | タッチパネル付き 7 型液晶 (WVGA (800×480)) |
| SDI 出力 | BNC 端子×1、12G-SDI、3G-SDI |
| HDMI 出力 | HDMI 端子(タイプ A)×1 |
| カメラ接続数 | 200 台 (IP) 、 5 台 (RS422) |
| カメラ選択ボタン数 | 10 個 |
| カメラグループ数 | 20 個 (1 グループ各 10 台) |
| 電源 | DC 12 V (DC 入力範囲 DC 10.8 V - DC 13.2 V) |
| 消費電流 | 1.0 A (XLR コネクター入力) 、 0.6 A (PoE+電源) |
| 外形寸法 | 幅 342 mm×高さ 178 mm×奥行 245 mm (突起物除く) |
| 重量 | 約 3.2 kg |

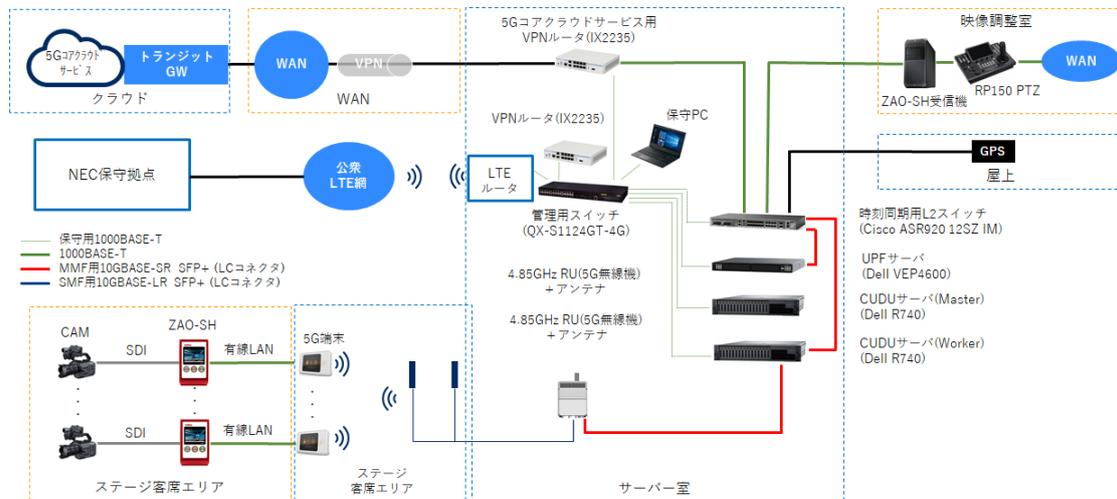
(出所) パナソニック株式会社 WEB サイト (https://biz.panasonic.com/jp-ja/products-services/proav_remote-camera-system/lineup/aw-rp150#summary_specs)

2.4 免許及び各種許認可

本実証においては、以下の内容でローカル 5 G の免許を申請した。代表機関である株式会社 stu が免許人となり、日本電気株式会社と連携して円滑に申請業務を行っている。なお、土地及び建物所有者である渋谷区及び指定管理者との合意は得ており、ローカル 5 G の免許以外に申請業務が必要な許認可等はなかった。

- ・申請先：関東総合通信局
- ・免許人：株式会社 stu
- ・対象周波数帯：4.75-4.85GHz 帯（100MHz 幅）
- ・システム構成：スタンドアローン（SA）方式
- ・設置場所：東京都渋谷区宇田川町1-1 LINE CUBE SHIBUYA（渋谷公会堂）内
- ・申請局種別（数）：実験局免許（基地局1、移動局22）
- ・メーカー名：日本電気株式会社（基地局）、Compal 社（移動局12局）、京セラ株式会社（移動局10局）

図 2.4.1 システム構成概要図（再掲）



干渉調整については、関東総合通信局の指示の下、株式会社NTT ドコモ及び日本電信電話株式会社と調整を図ったものの、いずれも調整不要との回答があったため調整を終了している。

また、本実証において使用する日本電気株式会社（以下本章で「NEC」という。）製の基地局と Compal 社製端末（RAKU+）は通信可能であることが NEC によって確認されていたものの、京セラ株式会社（以下本章で「京セラ」という。）製端末（K5G-C-100A）については通信可否が不明であったため、当初の申請は基地局1局、Compal 社製端末12局（内予備2局）、京セラ製端末2局とした上で免許の交付を受け、NEC 内の事前検証環境において京セラ製の通信可否を確認した。その後同環境における検証の結果京セラ製端末との間の通信が確認できたため、京セラ製端末を8局追加で申請することとした。

なお、基地局（NEC）、端末（Compal、京セラ）はいずれも技術基準適合証明等を受けていることから登録点検や落成検査の手続きは省略している。

表 2.4.1 免許申請手続スケジュール

| 項目 | | 9月 | | 10月 | | 11月 | | 12月 | | 1月 | | 2月 |
|-----|------------|----|---|-----|---|-----|---|-----|---|----|---|----|
| | | 中 | 下 | 上 | 中 | 下 | 上 | 中 | 下 | 上 | 中 | 下 |
| 当初分 | 免許申請関連資料作成 | | | | | | | | | | | |
| | 総通局事前相談 | | | | | | | | | | | |
| | 申請 | | | | | | | | | | | |
| | 免許交付 | | | | | | | | | | | |
| 検証 | ラボテスト | | | | | | | | | | | |
| 追加分 | 免許申請関連資料作成 | | | | | | | | | | | |
| | 総通局事前相談 | | | | | | | | | | | |
| | 申請 | | | | | | | | | | | |
| | 免許交付 | | | | | | | | | | | |

また、本実証事業においては実験局免許を取得しているが、4.4.4に記載している令和4年度以降の事業体制案を基に、渋谷区において改めて商用免許を取得することを検討している。

2.5 その他要件

(1) ローカル5Gの標準化関連

本実証で使用した5G基地局は、3GPPの標準化仕様に準拠し、製品提供可能な無線インターフェースを具備している（仕様が国際規格やオープンな技術に準拠していることについては、2.4のRU諸元を参照）。

(2) セキュリティ対策

本実証にて使用した基地局、コア設備等のローカル5G無線機器は、以下の事業者が供給を行っている。

表 2.5.1 ローカル5G無線機器供給事業者

| | |
|--------------|------------------|
| 認定の日付 | 令和3年2月16日 |
| 開発供給計画認定番号 | 2021開1総経第0001号-1 |
| 認定開発供給事業者の名称 | 日本電気株式会社 |

本実証環境のローカル5Gシステム構成機器は、本実証開始前に日本電気株式会社の事前検証環境内で構築した環境にて事前検証・評価を行った。なお、ローカル5Gシステムと外部のネットワーク（NECクラウドコア）の間にVPN（IPsec）を確立することでセキュアな通信を実現している。

また、サプライチェーンリスクに対応するため、本構成においては日本（国産）、米国、台湾のサプライヤ製品を利用している。本実証で使用する各機器のサプライヤは下図のとおりである。

表 2.5.2 ローカル5G機器サプライヤ

| 機器 | 装置名 | 製造者（国名） | 備考 |
|------|-----------------------------|-----------------|------------|
| 5GC | 5G Core | NEC（日本） ※調達先 | |
| UPF | User PlaneFunction | NEC（日本） ※調達先 | |
| CU | Central Unit | NEC（日本） ※調達先 | |
| DU | Distributed Unit | NEC（日本） ※調達先 | |
| RU | Radio Unit | NEC（日本） ※調達先 | |
| CPE | Customer Premises Equipment | Compal（台湾） | 日本国内認証取得済み |
| CPE | Customer Premises Equipment | 京セラ（日本） | 日本国内認証取得済み |
| L3SW | Layer 3 Switch | NEC（日本） ※調達先 | |
| L2SW | Layer 2 Switch | Cisco（米国） | |

2.6 実証環境の運用

（1）事前検証環境における事前検証

実証会場となる LINE CUBE SHIBUYA（渋谷公会堂）における環境構築と並行して、機器の品質担保確認及び環境要因を極力排除した機器固有の性能の測定を目的として NEC の事前検証環境内で機器の疎通及び通信性能の検証を実施した。

- 1 日時：2021年12月10日、20～22日
- 2 疎通検証項目、検証方法及び結果
 - a. 中継器（Zao-SH）5台、端末（RAKU+）5台の同時接続検証

Zao-SH 及び、RAKU+ 5台の接続チェックを行った。ローカル5Gに同時5台接続を確認しカメラからデコーダー、スイッチャーまで映像が通る事を確認した。

b. 端末 (K5G-C-100A) 2 台同時接続検証

初めに京セラ端末がローカル 5 G に繋がることを確認した。純正アプリを用いて HD での SRT 伝送をできることを確認したが、ZAO-SH と比べて遅延が大きく映像のカクツキが見られた。

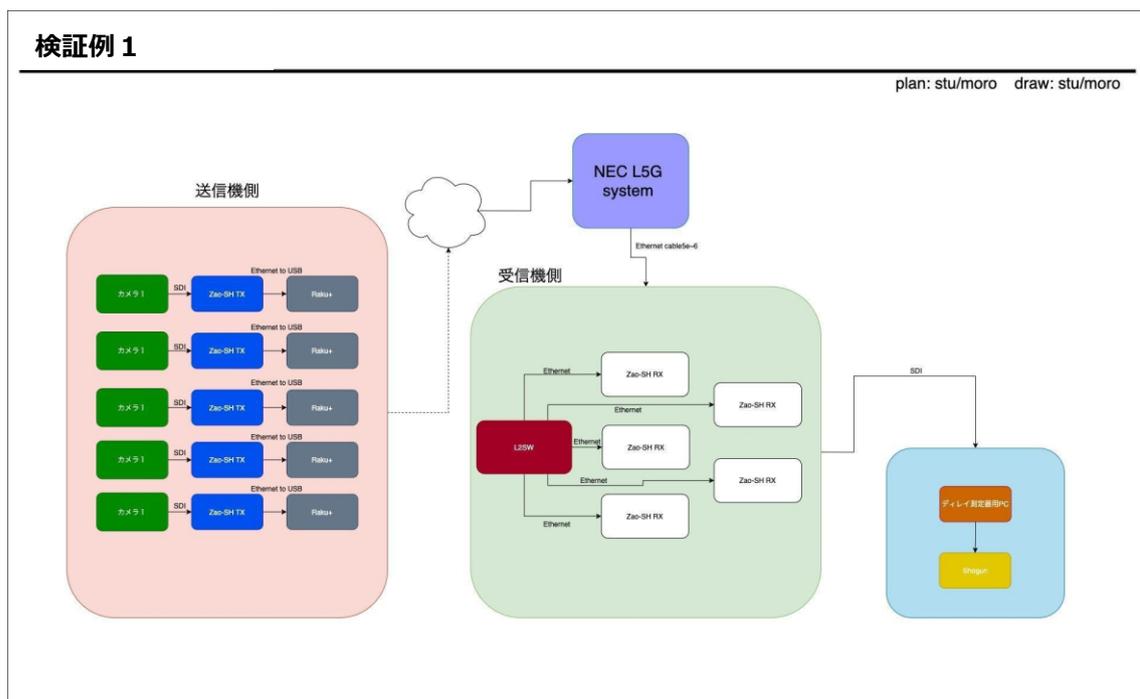
c. スループット、電波強度、遅延測定

スループット、電波強度、遅延について測定を行った。結果については以下のとおりであった。

表 2.6.1 NEC 事前検証環境における測定結果

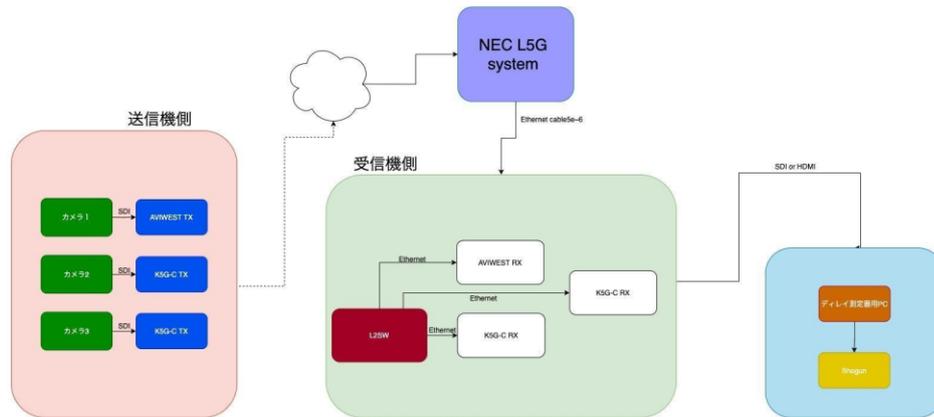
| | |
|-------------|---------------|
| スループット (上り) | 61.9~63.1Mbps |
| スループット (下り) | 565~655Mbps |
| 遅延 | 18~30ms |

図 2.6.1 NEC 事前検証環境における検証構成例



検証例 2

plan: stu/moro draw: stu/moro



※検証段階では AVIWEST 社の機器も含めて検証を行ったものの最終的には実証で使用していない。

(3) 実証中の運用

実証会場（LINE CUBE SHIBUYA）における、実証期間中の運用体制担当者、対応した不具合とその対応策等については下記のとおりである。

表 2.6.2 実証期間中の体制及び不具合への対応

| 運用期間 | 内容 | 運用担当者 | 対応した不具合とその対応策 |
|------------|---|------------------|---|
| 2/8 休演日 | ローカル 5G 基地局立ち上げ、 1call 試験 | NEC ネットズエスアイ株式会社 | サーバーダウンと管理画面へのアクセス不可 →インフラの再起動とソフトウェア復旧作業を実施 |
| 2/9 休演日 | 電波伝搬特性計測（ホール内／移動） | 株式会社 stu | |
| | 28 地点カメラ測定 （ZAO-SH／10 台接続／ビットレート変更測定／遅延測定） | 株式会社 stu | |

| | | | |
|--------------------|--|----------|--------------------------------------|
| 2/16 休演日 | 電波伝搬特性計測（ホール外） | 株式会社 stu | |
| | 28 地点カメラ測定（KYOCERA HD/4K/10 台接続/ビットレート変更測定/遅延測定） | 株式会社 stu | |
| 2/22 テクニカルリハーサル | 電波伝搬特性計測（他無線機同時利用） | 株式会社 stu | |
| | 映像品質測定、最大カメラ台数測定、映像プロトコル比較 | 株式会社 stu | |
| 2/23 公演日 | 電波伝搬特性計測（有観客） | 株式会社 stu | 公演スケジュールの関係で計測時間の制限が発生 →測定点の変更で対応 |
| | 映像品質測定、最大カメラ台数測定、映像プロトコル比較 | 株式会社 stu | |

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）

3.1 実証概要

本技術実証の概要を下表にまとめた。本技術実証では、実証会場となるコンサートホールの業務範囲内における通信性能の評価と、電波伝搬モデル（パラメーターRについて）の精緻化を行った。

表 3.1.1 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 5 G 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

本件実証は、コンサート、演劇など様々な用途で用いられる LINE CUBE SHIBUYA を対象として行う。当該施設は「渋谷公会堂」として渋谷区役所に隣接する形で1964年に営業をスタートし、2015年に一時閉館。建て替えを行い2019年6月に竣工した後、LINE 株式会社が命名権を取得し営業をスタートした。

当該施設は渋谷の文化醸成の起点として歴史が深い一方で、MICE として使用されるため2,000人クラスの会場としては珍しく中継・配信専用の放送室を擁しており、実証環境としてはサイズ、スペック含めこの上ない構造となっている。

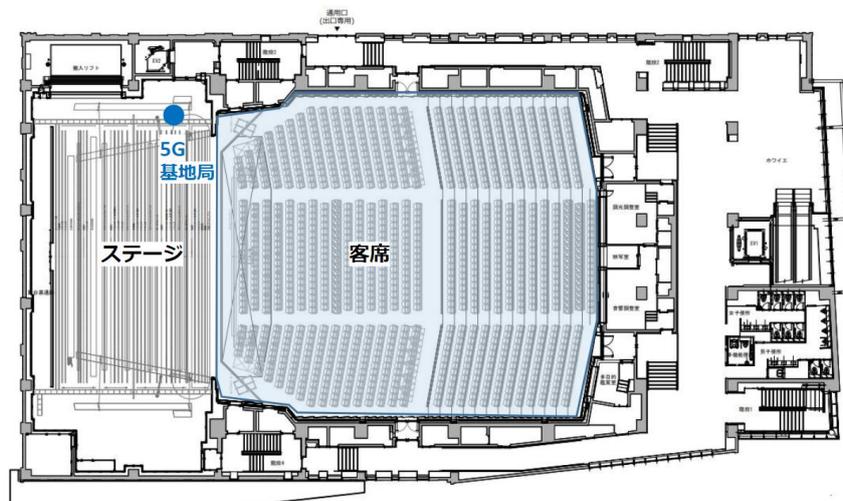
また、株式会社 KDDI と一般社団法人渋谷未来デザインが主導する「渋谷5Gエンターテイメント」は、渋谷において5Gを絡めた様々な実証事業における推進力を保有しており、置局後の有効活用及び普及促進という観点においても事例の拡大に向けた有効活用が期待できる。

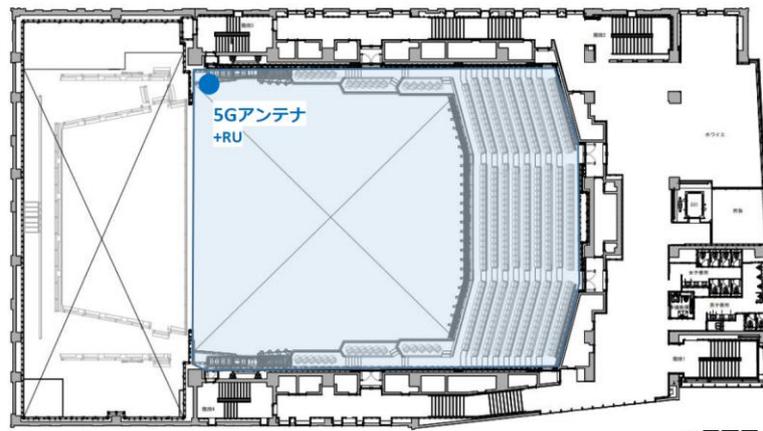
【業務範囲について】

屋内設置のローカル5G基地局・アンテナによる業務範囲は下図を参照。

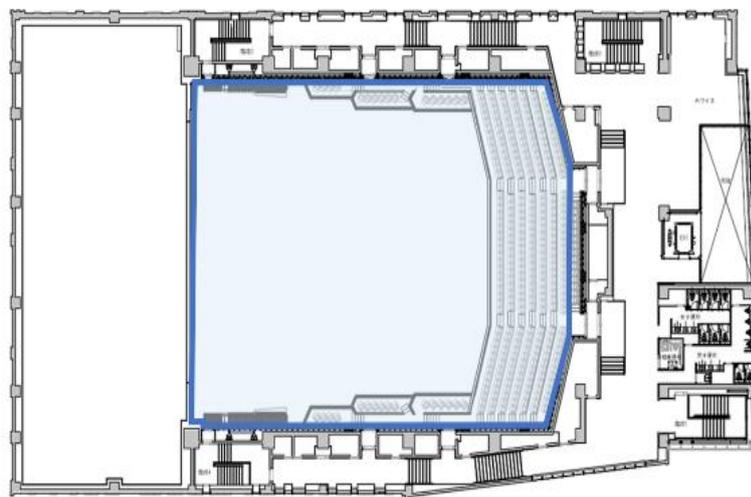
客席内の最も死角となる2階後方席を見通せ、かつその他客席エリアを網羅するように、ステージ上部付近にアンテナを設置している。

図 3.2.1 実証環境における業務範囲



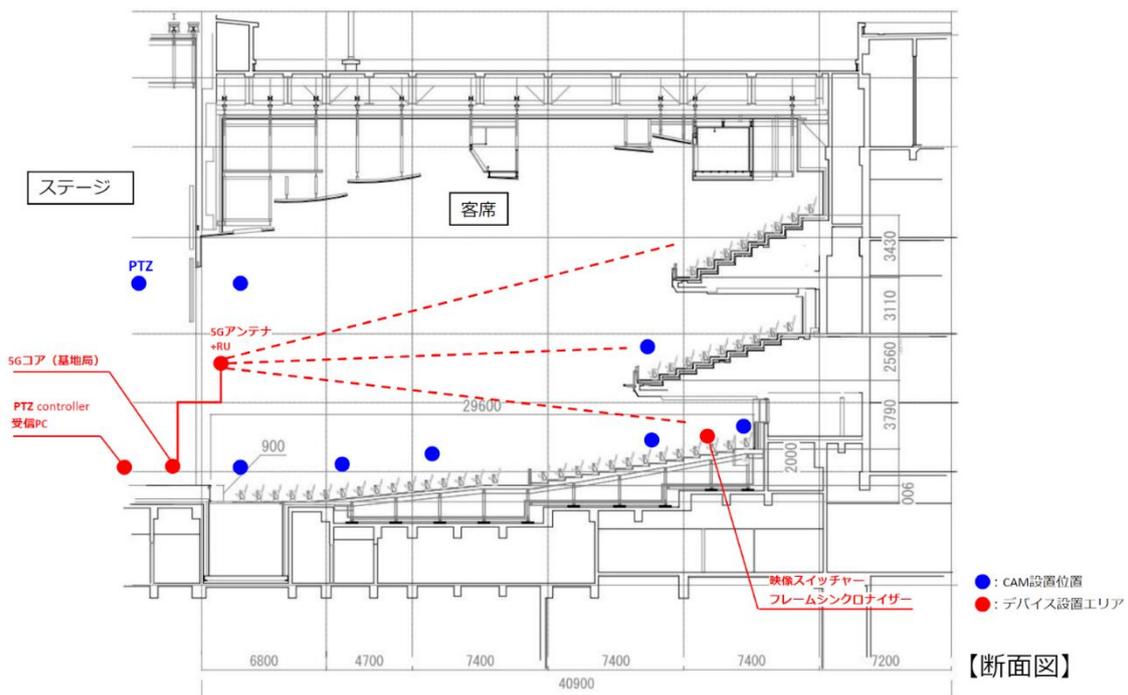


4F平面図



渋谷公会堂 5階

(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成



(出所) 渋谷区提供の図面を基にコンソーシアム作成

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

本実証において課題実証を行う上では一般視聴者に向けた放送コンテンツを構成する性質上、高いアベイラビリティが求められる。したがって、本実証の主な業務範囲であるコンサートホール内における通信性能の確認及び評価が必要となる。そのため、カバーエリア内の 20 以上の測定点において、受信電力及び伝送性能 (UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延等) の測定・評価・考察を行った。

3.3.1.1 実証目標

本実証システムの主要ユースケースとして、以下の技術要求性能を実証目標の閾値として設定している。カメラ 1 台当たり UL スループットが 10Mbps 程度必要なため、今後の高画質化も見据えて地点ごとの目標値を 15Mbps に設定した。また、無線伝送部分での遅延量の許容値が 34ms 以内のため、伝送遅延の目標値を 34ms (RTT 68ms) に設定した。

表 3.3.1 実証目標

| 検証項目 | 目標値 |
|------------------|--|
| スループット (地点ごと) | UL 15Mbps 以上 (UDP) |
| 伝送遅延時間 | UL(片道) 平均 34ms 以内 (ping RTT 平均 68ms 以内) |

3.3.1.2 評価・検証項目

今回測定を行った項目は下記となる。

表 3.3.2 測定項目・方法

| 測定項目 | 測定方法 |
|-----------------|---|
| 受信電力 | CPE (RAKU+, K5G-C-100A) の機能を用いて計測 |
| UL スループット | 測定用 PC にて iperf2 コマンドを用いて計測 1 地点当たり 20 サンプルを計測 |
| DL スループット | 測定用 PC にて iperf2 コマンドを用いて計測 1 地点当たり 20 サンプルを計測 |
| 伝送遅延時間 (RTT) | 測定用 PC にて ping コマンドを用いて計測 1 地点当たり 20 サンプルを計測 |

3.3.1.3 評価・検証方法

実際の公演の収録・配信を想定したワークフローの中で必要な伝搬性能が確保できるか否かの確認のため、検証会場内の業務範囲内・業務範囲外（ホワイエ・バックヤード）においてプロットされた定点にてスループット値及び伝送遅延量を測定、また、移動時・ローカル 5G 以外の無線通信の有無、観客の有無による通信パフォーマンスの評価を行い、業務エリア内外において障害物等による映像伝送障害が発生するエリアが存在しないか検証を行った。

(1) 測定方法

高さ 1m の木製の台の上に CPE を 2 機設置し、そのうち 1 台 (RAKU+) にノート PC を有線 LAN 接続してスループット、伝送遅延時間 (RTT) を測定するとともに、受信電力は各地点での CPE の管理画面上の測定値を記録した。

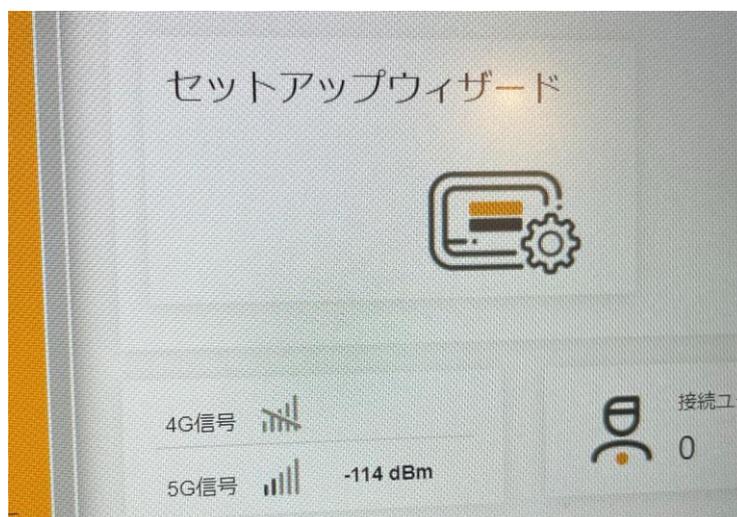
同時にもう片方の CPE (K5G-C-100A) に搭載されている電波測定用アプリを利用し、受信電力を記録した。

図 3.3.1 測定に用いた台



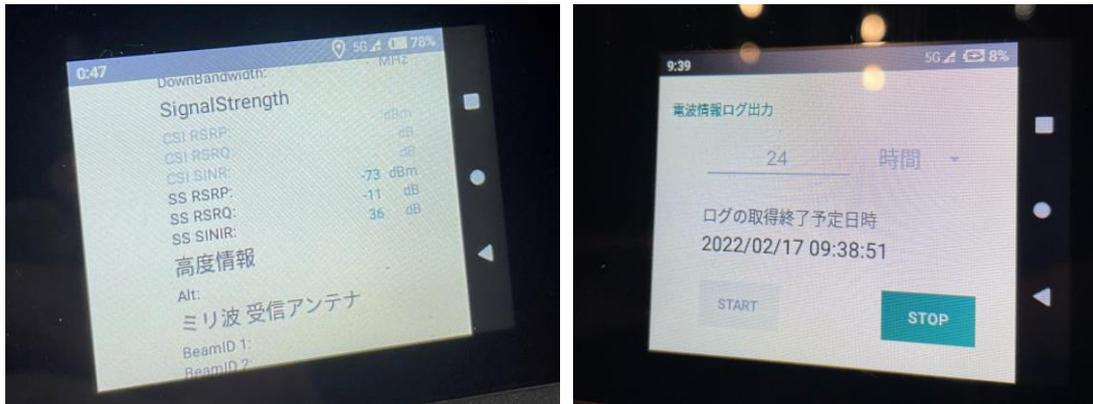
RAKU+の測定データは RAKU+の管理画面に測定用 PC からアクセスし、各地点での計測中に管理画面上に表示される受信電力の値の最大値・最小値を記録してその平均値を用いることとした。

図 3.3.2 RAKU+の管理画面上の受信電力表示



K5G-C-100A の測定データはプリインストールされている「5G電波情報アプリ」の「電波情報ログ出力」機能を用いると3秒毎にCSVに自動でデータが記録されるため、その記録されたデータを用いた。

図 3.3.3 K5G-C-100A の「5 G電波情報アプリ」

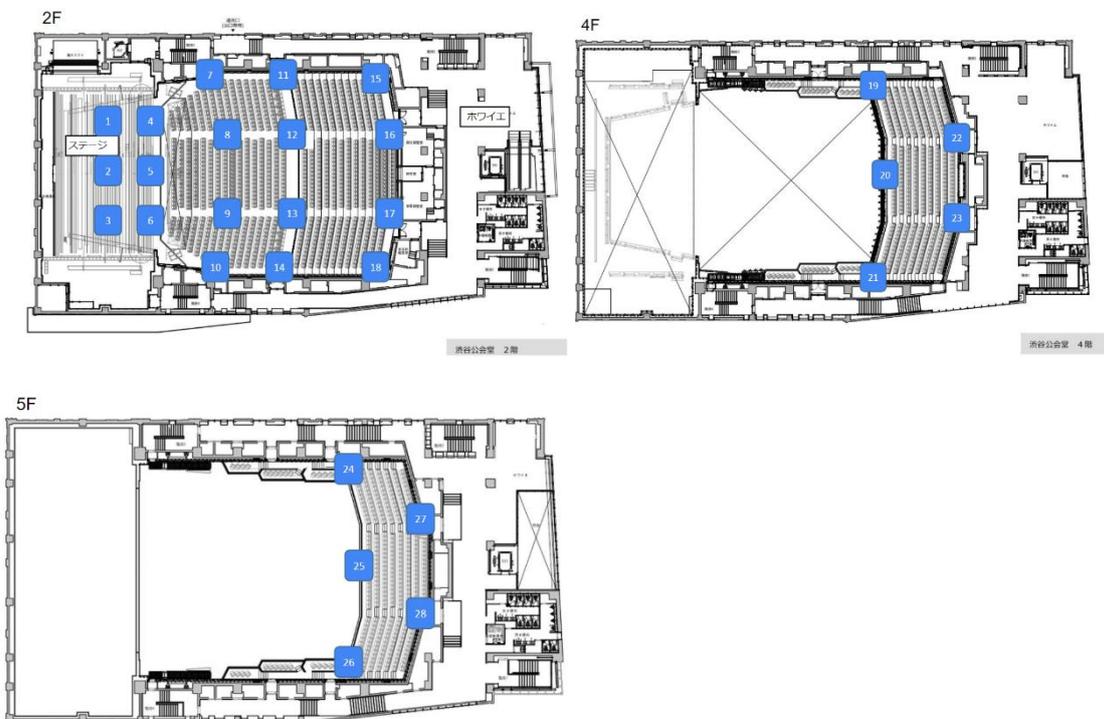


(2) 測定詳細

① 業務範囲内の定点通信

公演中に撮影を行うこととなる業務範囲内の地点において、休演日に通信スループット・伝送遅延時間（RTT）、受信電力を測定し、映像伝送に問題が発生するエリアが存在しないか検証を行った。

図 3.3.4 業務範囲内の定点通信に係る測定点

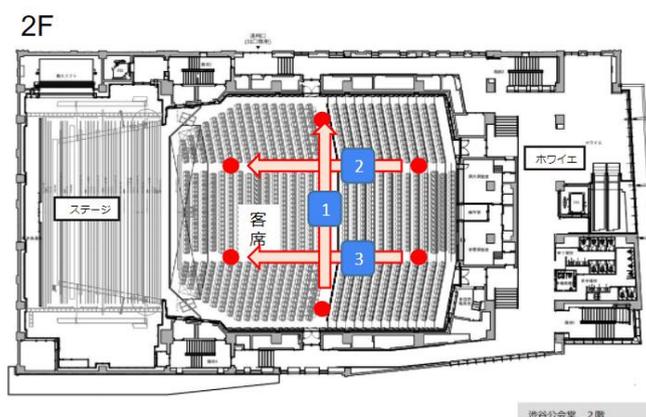


(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成

② 緩やかな移動を行った場合の通信

カメラを移動しながら撮影することを想定し、下記の図に示す場所において移動しながら通信スループットを測定し、通信パフォーマンスに問題がないか検証を行った。

図 3.3.5 緩やかな移動を伴う通信の測定エリア



(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成

③ コンサート会場における無線通信の有無による電波伝搬への影響

イベント事業における無線通信の混信による影響を調べるため、休演日とテクニカルリハーサル時に測定を行い、他の無線通信の状態を変えた上で業務範囲内での測定と比較を行い、評価を行った。

当初は①と同じ地点での測定予定であったが、舞台美術によるステージ周りの形状変更のため一部測定点の位置を変更しており、また公演に向けてのリハーサルに際し、本計測中は撮影班による撮影の検証ができなくなるため、協議の上、計測時間の短縮のため主要な地点に絞っての計測となった。

図 3.3.6 舞台美術設置状況

設置前

設置後

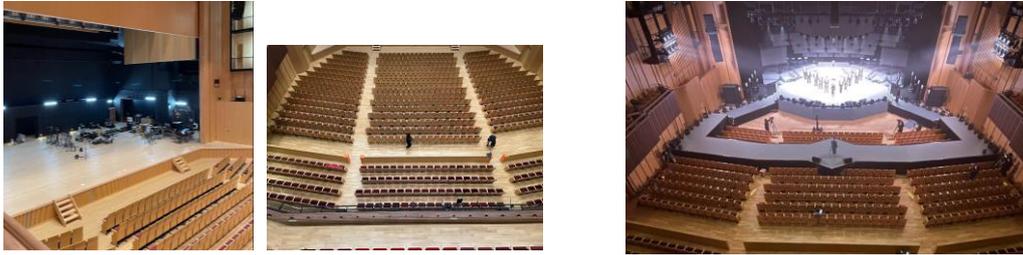
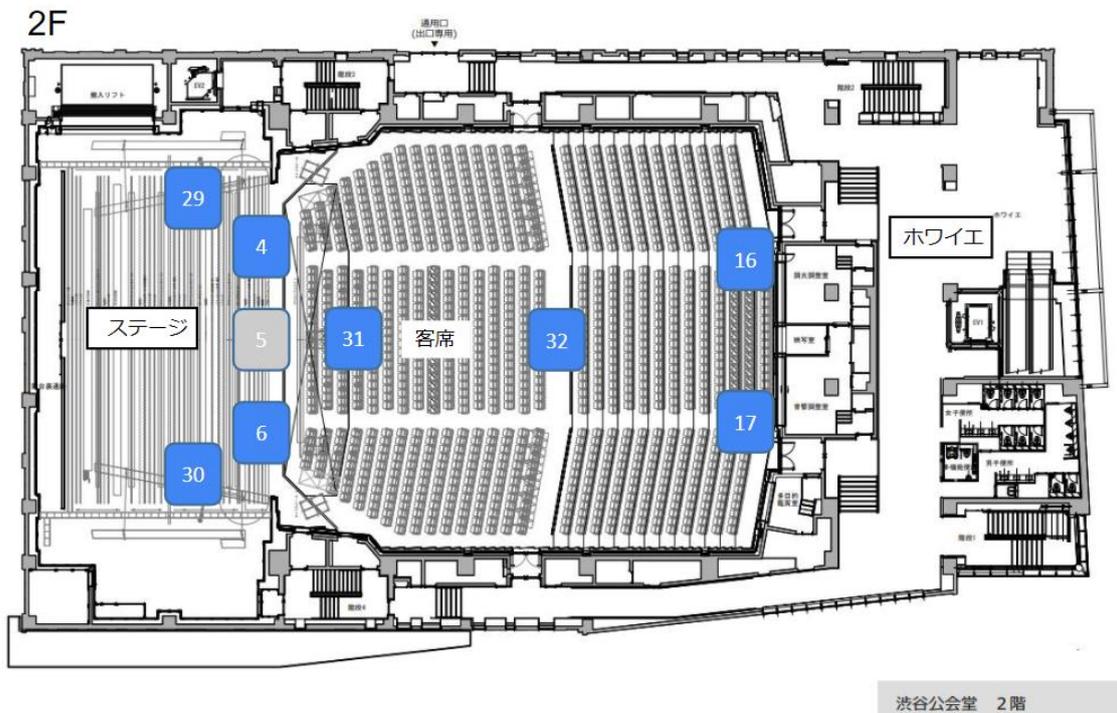


図 3.3.7 コンサート会場における無線通信利用時の測定点



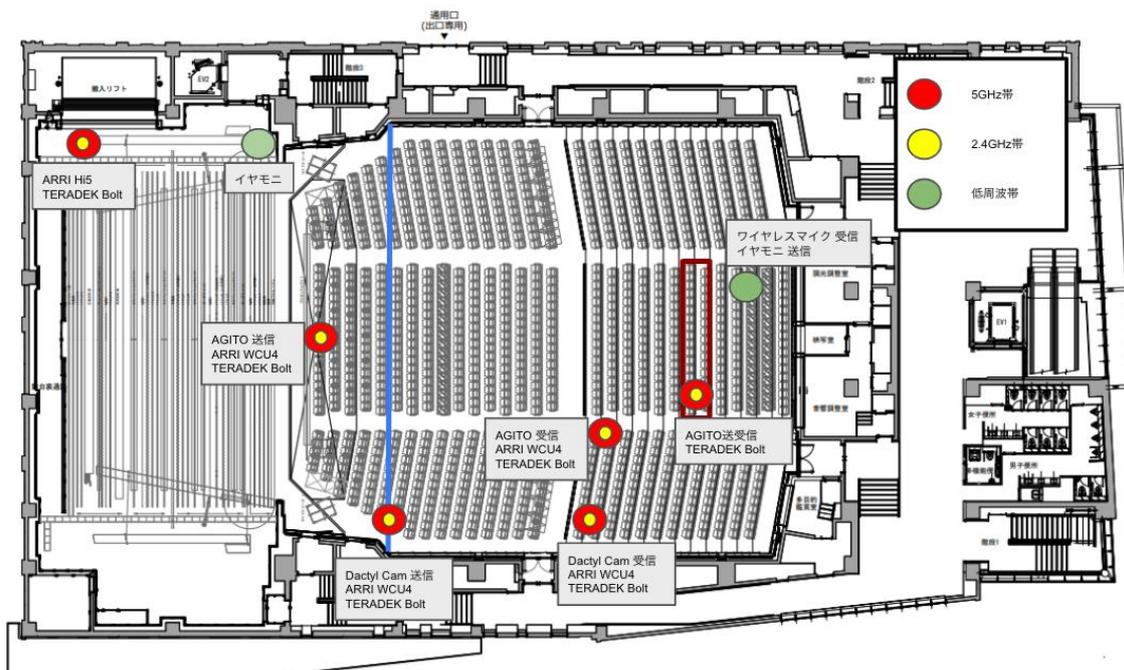
渋谷公会堂 2階

表 3.3.3 コンサート会場における無線機器と通信帯域

| 概要 | 機材名 | 周波数帯 |
|-------------|---------------|---|
| 運営用トランシーバー | モトローラー | 465～467MHz |
| ワイヤレスマイク | Shure M6 | 700～714MHz |
| イヤモニ | Shure L11J | 679MHz |
| 映像伝送(モニター用) | TERADEK BOLT | 5GHz (5.190～5.230GHz 及び 5.270～5.670GHz) |
| 映像用インカム | RIEDEL Bolero | 1.9GHz |

| | | |
|-------|------------|--------|
| カメラ操作 | ARRI Hi5 | 2.4GHz |
| カメラ操作 | ARRI WCU4 | 2.4GHz |
| カメラ操作 | AGITO | 2.4GHz |
| カメラ操作 | Dactyl Cam | 2.4GHz |

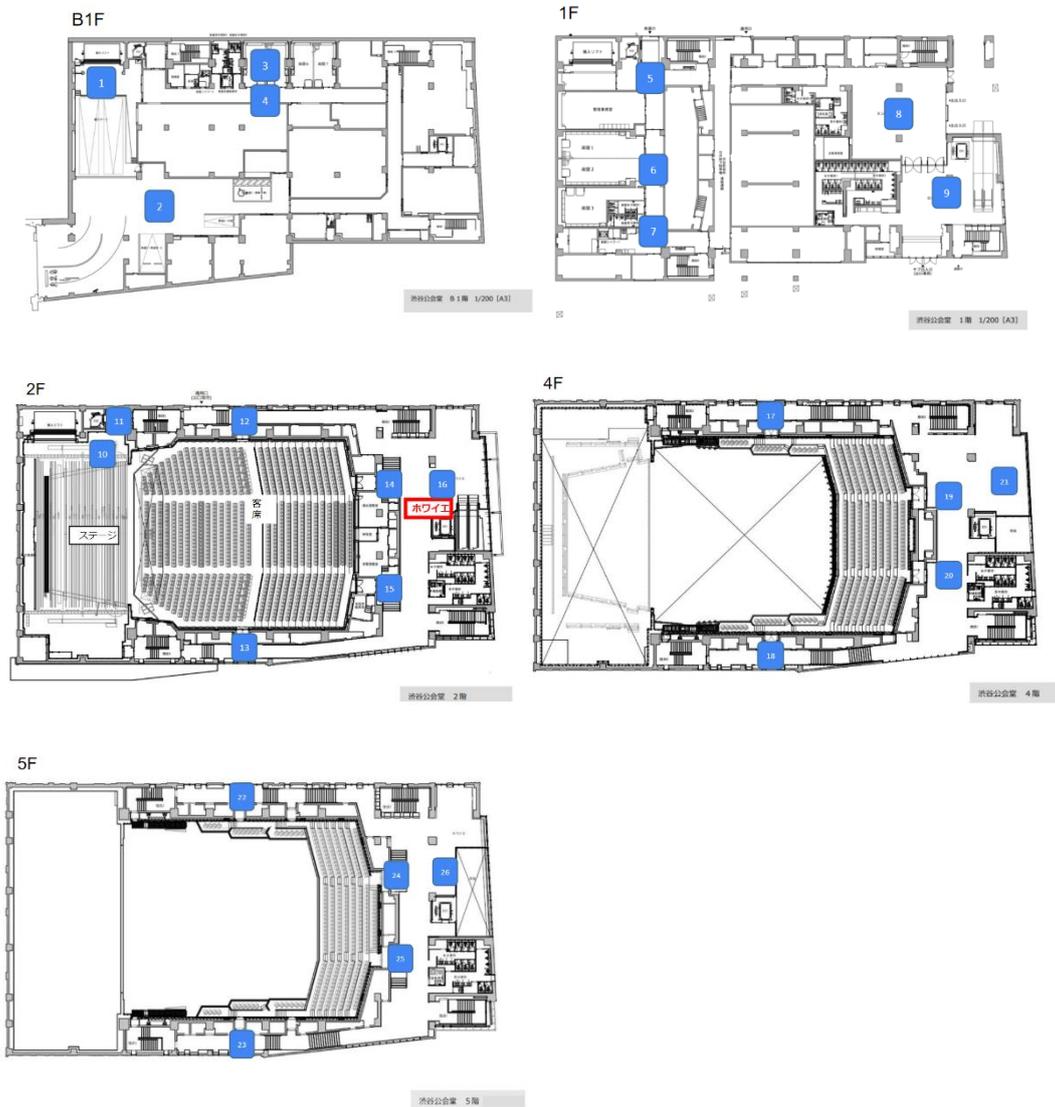
図 3.3.8 コンサート会場における他の無線機器の設置位置



④ 業務範囲外の地点における定点通信

業務範囲内だけでなく、コンサートホールにおいて下記の図に示すようなコンサートフロアから質量のある遮蔽物で隔絶されたバックヤードやホワイエ・楽屋での通信の可否を調査するため測定を行った。

図 3.3.9 業務範囲外における測定点



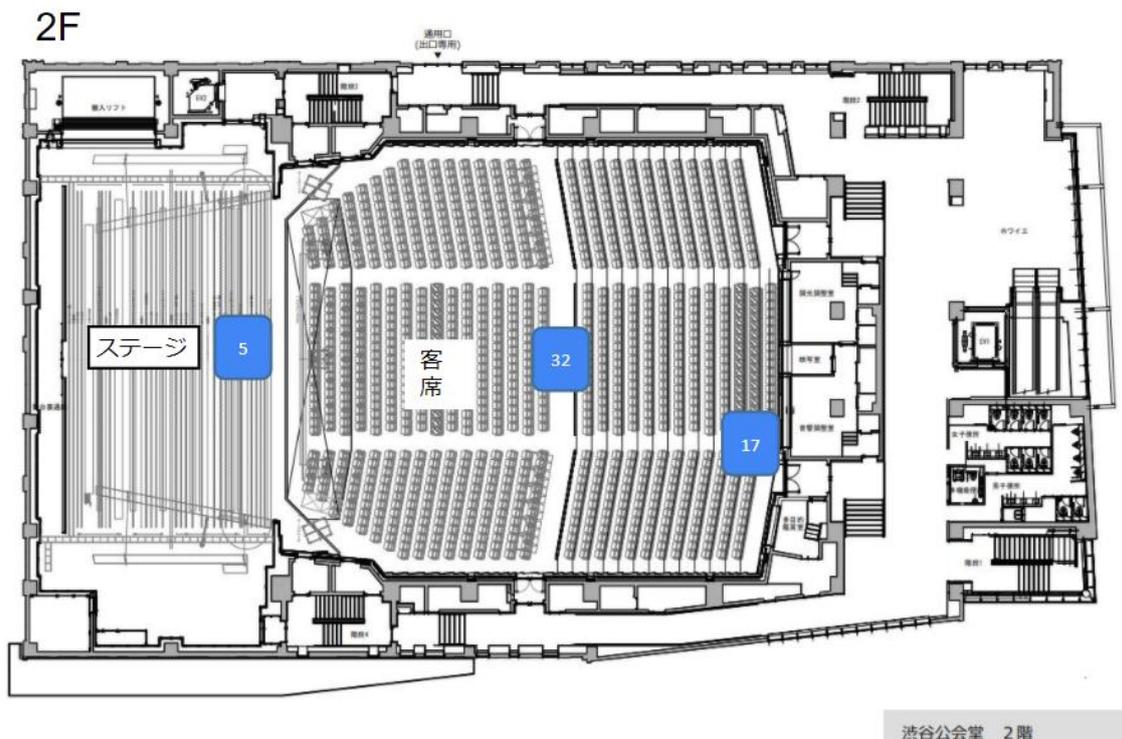
(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成

⑤ 有観客講演中の通信及び電波伝搬への影響

本番公演時にエキストラの観客が客席にいる状態で測定を行い、無観客状態での測定との比較を行い、評価を行った。

当初は①と同じ地点での測定予定であったが、③と同様に舞台美術によるステージ周りの形状変更・有観客客入れ状態での測定時間に限りがあるため、協議の上測定点を減らしての計測となった。

図 3.3.10 有観客講演中の測定点



3.3.1.4 実証結果及び考察

(1) 測定日時

データを測定した日時は下記となる。

表 3.3.4 検証内容と実施日時

| 検証内容 | 日付 | 備考 |
|------------------------|--------------------------|------------------|
| ①業務範囲内の地点における定点通信 | 2022/02/09 14:00～20:30 頃 | 休演日・無観客・他無線利用なし |
| ②緩やかな移動を行った場合の通信 | 2022/02/09 20:30 頃 | 休演日・無観客・他無線利用なし |
| ③コンサート会場における無線機器利用時の通信 | 2022/02/22 17:00 頃 | テクリハ・無観客・他無線利用あり |
| ④業務範囲外の地点における定点通信 | 2022/02/16 10:00 頃 | 休演日・無観客・他無線利用なし |

| | | |
|------------|--------------------|---------------------|
| ⑤有観客状態での通信 | 2022/02/23 18:00 頃 | 公演日・有観客・他無線 利用あり |
|------------|--------------------|---------------------|

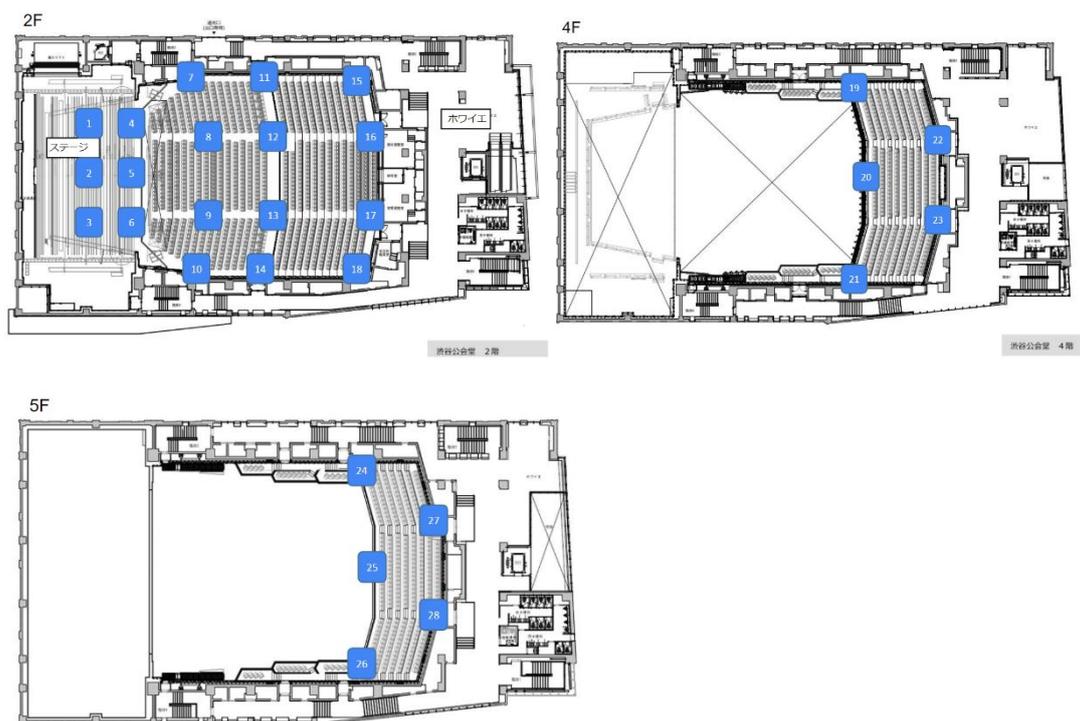
※今回、受信電力の計測は2機種のCPEを用いて行ったが、K5G-C-100Aにおいて、移動中に一度ローカル5Gサービスが圏外となり、その後サービス圏内に戻ってきた場合などに電波状況が正しく更新されず正常にデータが記録されていないことが散見され、その場合の項目には欠測と記入した。また、上記理由により後述のグラフにはRAKU+で計測した値を用いた。

(2) 実証結果

① 業務範囲内の定点通信における伝送性能の評価

業務範囲内の地点において、通信スループット・通信遅延、受信電力を測定し、映像伝送に問題が発生するエリアが存在しないか検証を行った。

図 3.3.11 業務範囲内の定点通信に係る測定点（再掲）



計測地点の各パターンにおいて、各地点における受信電力、スループット等の計測データをまとめたものが以下表である。

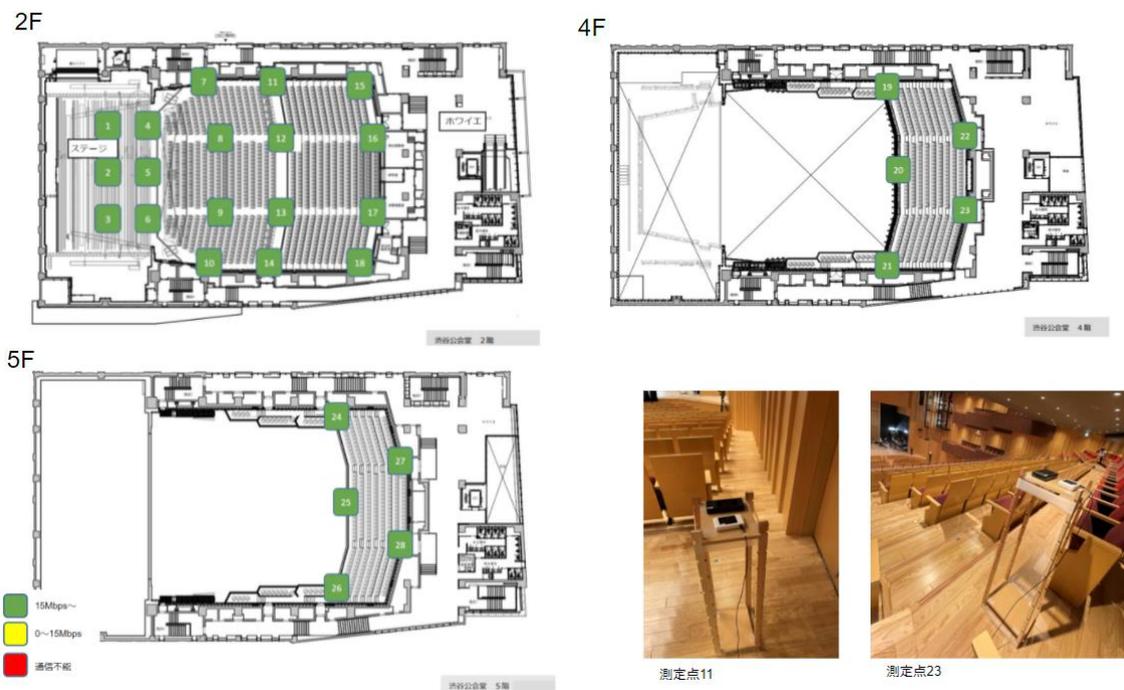
表 3.3.5 業務範囲内の定点通信の各地点における計測データ

| 地点 | 場所 | 受信電力 [RAKU+] (dBm) | 受信電力 [K5G] (dBm) | UL (Mbps) | DL (Mbps) | RTT (ms) |
|----|-------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|-------------|
| 1 | ステージ | -72.5 | -77.7 | 62.8 | 643.0 | 25 |
| 2 | | -71 | -70 | 61.3 | 630.6 | 25 |
| 3 | | -62.5 | -70 | 62.9 | 608.5 | 25 |
| 4 | | -66 | -70 | 63.0 | 644.4 | 23 |
| 5 | | -70.5 | -71.8 | 60.9 | 637.3 | 25 |
| 6 | | -65 | -69 | 63.0 | 632.8 | 28 |
| 7 | 2F 客席 | -69 | -75 | 63.0 | 643.7 | 25 |
| 8 | | -64 | -69 | 63.1 | 596.1 | 26 |
| 9 | | -61 | -69 | 63.0 | 632.3 | 25 |
| 10 | | -67.5 | -69 | 63.1 | 642.2 | 25 |
| 11 | | -71 | -69 | 63.1 | 596.9 | 25 |
| 12 | | -63.5 | -61 | 63.2 | 645.0 | 25 |
| 13 | | -62 | -61 | 63.0 | 641.5 | 24 |
| 14 | | -63.5 | -74 | 62.6 | 639.3 | 25 |
| 15 | | -70.5 | -75 | 63.1 | 639.7 | 25 |
| 16 | | -61.5 | -66 | 63.0 | 588.9 | 26 |
| 17 | | -69 | -66 | 63.1 | 643.8 | 26 |
| 18 | | -68.5 | -66 | 63.0 | 642.4 | 25 |
| 19 | 4F 客席 | -62.5 | -68 | 62.2 | 644.0 | 21 |
| 20 | | -66.5 | -68 | 62.0 | 640.9 | 21 |
| 21 | | -71.5 | -68 | 60.5 | 641.4 | 21 |
| 22 | | -58.5 | -68 | 62.7 | 643.1 | 20 |
| 23 | | -69 | -68 | 63.0 | 641.5 | 21 |
| 24 | 5F 客席 | -62.5 | 欠測 | 62.7 | 642.6 | 24 |
| 25 | | -66.5 | 欠測 | 62.9 | 642.9 | 25 |
| 26 | | -71.5 | 欠測 | 63.0 | 643.7 | 26 |
| 27 | | -58.5 | 欠測 | 63.0 | 642.8 | 25 |

| | | | | | | |
|----|--|-----|----|------|-------|----|
| 28 | | -69 | 欠測 | 63.1 | 642.2 | 24 |
|----|--|-----|----|------|-------|----|

また、地点ごとに要求性能である UL スループット 15Mbps 以上を確保できているかを色分け表示した図を下記に示す。

図 3.3.12 業務範囲内の地点における定点通信における測定結果

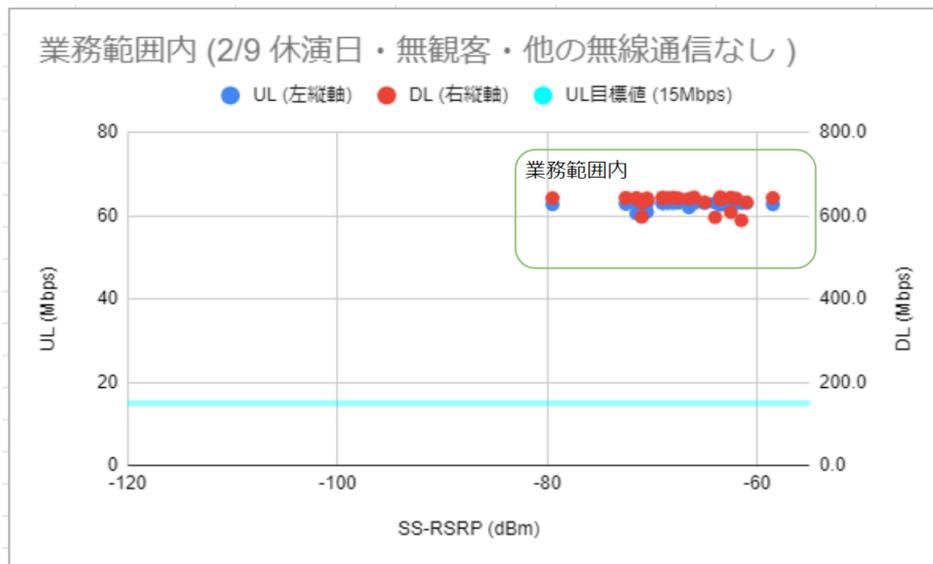


(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>)

掲載の図面を基にコンソーシアム作成

計測結果を散布図で示したのが下記の図になる。

図 3.3.13 業務範囲内の定点通信における受信電力に対するスループット

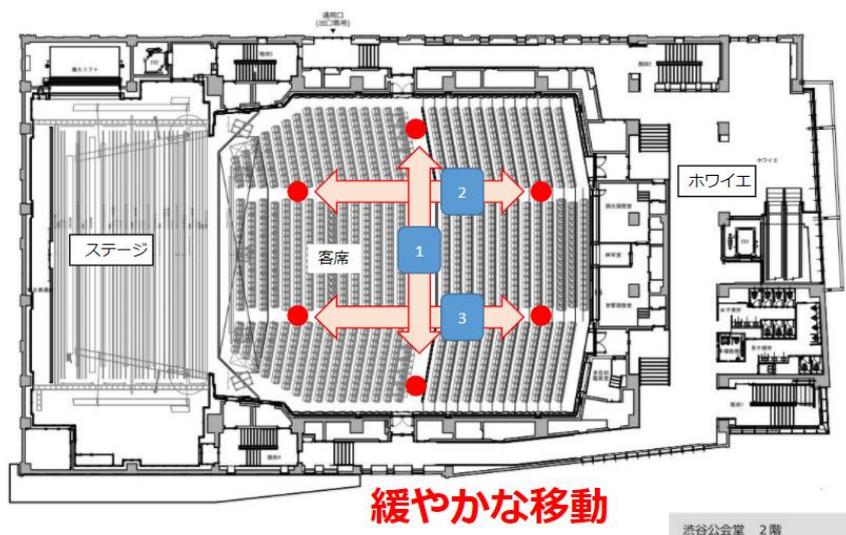


本測定により、業務範囲内では要求性能である UL スループット 15Mbps を上回る通信を行え、伝送遅延時間も 34ms 以下であることが確認された。

② 緩やかな移動を行った場合の通信における伝送性能の評価

時速 3 キロメートルほどの緩やかな移動時における伝送性能の評価のため、観客通路を歩行しながら計測を実施した。

図 3.3.14 緩やかな移動を伴う通信における測定エリア (再掲)



(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載

図 3.3.15 測定の様子



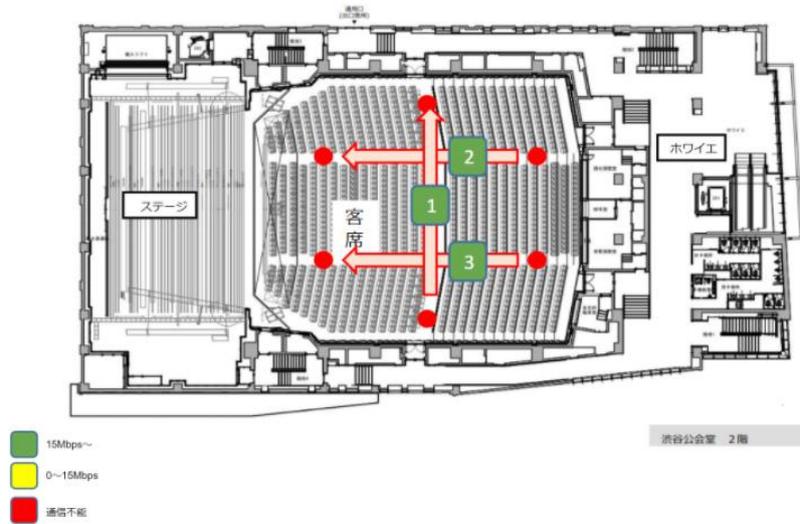
計測地点の各パターンにおいて、各地点におけるスループットの計測データをまとめたものが以下表である。

表 3.3.6 緩やかな移動を伴う通信に係る測定データイメージ

| 地点 | UL (Mbps) | DL (Mbps) |
|----|-----------|-----------|
| 1 | 63.1 | 643.0 |
| 2 | 63.1 | 643.4 |
| 3 | 63.0 | 641.0 |

地点ごとに要求性能である UL スループット 15Mbps 以上を確保できているかを色分け表示した図を下記に示す。

図 3.3.16 緩やかな移動を行った場合の通信における測定結果



本測定により時速 3km 程度での移動時においても要求性能である UL スループット 15Mbps を上回る通信を行えることが確認された。

③ コンサート会場における無線通信の有無による電波伝搬への影響

先述した①の実証結果はワイヤレスマイク等実際のコンサートで利用する無線機器の電波が発生していない環境下での結果である。実コンサートの環境を想定し以下表に記載した機器の電波が発生している条件下において業務範囲内での測定を実施し、5G通信における影響の有無を検証した。

図 3.3.17 他の無線通信利用時の測定点

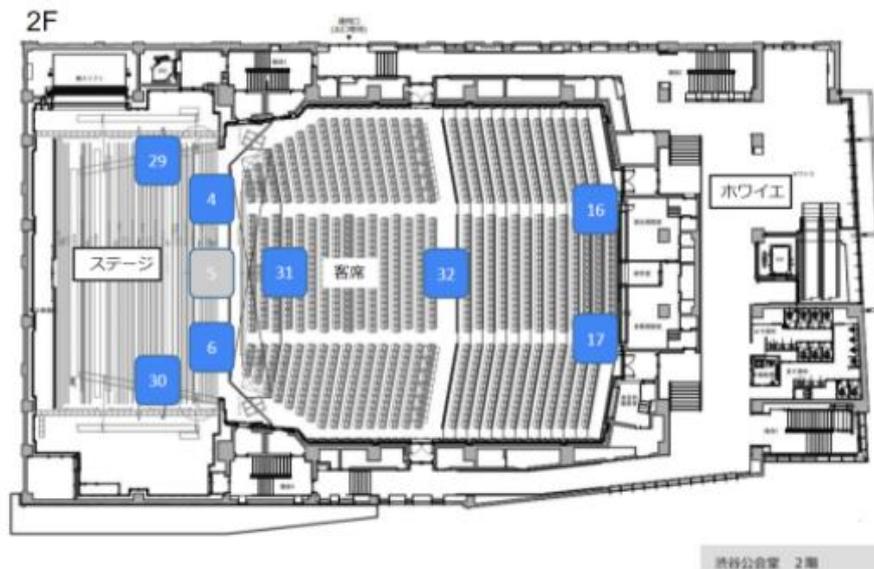


表 3.3.7 コンサート会場における無線機器と通信帯域（再掲）

| 概要 | 機材名 | 周波数帯 |
|-------------|---------------|---|
| 運営用トランシーバー | モトローラー | 465～467MHz |
| ワイヤレスマイク | Shure M6 | 700～714MHz |
| イヤモニ | Shure L11J | 679MHz |
| 映像伝送(モニター用) | TERADEK BOLT | 5GHz (5.190～5.230GHz 及び 5.270～5.670GHz) |
| 映像用インカム | RIEDEL Bolero | 1.9GHz |
| カメラ操作 | ARRI Hi5 | 2.4GHz |
| カメラ操作 | ARRI WCU4 | 2.4GHz |
| カメラ操作 | AGITO | 2.4GHz |
| カメラ操作 | Dactyl Cam | 2.4GHz |

図 3.3.18 コンサート会場における無線通信状況

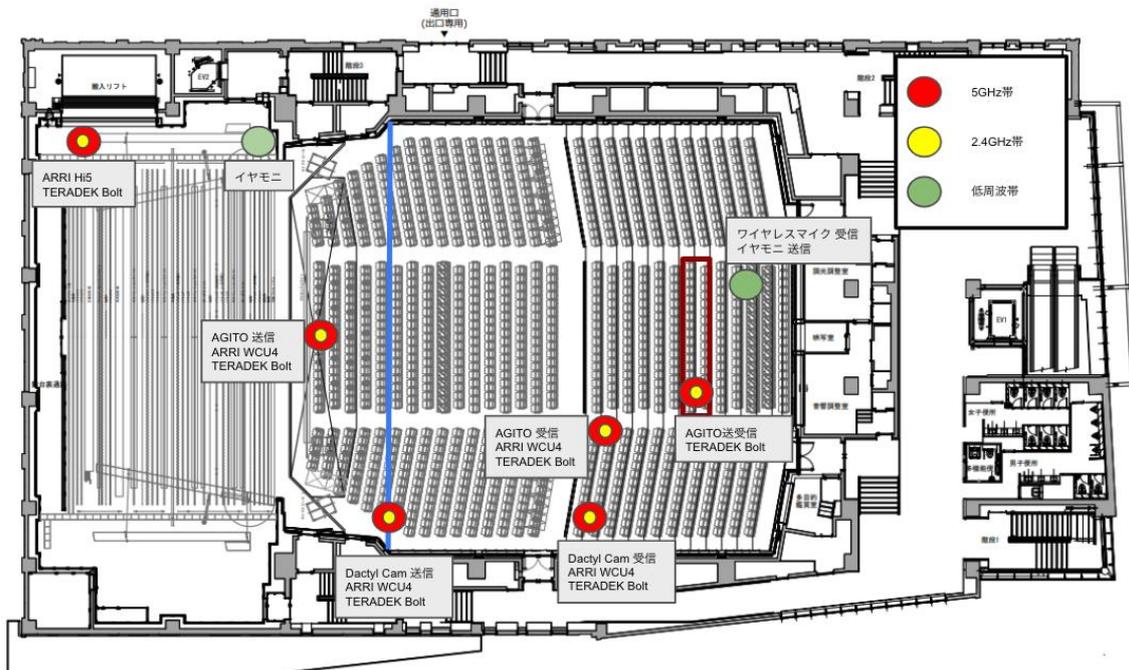


図 3.3.19 他の無線機器の様子

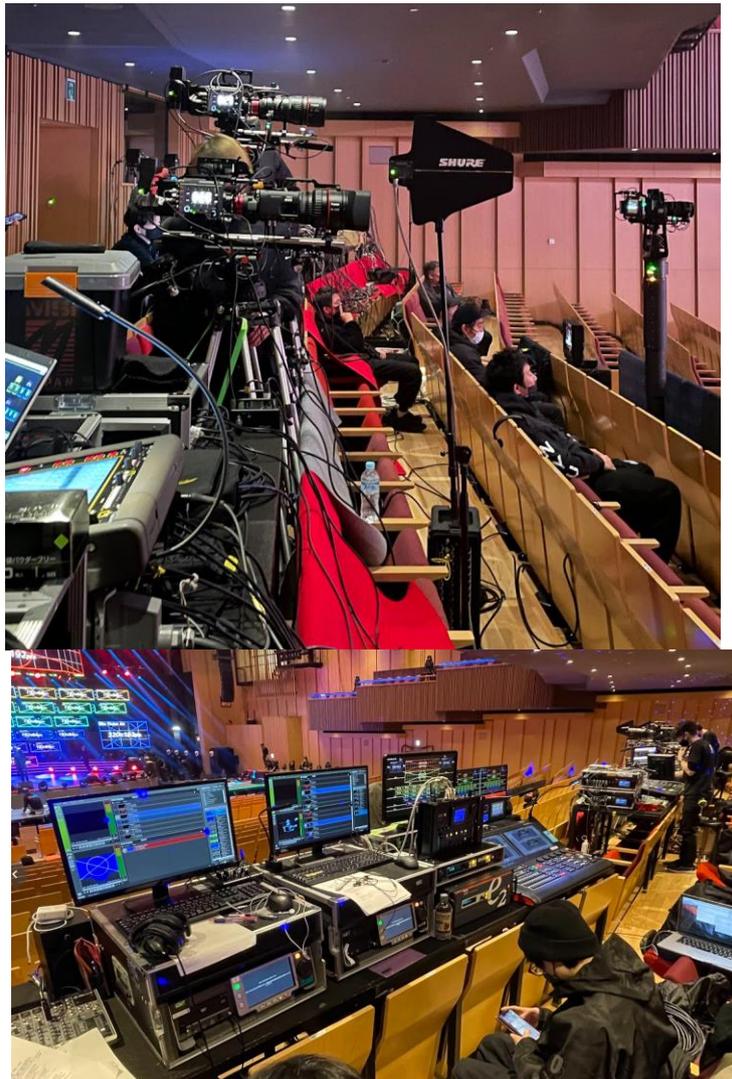
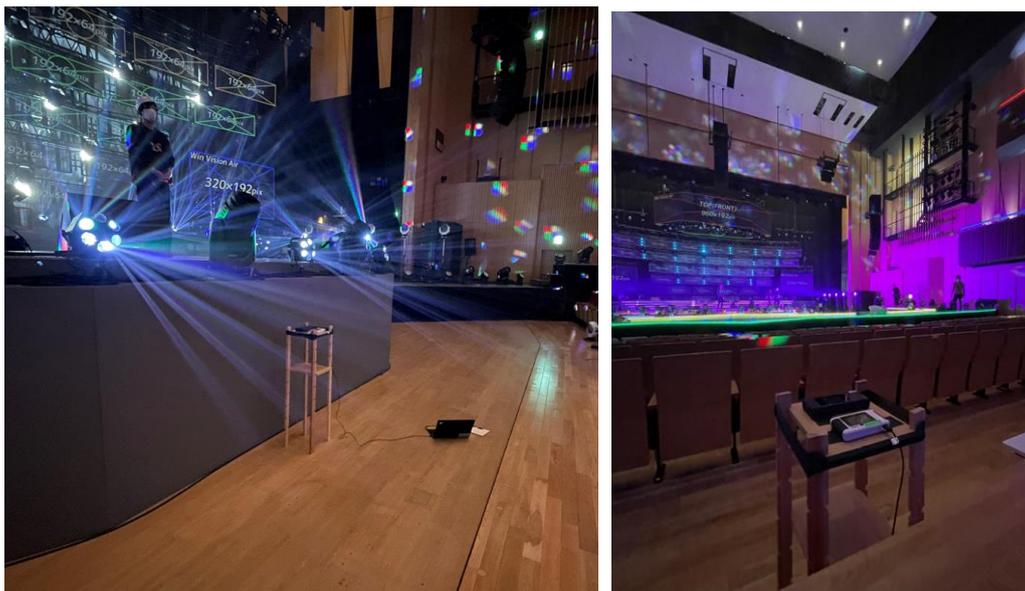




図 3.3.20 測定の様子（測定点 16, 30, 31, 32）





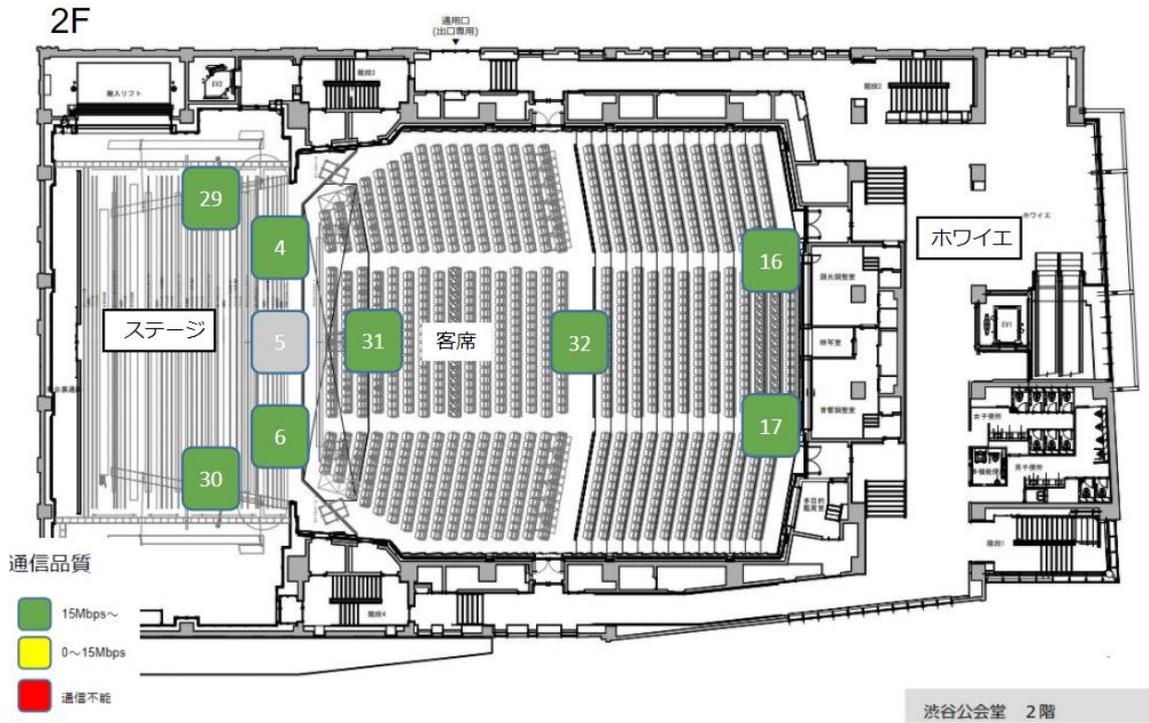
他の無線通信環境下における検証結果をまとめたものが以下である(2/9分は抜粋)。

表 3.3.8 コンサート会場における無線通信利用時の測定データ

| 地点 | 2/9 (参考値) | | 2/22 | | | | |
|----|--------------------------|--------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------|
| | 受信電力 [RAKU+] (dBm) | UL (Mbps) | 受信電力 [RAKU+] (dBm) | 受信電力 [K5G] (dBm) | UL (Mbps) | DL (Mbps) | RTT (ms) |
| 4 | -66 | 63.0 | -62.5 | 欠測 | 53.5 | 631.9 | 28 |
| 5 | -70.5 | 60.9 | 未計測 | - | - | - | - |
| 6 | -65 | 63.0 | -62.5 | 欠測 | 56.1 | 642.1 | 27 |
| 16 | -61.5 | 63.0 | -61.5 | -68.0 | 56.1 | 603.1 | 21 |
| 17 | -69 | 63.1 | -66.5 | -68.0 | 63.1 | 644.0 | 21 |
| 29 | - | - | -70.5 | 欠測 | 59.0 | 610.4 | 20 |
| 30 | - | - | -67 | 欠測 | 51.0 | 627.9 | 21 |
| 31 | - | - | -77 | 欠測 | 55.6 | 631.9 | 28 |
| 32 | - | - | -72 | -68.0 | 52.0 | 614.6 | 20 |

地点ごとに要求性能である UL スループット 15Mbps 以上を確保できているかを色分け表示した図を下記に示す。

図 3.3.21 測定結果



2/9の休演日・2/22のテクニカルリハーサル時のホール2Fでの計測結果を散布図で表示したのが下記の図になる。

図 3.3.22 業務範囲内の地点における受信電力に対するスループット（再掲）

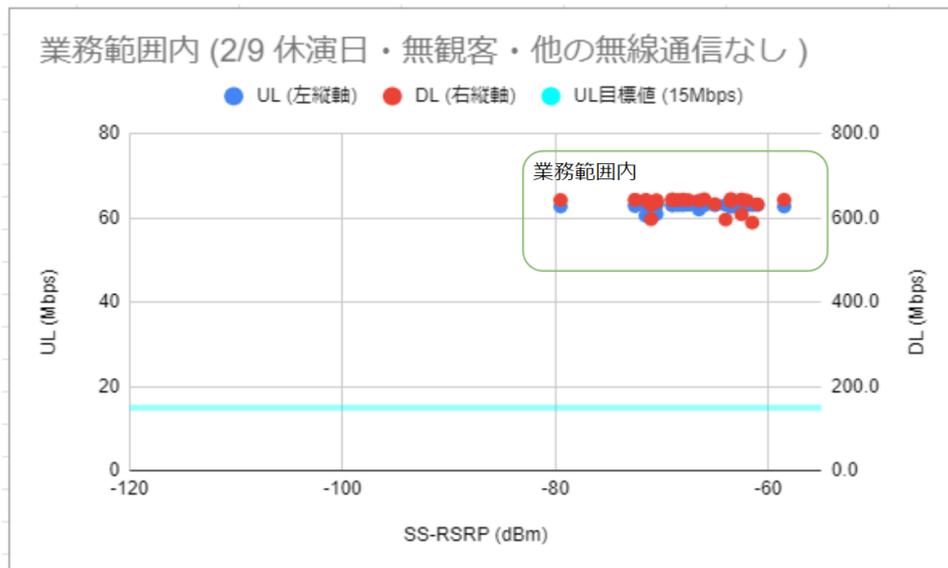
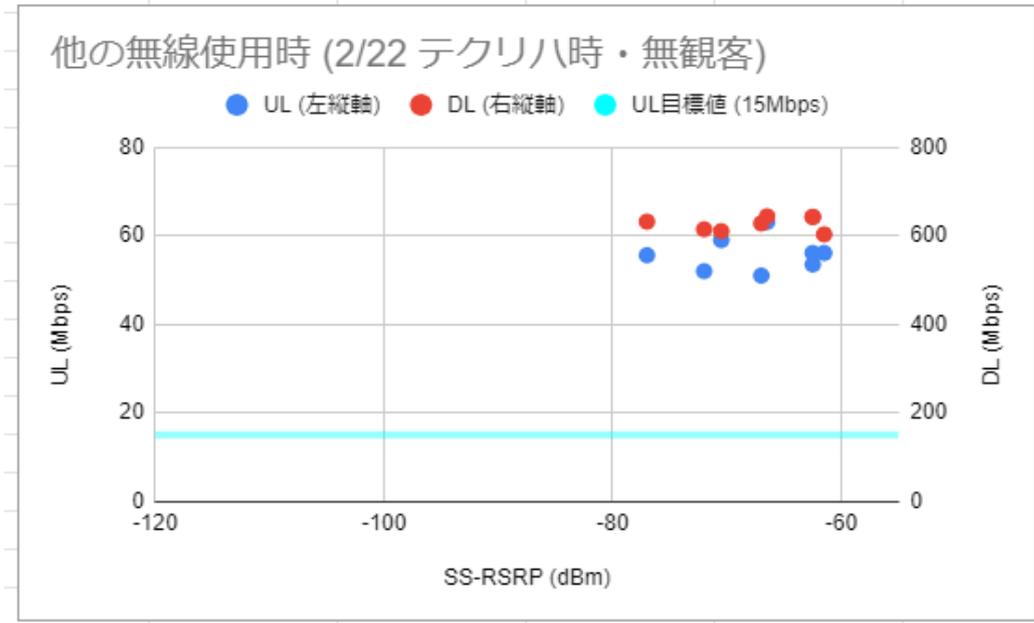


図 3. 3. 23 無線通信利用時における受信電力に対するスループット



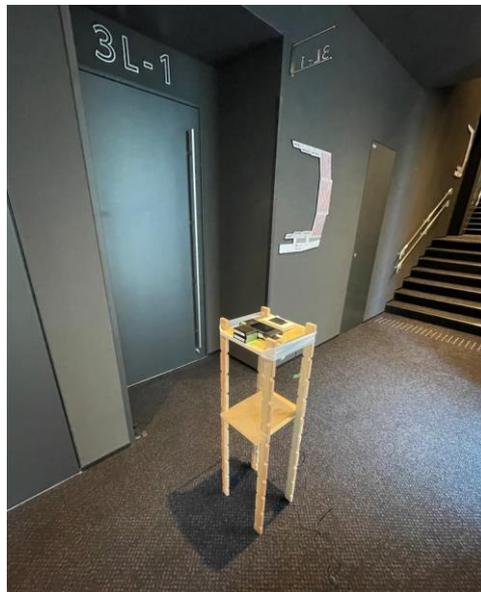
他の無線の利用時は受信電力が同程度であっても UL スループットが低下する傾向が見られたが、測定した全地点に置いて要求性能である UL スループット 15Mbps を上回る通信を行え、伝送遅延時間も 68ms 以下であることが確認できた。

④ 業務範囲外での定点通信における伝送性能の評価

遮蔽された空間(ホワイエ、バックヤード等の地点)における伝送性能の検証のため、図に示した測定点において計測を実施した。

図 2. 2. 24 測定の様子 (地点 7、11、12、21、23)





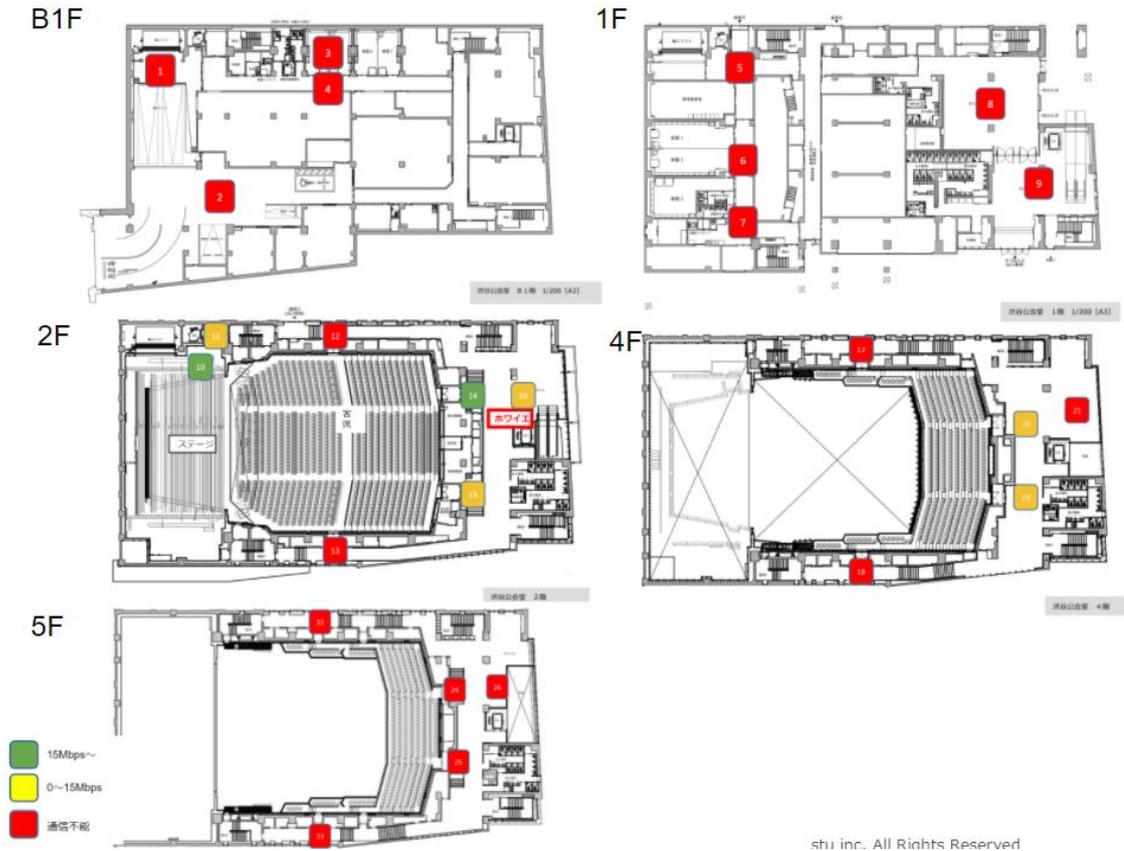
計測地点の各パターンにおいて、各地点における受信電力、スループット等の計測データをまとめたものが以下表である。

表 3.3.9 業務範囲外での定点通信における測定データ

| 地点 | | | 受信電力 [RAKU+] (dBm) | 受信電力 [K5G] (dBm) | UL (Mbps) | DL (Mbps) | RTT (ms) |
|----|-----|--------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|-------------|
| 1 | B1F | 搬入口 | 測定不能 | 欠測 | - | | - |
| 2 | | 駐車場 | 測定不能 | 欠測 | - | | - |
| 3 | | 控室 | 測定不能 | 欠測 | - | | - |
| 4 | | 廊下 | 測定不能 | 欠測 | - | | - |
| 5 | 1F | 廊下 | 測定不能 | 欠測 | - | | - |
| 6 | | 廊下 | -108 | 欠測 | - | | - |
| 7 | | 廊下 | 測定不能 | 欠測 | - | | - |
| 8 | | エントランス | 測定不能 | 欠測 | - | | - |
| 9 | | エントランス | 測定不能 | 欠測 | - | | - |
| 10 | 2F | 基地局横 | -76 | -82.0 | 62.3 | 641.2 | 20 |
| 11 | | エレベータ前 | -104 | -102.4 | 12.8 | 205.7 | 23 |
| 12 | | 廊下 | 測定不能 | 欠測 | - | | - |
| 13 | | 廊下 | 測定不能 | 欠測 | - | | - |
| 14 | | 客席出口 | -92 | -97.0 | 37.7 | 372.8 | 25 |
| 15 | | 客席出口 | -107 | -113.7 | 3.3 | 90.4 | 27 |
| 16 | | ホワイエ | -108 | -110.0 | 9.4 | 179.2 | 25 |
| 17 | 4F | 廊下 | 計測不能 | 欠測 | - | | - |
| 18 | | 廊下 | 計測不能 | 欠測 | - | | - |
| 19 | | 客席出口 | -115 | 欠測 | 1.0 | 69.1 | 22 |
| 20 | | 客席出口 | -114 | 欠測 | 1.3 | 67.2 | 20 |
| 21 | | ホワイエ | -118 | 欠測 | - | - | - |
| 22 | 5F | 廊下 | 測定不能 | 欠測 | - | - | - |
| 23 | | 廊下 | 測定不能 | 欠測 | - | - | - |
| 24 | | 客席出口 | -114 | 欠測 | - | - | - |
| 25 | | 客席出口 | -119.5 | 欠測 | - | - | - |
| 26 | | ホワイエ | 測定不能 | 欠測 | - | - | - |

また、地点ごとに要求性能である UL スループット 15Mbps 以上を確保できているかを色分け表示した図を下記に示す。

図 3.3.25 計測結果



計測結果を散布図で表示したのが下記の図になる。

図 3.3.26 業務範囲内の地点における受信電力に対するスループット (再掲)

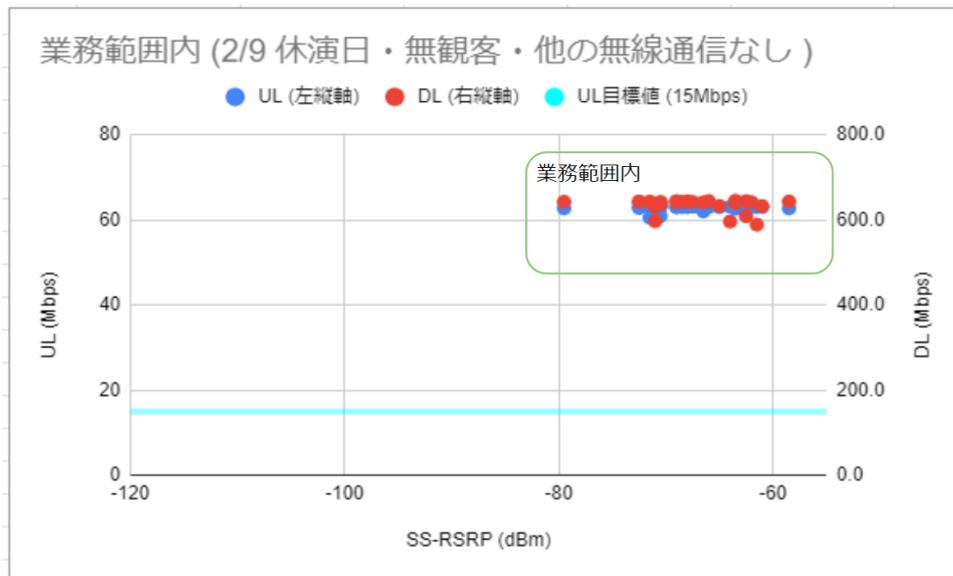
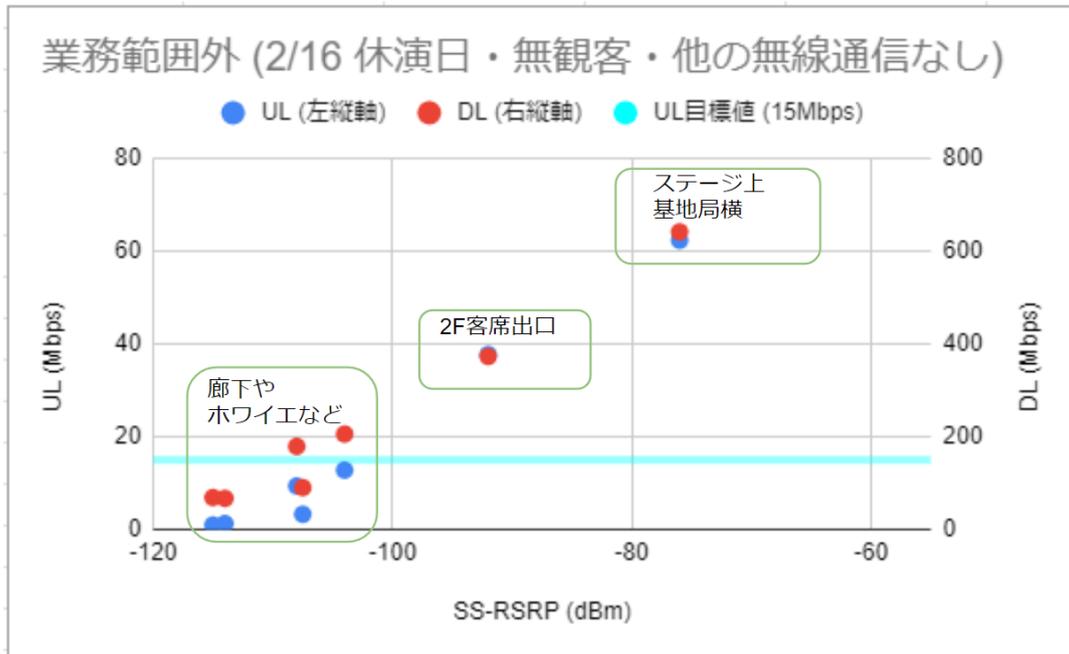


図 3.3.27 業務範囲外での定点通信における受信電力に対するスループット



本測定により、客席ドア・遮音壁で隔てられた業務範囲外である廊下やホワイエなどではUL・DLともに通信性能が著しく低下することが確認された。

コンサートホール内と廊下を繋ぐドアは金属製で二重になっており、参考値として地点12に置いてドアを1枚開けた状態で測定したところ、ULスループットは7Mbps程度であった。

図 3.3.28 客席ドアを1枚開けた状態での測定の様子



⑤ 有観客公演時における伝送性能の評価

有観客時における実コンサートの環境下において計測を実施し、実コンサート環境が及ぼす5G電波への影響並びに、本実証モデルが商用モデルとしての展開が可能かどうか検証を実施した。

本番公演中はカメラの映像伝送にローカル5Gのネットワークを使用するため、客入れ時と公演終了直後に測定を行った。

計測地点の各パターンにおいて、各地点におけるスループットの計測データをまとめたものが以下表である。

なお、客入れ時の測定は下記の順序で行った。

表 3.3.10 測定地点の順序・測定時刻

| 地点番号 | 時刻 |
|------|-------|
| 5 | 16:15 |
| 17 | 16:23 |
| 17 | 16:30 |
| 5 | 16:35 |

表 3.3.11 有観客公演時の測定データ

| | | 2/9 (参考値) | | | 2/22 17:00~18:00 (参考値) | | |
|----|-------------------|-----------|-----------|-------------------|------------------------|-----------|--|
| | | 定点測定日 | | | テクリハ (無観客) | | |
| 地点 | 受信電力[RAKU+] (dBm) | UL (Mbps) | DL (Mbps) | 受信電力[RAKU+] (dBm) | UL (Mbps) | DL (Mbps) | |
| 5 | -70.5 | 60.9 | 637.3 | - | - | - | |
| 17 | -69 | 63.1 | 596.9 | -66.5 | 63.1 | 644.0 | |
| 32 | - | - | - | -72 | 52.0 | 627.9 | |

| | | 2/23 客入れ時 16:15 | | | | | 2/23 客入れ時 16:30 | | | | |
|----|--------------------|------------------|-----------|-----------|----------|--------------------|------------------|-----------|-----------|----------|--|
| | | 有観客 | | | | | | | | | |
| 地点 | 受信電力 [RAKU+] (dBm) | 受信電力 [K5G] (dBm) | UL (Mbps) | DL (Mbps) | RTT (ms) | 受信電力 [RAKU+] (dBm) | 受信電力 [K5G] (dBm) | UL (Mbps) | DL (Mbps) | RTT (ms) | |
| 5 | -68 | -84 | 48.9 | 340.4 | 27 | -69.5 | -84 | 52.1 | 644.6 | 25 | |
| 17 | -63 | -84 | 51.9 | 335.8 | 25 | -68 | -84 | 54.1 | 327.9 | 25 | |
| 32 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |

| | | 2/23 公演終了後 18:00 | | | | |
|----|-------------------|------------------|-----------|-----------|----------|--|
| | | 有観客 | | | | |
| 地点 | 受信電力[RAKU+] (dBm) | 受信電力[K5G] (dBm) | UL (Mbps) | DL (Mbps) | RTT (ms) | |
| 5 | -65 | -70.4 | 49.9 | 643.0 | 24 | |
| 17 | -66 | -69.0 | 55.5 | 633.8 | 25 | |
| 32 | -64 | -69.0 | 49.4 | 643.1 | 26 | |

図 3.3.329 客入れ時の様子

客入れ時
16:15~16:20 ~100名程度



客入れ時
16:30~16:40 約300名

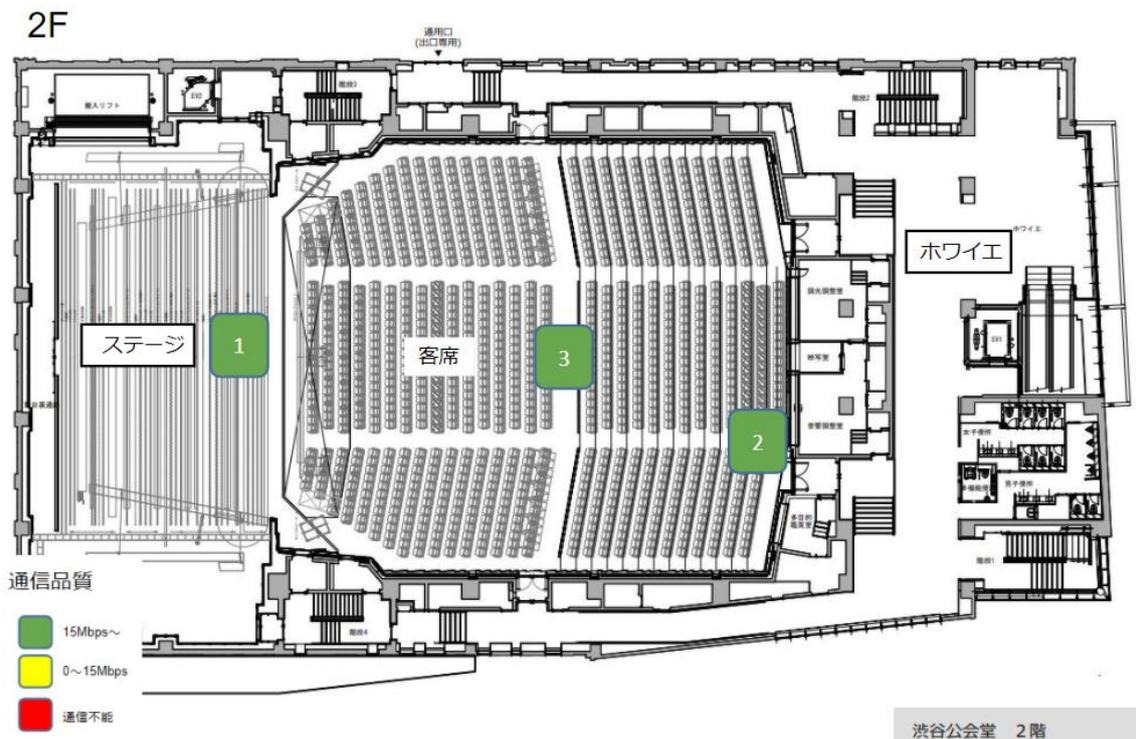


公演終了後
18:00 約520名



また、地点ごとに要求性能である UL スループット 15Mbps 以上を確保できているかを色分け表示した図を下記に示す。

図 3.3.30 計測結果



計測結果を RSRP-スループットで散布図にして表示したのが下記の図になる。

図 3.3.31 業務範囲内の地点における受信電力に対するスループット (再掲)

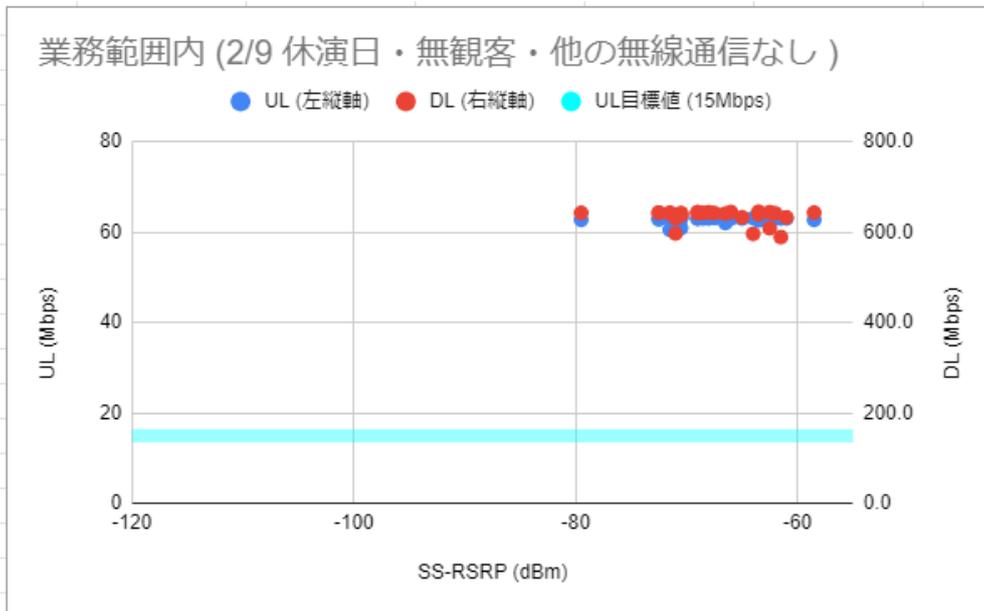
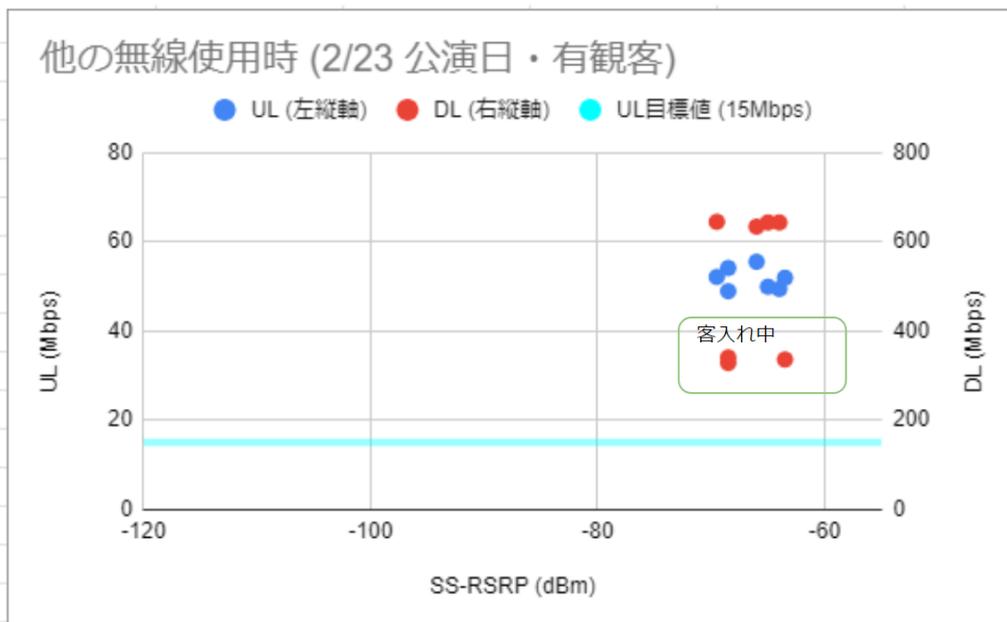


図 3.3.32 有観客公演時における受信電力に対するスループット



他の無線を利用しかつ有観客状態の場合、受信電力が同程度であってもスループットが低下する減少が見られたが、要求性能である UL スループット 15Mbps を上回る通信を行えることが確認できた。

(3) 測定結果まとめ・考察

上記の測定結果より、①と④をまとめて施設内の測定地点ごとに要求性能である UL スループット 15Mbps 以上を確保できているかを色分け表示した図を下記に示す。

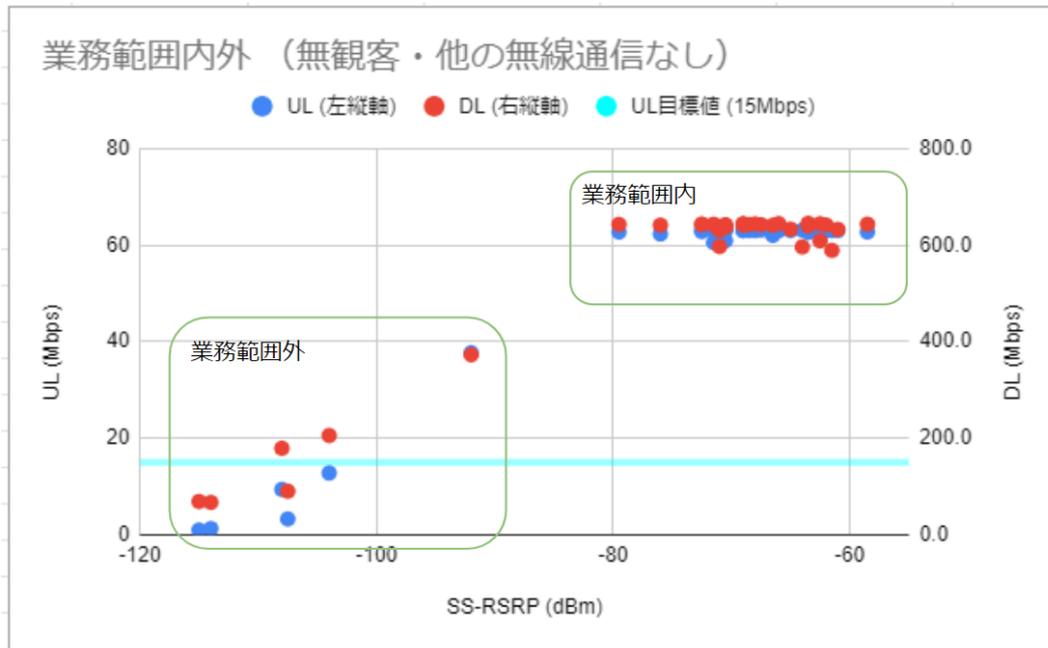
図 3.3.33 施設の地点における定点通信における測定結果



今回の計測により、業務範囲と定義した客席の内側・ステージ上においては要求性能に十分な伝送性能が得られるが、ホール外に出ると著しく通信品質が低下することが判明した。これはコンサートホールという建物の特性上、音を漏らさないための二重ドアや壁の構造・材質などが要因になっていることが原因として考えられる。

今回のシステムにおいては他の無線通信が行われていない場合、CPE の受信電力が-80dBm 程度までであれば基地局の UL 性能上限(60Mbps 程度)までの通信帯域を確保できることが確認できた。

図 3.3.34 施設内の地点における受信電力に対するスループット



また、他の無線機器利用時・有観客時の測定により、ローカル 5 G 検討会資料「5GHz 帯無線アクセスシステムとの共用検討のまとめ」にて「5GHz 帯無線アクセスシステムの無線局の設置が同一敷地内に確認できた場合には、ローカル 5 G 基地局の設置に際して干渉影響が発生しないように離隔距離を確保する等の対策が必要である。」と結論付けられているが、今回の実証においては他の無線使用時に UL・DL ともに一定のスループットの低下が見られたが、要求性能である UL スループット 15Mbps を上回る通信を行えることが確認できた。

今後の高画質・高解像度化を考えると、例えば 4K 映像の伝送には 1 カメラあたり最低 15Mbps~25Mbps 程度の帯域が必要だと思われる。今回のシステム(UL スループット理論値 65Mbps、実効 63Mbps 程度)においても本番公演前後の有観客時・他の無線利用ありの状態において各地点の UL スループットに最大 2 割程度の UL 伝送性能低下がみられたものの、測定した全地点において 40Mbps 以上(最低値 48.9Mbps)を確保できることが確認できたため、今後基地局の性能が上がればさらなる高画質・高解像度での UE の台数を増やした伝送も可能になると想定される。

図 3.3.35 他無線機器利用・観客の有無別の受信電力に対する UL スループット

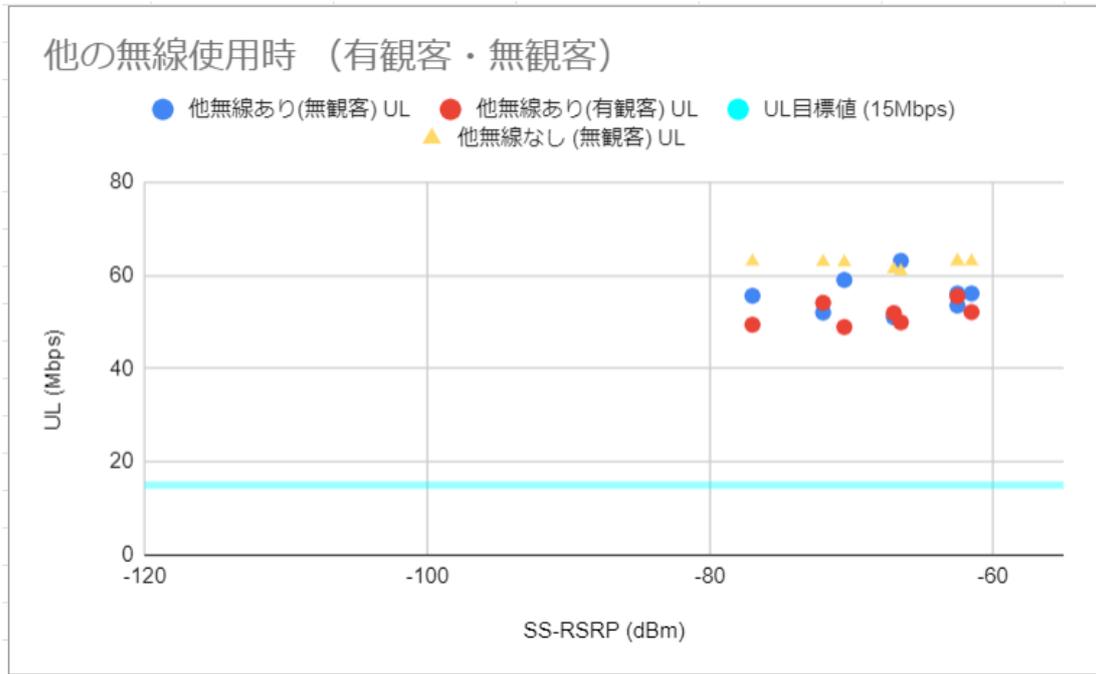
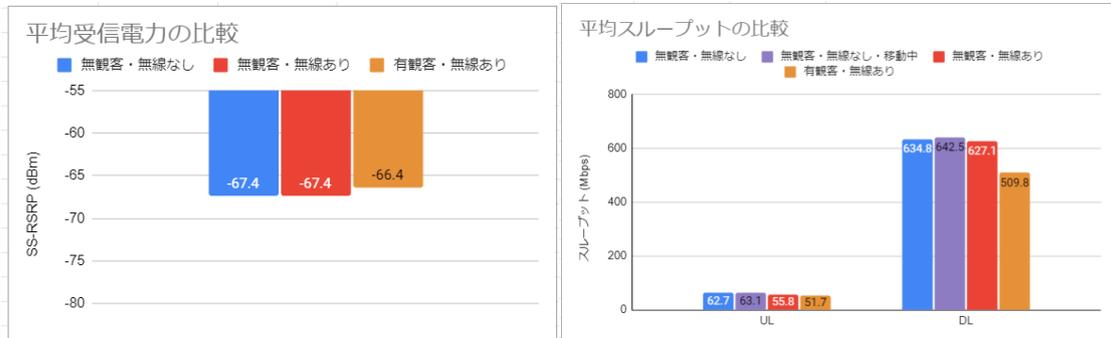
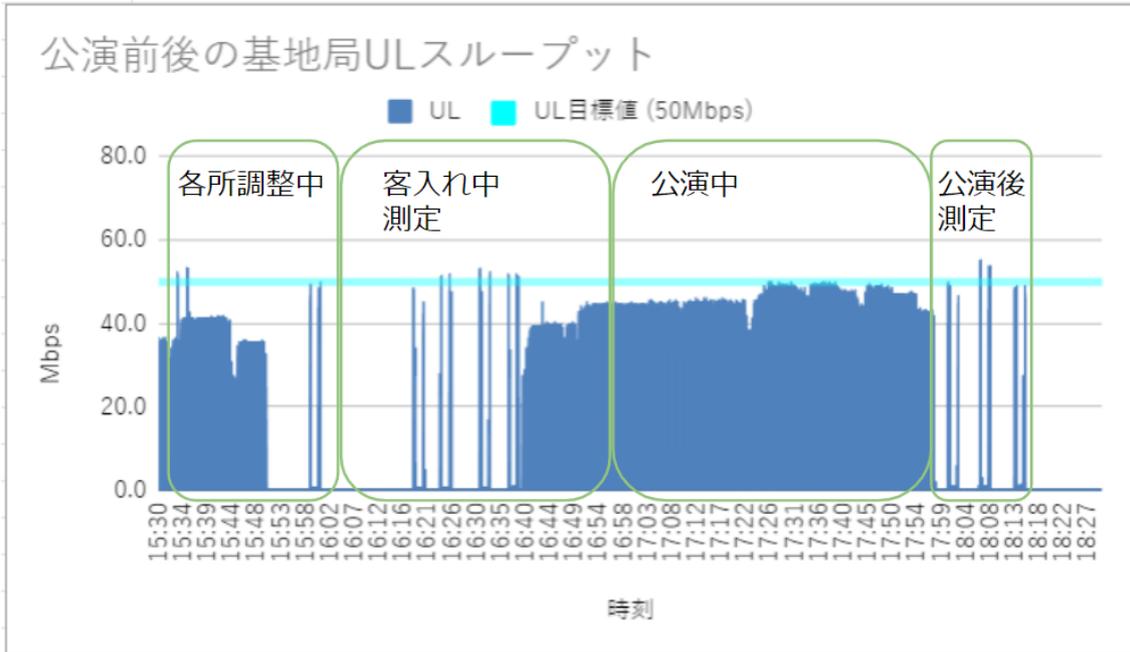


図 3.3.36 移動時・他の無線利用・観客の有無による受信電力・伝送性能の比較



前述の①～⑤の測定は各地点に1台のCPEを用いて計測した値だが、参考として公演前後の基地局のログから取得した公演前後のシステム全体でのULスループットのグラフを下記に示す。今回の測定では本番公演中の詳細な測定は行えなかったが、他の無線利用あり・有観客での公演時でも基本的には問題なく映像を伝送できることが確認された。

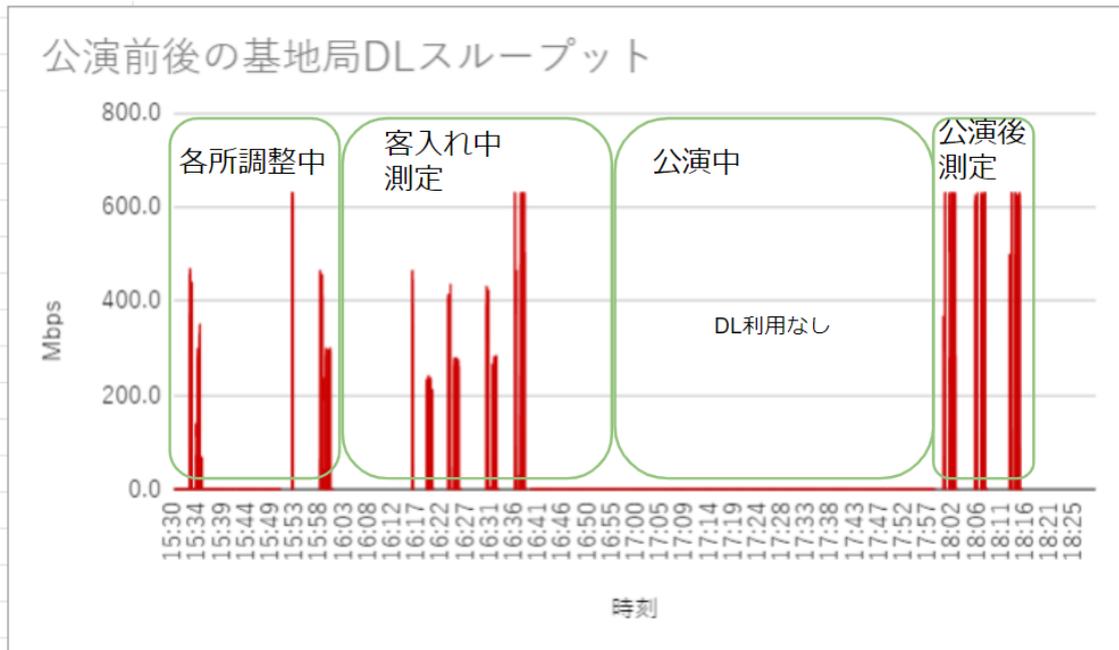
図 3.3.37 公演前後の基地局 UL スループット



※詳細は課題実証の項に記載があるが、今回の実証で用いたローカル5Gシステムは最大ULスループットが63Mbps程度で、当初の計画ではカメラ1台あたり5Mbpsを10台利用する予定でいたが、事前の検証により5Mbpsの設定をしていても瞬間的に映像のビットレートが6Mbps程度まで上昇し、それに起因してすべてのカメラがカクつく現象が確認されたため、本番公演時のカメラの映像設定は4Mbps*10台となっている。

技術的課題としては、客入れ時に発生したDLスループットの究明のための追加測定・検証が挙げられる。客入れ時に測定されたULのスループットの低下は最大2割程度であったが、DLスループットは客入れ開始～客入れ完了の間に最大5割程度までの低下が観測された。基地局のログを合わせて確認したところ、15:30頃のテスト測定から16:30の測定の間での性能低下がみられた。公演直後に観客に着席状態で自由に携帯電話・スマートフォンを触ってもらっている状況では顕著なDLスループットの低下は見られなかったことから、実際の本番収録に向けて他の電波利用機器の使用率が上がったことや、測定時に観客やスタッフがホール内を移動しており、測定地点周辺を移動していたことなどが原因として考えられるが、今回の実証では原因の特定にまでは至っていない。

図 3.3.38 公演前後の基地局の DL スループット



また、本番公演で撮影に利用した動きの激しいステディカムなどでの利用時にカクツキがみられたが、CPEが高速に移動している場合の測定方法の工夫・検討が求められる。加えて、先述のように今回のシステム構成ではUEの映像伝送機器の合計利用帯域が基地局の総UL転送能力を超えた際に、すべてのCPEにおいて通信性能の低下が発生し伝送している映像すべてにカクツキが発生したため、事前にUE側で1台あたりの想定スループットを超えないようにビットレートを固定にするなど機器の設定を行うか、通信経路上のネットワーク機器でQoSでの適切な帯域制限を行うなどの対策が必要になると考えられる。

他の施設への本実証システムの導入について以下のように考察する。コンサートホールは基本的にどの客席からもステージが見通せるような構造になっているため、ステージ付近にアンテナを設置することにより他の施設においても固定・移動カメラ問わず同様の範囲を業務範囲としてカバーできるものと考えられる。

一方、ホール外の廊下やホワイエなどの地点では良好な通信が得られなかったため、ホール外もカバーしたい場合には基地局・アンテナの追加が必要となる事が判明したため、それらを考慮した業務範囲の事前設計が必要となる。

高画質化などのためのULスループット向上のための課題は後段(4.4.3.1)に記載した。

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

3.3.2.1.1 背景となる技術的課題と実証目的

総務省の定めるエリア算出法及び算出式において定義されている屋内から屋外への電波の減衰値（建物侵入損 R）は、建物の構造や大小に関わらず 16.2dB を適用しても良いこととなっている。しかし、実際には建物侵入損 R が全ての建物において同じになるとは考えにくく、特にコンサートホールなどの大型で遮音性能の優れた施設においては、一般的な建物より大きな減衰が発生しているのではないかと予想される。減衰の大きな施設では、屋内に設置したローカル 5G 基地局の、屋外への電波漏出による影響範囲は狭く限定的なものになると考えられる。ローカル 5G の免許申請者は近接するローカル 5G 等の免許人との干渉調整を前述のエリア算出式に基づいて行うため、算出結果と実際の影響範囲に乖離があった場合、本来不要な干渉調整に最適な基地局配置が阻害されてしまうおそれがある。本実証ではコンサートホール内外での電波測定を通じて、実際の電波の伝搬範囲の確認と、建物侵入損 R を操作することでエリア算出式の精度向上が行えるかの検証を行った。

3.3.2.1.2 実証目標

本実証は屋内の実証であるため、下表に基づきパラメーター R についてのみ精緻化を行った。

表 3.3.12 精緻化の対象パラメーターと精緻化の方向性、実施環境の要件

| 利用する周波数帯 | 精緻化の対象パラメーター | 精緻化の方向性 | 実施環境の要件 |
|----------|--------------|-----------------|--|
| 4.7GHz 帯 | K | 斜面や植生、水面の影響の定量化 | <ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が 100m 以上確保できる ● 斜面や植生、水面等の地形情報データにより算入し難い地形の影響が存在する |
| | S | 選択基準の詳細化 | <ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が 100m 以上確保できる |
| | R | 壁面の材質・厚さ別の定量化 | <ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋内である |
| 28GHz 帯 | hr | 選択基準の明確化 | <ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局が見通せない測定点を確保できる |
| | R | 壁面の材質・厚さ別の定量化 | <ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋内である |

3.3.2.2 実証仮説

特殊建築構造による電波伝搬モデルの精緻化

(1) 前提条件

a) 周辺環境及び屋外の見通し

R の仮説を立てる前に、まずは実証会場周辺の環境について確認していく。
航空写真中央に見えている建物が実証会場となるコンサートホール施設である。

図 3.3.39 実証会场上空からの航空写真



(出所) 国土地理院
(<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1824565>)

実証会場屋上から撮影可能な 4 地点についても撮影し、周辺環境の確認を行った。
会場北側は公園になっており遮るものが少ないため、屋外へ漏洩した電波が遠くまで抵抗なく伝搬することが予想される。

また、西側と南側については実証会場から直線状に道が形成されており、道路に沿って電波が遠くまで伝搬する可能性があることが分かった。

図 3.3.40 周辺マップと地点①～④の撮影方向



(出所) 国土地理院地図をもとに作成

図 3.3.41 屋上から地点①～④について撮影した写真



(出所) コンソーシアム撮影

b) 建物の壁面材質について

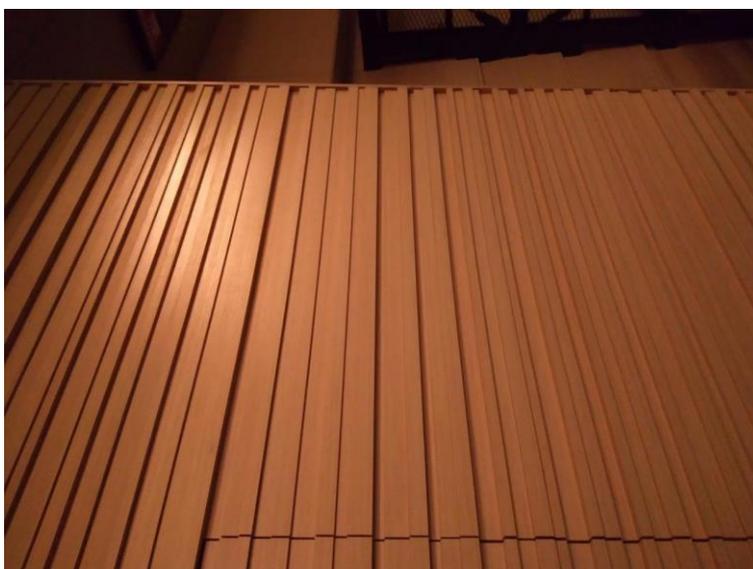
コンサートホール内（客席側）の壁面は木製の化粧板で覆われており、表面には音響特性を意識して凹凸が付けられている。電波伝搬にも一定の影響があると予想される。

図 3.3.42 客席側の様子



(出所) コンソーシウム撮影

図 3.3.43 凹凸のある壁面形状

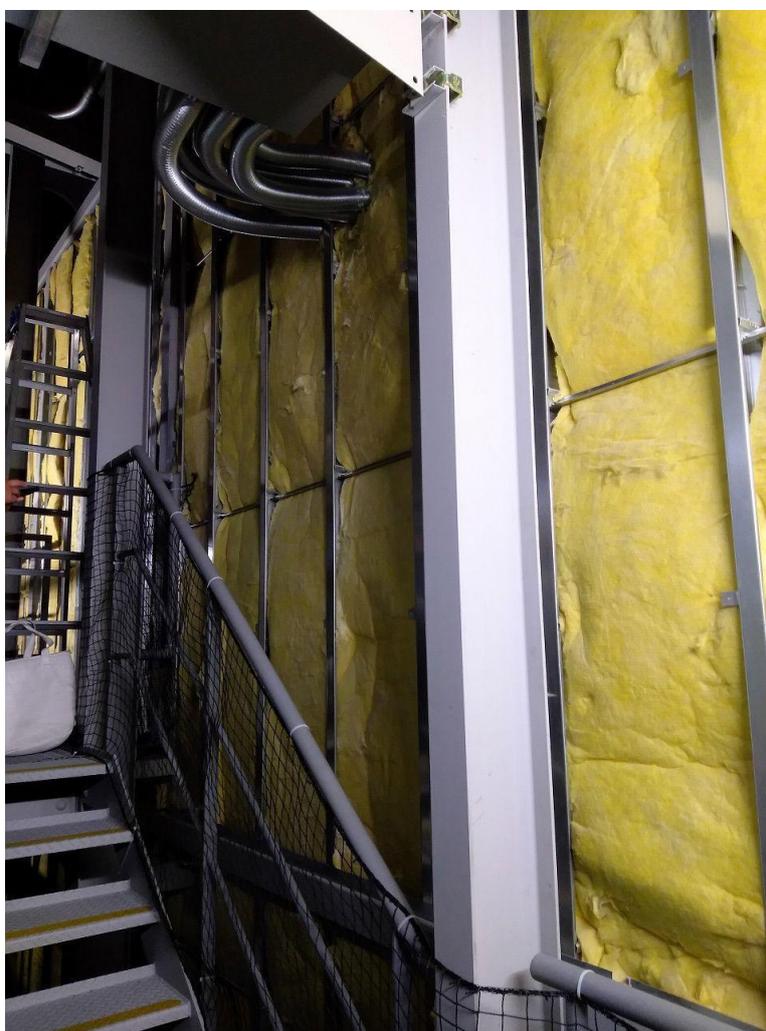


(出所) コンソーシウム撮影

壁面内部に関しては、遮音材としてグラスウールが使用されていることが分かった。ただし、目視で確認できる構造となっていたのは上層階のキャットウォークの部分のみであったため、下層階についても全く同じ構造であるのかについては現地で確認することは出来なかった。

また、目視での確認と並行して、設計事務所にも遮音壁内部の素材についての聞き取りを行った。特に電波への影響が大きいと思われる金属箔や金属繊維、金属製のパネルなどが使用されていないかについて確認したところ、（あくまで建物完成当初の話として）そういったものは使用していないとの回答であった。キャットウォークからの写真で分かる通り、遮音材に金属素材が使用されていなかったとしても、鉄骨や固定具、金属製配管などの金属素材は壁の中に存在しているため、こちらに関しては電波伝搬に一定の影響があるものと考えられる。

図 3.3.44 遮音壁内部の構造（上層階キャットウォーク）

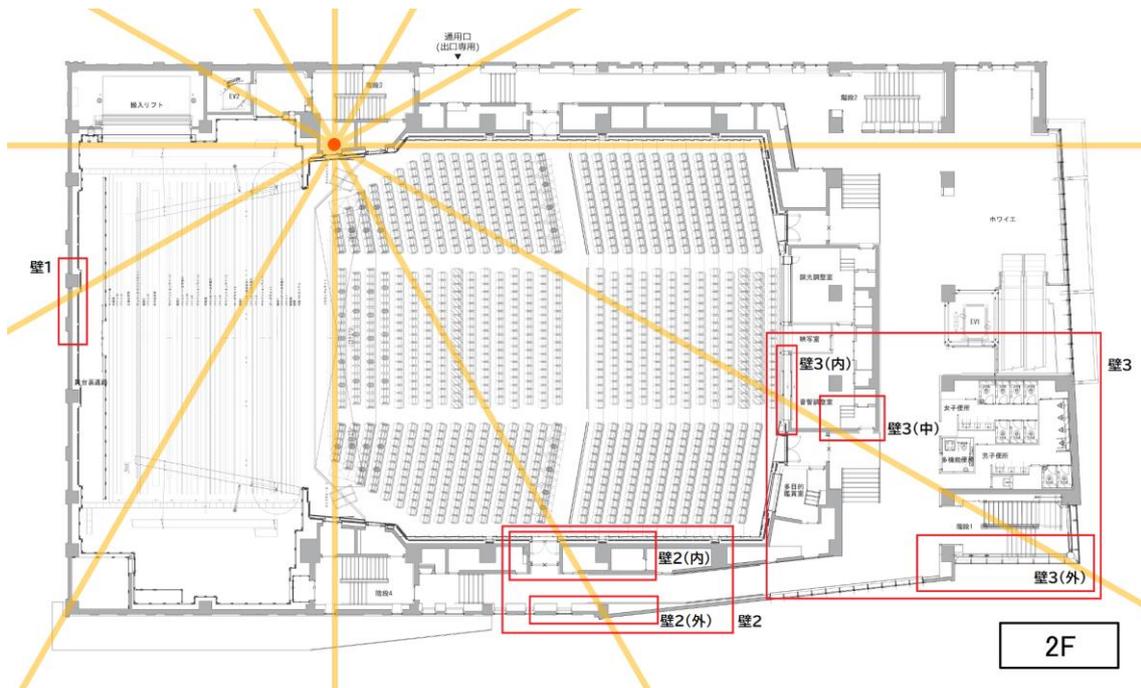


(出所) コンソーシアム撮影

(2) R の予測について

R の予測値を示すにあたり、実証会場の平面図より壁面配置を確認し、代表的だと考えられるポイントを3箇所選定した。これらの壁についてそれぞれ壁1、壁2、壁3とし、計算結果を表に記載する。それぞれのポイントを平面図に示したものが以下である。

図 3.3.45 R の予測における壁の分類



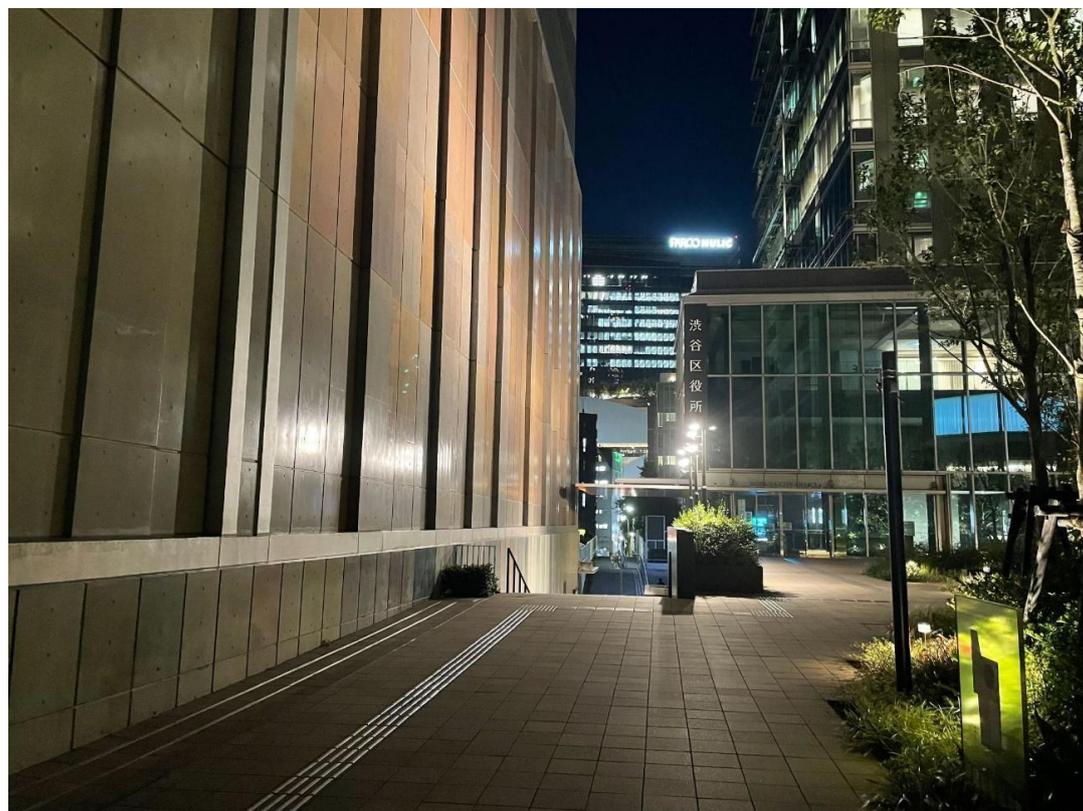
(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成

また、仮説を立てるに当たり、現地の様子の確認も行った。

図 3.3.46 壁 1～3 の外観



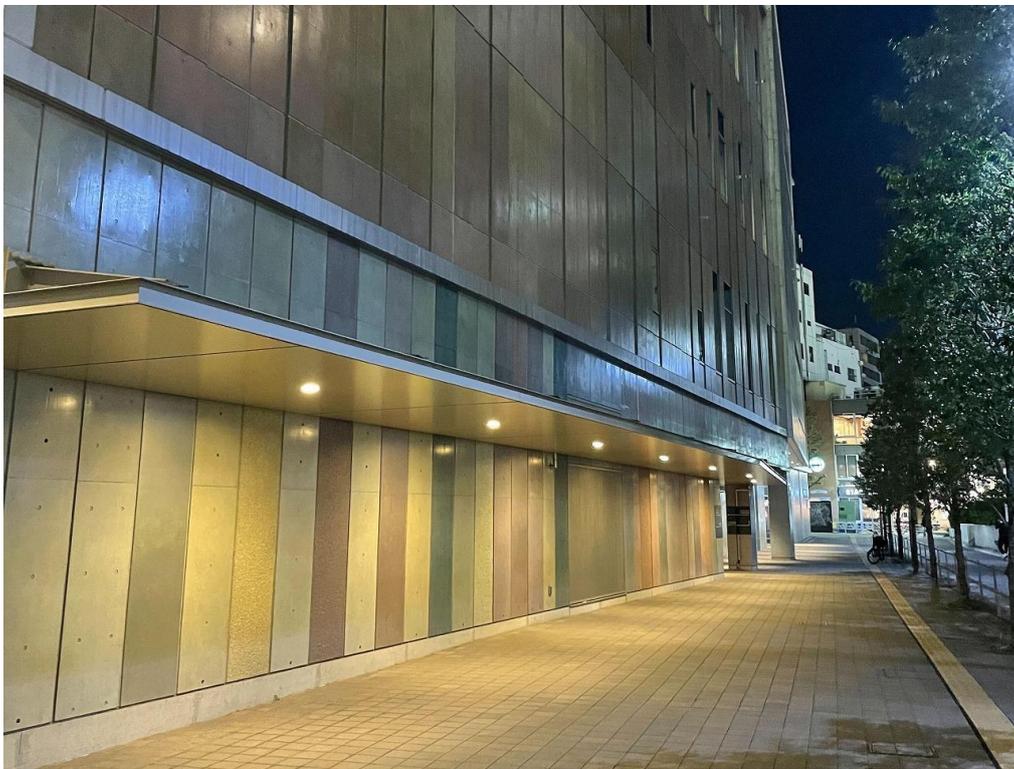
▲屋内ステージ側から撮影した壁 1



▲屋外から撮影した壁 1



▲屋内廊下側から撮影した壁2（内）及び壁2（外）



▲屋外から撮影した壁2（外）



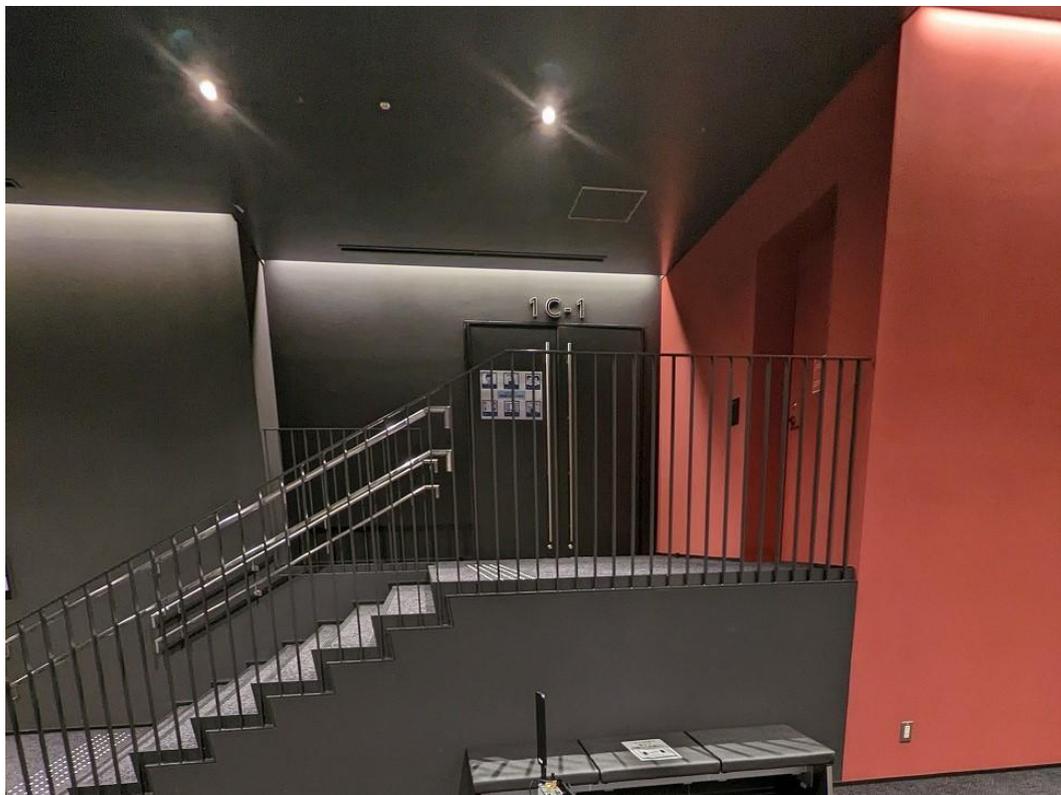
▲客席側から撮影した壁3（内）



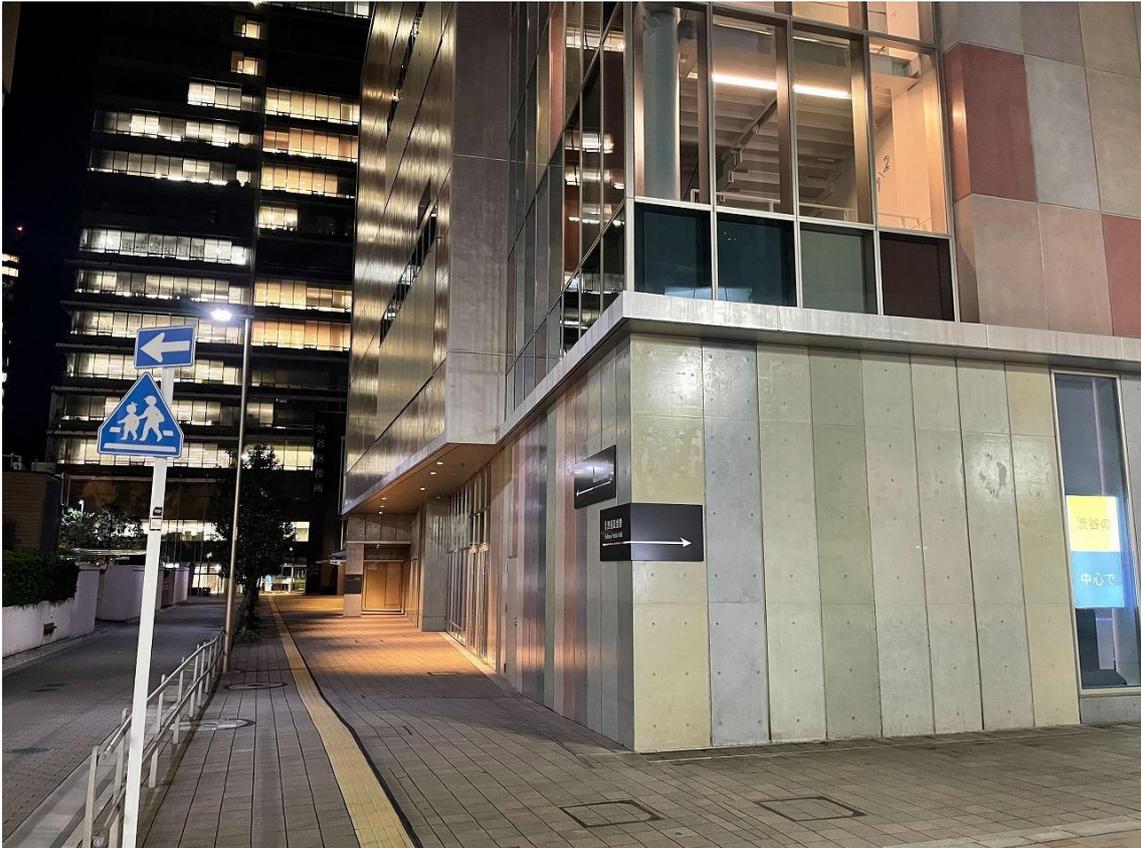
▲音響調整室側から撮影した壁3（内）



▲音響調整室側から撮影した壁3（中）



▲廊下（ホワイエ）側から撮影した壁3（中）



▲屋外から撮影した壁3（外）

ホール壁面の木材とコンクリートの間にある層は素材による減衰量が不明瞭なため、密度が低い場合の最低値を空気と同等（距離による減衰のみ）とし、密度が高かった場合の最大値をコンクリートと同等として計算する。予想される最小値と最大値でもって計算することにより、実測結果がこの範囲内に収まることを期待するものである。

Rの予測値について下表に示す。

表 3.3.13 Rの予測値

| 周波数 | 壁面 | 材質 | 厚さ | 面積率 | AA | R[db] |
|--------|-----|-------------|--------------------------|------|----|-----------------|
| 4.8GHz | 代表値 | | | | | 16.2dB |
| | 壁面1 | 遮音材(石膏ボード) | 15mm + 15mm + 15mm | 100% | | 0dB~ 24.46dB |
| | | 遮音材(グラスウール) | 50mm | 100% | | |

| | | | | | | |
|------------|--|-------------|------------------------------|------|--|-----------------|
| | | コンクリート | 250mm | 100% | | 24.46dB |
| 壁面2 (内) | | 木材 | 7~10mm | 100% | | 5.43dB |
| | | 遮音材(石膏ボード) | 12.5+9.5 ~21+15mm | 100% | | 0dB~ 24.46dB |
| | | 遮音材(グラスウール) | 50mm | 100% | | |
| | | コンクリート | 200mm + 200mm | 100% | | 48.92dB |
| 壁面2 (外) | | 石膏ボード | 12.5 + 9.5mm | 90% | | 4.89dB |
| | | コンクリート | 200mm | 90% | | 22.01dB |
| | | ガラス | 6 + 8mm | 10% | | 0.3dB |
| 壁面3 (内) | | 木材 | 12.5 + 9.5 ~ 21 + 15mm | 60% | | 3.26dB |
| | | 遮音材(石膏ボード) | 12.5+9.5 ~21+15mm | 60% | | 0dB~ 14.68dB |
| | | 遮音材(グラスウール) | 50mm | 60% | | |
| | | コンクリート | 200mm | 60% | | 14.68dB |
| | | ガラス | 6~10mm | 40% | | 1.19dB |
| 壁面3 (中) | | 遮音材(石膏ボード) | 12.5 + 9.5mm | 100% | | 0dB~ 24.46dB |
| | | 遮音材(グラスウール) | 50mm | 100% | | |
| | | コンクリート | 200mm | 100% | | 24.46dB |

| | | | | | | |
|--|------------|-----|---------|------|--|--------|
| | 壁面3 (外) | ガラス | 10~30mm | 100% | | 2.97dB |
|--|------------|-----|---------|------|--|--------|

材質によるRの条件は、ITU R M. 2412 の Annex1 3.2 を参照した。代表値は情報通信審議会新世代モバイル通信システム委員会（令和2年7月報告）のITU-R P. 2109 に基づく4.6GHz帯の建物侵入損に関する表から、建物侵入損の期待値が50%、建物の種別がTraditionalの場合を参照した。

表 3.3.14 Rの予測における引用資料

表 4. 1. 1. 2-5 勧告 ITU-R P. 2109 に基づく 4.6GHz 帯の建物侵入損

| 建物の種別※ | 建物侵入損の期待値 | | | |
|---------------------|-----------|--------|--------|--------|
| | 5% | 10% | 20% | 50% |
| Traditional | 4.2dB | 6.0dB | 8.8dB | 16.2dB |
| Thermally-efficient | 13.3dB | 16.6dB | 21.0dB | 31.4dB |

※Thermally-efficient: 金属化ガラス³、金属ホイルを裏打ちしたパネルを用いた建物、
Traditional: 前記以外の建物

▲情報通信審議会新世代モバイル通信システム委員会（令和2年7月報告）より

TABLE A1-6

Material penetration losses

| Material | Penetration loss [dB] (<i>f</i> is in GHz) |
|---------------------------------|---|
| Standard multi-pane glass | $L_{\text{glass}} = 2 + 0.2 \cdot f$ |
| Infrared Reflective (IRR) glass | $L_{\text{IRRglass}} = 23 + 0.3 \cdot f$ |
| Concrete | $L_{\text{concrete}} = 5 + 4 \cdot f$ |
| Wood | $L_{\text{wood}} = 4.85 + 0.12 \cdot f$ |

Tables A1-7 and A1-8 gives PL_{nv} , PL_{in} and σ_P for the O-to-I penetration loss models in model A and model B. The O-to-I penetration is UT-specifically generated, and is added to the shadow fading realization in the log domain.

▲ITU R M. 2412 より

3.3.2.3 評価・検証項目

(1) カバーエリア端及び調整対象区域端での測定

カバーエリア及び調整対象区域を示した図（以下「エリア図」という。）を基に、カバーエリア端及び調整区域端（以下「エリア端」という。）での測定を実施した。エリア端が全て建物の外に存在していることから、測定は屋外を重点的に調べることにし

た。置局点を中心に 30° 方向ごとに方位を区切り、各エリア端で 12 点ずつ計 24 点の屋外測定点において電波強度（SSB-RP）の計測を行った。

また、実測結果がエリア図と大きく異なる場合が十分に予想されるため、屋内屋外を問わず歩行による連続測定を行い、それぞれの閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認も行うこととした。

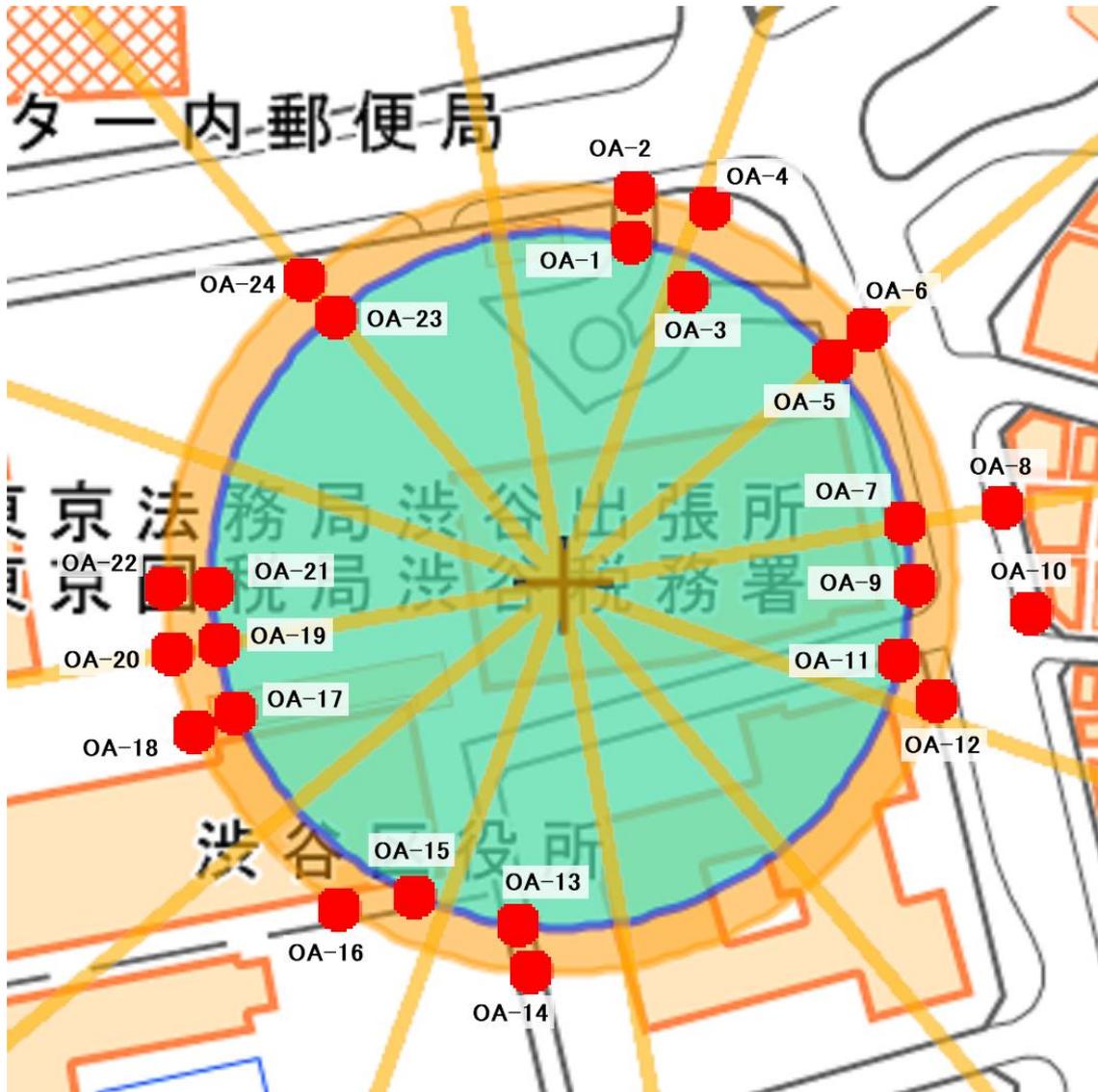
図 3.3.47 免許申請時のエリア図



(出所) 国土地理院地理院地図

(<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.104611/140.084556/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k010u0t0z0r0s0m0f1>)をもとに基地局ベンダーが作成

図 3.3.48 エリア図を元に作成をしたエリア端の測定マップ

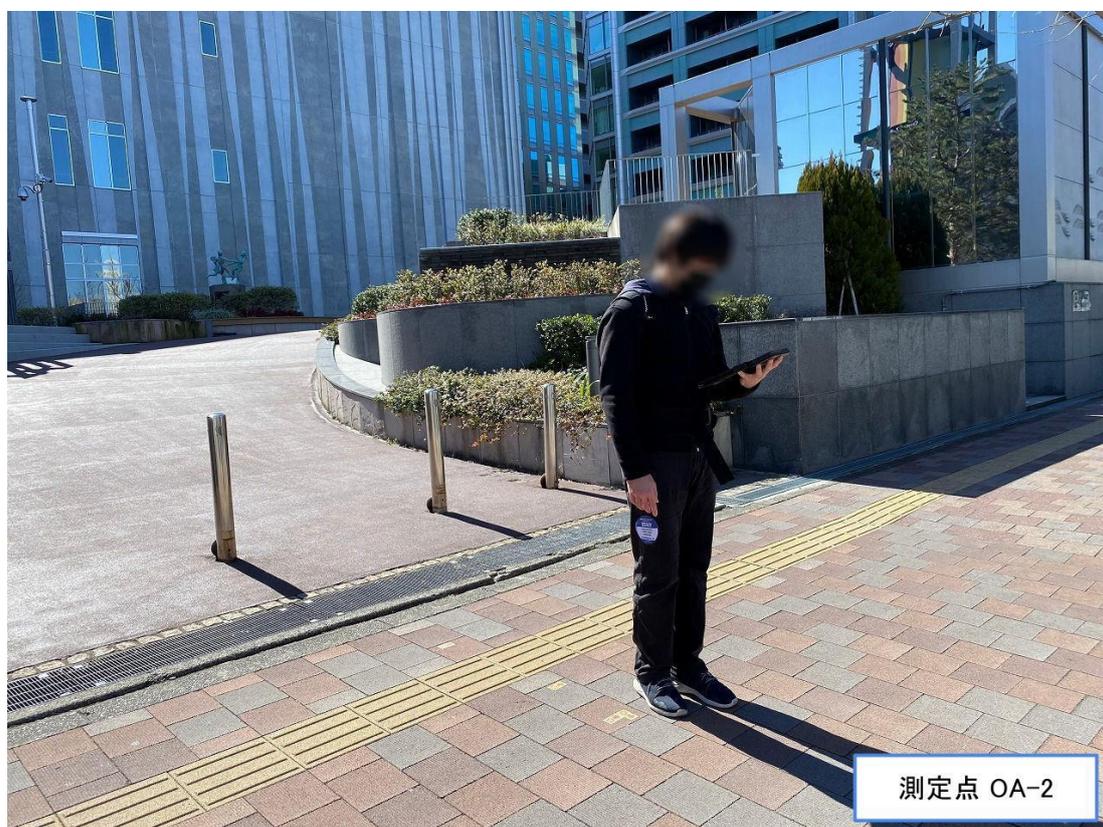


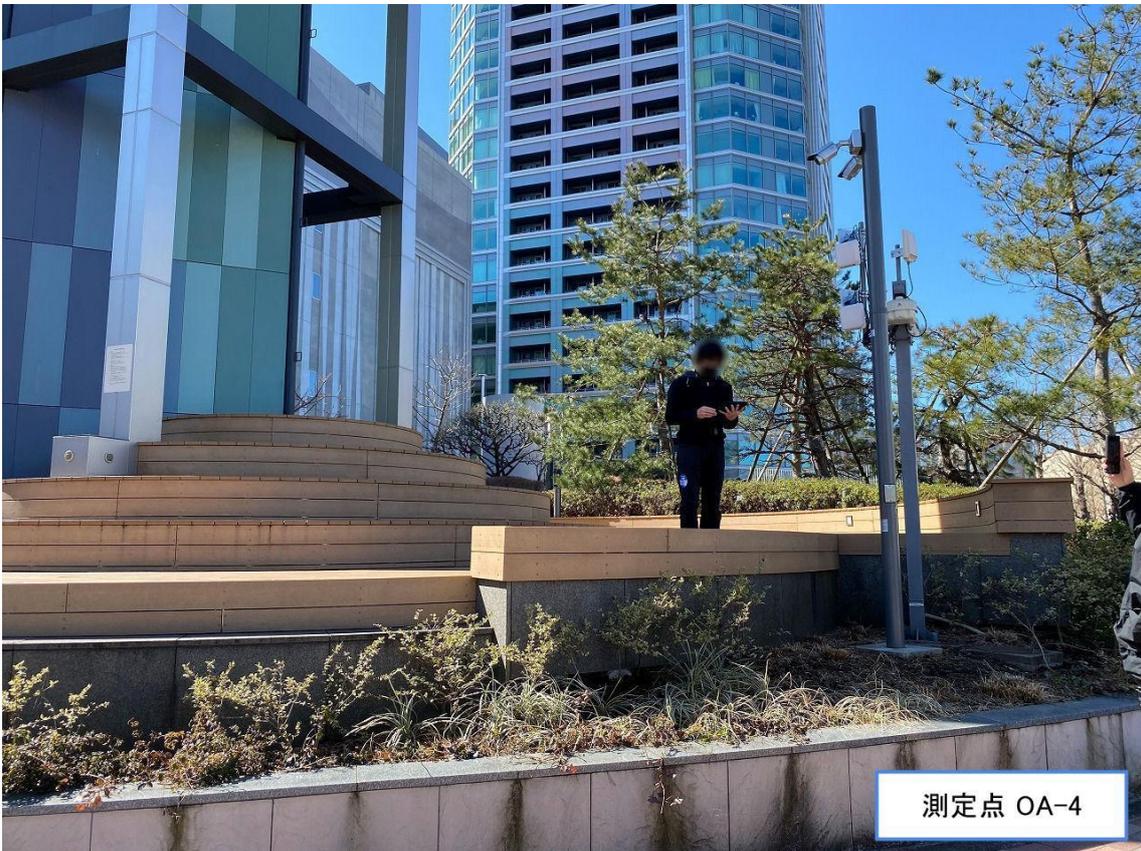
(出所) 国土地理院地理院地図

(<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.104611/140.084556/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k010u0t0z0r0s0m0f1>)よりコンソシアム作成

なお、測定と並行して、各測定地点における見通しや周辺環境の写真による記録も行った。

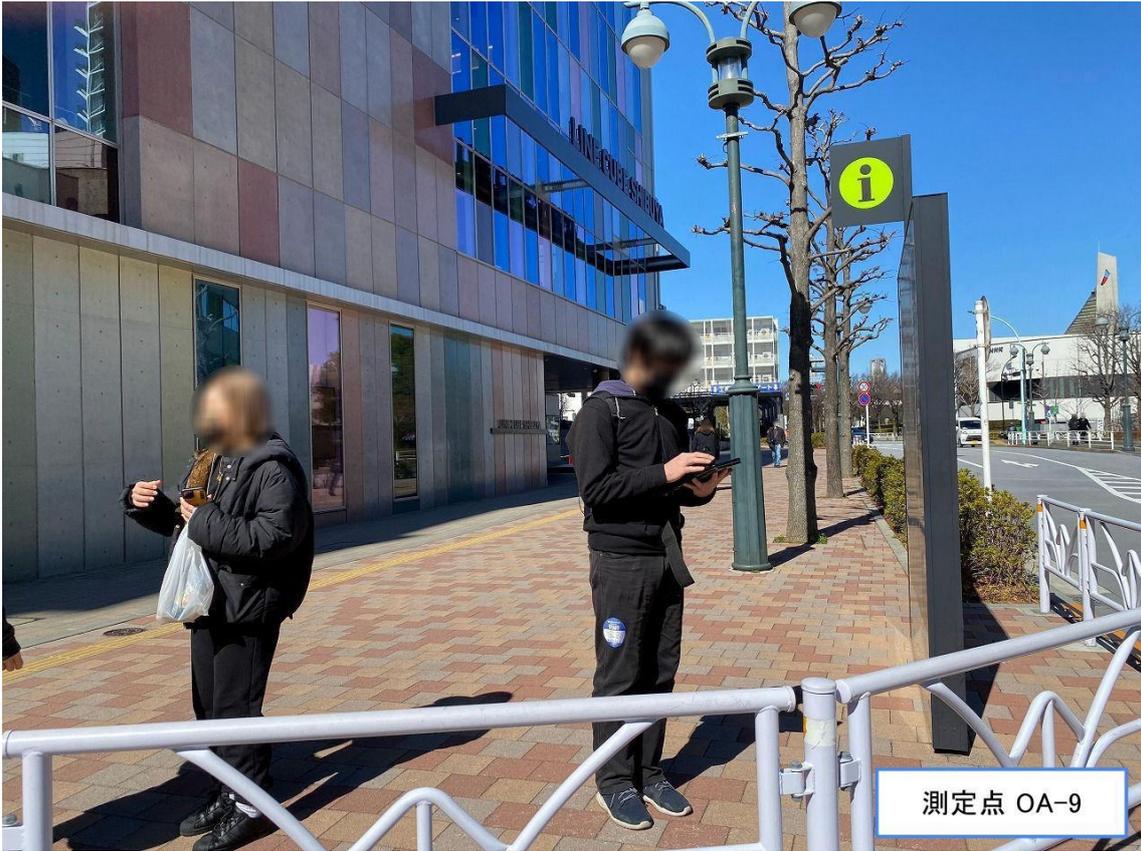
図 3.3.49 屋外測定点の外観





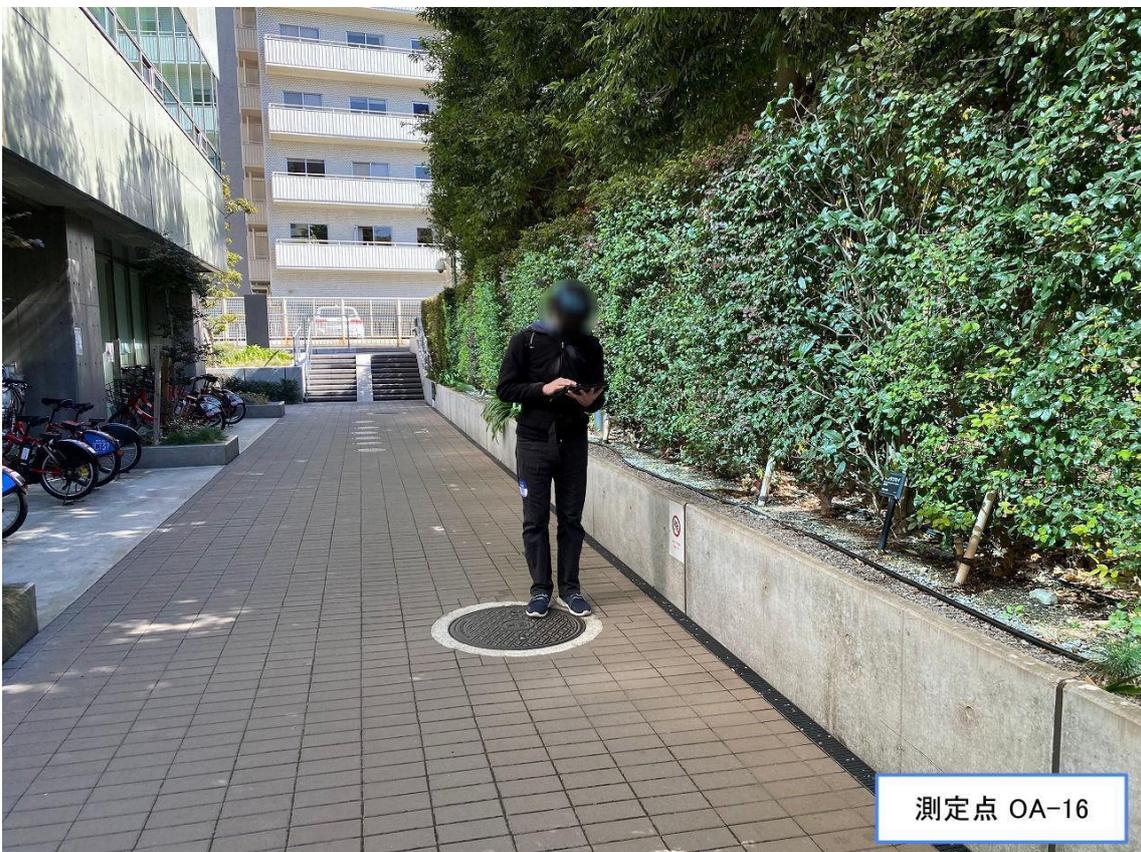








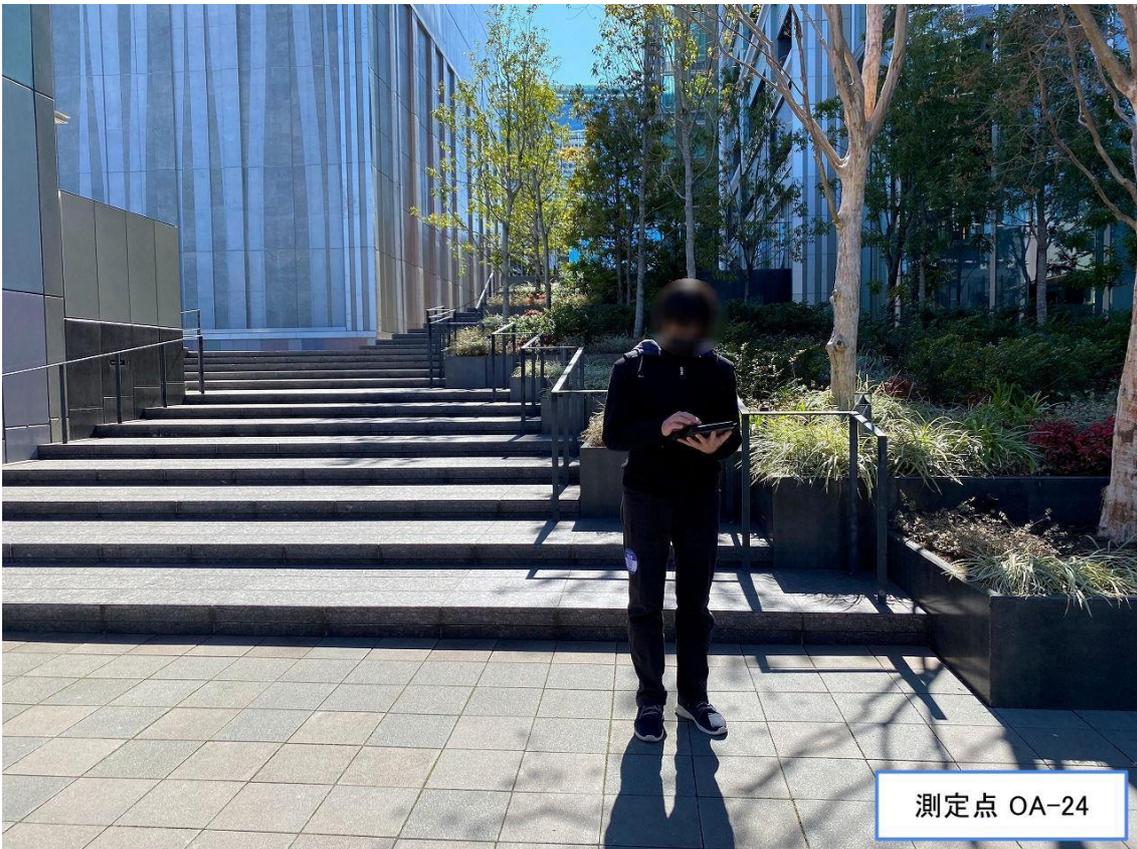








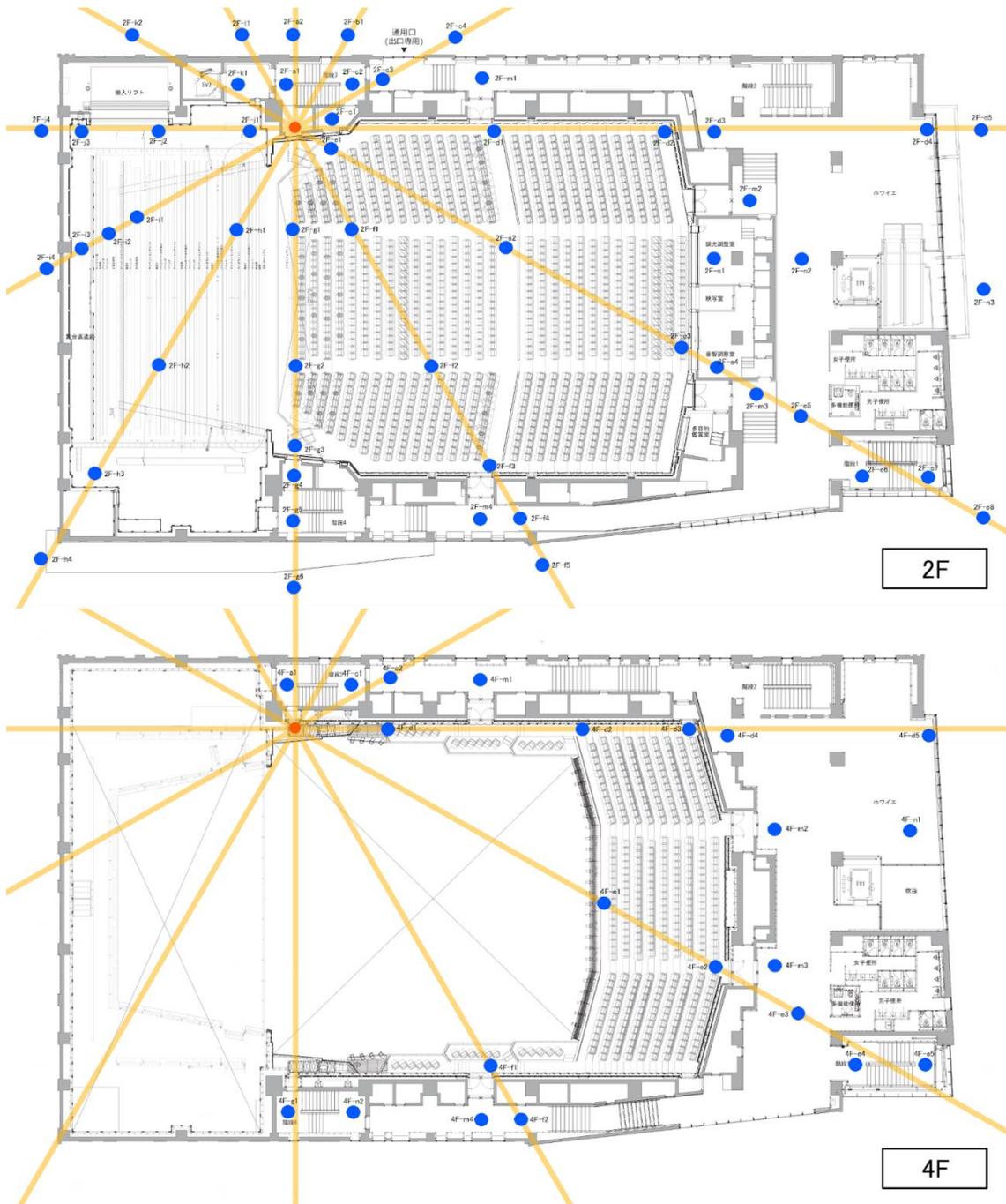


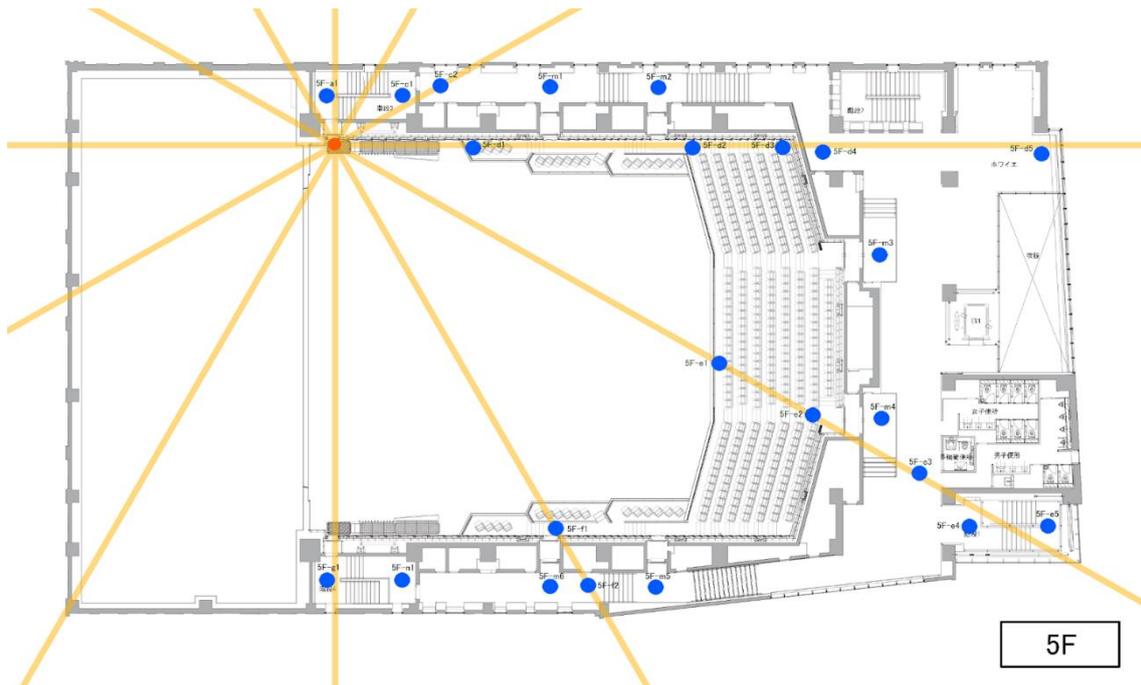


(2) 屋内固定点での測定

R の精緻化を行うため、屋外での測定にプラスして屋内での測定も実施をした。屋内の各測定点は、エリア端での測定と同様に置局点を中心に 30° 方向ごとに方位を区切り、直線状に測定点が並ぶよう配置を行った。直線かつ壁の前後に測定点があるよう場所の選定を行っている。

図 3.3.50 屋内の測定マップ





(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成

3.3.2.4 評価・検証方法

(1) 測定方法について

測定方法については以下の方法で実施をした。

- 受信電力として、SSB-RP (SS-RSRP と同義。以降、測定機メーカーの呼称方法に準じ、当該測定機で計測した基準信号受信電力について SSB-RP と記載。) を測定した。
- 定在波の影響を避けるため、1つの測定点において、基準とする点と 10λ (λ は波長。 $10\lambda = \text{約 } 600\text{mm}$ 。) 横へ移動した点の計2点で測定した。
- 測定点当たり合計 2,000 サンプル (基準点 1,000 サンプル、 10λ 移動点 1,000 サンプル) の測定結果に対し、中央値、 σ 、上位 10% 値、下位 10% 値を算出した。
- 測定周期は、測定機の仕様に沿って 30 サンプル毎秒 (理論値) を基本とした。

そして、本実証に使用する測定機器については以下のものを使用することとした。

表 3.3.15 R の精緻化に使用した測定機器

| 機材名 | メーカー | 品番 | モード設定 | Measurement Type | Measurement Rate | Min. detection level |
|------|-------|--------|---|------------------|------------------|-----------------------------|
| 測定機 | PCTEL | IBflex | nr Top N Signal subcarrier Spacing:30k Hz | SSB-RP | 30/sec | SCS @30 kHz: -132 dBm |
| アンテナ | PCTEL | OP691 | --- | --- | --- | --- |

なお、測定アンテナについては水平指向性のないものを使用した。スペクトラムアナライザとしても使用したため、カタログ記載の周波数特性についてもこちらに掲載する。

図 3.3.51 測定アンテナの周波数特性

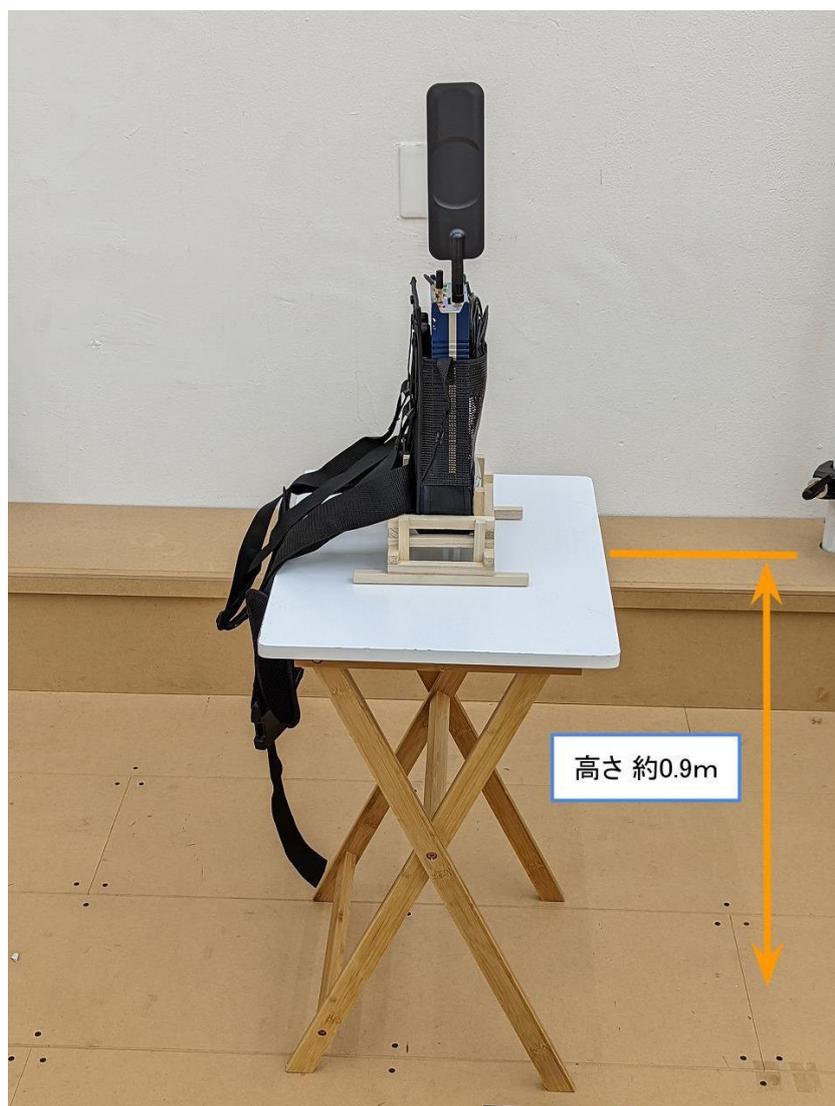


(出所) OP691 データシート (In-Building Antennas for SeeGull(R) Scanning Receivers)

固定台での測定は、非金属（竹製）の天板の折り畳み机の上に測定機を載せる方法で行った。その際、測定機本体と画面表示用端末（Android タブレット）の間は無線（Bluetooth）で接続されるため、測定機アンテナと測定担当者の距離をできるだけ大きく取り、測定担当者の人体損失が測定データに与える影響が最小になるよう配慮を行った。

固定台に測定機を設置した状態を以下に示す。

図 3.3.52 測定機を固定台（竹製机）に立てて設置した様子



(出所) コンソーシアム撮影

また、測定機を背負った状態と固定台に置いた状態とで、どの程度の高さの違いとなるのか以下に示す。

図 3.3.53 測定機を背負った状態の高さと固定台の高さの違い



(出所) コンソーシアム撮影

また、設定した各測定点について、定在波の影響がどの程度発生していたかを評価するため、基準となる測定点とは別に10λ（約60cm）程度移動した点においても測定を行い、標準偏差にてデータのばらつき具合を評価した。基準点と10λ程度移動した点の様子を撮影した例を以下に示す。

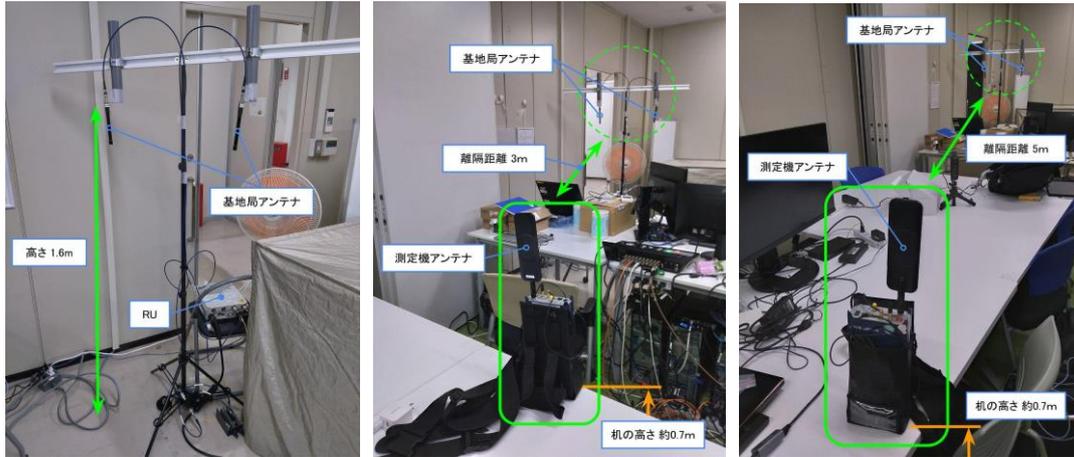
図 3.3.54 基準点と10λ程度移動した点の様子



(出所) コンソーシアム撮影

上述の測定機については実証会場での測定とは別に事前検証環境での事前測定を行い、測定機のスペックが実証において問題とはならないこと、測定手順に誤りがないことの確認を行った。事前検証環境での測定はスペースの都合もあり、基地局から測定機までの距離は最長で5mしか離すことができなかったため、3mと5mについて測定を行った。

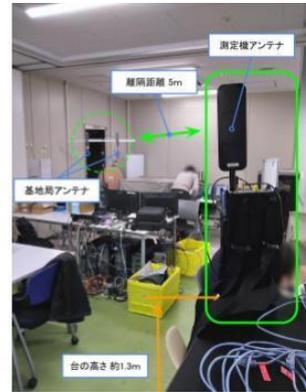
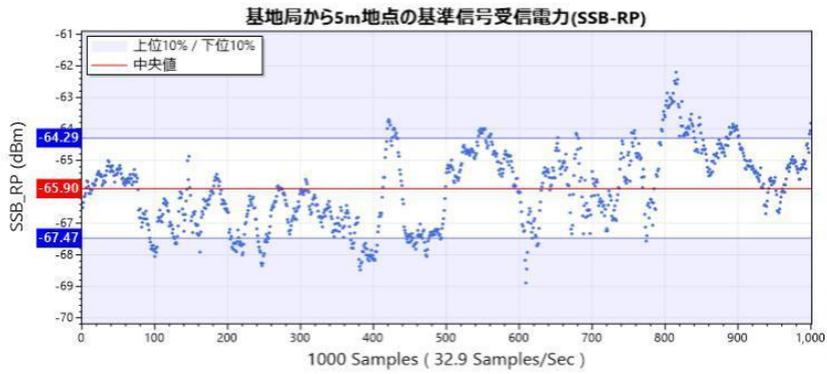
図 3.3.55 事前検証環境での測定の様子



(出所) コンソーシアム撮影

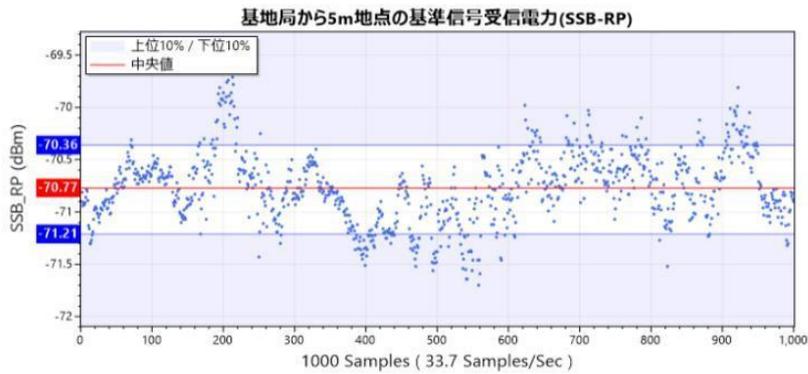
実証会場においては、設置位置の関係から最短距離で5m地点にしか測定機を置くことが出来なかったため、事前検証環境との比較は5m地点のデータのみを使用して行った。また、測定機を卓上に置いた場合の測定結果と背負った状態での測定結果との比較も行った。

図 3.3.56 5m地点 事前検証環境での測定結果



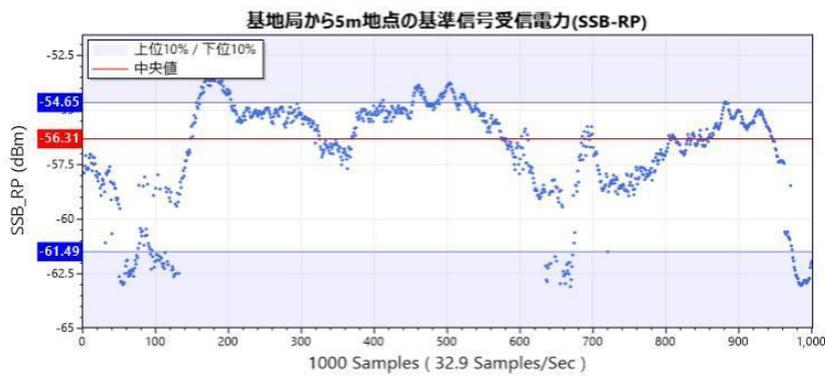
(出所) コンソーシアム作成

図 3.3.57 5m 地点、固定台での測定の様子



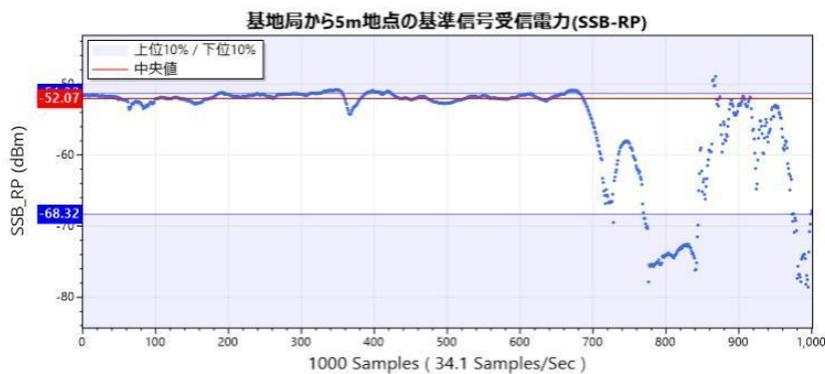
(出所) コンソーシアム作成

図 3.3.58 5m 地点 測定機を背負っての測定の様子 (アンテナに対して前向き)



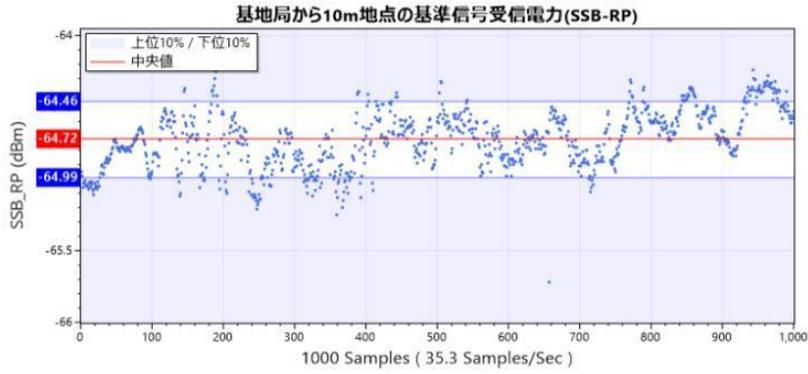
(出所) コンソーシアム作成

図 3.3.59 5m 地点 測定機を背負っての測定の様子 (アンテナに対して後ろ向き)



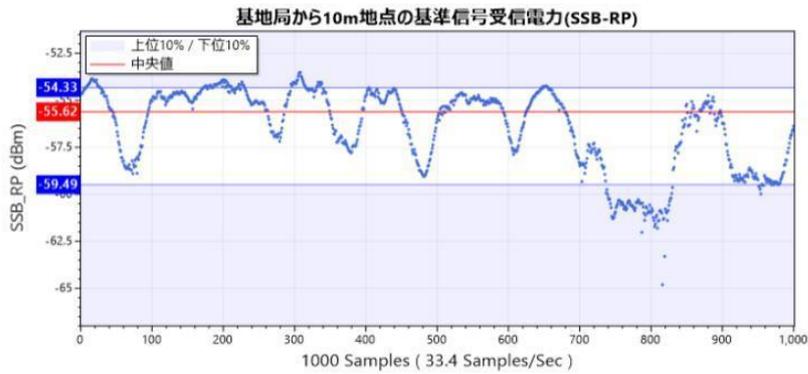
(出所) コンソーシアム作成

図 3.3.60 10m 地点 固定台での測定の様子



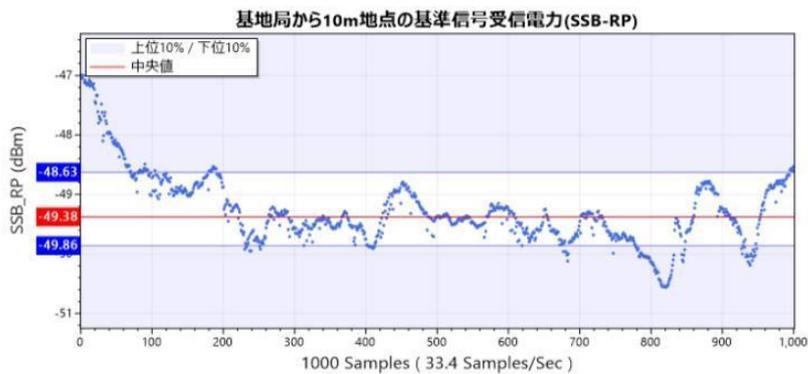
(出所) コンソーシアム作成

図 3.3.61 10m 地点 測定機を背負っての測定の様子 (アンテナに対して前向き)



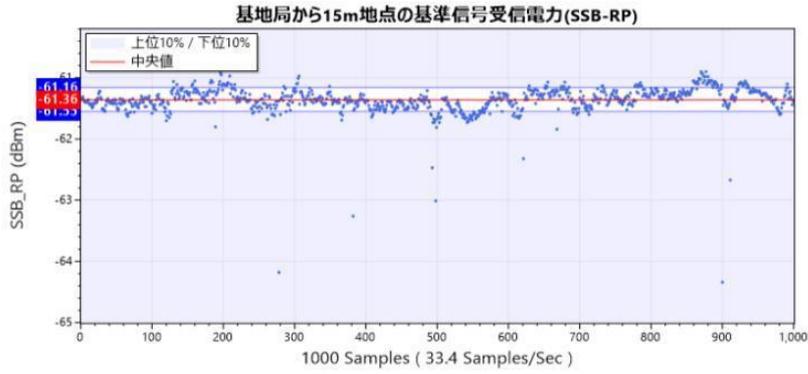
(出所) コンソーシアム作成

図 3.3.62 10m 地点 測定機を背負っての測定の様子 (アンテナに対して後ろ向き)



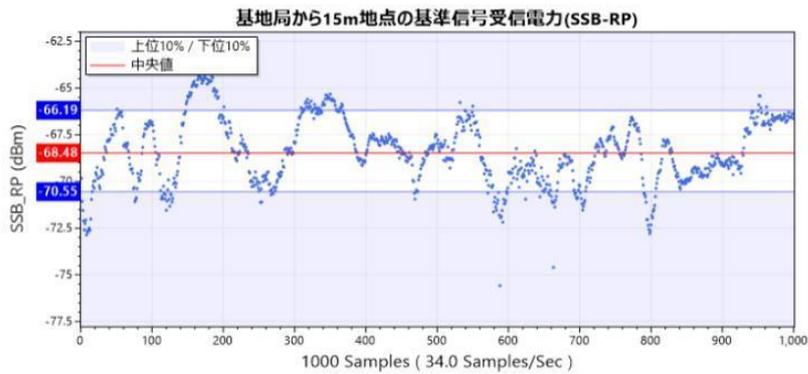
(出所) コンソーシアム作成

図 3.3.63 15m 地点 固定台での測定の様子



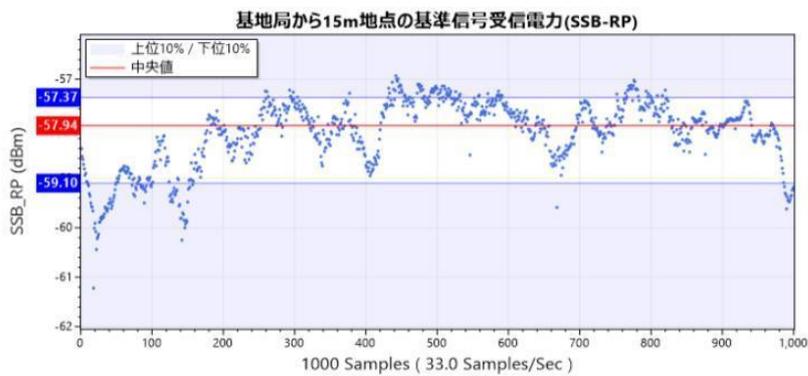
(出所) コンソーシアム作成

図 3.3.64 15m 地点 測定機を背負っての測定の様子 (アンテナに対して前向き)



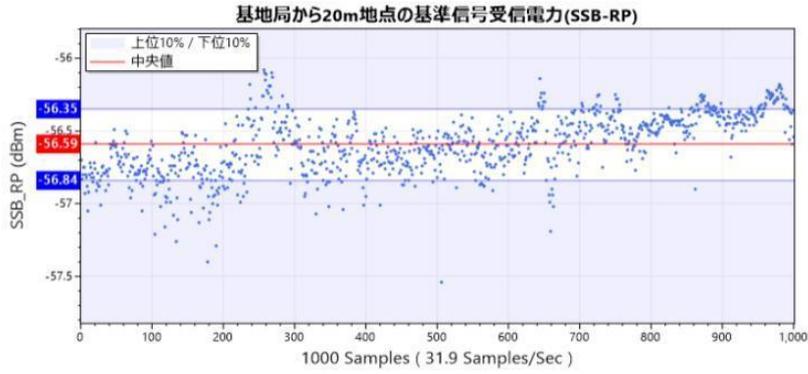
(出所) コンソーシアム作成

図 3.3.65 15m 地点 測定機を背負っての測定の様子 (アンテナに対して後ろ向き)



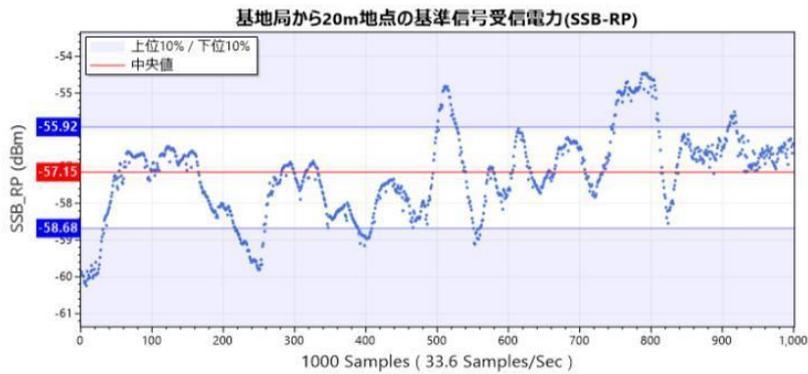
(出所) コンソーシアム作成

図 3. 3. 66 20m 地点 固定台での測定の様子



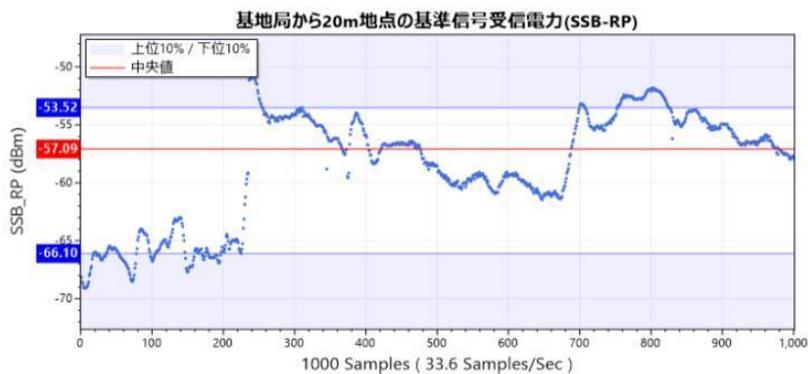
(出所) コンソーシアム作成

図 3. 3. 67 20m 地点 測定機を背負っての測定の様子 (アンテナに対して前向き)



(出所) コンソーシアム作成

図 3. 3. 68 20m 地点 測定機を背負っての測定の様子 (アンテナに対して後ろ向き)



(出所) コンソーシアム作成

上記測定結果のグラフを表にまとめたものを以下に示す。

表 3.3.16 各距離での測定結果

| 距離 | 位置 | 中央値 [dBm] | 上位 10% [dBm] | 下位 10% [dBm] |
|-----|--------|-----------|--------------|--------------|
| 5m | 事前検証環境 | -65.90 | -64.29 | -67.47 |
| | 固定台 | -70.77 | -70.36 | -71.21 |
| | 背負い(前) | -56.31 | -54.65 | -61.49 |
| | 背負い(後) | -52.07 | -51.32 | -68.32 |
| 10m | 固定台 | -64.72 | -64.46 | -64.99 |
| | 背負い(前) | -55.62 | -54.33 | -59.49 |
| | 背負い(後) | -49.38 | -48.63 | -49.86 |
| 15m | 固定台 | -61.36 | -61.16 | -61.55 |
| | 背負い(前) | -68.48 | -66.19 | -70.55 |
| | 背負い(後) | -57.94 | -57.37 | -59.10 |
| 20m | 固定台 | -56.59 | -56.35 | -56.84 |
| | 背負い(前) | -57.15 | -55.92 | -58.68 |
| | 背負い(後) | -57.09 | -53.52 | -66.10 |

全体を通して、固定台で測定した方が測定値のばらつきが少なく良好な結果が得られた。また、測定機を背負った状態での測定は、アンテナに対しての向きの違いによる変化量が一定とはならず、測定後の補正や考察が困難になる恐れがあると判断した。以上を踏まえ、Rの精緻化に向けての測定は固定台を用いての測定で実施を行うこととした。ただし、屋外においての測定は歩行者の流れを妨げる恐れのある測定は行えないため、固定台を設置せず背負った状態での測定とした。

事前検証環境と実証会場での測定値の比較に関しては、事前検証環境での測定値が固定台での測定と背負った状態での測定の測定値の間に収まっており、問題のない範囲のずれであると判断した。

1回当たりの測定時間に関しては、1,000サンプル分のデータを取得するのにかかる時間が理論値で33秒であったため、33秒+ α として設定を行った。しかし、残念なこと

に測定機側の機能として、リアルタイムに測定を行いながら何サンプル分のデータが取得し終わっているか確認する方法が存在しなかったため、確実に1,000サンプルのデータを取得できるであろう十分に長い時間として7秒程度余裕を取り、最低でも1回当たりの測定時間を40秒として測定を行うこととした。余裕分を含む1,000サンプルを超えるデータから1,000サンプル分の連続データを抽出し、冒頭で述べた中央値や上位/下位10%値などの各種値の算出を行った。

アンテナから各測定点までの距離の測定は、図面から寸法を拾う方法によって行っている。アンテナから見通しの利かない測定点においては、巻尺やレーザー測距計を使用することができず、現場での計測ではなく机上での計測となった。

(2) パラメーター推定手順について

パラメーター推定手順については以下の形で行った。

- 推定するパラメーター(例 R[dB]: 建物侵入損)を定め、それ以外のパラメーター含むエリア算出法における関数 F(d) を確定する。このとき、算出法で得られる受信電力 r_x [dB] は以下の式のように示される。

$$r_x(i) = F(d_i) - R \quad (d_i : \text{測定点 } i (1..N) \text{ における基地局-端末間距離})$$

- 複数の測定点 i で受信電力 $r'_x(i)$ [dB] を測定する。測定は、特異値を除くため、適切な測定方法・測定サンプル数の測定を行い結果を適切に統計的に処理する。統計値は基本的には中央値を採用するが、必要に応じて、標準偏差、上位 10%、下位 10% 値も使用し、ばらつきに対するマージンについても検討している。
- 最小二乗法(※)により、以下 E が最小となる R を推定値として算出する。

$$E = \sum_i \{rx(i) - r'_x(i)\}^2 = \sum_i \{F(d_i) - R - r'_x(i)\}^2$$

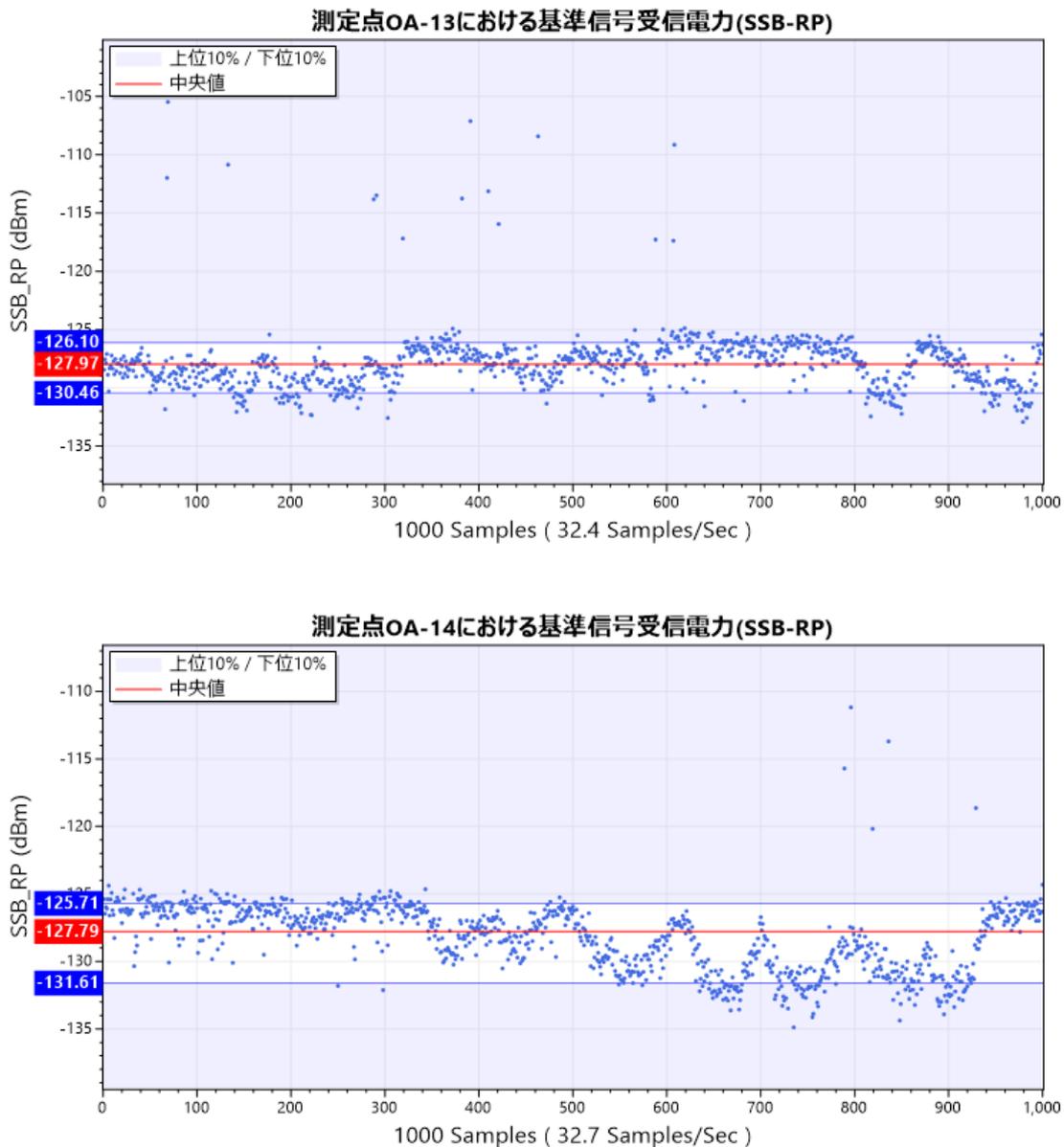
- 本推定の有効性確認のため、E/N の標準偏差 σE の大きさについて評価する。 σE が十分小さいとは言えない場合は、今回の推定が有効ではなく、エリア算出法のモデル化部分(F(d_i))や今回の実証環境に、適切ではない部分があると考えられる。
- 実証ごとの結果をとりまとめ、条件ごとに整理したパラメーターの値を示す。

3.3.2.5 実証結果及び考察

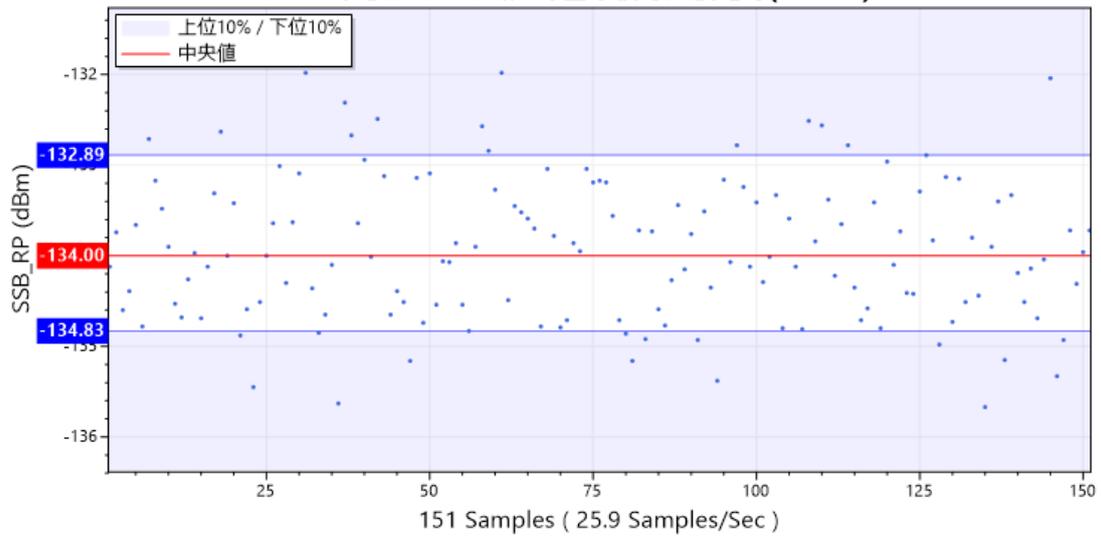
(1) エリア端について

エリア算出式に基づくカバーエリア端及び調整区域端は全て屋外に存在していたが、実測の結果、屋外においてカバーエリア端及び調整区域端の閾値を上回っている箇所は1つも確認することができなかった。このことから、本実証会場に類似するコンサートホールなどでは、エリア算出式に基づく算出値よりも実測値の方が小さくなると予想される。また、本実証で使用した基地局の電波出力では、屋外の測定点のほとんどで、測定機が拾える最低レベルの電波強度（約-140 dBm～ -150dBm）を下回ることが分かった。有効に測定を行えた測定点のみ、測定結果を以下に示す。

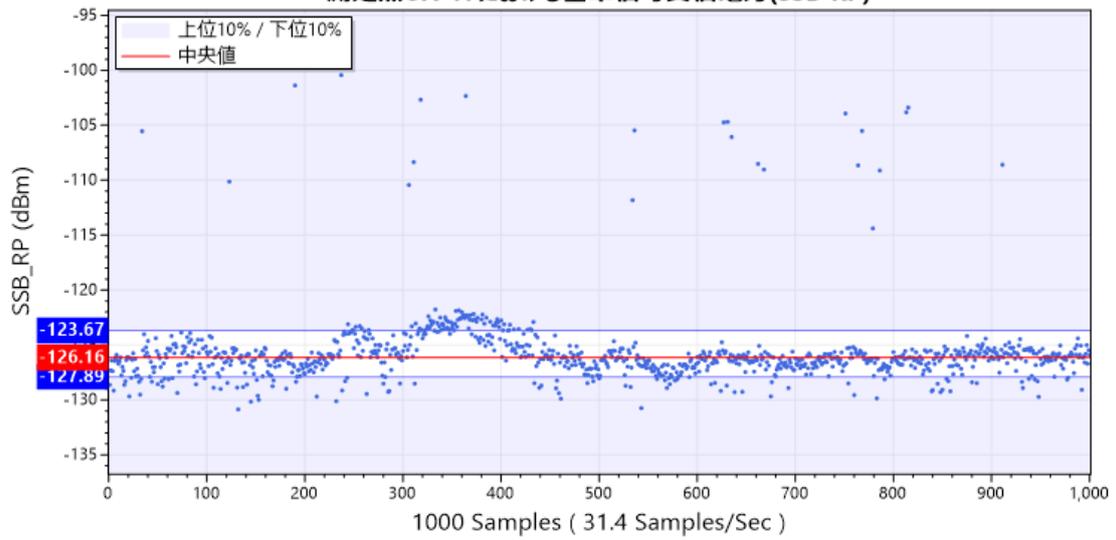
図 3.3.69 エリア端での測定結果（有効に測定できたもののみ）



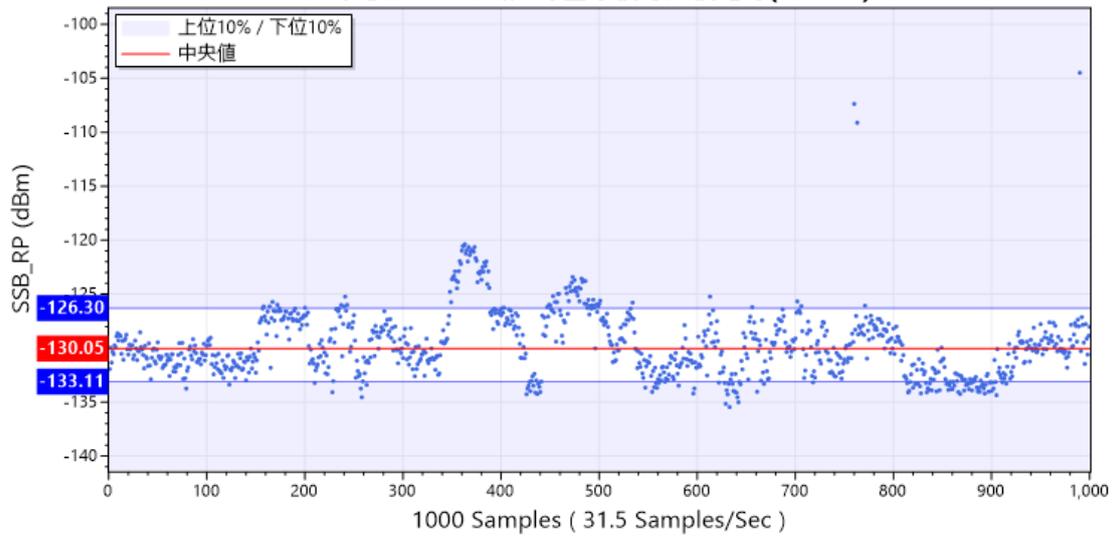
測定点OA-15における基準信号受信電力(SSB-RP)



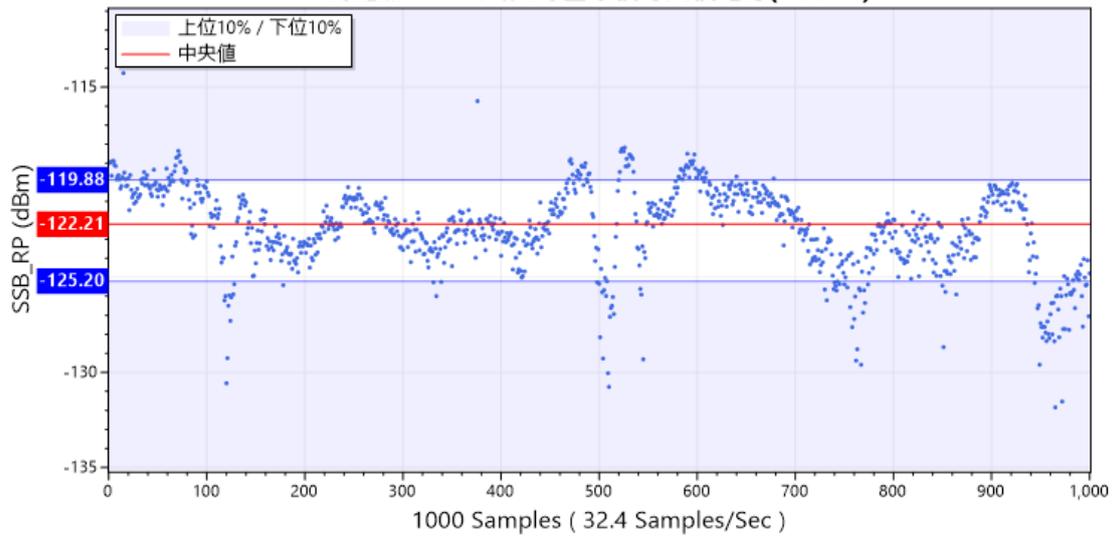
測定点OA-17における基準信号受信電力(SSB-RP)



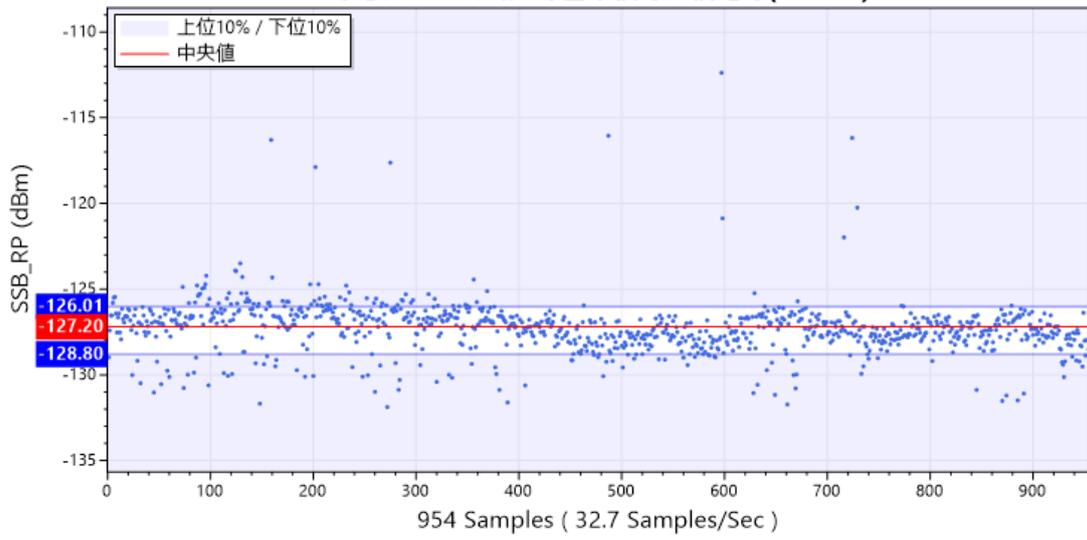
測定点OA-18における基準信号受信電力(SSB-RP)



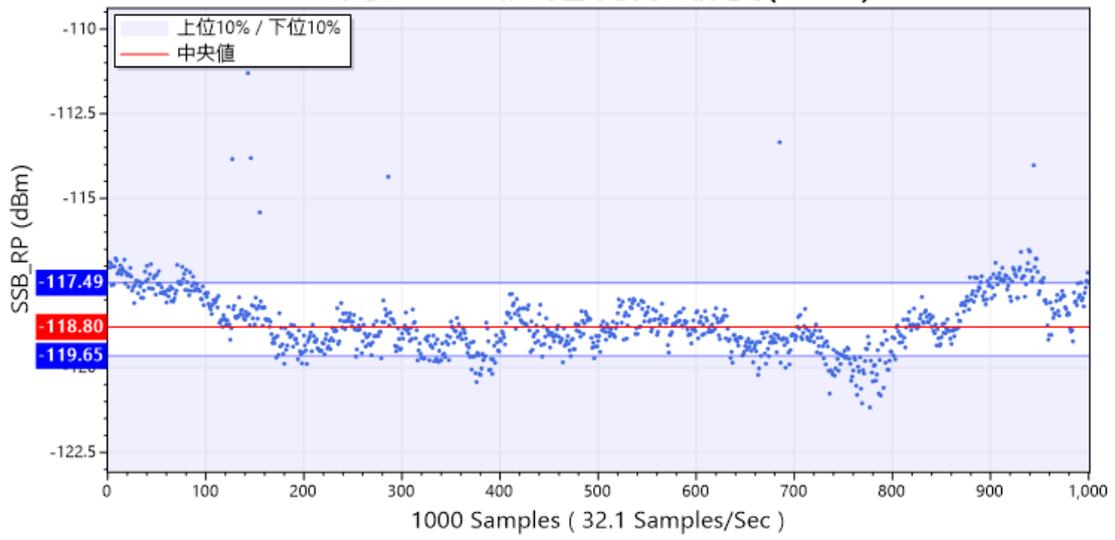
測定点OA-19における基準信号受信電力(SSB-RP)

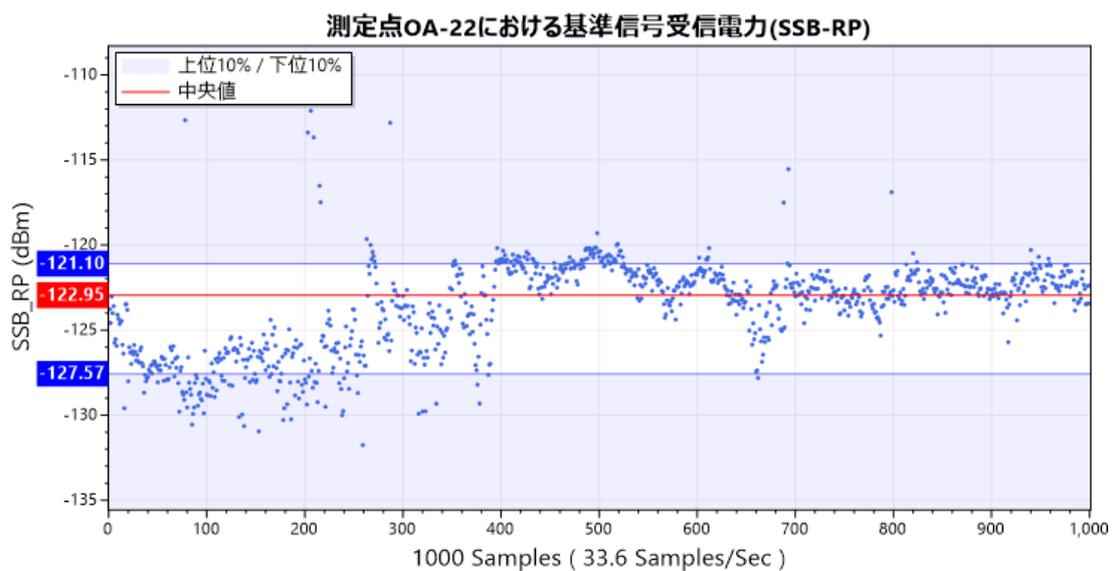


測定点OA-20における基準信号受信電力(SSB-RP)



測定点OA-21における基準信号受信電力(SSB-RP)





(出所) コンソーシアム作成

上記測定結果を表にまとめたものを以下に示す。

表 3.3.17 屋外エリア端での測定結果

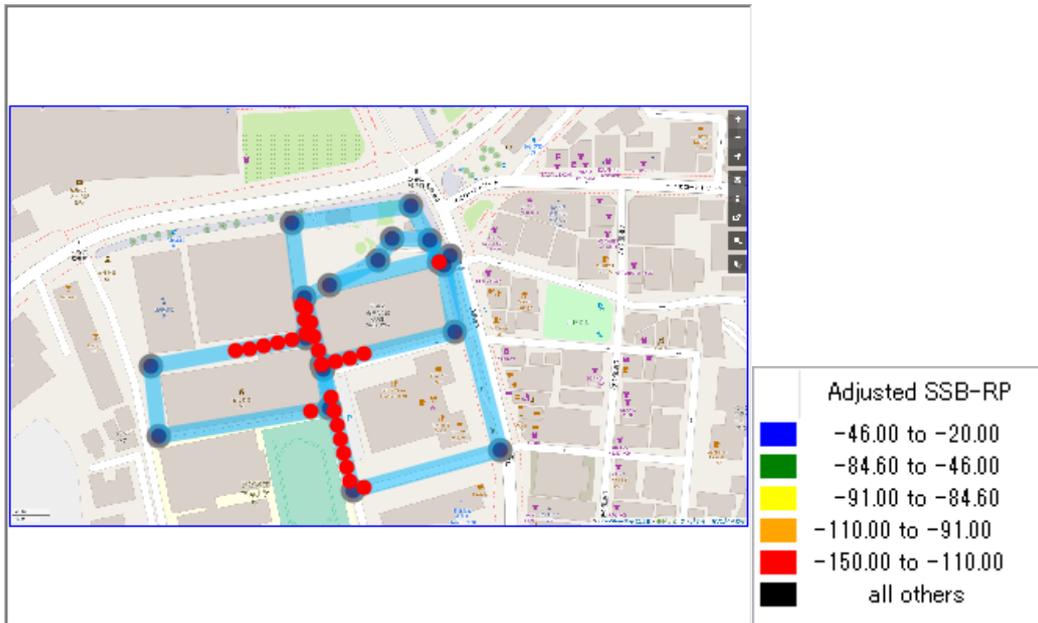
| 測定点 | 公称距離 [m] | 中央値 [dBm] | 上位 10% [dBm] | 下位 10% [dBm] |
|-------|----------|-----------|--------------|--------------|
| OA-1 | 54m | 測定下限値未満 | --- | --- |
| OA-2 | 61m | 測定下限値未満 | --- | --- |
| OA-3 | 54m | 測定下限値未満 | --- | --- |
| OA-4 | 61m | 測定下限値未満 | --- | --- |
| OA-5 | 54m | 測定下限値未満 | --- | --- |
| OA-6 | 61m | 測定下限値未満 | --- | --- |
| OA-7 | 54m | 測定下限値未満 | --- | --- |
| OA-8 | 61m | 測定下限値未満 | --- | --- |
| OA-9 | 54m | 測定下限値未満 | --- | --- |
| OA-10 | 61m | 測定下限値未満 | --- | --- |

| | | | | |
|-------|-----|--------------|--------------|--------------|
| 0A-11 | 54m | 測定下限値未満 | - - - | - - - |
| 0A-12 | 61m | 測定下限値未満 | - - - | - - - |
| 0A-13 | 54m | -127.97 | -126.10 | -130.46 |
| 0A-14 | 61m | -127.79 | -125.71 | -131.61 |
| 0A-15 | 54m | -134.00(参考値) | -132.89(参考値) | -134.83(参考値) |
| 0A-16 | 61m | 測定下限値未満 | - - - | - - - |
| 0A-17 | 54m | -125.88 | -120.53 | -128.32 |
| 0A-18 | 61m | -128.55 | -126.46 | -132.17 |
| 0A-19 | 54m | -122.21 | -119.88 | -125.20 |
| 0A-20 | 61m | -127.20 | -126.01 | -128.80 |
| 0A-21 | 54m | -118.80 | -117.49 | -119.65 |
| 0A-22 | 61m | -122.95 | -121.10 | -127.57 |
| 0A-23 | 54m | 測定下限値未満 | - - - | - - - |
| 0A-24 | 61m | 測定下限値未満 | - - - | - - - |

測定点 0A-15 に関してのみ、他測定点と同様に 40 秒程度の測定を実施したにも関わらず、データサンプル数の不足が見られた。グラフ化する前の RAW データ（測定機の専用ソフトウェアから測定データの間引きをせず出力した CSV データ）を確認したところ、記録されているデータのうち一定期間が打刻のみされた空欄となっており、当該測定機で測定できる受信電力の下限値を下回ったものと考えられる。そのため、上記の表では参考値として値を記載している。

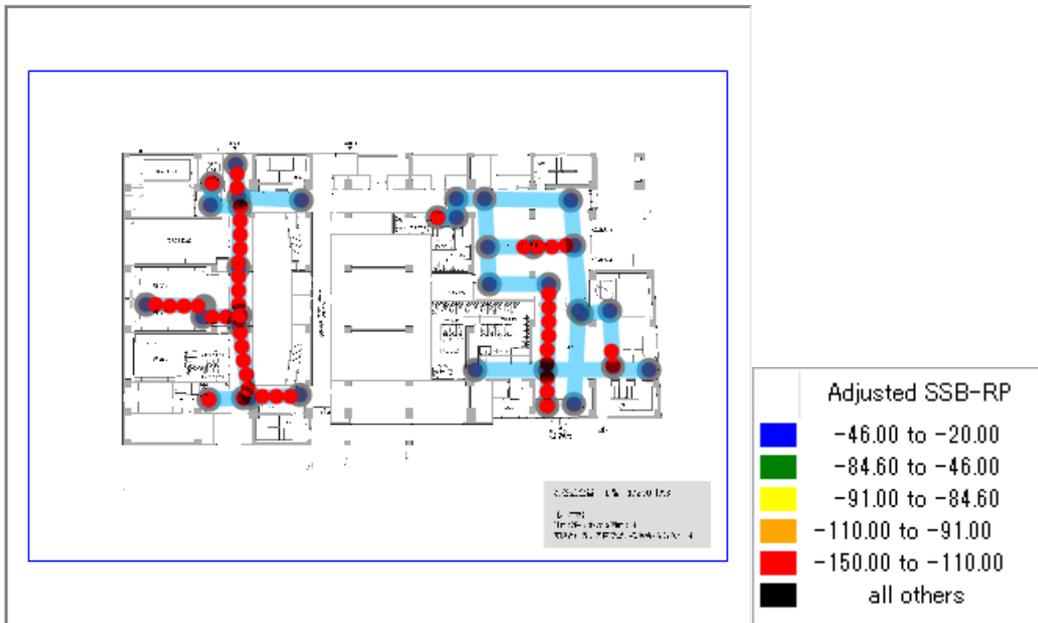
続いて、歩行による移動しながらの広範囲の測定の結果と測定結果から推定した実測値ベースのエリア図を示す。図の凡例による色分けは、エリア算出法に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の閾値に準じた値とした。つまり、カバーエリアの閾値を-84.6dBm、調整対象区域の閾値を-91.0dBm としている。

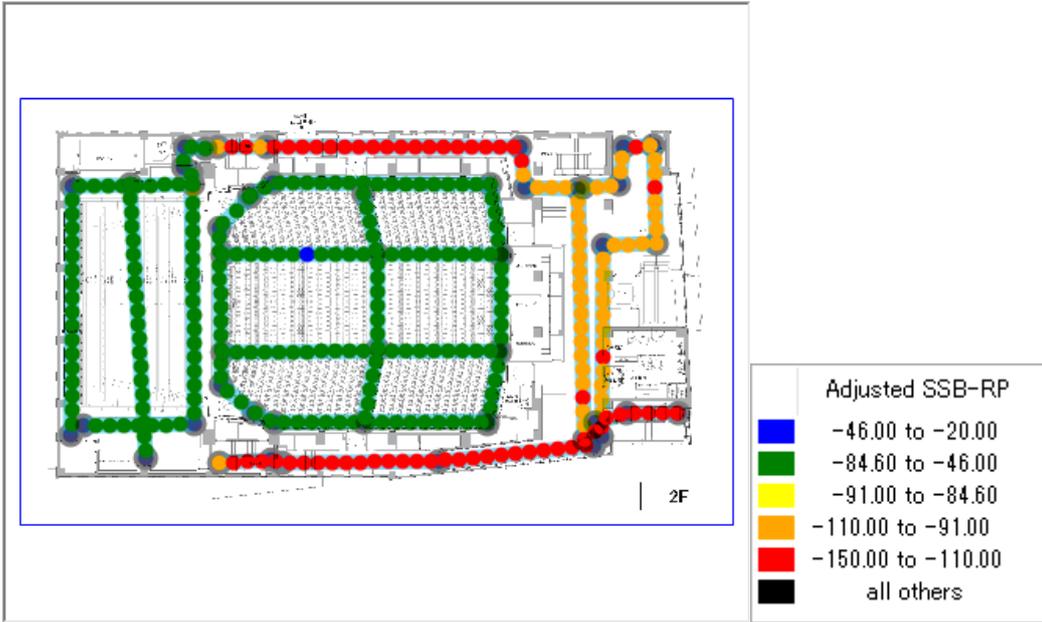
図 3.3.70 屋外での歩行による広範囲の測定結果

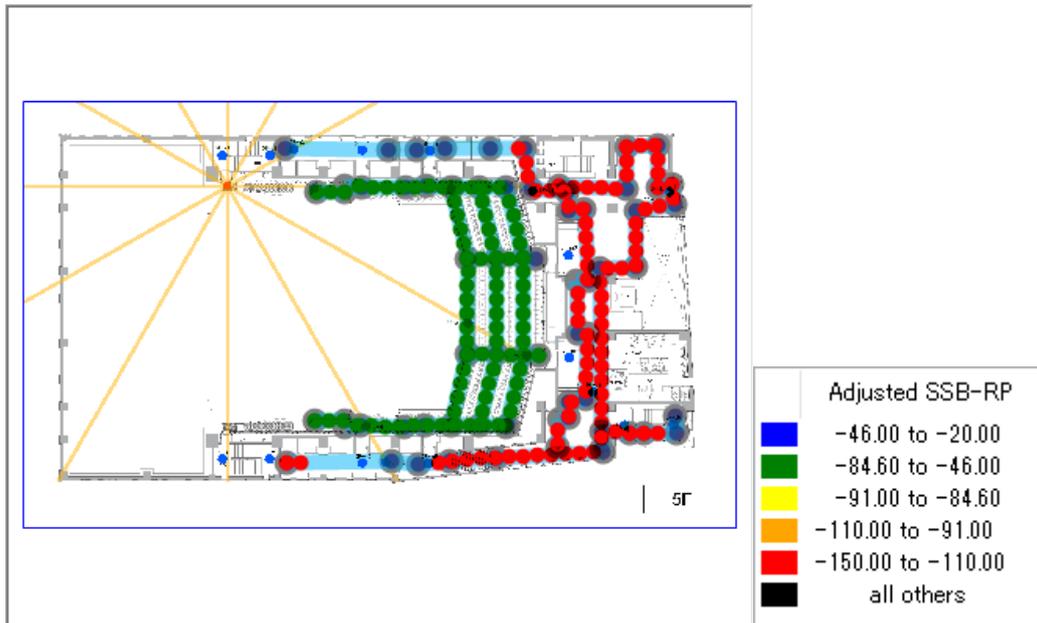


(出所) OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org>) の地図を元にコンソーシアムにて作図

図 3.3.71 屋内での歩行による連続測定結果







(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成

そして、歩行による測定の結果をもとに、カバーエリア端と調整対象区域端の作図を行ったものを以下に示す。この図から、カバーエリアおよび調整対象区域は共に屋内にのみ存在しており、両エリア端は屋外に存在しないことが分かる。

図 3.3.72 結果をもとに作図した実測値に基づくエリア図

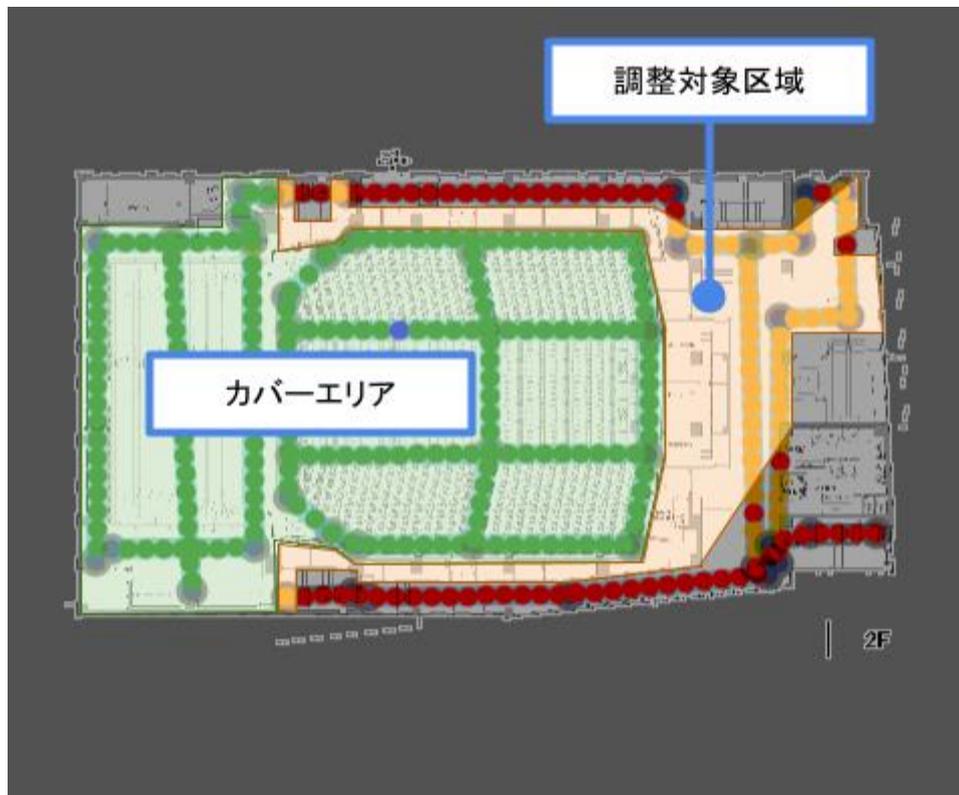
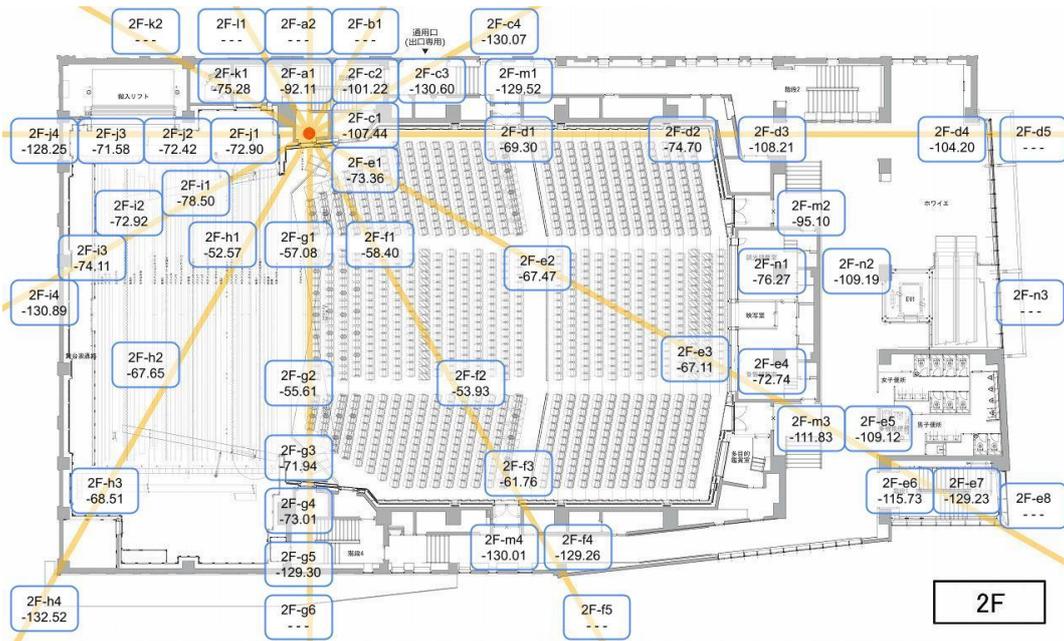


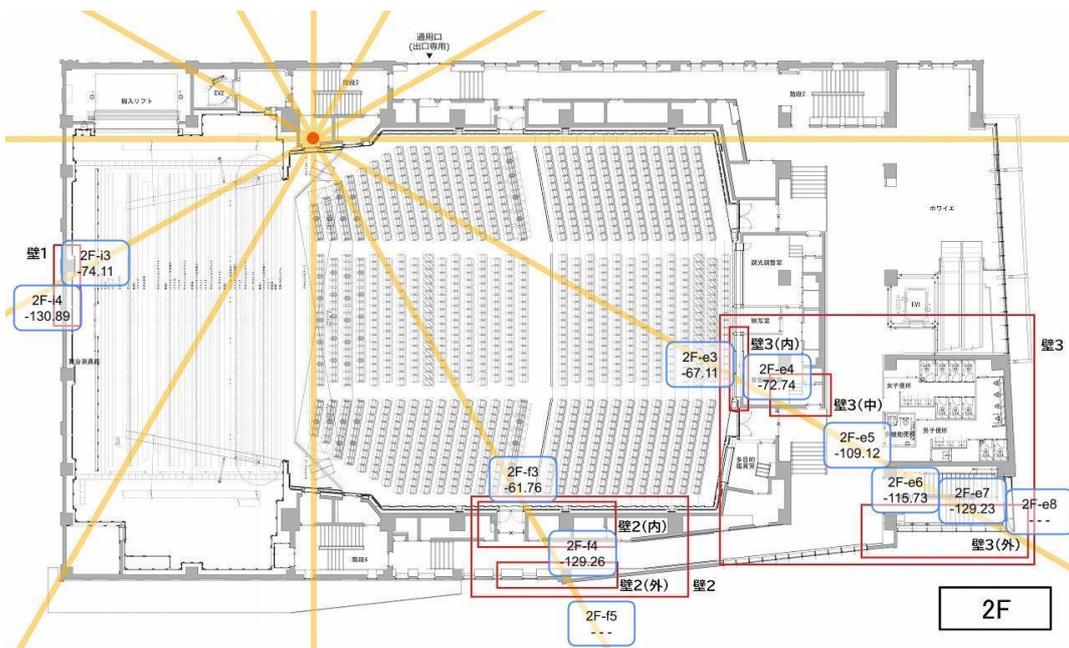
図 3.3.74 各屋内測定点の測定結果



(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成

また、上記の図から壁面 1、壁面 2、壁面 3 に関連する測定結果のみ抽出したものを以下に示す。

図 3.3.75 各壁面についての測定結果



(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載

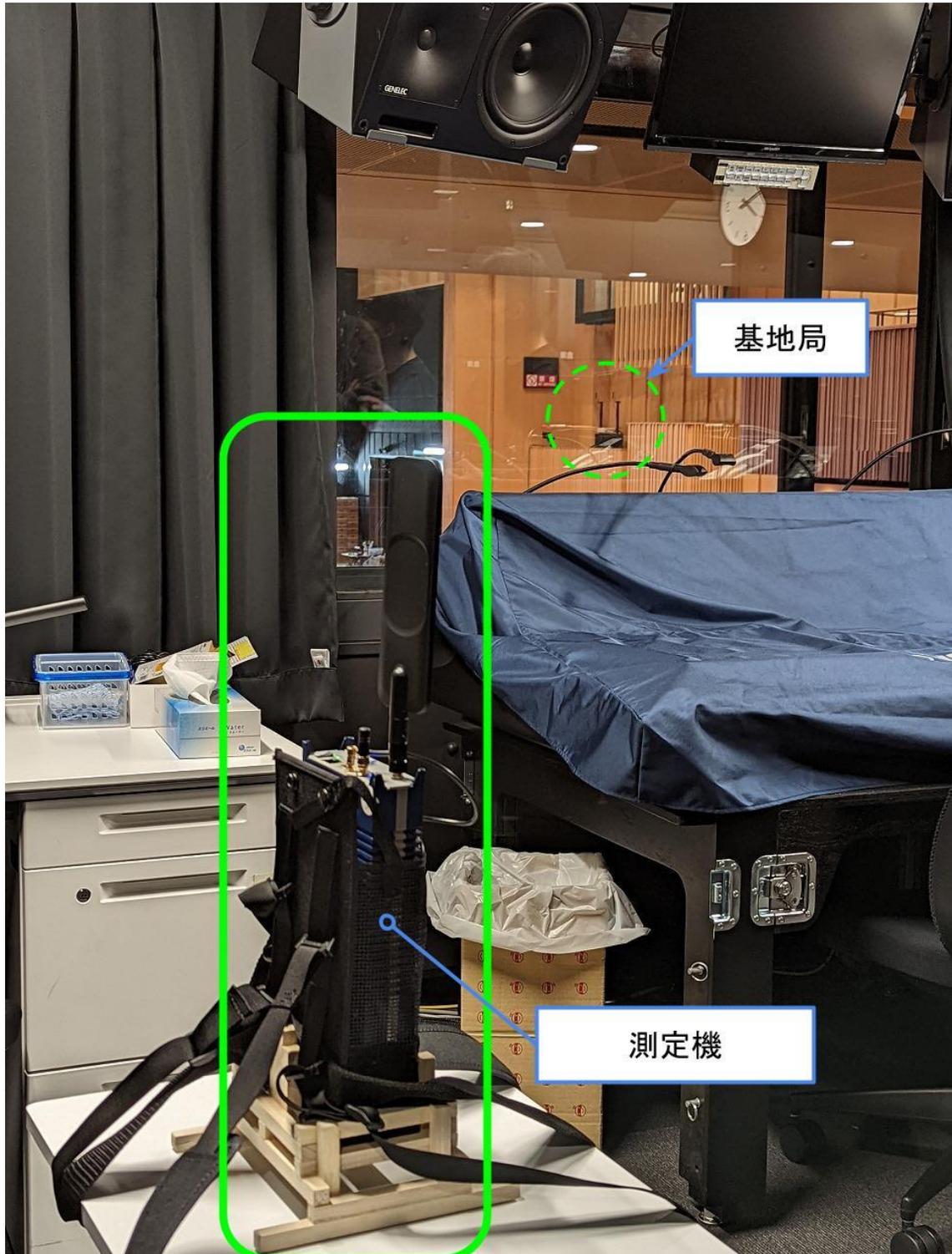
以上の結果を元に壁面の前後で測定値同士の差分を計算し、壁面減衰値の実測値とした。そして、その実測値と推定値との比較を下表に示す。

表 3.3.18 R の推定値と実測値をもとにした減衰値の比較

| 周波数 | 壁面 | 仮説時の R[dB] | 実測値に基づく R[dB] |
|--------|----------|-------------|---------------|
| 4.8GHz | 壁面 1 | 24.46～48.92 | 56.78 |
| | 壁面 2 (内) | 54.35～78.81 | 67.5 |
| | 壁面 2 (外) | 27.2 | 算出不能 |
| | 壁面 3 (内) | 19.13～33.81 | 5.63 |
| | 壁面 3 (中) | 24.46～48.92 | 36.38 |
| | 壁面 3 (外) | 2.97 | 算出不能 |

比較した結果、壁面 1 と壁面 3 (内) についてやや精度を欠く結果となった。前者の実測値が大きくなった要因については、外壁による減衰が想定よりも大きかった可能性が考えられる。ただし、西側 (ステージ側) 以外の外壁について減衰量の実測データが得られていないため、要因を外壁に限定せず西側固有の他の条件に起因するものである可能性についても考慮しなければならない。後者の実測値が小さくなった要因については、面積率の配分の見直しで改善される可能性がある。壁面 3 (内) の外側測定点のある音響調整室からは、窓ガラス越しとはいえ基地局アンテナまでの見通しが確保できており、測定機で受信される電波のほとんどはガラス越しに届いていたと考えられる。壁面の透過減衰を予測する場合の面積率は、壁面全体に占める窓ガラスの割合よりも、送信アンテナから受信アンテナまでを直線距離で結んだ線上に存在する物体の材質による場所が大きいとされる。以下に音響調整室からの見通し状況を示す。

図 3. 3. 76 音響調整室から基地局アンテナまでの見通し状況



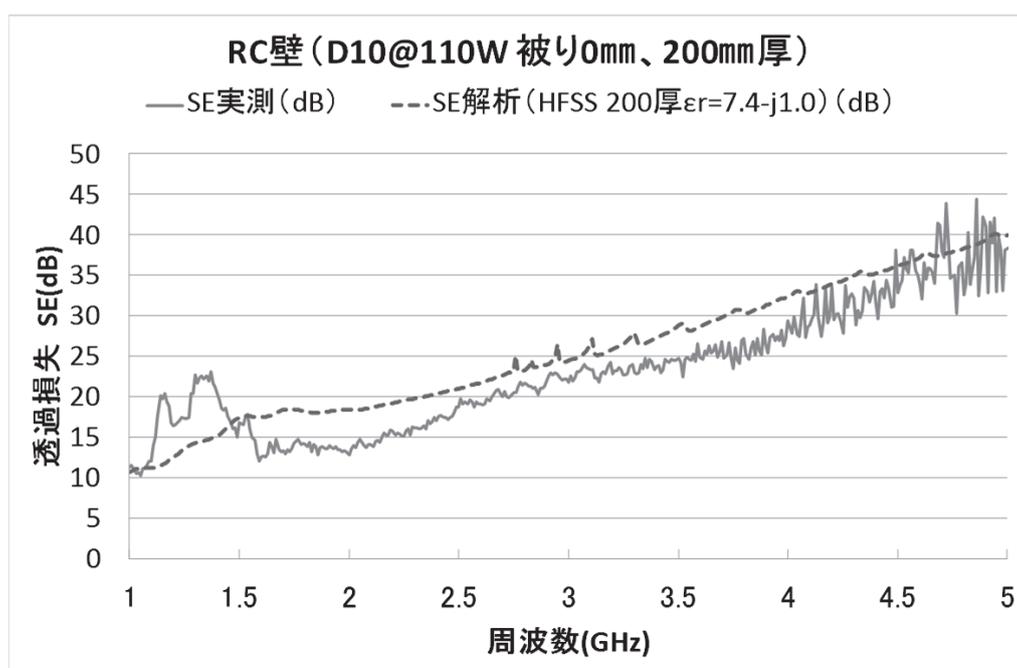
そのほか、遮音壁による減衰についても上記結果から考察を行う。遮音壁については、仮説時に使用素材が不明瞭であったため「密度が低い場合の最低値を空気と同等（距離による減衰のみ）とし、密度が高かった場合の最大値をコンクリートと同等」として幅を持たせ計算を行っていた。しかし、実際のところ遮音壁を構成する素材は、表面の木材を除けば、グラスウールと石膏ボード、それと間に存在する空気層である。表

面の木材および石膏ボードの厚さは1枚当たり10mm～20mm程であり、これらが厚さ200mm程度の鉄筋コンクリート壁と同等の透過損失を持っているとは考えにくい。また、グラスウールに関しては、厚さが50mm程と石膏ボードなどと比べると厚いものの、その構成素材は空気とガラスの繊維であり、こちらも鉄筋コンクリート壁と同等の透過損失を持ち合わせている可能性は低いと考えられる。そのため、コンクリート壁そのものの減衰量がITU R M. 2412に定義されているコンクリートの減衰値より大きかったのではないかと考えられる。

これについて、ITU R M. 2412の資料を再度確認したところ、当該資料では記載されているコンクリートの減衰値について、コンクリート試験片の厚みや数式上基準とした厚みについての言及を見つけることはできなかった。また、記載されている数式においても、壁面の厚みについてのパラメーターや補正値は設定されておらず、当該資料の減衰値をそのままRの精緻化に应用するのは困難であるとの判断に至った。

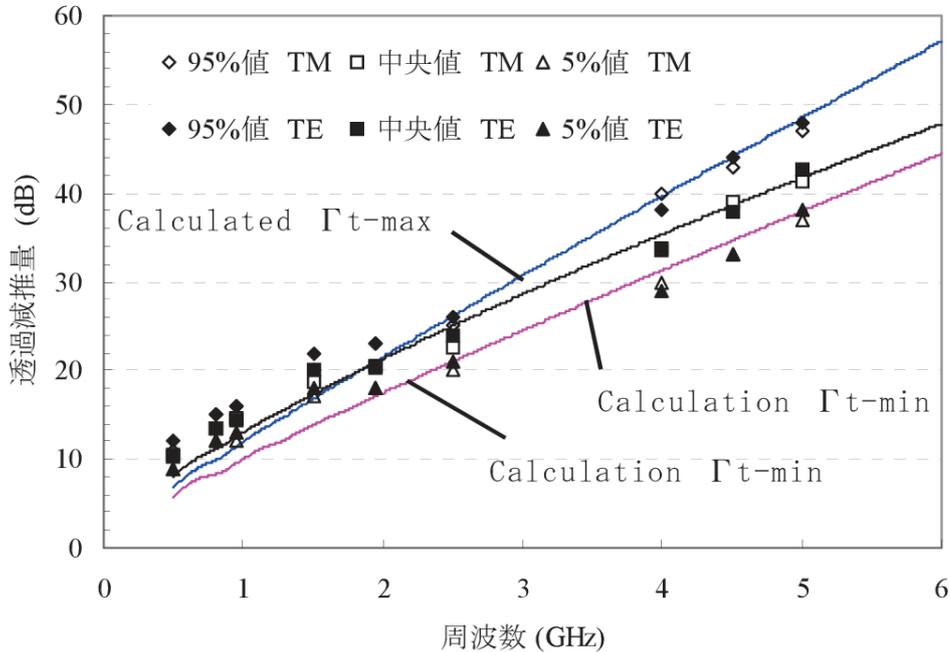
上記の問題を解消するため、新たにコンクリートの減衰値を予測するにあたって、下記2点の資料を参照することとした。

図 3. 3. 77 RC 壁試験体の透過損失 実測（実線）と解析（破線）



(出所) 特集 マイクロ波・ミリ波帯における材料定数計測とその応用 『鉄筋コンクリート壁の比誘電率推定』
 (https://www.jstage.jst.go.jp/article/sicej1/53/3/53_177/_pdf) より『図 8 RC 壁試験体の透過損失 実測（実線）と解析（破線）』のグラフを引用

図 3.3.78 RC 壁の透過減衰性能

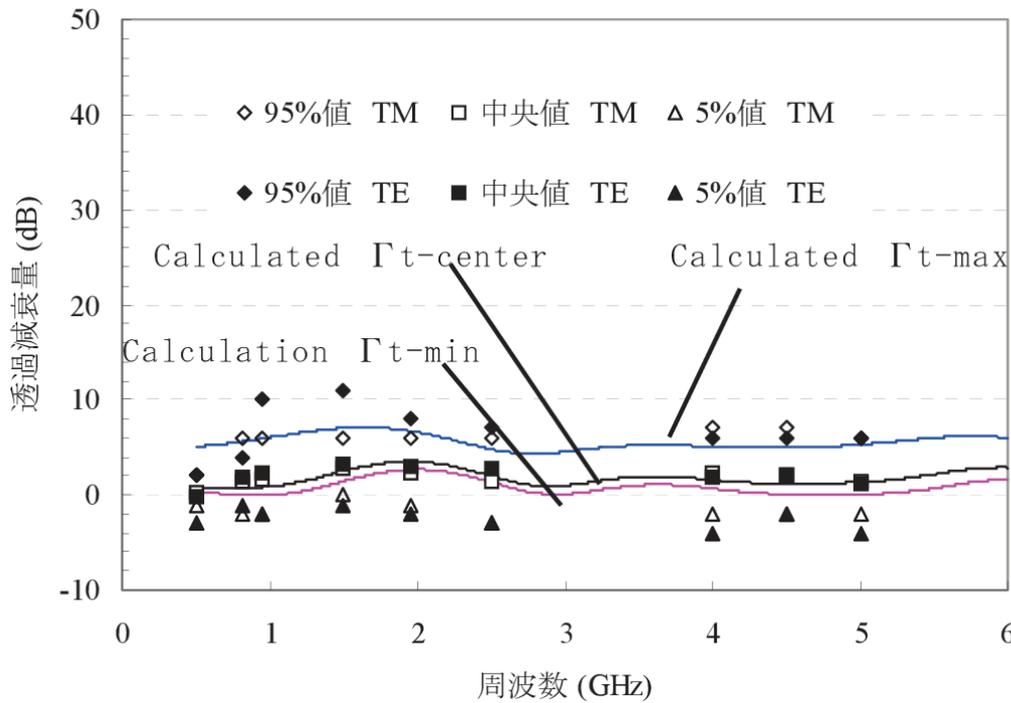


(出所) 大成建設技術センター報 第 38 号(2005) 『屋内電波環境推定のための一般建築材料の透過反射特性に関する実験的検討』
 (https://www.taisei.co.jp/giken/report/01_2005_38/paper/A038_044.pdf) より『図-7 RC 壁の透過減衰性能』のグラフを引用

前者は 200mm 厚の鉄筋コンクリート試験片に対するグラフであり、後者は 150mm 厚の鉄筋コンクリート試験片に対するグラフである。両者のグラフから、4.85GHz の周波数において鉄筋コンクリートが概ね 35~40dB 程度の減衰値を示すことが分かる。ITU R M. 2412 に基づく減衰値が 24.46dB であったことから、当該減衰値と上記 2 点のグラフとの間で値の取り方に乖離があることが分かる。ITU R M. 2412 記載のコンクリートについては、これの基準となる厚みだけでなく、材質（単なるコンクリートなのか鉄筋コンクリートなのかなど）についても不明瞭なため、前提としている素材からして異なっている可能性もある。今回は厚みと材質の明示されている上記 2 点のグラフを基準とし、R の推定値について再度計算を行うこととした。

また、ITU R M. 2412 において減衰値の記載のなかった石膏ボード (PB 壁) についても前述の資料に測定値グラフの記載があったため、これについても推定値の再設定を行った。引用した当該グラフを以下に示す。

図 3.3.79 PB 壁の透過減衰性能



(出所) 大成建設技術センター報 第 38 号 (2005) 『屋内電波環境推定のための一般建築材料の透過反射特性に関する実験的検討』
 (https://www.taisei.co.jp/giken/report/01_2005_38/paper/A038_044.pdf) より『図-8 PB 壁の透過減衰性能』のグラフを引用

そして、これらの新しく引用した値に基づいた推定値の表を以下に示す。

表 3.3.19 再設定した R の推定値と実測値をもとにした減衰値の比較

| 周波数 | 建物 | 材質 | 厚さ | 面積率 | R[dB] (①) | 実測値 [dB] (②) | 誤差 (①-②) |
|--------|------|-----------------|--------------------------|------|--------------|--------------------|-------------|
| 4.8GHz | 壁面 1 | 遮音材 (石膏ボード) | 15mm + 15mm + 15mm | 100% | 2dB | 56.78dB | -11.03dB |
| | | 遮音材 (グラスウール) | 50mm | 100% | 0dB | | |
| | | コンクリート | 250mm | 100% | 43.75dB | | |

| | | | | | | | |
|-----------------|-------------|-----------------|------------------------------|------|--------|---------|--------|
| | 壁面 2 (内) | 木材 | 7~10mm | 100% | 1dB | 67.5dB | 5.5dB |
| | | 遮音材 (石膏ボード) | 12.5+9.5~ 21+15mm | 100% | 2dB | | |
| | | 遮音材 (グラスウール) | 50mm | 100% | 0dB | | |
| | | コンクリート | 200mm + 200mm | 100% | 70dB | | |
| | 壁面 2 (外) | 石膏ボード | 12.5 + 9.5mm | 90% | 1.8dB | 算出不能 | --- |
| | | コンクリート | 200mm | 90% | 31.5dB | | |
| | | ガラス | 6 + 8mm | 10% | 0.3dB | | |
| | 壁面 3 (内) | 木材 | 12.5 + 9.5 ~ 21 + 15mm | 10% | 0.1dB | 5.63dB | 0.84dB |
| | | 遮音材 (石膏ボード) | 12.5+9.5~ 21+15mm | 10% | 0.2dB | | |
| | | 遮音材 (グラスウール) | 50mm | 10% | 0dB | | |
| | | コンクリート | 200mm | 10% | 3.5dB | | |
| | | ガラス | 6~10mm | 90% | 2.67dB | | |
| | 壁面 3 (中) | 遮音材 (石膏ボード) | 12.5 + 9.5mm | 100% | 2dB | 36.38dB | 0.62dB |
| 遮音材 (グラスウール) | | 50mm | 100% | 0dB | | | |
| コンクリート | | 200mm | 100% | 35dB | | | |

| | | | | | | | |
|--|-------------|-----|---------|------|--------|------|-----|
| | 壁面 3 (外) | ガラス | 10～30mm | 100% | 2.97dB | 算出不能 | --- |
|--|-------------|-----|---------|------|--------|------|-----|

鉄筋コンクリートの減衰値として、最小ケースの厚さ 200mm 当たり 35dB と仮定した。また、石膏ボードは 12.5+9.5mm の 2 層構造の状態 で 2dB、ガラスは従来通り厚さに関わらず ITU R M. 2412 に基づく値を採用した。木材に関しては石膏ボードが厚さ約 20mm で 2dB というのを考慮し、厚さ約 10mm の場合で 1dB と設定した。

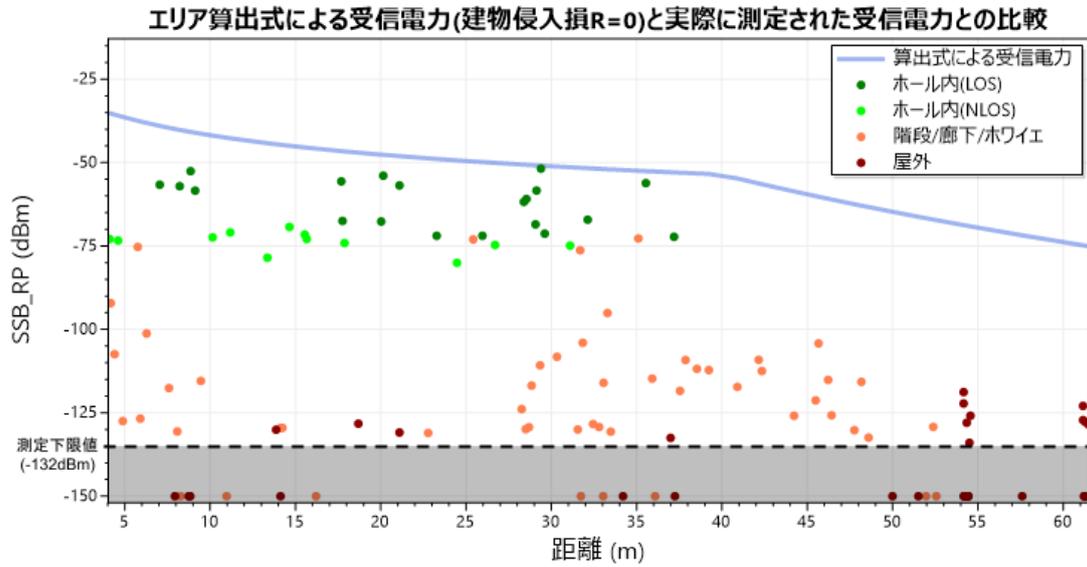
壁面 3 (内) の面積率のパーセンテージに関しては、ガラス窓越しにアンテナまでの見通しが取れていることを考慮し、ガラス窓による減衰が支配的になるよう 90%に変更を行った。以下に音響調整室から見た壁 3 (内) および基地局アンテナまでの見通し状況を示す。床から天井までの壁面に対する単純な割合ではなく、見通し状況など直線距離での電波伝搬を考慮することが重要なのではないかと考えられる。

以上の変更により、R の推定値について、大幅な精度の向上が見られた。測定が不可能であった壁面を除いては、壁 1 についてのものが最も精度が低くなっているが、これは屋外 RC 壁に対しては外壁タイルなど屋外用の建築素材の減衰分があるためではないかと予想をしている。それ以外の屋内の壁面に関しては、予測値として十分な精度になったのではないかと考える。

(4) 最小二乗法による R の推定に関して

前段の、R の推定値の精度向上とは別に、エリア算出式に対しての R の精緻化も行った。まずは距離別にプロットしたグラフを以下に示す。グラフではホール内 (LOS)、ホール内 (NLOS)、階段/廊下/ホワイエなどホール外の屋内測定点、そして屋外測定点にて 4 つに分類を行い色分けした。また、使用測定機で測定可能な受信電力 (-132dBm) を下回った測定点については、測定不能であった点として有効なデータ群と区別できるように測定下限値から 18dBm のクリアランスを設けグラフ下端 -150dBm の位置に描画を行った。

図 3.3.80 エリア算出式による受信電力と実際に測定された受信電力との比較

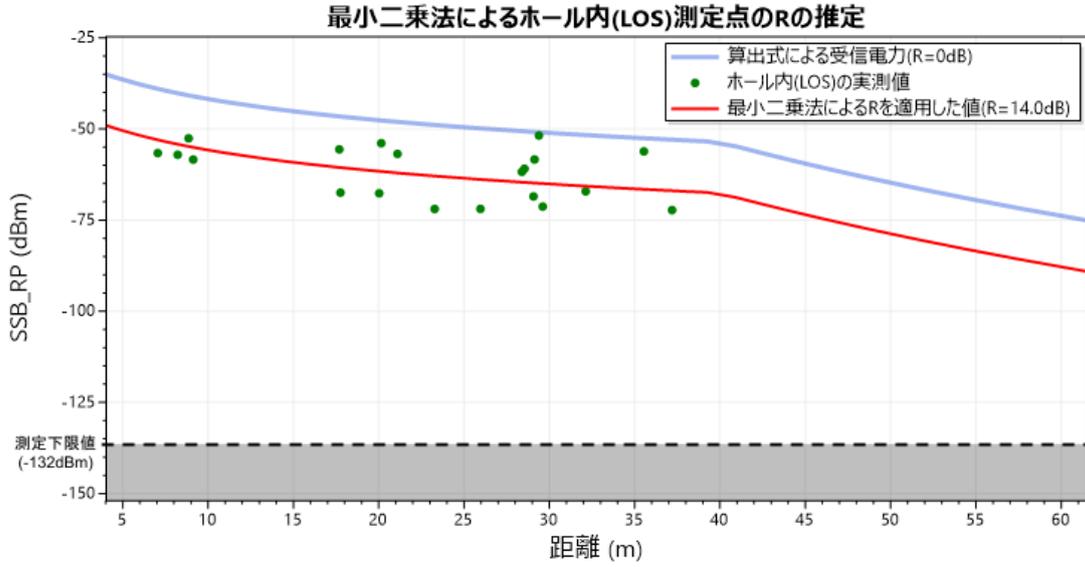


(出所) コンソーシアム作成

上記グラフではエリアを4種類に分類し色分けを行った。ホール内(NLOS)以外の測定点はあまり距離に相関せず数値のばらつきが大きいことが分かる。屋外測定点に関しては、測定点に到達する受信電力が極めて低いため、そのほとんどが測定機の測定限界である-132dBm 近辺若しくは測定不能となってしまっている。そのため、屋外の測定可能であった点のみを抽出し最小二乗法によるRの推定を行う場合は、ある程度データの偏りの発生が懸念される。

最小二乗法によってホール内のLOS条件におけるRを算出した結果を以下に示す。ホール内(LOS)においてRは14dBとなった。

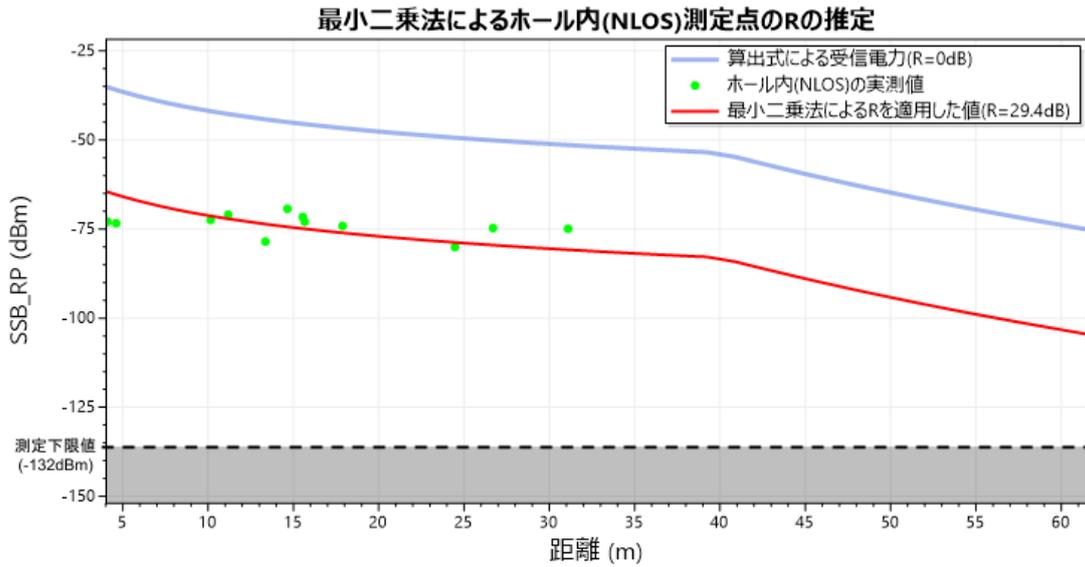
図 3.3.81 最小二乗法によるホール内(LOS)測定点の R の推定



(出所) コンソーシアム作成

また、ホール内の NLOS 条件の測定点についても同様に推定を行った。以下にその図を示す。ホール内(NLOS)においての R は 29.4dB となった。

図 3.3.82 最小二乗法によるホール内(NLOS)測定点の R の推定

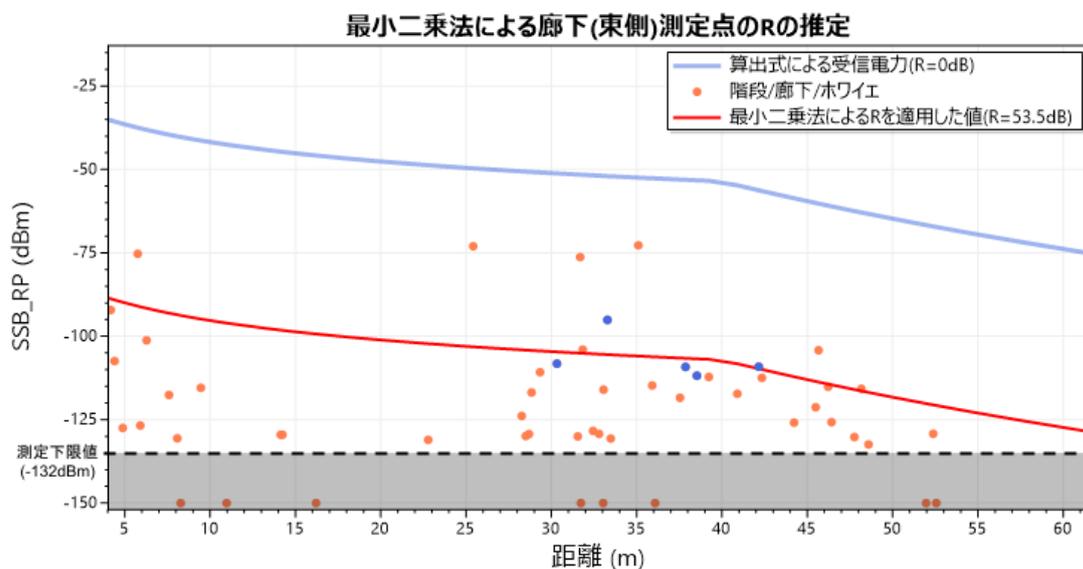
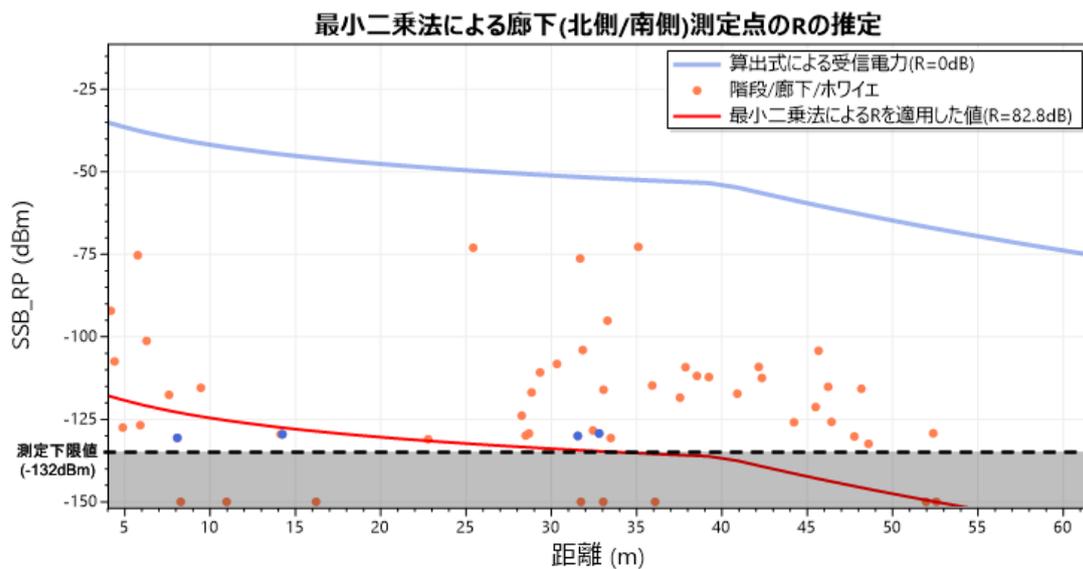


(出所) コンソーシアム作成

屋内かつホール外の測定点(階段/廊下/ホワイエの測定点)については、値のばらつきが大きいため、廊下での測定データのみを抽出し R の推定を行った。また、廊下のデー

タに関しては、壁面構造の違いを考慮し、北側および南側と、それ以外の東側とに細分化を行っている。以下にその結果を示す。図中の青い点がRの推定に使用した点である。

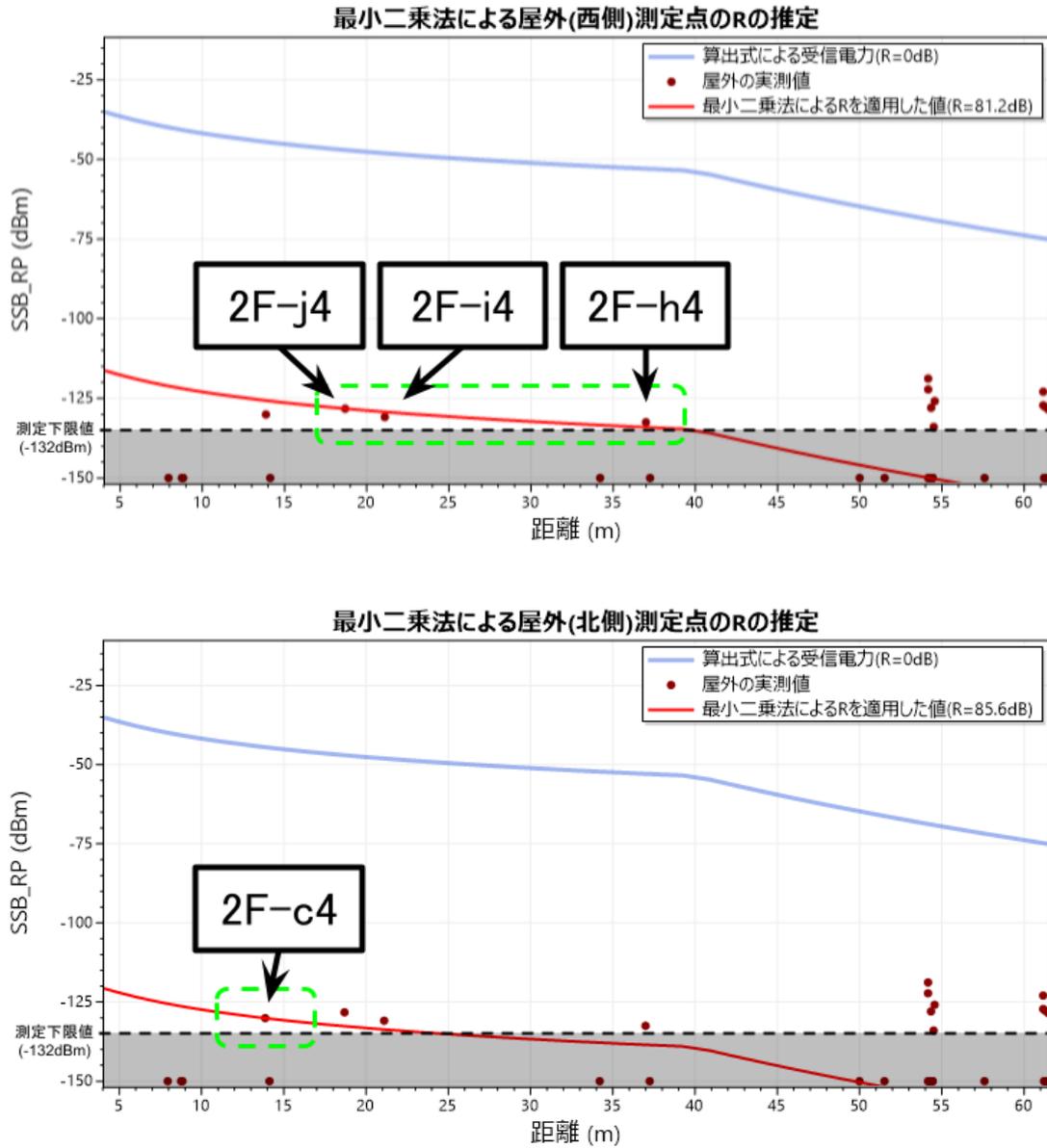
図 3. 3. 83 最小二乗法による廊下測定点の R の推定



(出所) コンソーシアム作成

屋外の点についても最小二乗法による R の推定を行った。こちらは実証会場の西側と北側に細分化を行った。以下にその結果を示す。

図 3.3.84 最小二乗法による廊下測定点の R の推定



(出所) コンソーシアム作成

北側の屋外測定点に関しては有効な値を取得できた測定点が 1 点しか存在しなかったため、その 1 点のみの値を使用して R の推定を行っている。

以上、それぞれの箇所の R について二乗平均平方根誤差(RMSE)も導出し、以下の表にまとめた。

表 3.3.20 場所ごとの R の推定値

| 測定点の条件による分類 | 算出した R[dB] | 二乗平均平方根誤差(RMSE) [dB] |
|-------------|------------|----------------------|
| ホール内(LOS) | 14 | 6.36 |
| ホール内(NLOS) | 29.4 | 4.7 |
| 廊下(北側/南側) | 53.5 | 5.54 |
| 廊下(東側) | 82.8 | 5.28 |
| 屋外(西側) | 81.2 | 1.31 |
| 屋外(北側) | 85.6 | 0 |

(5) R の精緻化結果とまとめ

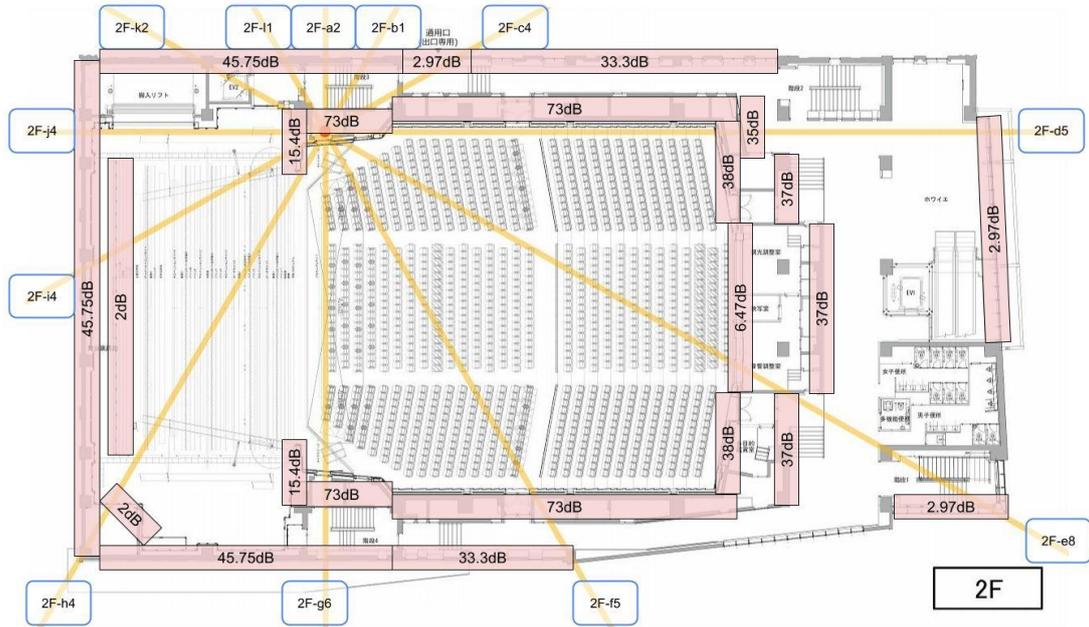
本実証での R は前述の通り、壁面材質から各壁面の透過損失を推定し、基地局設置位置から外壁までの透過損失の合算を求め、それを R とすることを目指している。今回採用した材質ごとの透過損失を下表にまとめた。

表 3.3.21 材質ごとの透過損失

| 周波数 | 材質 | 基準とする厚み[mm] | 透過損失[dB] |
|--------|-------------|----------------|----------|
| 4.8GHz | 木材 | 10 | 1 |
| | 石膏ボード(二層構造) | 12.5 + 9.5 | 2 |
| | グラスウール | 50 | 0 |
| | コンクリート | 200 | 35 |
| | ガラス | (厚みに関わらず一律に適用) | 2.97 |

また、上記に基づいて算出した壁面ごとの透過損失をフロアマップ上にプロットし、外壁に沿った 12 の点(以下「評価点」という。)についての評価を行った。各評価点の位置と名称は測定点の位置と名称に倣っている。

図 3.3.85 各壁面の推定透過損失と各評価点の位置



(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成

各評価点における誤差を下表にまとめた。測定時に測定不能であった測定点は測定された受信電力を測定機カタログ記載の下限値である -132dBm だったものと仮定し、そこから $R=0$ としたエリア算出式による受信電力を差し引くことで R を算出している。あくまで参考値として記載をしているので、下表では当該数値をカッコで囲い、その数値以上である可能性が高いことが分かるように $\circ\circ$ 以上として表に記載している。また、最小二乗法で算出したホール内(LOS)測定点の $R(14\text{dB})$ をエリア算出式の算出値と実測値全般に対する誤差だと仮定し、これを補正するために各測定点の実測値から 14dB を差し引いた状態で比較を行った。

表 3.3.22 各評価点における R の推定値と実測値の比較

| 評価点名 | 推定値 R[dB] | 実測値に基づき算出した R[dB] | 平均二乗誤差 (RSME) [dB] |
|-------|-----------|-------------------|--------------------|
| 2F-a2 | 118.75 | (78.08 以上) | 4.86 |
| 2F-b1 | 118.75 | (77.22 以上) | |
| 2F-c4 | 75.97 | 71.57 | |
| 2F-d5 | 75.79 | (53.26 以上) | |
| 2F-e8 | 46.44 | (46.20 以上) | |
| 2F-f5 | 106.3 | (65.05 以上) | |
| 2F-g6 | 118.75 | (65.78 以上) | |
| 2F-h4 | 63.15 | 65.62 | |
| 2F-i4 | 63.15 | 68.83 | |
| 2F-j4 | 61.15 | 67.23 | |
| 2F-k2 | 118.75 | (73.35 以上) | |
| 2F-11 | 118.75 | (77.3 以上) | |

今回の実証の R の精緻化結果として、推定値に基づくエリア図を以下に示す。

図 3.3.86 推定値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の作図結果



(出所) コンソーシアム作成

また、比較対象として、実測値に基づくエリア図についても以下に示す。

図 3.3.87 実測値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の作図結果



(出所) コンソーシアム作成

上の図の通り、両者とも屋外にはカバーエリアおよび調整対象区域が存在しないという結果となった。そのため、エリア端は建物外壁のラインに沿って存在しているものとして作図を行っている。

そして、エリア算出法に基づくエリア図と、本実証推定値 R に基づくエリア図との比較を以下に示す。両者のエリア端までの距離の差（すなわちエリア算出法に基づくエリア端から実証会場外壁までの距離）は、最大で 56m、最小で 0m となった。

図 3.3.88 エリア算出法に基づくエリア図と推定値に基づくエリア図のエリア端までの距離の比較



(出所) コンソーシアム作成

今回の実証では、壁面素材から各壁面の透過減衰値を推定し、それを積算することで建物全体の減衰値であるパラメーター R の値を算出した。この手法による R の推定値は最小で 61.15dB、最大で 118.75dB となった。この推定値の実測値との平均平方二乗誤差は 4.86dB となっており、エリア算出法の 52.16dB と比較して、47.3dB の精度向上が見られた。また、結果から、遮音壁による減衰より RC 壁（鉄筋コンクリート壁）による減衰の方が、全体の減衰量に占める割合が高いことが分かった。このことから、壁面を構成する素材について細かい情報が得られない環境においても、コンクリート壁面の配置や枚数、厚さを参照することで、従来のエリア算出法より高い精度の推定が可能であると考えられる。また、この手法は遮音性能の優れた施設に限らず適用可能な可能性が高い。ただし、窓など開口部のある壁面については本実証で得られたデータが乏しいため、開口部の存在がどの程度壁面の透過減衰に影響を与えるのかについて定量的な評価が行えておらず、現段階では開口部の少ない建物での推定に限定する必要があると考えられる。したがって、建物進入損 R が 16.2 より大きくなると予想されるような鉄筋コンクリート造で開口部の少ない建物において、今回の精緻化手法を用いることで、従来手法では必要であった干渉調整の省略など手続きの簡略化と置局点の自由度向上が期待できる。ローカル 5 G の今後の普及展開にも十分寄与する結果が得られたと考えられる。

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

音楽コンサート、スポーツ中継等のイベント（オンライン配信を目的とした無観客公演を含む）の開催に当たっては、イベントの大小を問わずカメラ等の撮影機材のケーブル設営に多くの時間と多額の費用が必要であり、公演を運営する事業者の大きなコスト課題となっている。

※ライブイベントの撮影機材はオンライン配信又は映像作品としての販売用に用いられる。

また、新型コロナウイルス感染拡大以降、ライブ・エンターテインメント業界ではリアルタイムのオンライン配信による公演開催が急増している。

今後は新型コロナウイルス影響下の新しい生活様式が定着することにより、感染終息後も会場への動員を十分に回復させることは困難になるとの見方もあり、ライブ・エンターテインメント業界の今後の発展のためには、イベント事業のオンライン配信を技術インフラとして高度化し、様々な側面での収益化を図っていく必要があると考えられている。

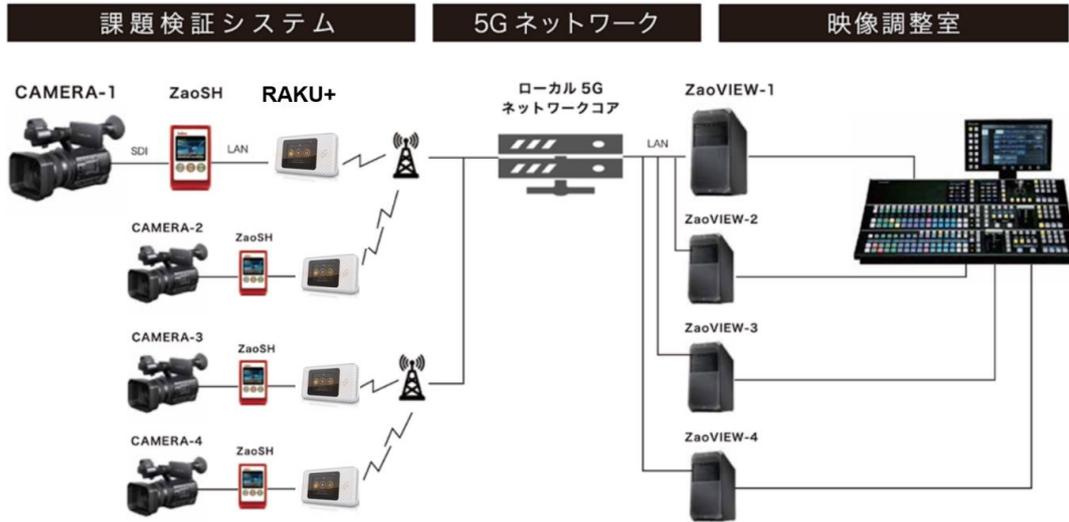
この点、イベントで使用する撮影用カメラ機材をワイヤレス化することで、会場のケーブル設営コストを大幅に削減することが可能である。また、これによりライブイベントの演出側面では、ワイヤレス化によってケーブルに依存しないカメラワークが可能となり、オンライン配信の価値・視聴者に対する訴求力の向上につながると考えられる。

上記の理由からも、現在危機にあるライブ・エンターテインメント業界においては、ワイヤレスカメラによるオンライン配信モデルの構築が期待されているが、そのためには複数台の高精細カメラの映像をオンライン配信に耐えうる品質で安定的に伝送する必要がある、従来の無線通信システムでは実現が困難であった。

本実証は、上記課題の解決のため、ローカル5Gを活用したワイヤレスカメラによる映像転送システムの開発・実証を行ったものである。

また、このほか令和4年度からの事業化に向けた効果・機能・運用検証として、ワイヤレス化によるコスト削減効果及び演出効果、映像配信のための機能要件、運用上想定される課題等について検証するとともに、実証場所における令和4年度以降の実装及び他のコンサートホールへの横展開の方策について検討した。

図 4.1.1 課題実証のシステム



※本実証システムの基本的な構成は Zao-SH 及び Compal 社製端末（RAKU+）を用いることとしているため、上図では京セラ製端末を省略している。

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

(1) イベント運営事業者の課題

① イベント運営事業者の撮影機材のケーブル設営等業務の削減

音楽・スポーツ・演劇などのビジネスモデルにおいては、イベント運営事業者が会場所有者と利用契約を結んだ上で、演目を決定し興行を執り行う形が一般的である。

運営事業者は、会場設営や来場者の誘導を含めたすべてのオペレーションを包括して行い、費用負担をした上で、来場者へのチケット・グッズ販売により主な収益を得ている。

イベント運営事業者が負担するオペレーション及び費用の内、映像機材のケーブル、光伝送機器、ケーブル敷設・撤収の人件費コストが占める割合は大きく、実証場所である LINE CUBE SHIBUYA（渋谷公会堂）の規模では、一般的に 1 公演当たり合計約 60 万円のコストを要している。また、アナログケーブルの延長上限が 100 メートル程度のため、会場規模が大きくなった場合にはそれ以上の距離を延伸するために、高価な光伝送装置の導入が必要になるなど、施設の規模が大きくなるとケーブル敷設コストはさらに増加する傾向にある（表 4.2.1 参照）。

表 4.2.1 一般的なケーブル関連コスト内訳

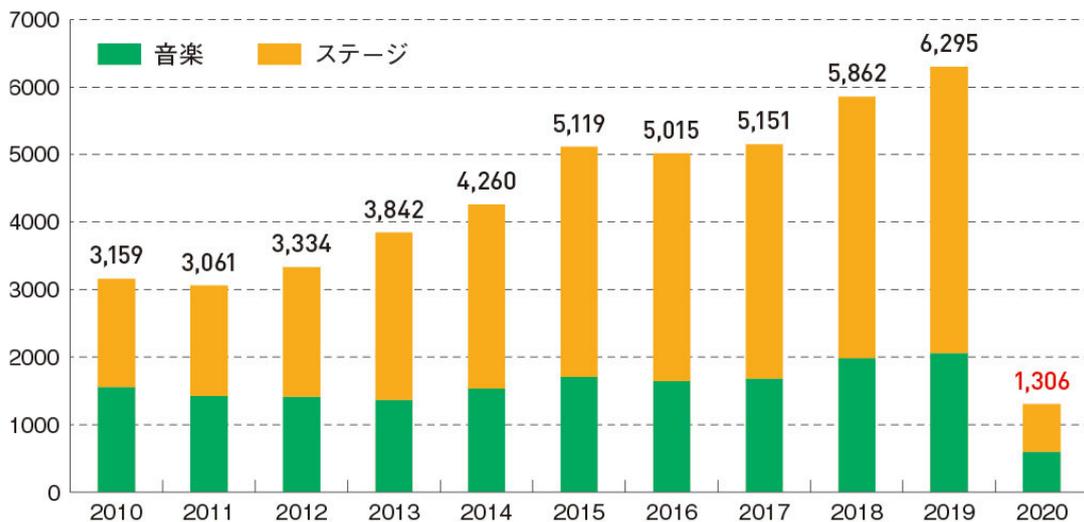
| ① ケーブルコスト | | | | | |
|--------------------|-------|------------------------------------|--------|------|------------|
| 支出項目 | カメラ台数 | ケーブル本数 | 見積単価/日 | 稼働日数 | 金額 |
| LINE CUBE | 10 | 20 | 5000 | 2 | ¥200,000 |
| 東京ガーデンシアター | 18 | 150 | 5000 | 2 | ¥1,500,000 |
| 横浜アリーナ | 25 | 290 | 5000 | 2 | ¥2,900,000 |
| 国立競技場 | 50 | 540 | 5000 | 2 | ¥5,400,000 |
| ② 光伝送機器コスト | | | | | |
| 支出項目 | カメラ台数 | セット数 (光伝送機の 受信機・送信 機のセット) | 見積単価/日 | 稼働日数 | 金額 |
| LINE CUBE | 10 | 2 | 50000 | 2 | ¥200,000 |
| 東京ガーデンシアター | 18 | 5 | 50000 | 2 | ¥500,000 |
| 横浜アリーナ | 25 | 20 | 50000 | 2 | ¥2,000,000 |
| 国立競技場 | 50 | 40 | 50000 | 2 | ¥4,000,000 |
| ③ ケーブル敷設・撤収関連人件コスト | | | | | |
| 支出項目 | カメラ台数 | 人数 | 見積単価/日 | 稼働工数 | 金額 |
| LINE CUBE | 10 | 10 | 30000 | 2 | ¥600,000 |
| 東京ガーデンシアター | 18 | 18 | 30000 | 2 | ¥1,080,000 |
| 横浜アリーナ | 25 | 25 | 30000 | 2 | ¥1,500,000 |
| 国立競技場 | 50 | 50 | 30000 | 2 | ¥3,000,000 |

② 配信モデルの高付加価値化

新型コロナウイルス感染拡大以降、感染拡大防止の側面から断続的に会場集客には大きな収容制限がかけられていることから、2020年のライブ・エンターテインメントの市場規模は前年2019年度比で80%近く縮小し、これは飲食市場の縮小幅である40%を大きく上回る数値である。

図 4.2.1 ライブ・エンターテインメントの市場規模の推移

ライブ・エンターテインメント市場規模の推移（出典：ぴあ総研）



※「ライブ・エンターテインメント市場規模=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の合計」と定義。2020年は10月25日時点試算額。

（出所）公益社団法人日本芸能実演家団体協議会実演家著作隣接権センターWEB サイト
https://www.cpra.jp/cpra_article/article/000645.html

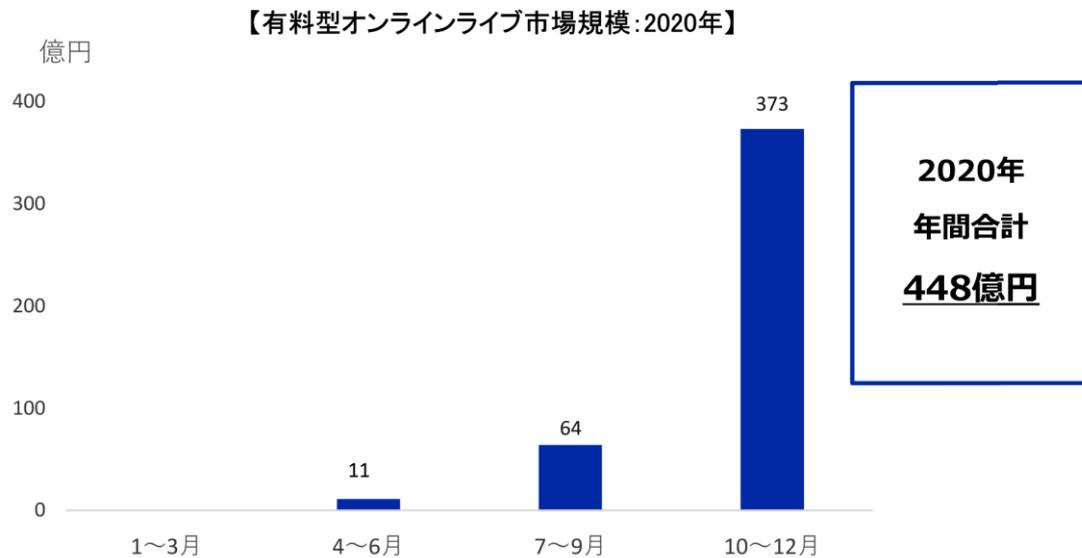
そうした中、飛躍的に存在感を増しているのがオンライン配信である。

従来のイベント事業においても副次的なビジネスモデルとしてライブ中継は行われていたが、テレビ局や衛星放送局との協業モデルのような形が中心で、運営事業者や会場所有者が主体となってオンライン配信を行うような形は非常に稀であった。

これは2019年時点では1社のみだった有料課金に対応したオンライン配信プラットフォームに、2021年時点で30以上のプレーヤーが参入している状況からも、急激な市場拡大が見て取れる。

今後は新型コロナウイルス影響下の新しい生活様式が定着することにより、感染終息後も会場への動員を十分に回復させることは困難になるとの見方もあり、ライブ・エンターテインメントのオンライン市場は、今後も継続して拡大していくと考えられている。

図 4.2.2 オンラインライブの市場規模



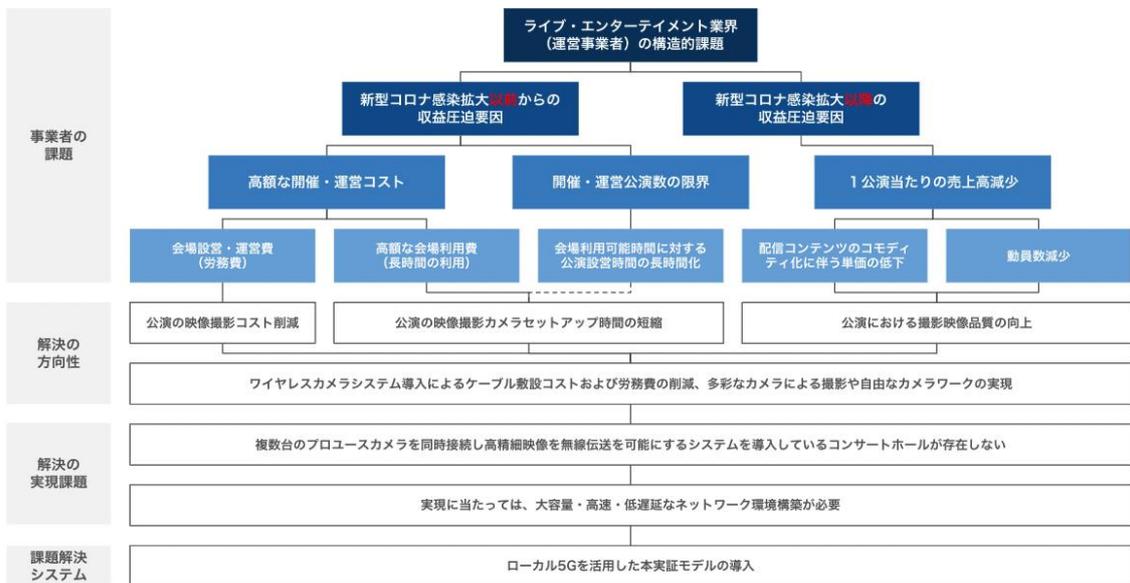
(出所) ぴあ株式会社 WEB サイト

(https://corporate.pia.jp/news/detail_live_enta_20210212.html)

一方で、既存のイベント収録・放送技術は、放送局のノウハウを中心にしたものであり、費用感としてもコモディティ化には至っていない。また、現在のオンライン配信モデルは単に映像を配信しているにすぎないことから視聴者に対する訴求力も弱く、回を重ねるごとに単価が下がり、客数が減少するなど、1公演当たりの動員数が減少していることも指摘されている。

オンラインライブ配信はコロナ収束後も新しい収益基盤のフォーマットとして残っていくものと想定されるが、より機能的なテクノロジーの導入によるコスト構造の改善やブレイクスルーによる一般化が求められている。

図 4.2.3 イシューツリー



(2) 実証システムの課題解決における位置付け

(1) のイベント事業者が抱える課題解決の手段として、撮影機材(カメラ)のワイヤレス化が期待されている。

具体的には、ワイヤレス化によって、ケーブル敷設・撤収等の会場設営に係る費用負担が削減されるほか、会場利用費及び公演開催数の限界(機会損失)の原因となっている公演前後の期間(設営・撤収)の短縮化が期待されている。また、カメラのワイヤレス化によって、ケーブルの配線に制約を受けないカメラワーク及びアングルからの撮影が可能となるため、演出の制約が緩和されることから、視聴者にとって価値のある新たな映像体験を実現できると考えられている。

一方で、複数台のカメラから高精細映像を配信し続けることができる実用的な無線システムが存在しない(ピアツーピアで無線映像伝送するシステムは主に海外で使用されているが、通信バンドを切り替える形で3~4台程度のカメラを限度に同時接続するものであり現行通信方式における現在以上の拡張性はない)ことから、ライブイベントのオンライン配信に当たってこれまでワイヤレスカメラを活用することが困難となっていた。

このため本実証は、上記の実現課題(ボトルネック)を解消し、ワイヤレスカメラによるオンライン配信モデルを構築することで、現状のオンラインライブ配信にブレークスルーをもたらすものである。

(3) 実証システムの実装課題と本実証の意義・目標

① 実証システムの実装課題

a) 可用性・導入効果の不明確性

上記のとおりワイヤレス化の実現によって現存する課題の解決（コスト負担削減・表現効果の向上）につながると考えられるが、複数の撮影機材から同時に映像を無線で伝送する本実証システムでは、大容量の通信システムが必要となるほか、限りなく低遅延であることが求められる（※）。

※放送技術の基礎的なフレームワークとして、中継されたすべての映像データは同じ時間軸上で再生される必要があり、ユーザーの視聴体験に違和感のないサービスを提供するための許容値はそれほど大きくはない。そのために各カメラから伝送される映像の遅延量を任意の固定値に揃える形で「遅延補正」を行うシステムを構築する必要があるが、エンドツーエンドで264ms以上の遅延が発生した場合、高価な入出力システムに代替する必要があるため、経済合理性の観点からも低遅延性が求められる。

上記のとおり高度な通信システムを活用した映像伝送システムであることから、従来のLTE回線では通信速度及び遅延性の観点から実現が難しく、また高い安定性が求められるライブ配信事業においてはキャリア5GやWi-Fi6でも実装が困難である。したがって超高速・超低遅延の特性を有し、免許制による高い安定性を確保できるローカル5Gを活用する必要があるが、これまで複数の撮影機材からの無線映像伝送及び遅延補正のフィージビリティが検証されたことがなく、実証システムの可用性及びその導入効果が未検証であることがユーザー企業にとっての実装課題となっている。

表 4.2.2 無線通信回線の簡易比較

| | ローカル5G | キャリア5G | Wi-Fi6 | Wi-Fi | 4G/LTE |
|------|--------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 通信速度 | ○ | ○ | ○ | × 比較的速度が遅い | × 比較的速度が遅い |
| 遅延性 | ○ | ○ | ○ | × 比較的遅延量が多い | × 比較的遅延量が多い |
| 安定性 | ○ | × 免許制ではなく干渉・混信による不安定性の懸念 | × 免許制ではなく干渉・混信による不安定性の懸念 | × 免許制ではなく干渉・混信による不安定性の懸念 | × 免許制ではなく干渉・混信による不安定性の懸念 |

b) 安定性等機能面の不明確性

また、上述のとおり従来の有線接続の場合には多額のコスト負担が発生すると同時に表現効果も限定的であるといった課題を有するものの、高品質（高ビットレート）の映像を低遅延で伝送可能であるとともに、映像伝送の高い安定性（映像品質の劣化や欠損を生じずに必要な時間継続運用できること）を確保することができる。このため本実証システムにおいて有線同様に複数の撮影機材からの無線映像伝送及び遅延補正が実現可能であったとしても、安定性等の機能の面で有線接続の場合とトレードオフの関係になる可能性がある（無線であれば安定性に欠ける可能性がある）と認識されていることも実装における課題であると考えられる。

c) 運用面の不明確性

さらに、従来の撮影手法とは異なる準備・企画・運営が必要となることから、システムを実装したとしてもその運用方法やワークフローが分からず、実際に撮影を行う公演事業者（又は公演事業者から委託を受けた撮影事業者）が本実証システムに対応できないと想定されることも実装課題である。

d) その他環境構築面の不明確性

加えて、本システム導入にあたって既存の施設に対して追加設備導入を想定した場合の建築的な課題も想定される。具体的には、本システムを安定稼働させるために必要な時刻同期を行うためのGPSアンテナの設置及びローカル5G基地局への同軸ケーブルの敷設ルートの確保、ローカル5G基地局サーバーの設置箇所並びにアンテナ敷設とその間の光ケーブルの配線経路確保、サーバーから映像受信用のデコードPCまでの配線経路確保等、本来であれば施設の竣工前に計画がなされており、埋設配管の経路確保や各種ラックの設置場所が確保されているべき内容が求められることになる。既存施設への追加設備導入を行う場合に、各施設の建築設備的な与件を考慮した上で個別に導入検討を行う必要があり、この点も実装課題であると考えられる。

② 本実証の意義

大容量・低遅延性が求められる本実証システムにおいては、従来の4G回線に対応できるものではなく、ローカル5Gを活用する必然性のある新たな撮影モデルである。

このような新たなシステムについて、本実証では、複数撮影機材からの無線映像伝送及び遅延補正の実現可能性及びその効果の検証、本実証システムの機能として有線と同様の安定性（映像品質の劣化や欠損を生じずに必要な時間継続運用できること）が確保できることの検証を実施するとともに、運用方法やワークフローの留意点等をまとめたマニュアルの有効性の検証等を実施している。このようにライブ・エンターテイメント業界の課題解決に資する新たなシステムの普及展開に不可欠な実装課題の解消を図る点で本実証は意義を有する。

(4) 実装の方向性（実証結果を踏まえてどうビジネスに乗せていくのか）

① 実装の道筋

イベント運営は安定性、安全性を求める傾向が強く、根拠のない有線信仰が存在するのも事実である。本実証において完成したシステムを適正にアナウンスし公演単位での事例を増やすことから、ロビー活動をスタートさせ、経済合理性の高いシステムであるという点を周知することがコモディティ化にとって最も重要なポイントになってくる。

② ステップ

実装及び横展開の方針は以下のとおりである。

なお、本事業で実証するシステムの導入先は施設事業者※1 を想定しており、施設事業者は公演事業者※2 や撮影事業者※3 に対して当該システムを用いた撮影環境を有償で提供する。

※1 施設事業者（施設所有者）：公演事業者に会場及び付帯設備のレンタルを行う。

※2 公演事業者（イベント運営事業者）：イベントの企画運営を行う。会場は施設事業者から借り受け、また撮影事業者を雇用しイベントの収録・配信を行う。

※3 撮影事業者：施設事業者と調整した上で公演事業者に撮影プランを提案する。付帯設備の使用は撮影事業者から公演事業者に対して要望が提示され、使用料は公演事業者から施設事業者を支払われる。

表 4.2.3 実装及び横展開に向けたステップイメージ

| | 時期 | 導入施設数 | ステップ |
|----------|----------|-------|--|
| 実装フェーズ 1 | 22 年 4 月 | 1 施設 | 本件実証会場 LINE CUBE SHIBUYA に本システムを導入し、公演事例を増やしプレスリリースを发出する |
| 実装フェーズ 2 | 23 年 4 月 | 3 施設 | スループットや同時接続数等のローカル 5 G の性能向上*によって、より高精彩な映像でサービス提供が可能になることで導入モデルが増加する |
| 実装フェーズ 3 | 24 年 4 月 | 10 施設 | 2024 年竣工予定の大規模商業施設やイベント会場が本件システムを導入し開館を行う |
| 実装フェーズ 4 | 25 年 4 月 | 30 施設 | 導入モデル自体が一般化し、既存施設にも導入が進む |

*本実証機器の提供元である日本電気(株)の機器開発計画においてスループット・遅延・同時接続数等の性能の向上が予定されている。

(5) 本実証の目標

本実証においては、ローカル5Gを活用したワイヤレス撮影システムを実運用可能なレベルで実現し、(1)に記載のライブ・エンターテイメント業界の課題解決に貢献することを目標としている。

このため課題実証においては(3)の実装課題を踏まえ、令和4年度速やかに実装・横展開に移行するために検証が必要なシステムの可用性や有効性といった基本的な性能を明らかにすることを中心的な目標とする。

一方で、令和4年度から他施設へのアプローチを開始することから、他施設に訴求するために必要な導入費用対効果やシステムセッティング時間、推奨される標準運用モデルといった事項を明らかにすることも目標としている。

さらに、将来的なニーズを踏まえた拡張性についての検証も現段階から行うことが重要であることから、将来的な機能付加を見据えた実証システムの拡張性を明確化することも追加的な実証目標としている。

①実装課題の解決に向けた可用性・有効性の確認

- ・ 実運用可能な高い品質の映像を伝送できること、実運用を想定したカメラ台数を同時接続することができること、ライブ配信に不可欠な遅延補正ができることといったシステムの基本的機能を確認すること
- ・ システム利用時の最適なブロードキャストプロトコルを明確化すること
- ・ コスト削減・表現向上効果といった課題解決効果がどの程度あるかを確認すること
- ・ 有線と比較した安定性を確保できることを確認すること
- ・ 現時点で想定される運用上の課題に対応するマニュアルを作成し、実証終了段階の有効性を確認すること

②他施設への横展開に向けた訴求ポイントの確認

- ・ 施設規模別の導入費用対効果を確認すること
- ・ カメラセッティングが従来の有線カメラと比較し短時間で終わらせることを確認すること
- ・ 推奨される映像品質・カメラ台数・カメラ範囲といった標準的な運用モデルを確立すること

③将来的なニーズに対応するための拡張性を確認すること

- ・ 4K高精細映像の伝送可能性を確認すること
- ・ 本システムを安定稼働させるために必要なローカル5Gの要求仕様を確認すること

4.3 実証環境

2,000人収容規模のLINE CUBE SHIBUYAにおいて、以下の2パターンの環境下で実証を行った。

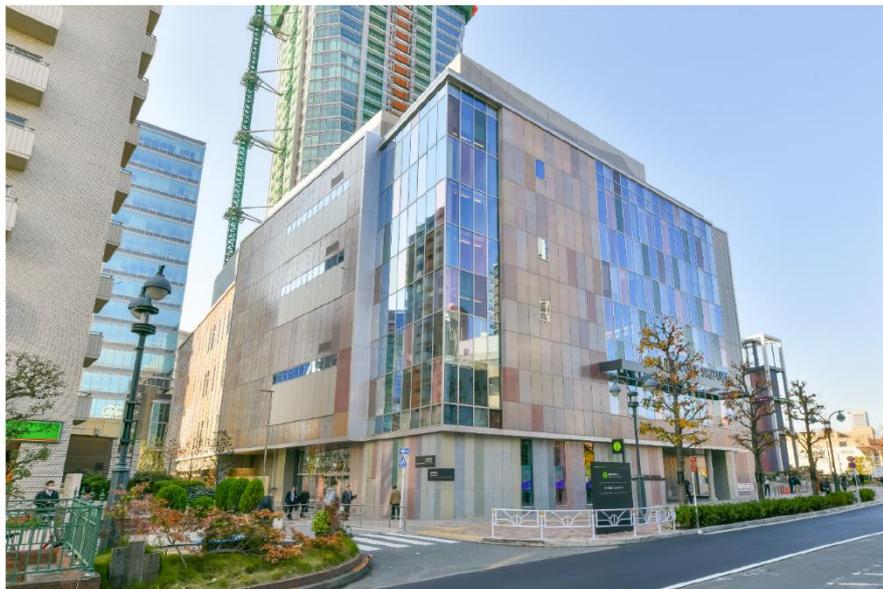
- ・無観客環境下におけるテクニカルチェック方式の実証
- ・有観客環境下におけるランスルー方式の実証

無観客環境下の実証については、2月8・9・16・22日において、LINE CUBE SHIBUYAのホールを貸し切り、実証関係者以外が立ち入らない状況下で実証を行った。有観客環境下の実証については、2月23日に一般観客を動員の上で著名アーティストによる実証公演（音楽番組制作のPoCとして）を開催し、当該イベント実施期間中に実証を行った。

（実証公演概要）

- ・開催日時：2月23日17時～18時
- ・演者：リュウヘイ&シュント（from BE:FIRST）
- ・観客動員数：520人

図4.3.1 LINE CUBE SHIBUYAの外観と施設概要（再掲）



（出所）株式会社シアターワークショップ WEB サイト（<https://theatre-workshop.co.jp/works/kanto/line-cube-shibuya>）

【施設概要】

| | |
|-------|--|
| 建物所有者 | 渋谷区 |
| 指定管理者 | 渋谷公会堂プロジェクトチーム （株）アミューズ、LINE(株)、(株)パシフィックアートセンター） |
| 開館年月日 | 2019年10月13日（建替後） |
| 対象用途 | 多目的コンサートホール |
| 構造・規模 | 鉄骨鉄筋コンクリート造 |
| 建築面積 | 2228.09 m ² |

| | |
|-------|---------------------------|
| 延床面積 | 9712.89 m ² |
| 建物の高さ | 地上より 31.95m |
| 座席数 | 1956 席（オーケストラピット 126 席含む） |
| 1 階席 | 1180 席 |
| 2 階席 | 424 席 |
| 3 階席 | 352 席 |

4.4 実証内容

イベント会場におけるライブ映像配信においては、既存の有線接続部分をローカル 5 G に代替して単純に複数の高精細カメラを可搬的に扱うだけでなく、音響事業者からリアルタイムで提供されるバランス音声と合致させるためのシステム時間軸との同期や、映像品質を担保するための効率の良い伝送など、実用に落とし込む上で解決しなければならない実証課題が存在する。これらの課題はオペレーションや制御など多岐に渡るが、大きくはシステムの有効性等と実装性の 2 点に集約されることから、これら 2 点について検証を行うとともに、その結果導き出される実装に向けた課題の抽出・解決策の提示、実証会場における継続利用と実装計画の検討を行った。

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

4.4.1.1 可用性検証

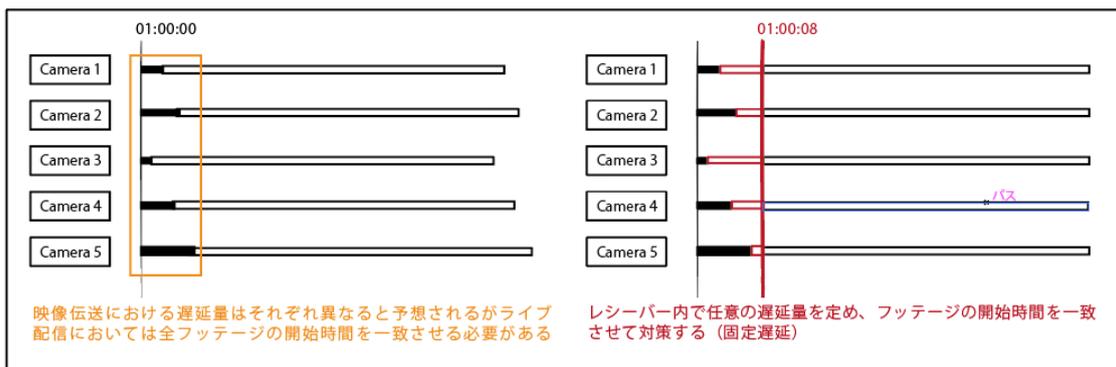
本実証システムを用いて映像無線伝送を行うことを想定した場合の可用性を検証した。実運用に向けては、ライブイベントで収録され、無線伝送された映像が視聴カットを切り替える際にその伝送遅延差により運用面で支障が出ないか、また大容量通信を用いて可能な限り高品質な映像を伝送することに適したネットワークプロトコルが存在するかを検証することが必要不可欠であることから、以下の検証を行った。

4.4.1.1.1 エンドツーエンドにおける伝送遅延量の補正

複数台のカメラにて撮影した映像データを本実証システムにて伝送した場合、低遅延であっても各映像データの到着に個別の誤差が生じる。一方で、イベント会場で想定される音楽・スポーツ・演劇をはじめとしたあらゆるコンテンツにおいても、視聴カットが切り替わる際に時間軸がフレーム単位（通常 1/30 秒）で一致している形が望ましく（※）、映像調整室にて映像の走査時間軸を合わせる作業が要求される。

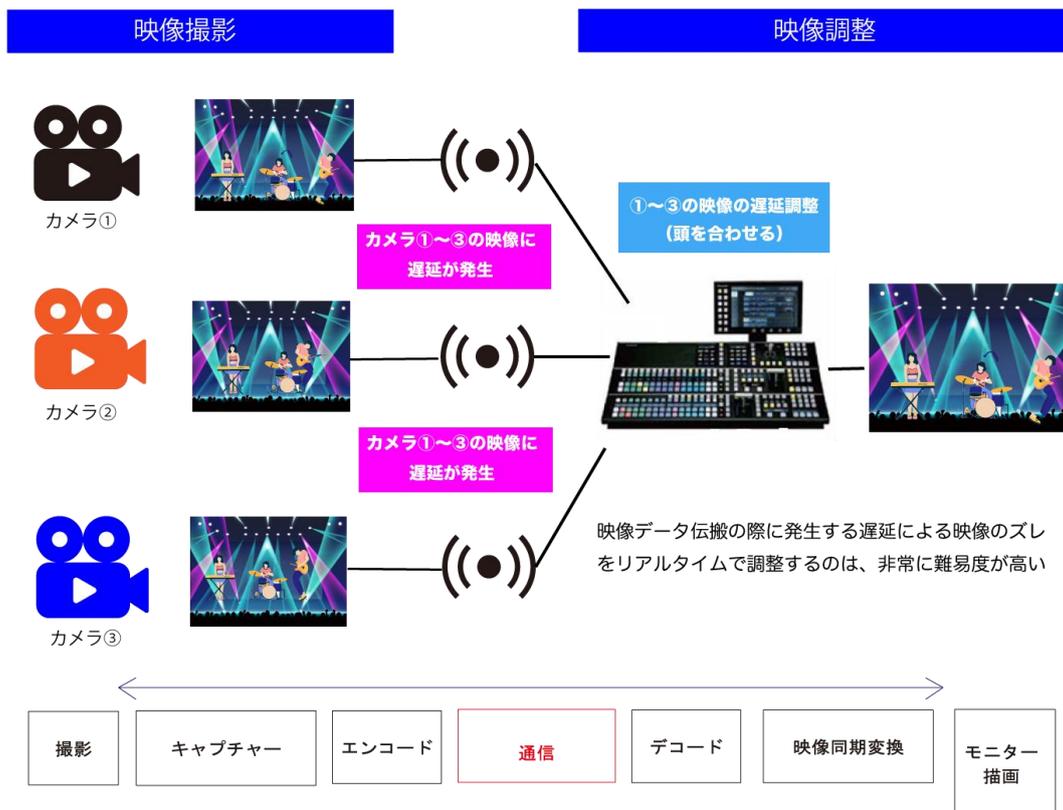
※遅延のばらつきが一定以上になる場合には別途専用の入出力システムが必要となり、汎用性の観点から課題がある。

図 4. 4. 1 固定遅延値による遅延補正



また、映像調整室ではリアルタイムで配信映像を切り替えるスイッチャーが、常にカメラマンに指示を出しながら出力カメラの切り替えを行っているが、遅延量が許容値を超えてしまった場合、スイッチャーの指示がリアルタイム性を損なう可能性があり、こういったオペレーション上の観点からも通信による最大遅延量を極小化が求められる。

図 4. 4. 2 映像同期変換イメージ



以上から、ローカル 5 G を活用した本実証システムにおける伝送遅延量補正の可否について検証を行った。

(1) 検証項目

伝送機器・アプリにて遅延補正が行えるか、またどのくらいの遅延かを検証する。

(2) 検証方法

各カメラポジションでの伝送遅延差を測り、伝送機器・伝送アプリにて遅延補正する。

(3) 検証結果

ZA0-SH のデコードソフトウェアにおいて、デコード遅延の設定項目があり、設定を最適化することによって各無線伝送カメラの遅延差を実運用で問題ない範囲まで差を補正することができることを確認した。

遅延補正值を入れない状態で映像伝送を行うと、映像にカクツキが見られるため、遅延補正值 Target delay 110ms で行うと実運用可能な映像であることを確認した。

実運用可能な遅延補正值を入れた際のシステム全体の遅延値はカメラ一台当たり約 220ms の遅延であった。

各カメラポジションで遅延測定した結果、201~240ms で多少バラツキはあったが、1F=33ms 前後のバラツキであるため、スイッチングを行う上では実運用可能範囲内であることを確認した。

図 4.4.3 ZA0-SH デコードソフトウェアの遅延補正項目

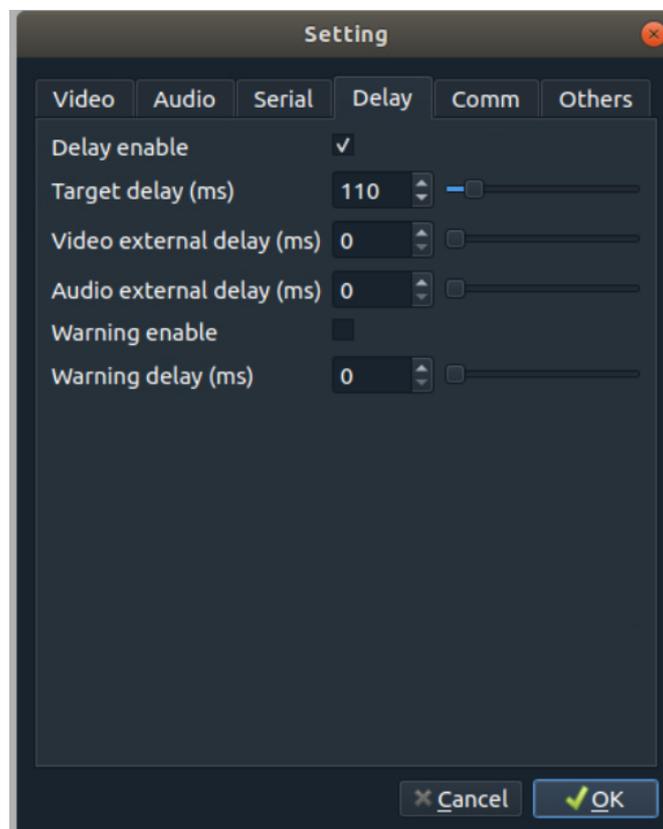
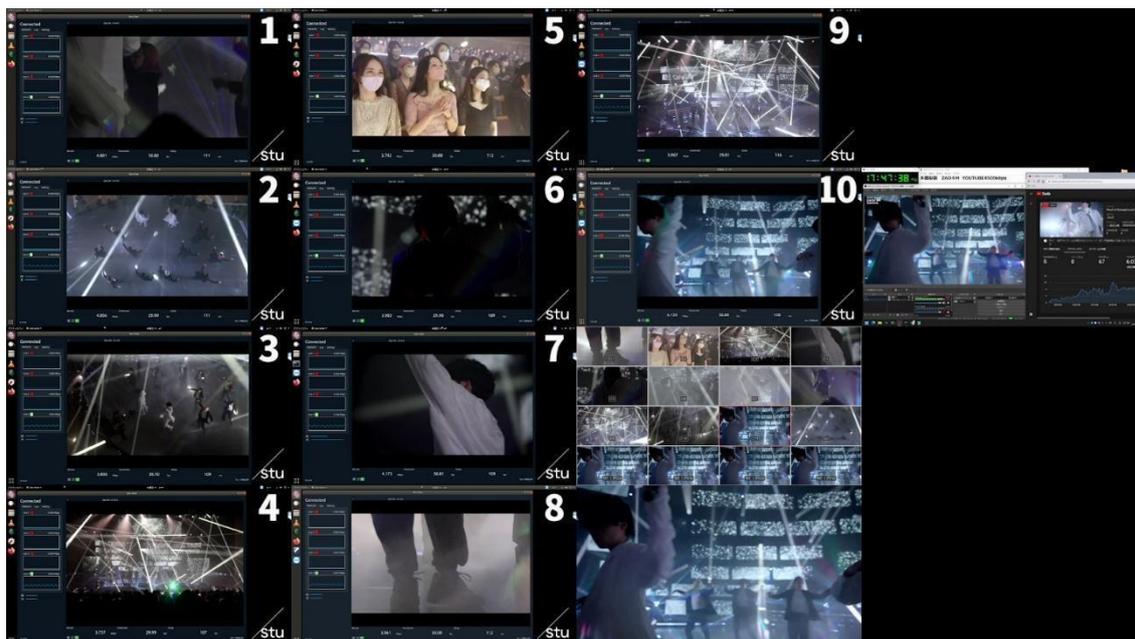


図 4.4.4 デコードのモニタリングの様子



4.4.1.1.2 ブロードキャストプロトコルの選択による映像伝送の最適化検証

本実証システムは、大容量通信を用いて可能な限り高品質な映像を伝送することを目的としたものであり、大容量の映像伝送に適したネットワークプロトコルの選択を行い、限られたネットワーク帯域を安定的かつ効率的に利用する必要がある。

したがって、1カメラ当たりの通信量が多い本実証システムにおいて最適なプロトコルを明確化するための検証を行った。

(1) 検証項目

本実証システムで劣化や欠損、遅延なく安定的に伝送可能なプロトコルの検証を行う。

(2) 検証方法

以下の①と②を用いて伝送した映像品質及び遅延を比較検証する。なお、カメラ台数10台ビットレートの最大値を12Mbps、HD画質、29.97Pで行う。

① RASCOW2 UDP/IP, TCP/IP

簡易中継時に発生する遅延問題を解決するために、ソリトン社独自のコーデック管理／通信プロトコルであるRASCOW (Realtime Auto Speed Control based On Waterway-model) の第2バージョンがRASCOW2であり、中継器であるZAO-SHに標準搭載されている。その最大の特徴は、Encodeのタイミングをフレーム単位よりもさらに細かく砕くこ

とにより、圧縮しながらの伝送を実現できる点である。この特徴により、圧縮に伴う遅延を大幅に縮めることができると考えられる。

| | |
|-------------------|--|
| ブロードキャスト プロトコル | RASCOW2 UDP/IP, TCP/IP |
| 特徴 | Encode のタイミングをフレーム単位よりもさらに細かく砕くことにより、圧縮しながらの伝送を実現できる。これにより、圧縮に伴う遅延を大幅に縮めることができる。 |
| 検証方法 | ZAO-SH を用いて検証 |

② SRT

SRT は Haivision 社の開発したオープンソースのプロトコルであり、低遅延と高品質の両立を目指し、特にビデオ映像伝送技術に特化して作られたものである。本実証で使用するローカル 5 G 端末「K5G-C-100A」にプリインストールされている。

| | |
|-------------------|--|
| ブロードキャスト プロトコル | SRT |
| 特徴 | 特に映像伝送に特化したプロトコルとして、低遅延と高品質の両立を目指して作られた |
| 検証方法 | K5G-C-100A のプリインストールのアプリにてブロードキャストプロトコルとして SRT を選択して検証 |

(3) 検証結果

① 映像品質について

カメラ 1 台から、ZAO-SH、京セラ機を同時に伝送し有線の伝送前の映像と伝送後をそれぞれ同じフレームで比較した。

また、カメラ 10 台運用を想定し 1 台当たり HD 29.97p 4Mbps のビットレートで比較を行った。

元の映像と比較し RASCOW2 はカラーノイズが消え、ディテールが落ちていることが見てとれる一方、SRT は RASCOW2 より更にディテールが落ちのっぺりとした印象という結果となった。

現状では SRT と RASCOW2 を比較すると同ビットレートにおいては RASCOW2 のほうが画質が優れている。しかし、SRT については京セラ機の純正アプリケーションを使用した
が、今後のアップデートや他社製の android アプリケーションが開発されることも想定されるため、いずれ RASCOW2 と同等の品質になるのではないかと考える。

図 4.4.5 映像品質の比較



② 遅延について

各カメラポジションで 10 台、RASCOW2 と SRT で遅延の測定をした、遅延測定の方法については効果検証で記載してる。

RASCOW2 と SRT の遅延を比較した結果、RASCOW2 は平均で 219ms、SRT は 468ms の遅延があることが確認された。468ms の遅延量であると遅延補正機で補正できない遅れであることをふまえ、現段階では RASCOW2 が業務使用範囲内であることを確認した。

表 4.4.1 比較検証結果

| | RASCOW2 | SRT |
|-------|---------|---------|
| | 遅延 (ms) | 遅延 (ms) |
| CAM1 | 207 | 469 |
| CAM2 | 230 | 491 |
| CAM3 | 216 | 486 |
| CAM4 | 216 | 464 |
| CAM5 | 220 | 470 |
| CAM6 | 233 | 453 |
| CAM7 | 211 | 459 |
| CAM8 | 240 | 468 |
| CAM9 | 201 | 463 |
| CAM10 | 211 | 461 |
| 平均 | 219 | 468 |

映像品質、遅延量をそれぞれ比較した結果、映像品質、遅延量共に RASCOW2 が優れていることを確認した。現段階では京セラ機で動くアプリのアップデート又は純正外のアプリでSRT以外のプロトコルに対応が予想されるため、画質、遅延量についてもRASCOW2同等で送れるようになるのではと考える。

4.4.1.2 効果検証

従来のライブイベント等においては、カメラが有線ケーブルで接続されているため配線の引き回し等に多くの時間と費用を要しており、また有線ケーブルで接続されているが故に配信・映像作品における演出・表現の効果にも一定の制約がある。上記課題を解決するため、ローカル5G環境でカメラを無線ワイヤレス化する今回の実証においては、次の効果検証を実施した。

4.4.1.2.1 評価・検証項目

- ① カメラケーブルの無線ワイヤレス化によるコスト削減効果
 - ・ 従来の有線カメラと比較したケーブル設営・撤去作業に関する削減時間・削減額（定量評価項目）
- ② 演出・表現の向上効果
 - ・ 従来の有線カメラと比較した無線カメラ（リモートカメラリグを含む）による演出・表現の向上性（定性・定量評価項目）
- ③ ローカル5G導入に関する費用対効果
 - ・ ローカル5Gシステムを導入した施設事業者（施設所有者）の収益増加額（定量評価項目）

4.4.1.2.2 評価・検証方法

① カメラケーブルの無線ワイヤレス化によるコスト削減効果

従来の有線カメラと本実証システムの無線カメラについて、ケーブル設営・撤去作業に要する時間・コストを比較した。

時間については、実証公演の際に使用する無線カメラの設営・撤去に要する時間をストップウォッチを用いて計測した。加えて、同一会場で同一の事業者が一台の有線カメラを試験的に敷設・撤去し、同様に計測。この結果から、無線カメラ設営時と同台数の設営を行った際に要する作業時間を算出し、それぞれの設営・撤去に要した時間を比較

することで削減時間を算出している。

また費用については、上記削減時間から労務費及び削減額を算出するとともに、有線カメラの敷設・撤去で必要となるケーブルコスト、光伝送装置のコストを調査した。これらを踏まえ、費用総額の削減効果を算出している。

② 演出・表現の向上効果

リモートカメラリグの使用及びカメラの可動域の拡大等による演出・表現の向上性について、実証公演を視察した演出家等ライブ・エンターテインメント業界の関係者に対してヒアリングを行い定性的に評価した。

また、無線カメラによる実証公演の撮影映像を同一の演者の過去のライブ映像と比較できるように編集した上で、一般視聴者 24 名に WEB 上で閲覧してもらい、受け手の立場から見た映像体験や映像価値の違いについて WEB アンケートを実施し定性的・定量的に評価した。加えて実際のライブを YouTube ライブにて配信し、アーカイブを観覧することで評価した。

③ ローカル 5 G 導入に関する費用対効果

実証会場である LINE CUBE SHIBUYA における費用対効果を算出する。具体的には、①の公演事業者（イベント運営事業者）の費用削減効果を基に、撮影を伴う公演の会場利用料の引き上げ可能額を推定するとともに、会場回転率及び会場を利用する公演のうち撮影を伴う公演の割合から、ローカル 5 G システムを導入する施設事業者（施設所有者）の年間売上増加額を算出した。また、ローカル 5 G システムの導入費用から想定年間償却費を推計し、ランニング費用と併せて年間支出増加額を算出している。これらの年間売上増加額及び年間支出増加額の差分を施設事業者（施設所有者）の収益増加額として定量的に評価した。

4.4.1.2.3 実証結果及び考察

① カメラケーブルの無線ワイヤレス化によるコスト削減効果

実証会場である LINE CUBE SHIBUYA において想定される妥当なカメラ台数 10 台の有線カメラと無線カメラの設営・撤去に要する時間を比較した結果、無線カメラの場合は有線カメラに比べ 1 時間 20 分の削減される結果となった。費用については、施設利用期間を 2 日間の想定で算出し、総額で 100 万円、1 日当たり 50 万円の削減効果が得られた。

表 4.4.2 コスト削減効果の検証結果

| カメラ種別 | 設営・撤去 所要時間 | 人件費 | ケーブルレ ンタルコス ト | 光伝送機レ ンタルコス ト | 費用総額 |
|-------|---------------|--|---------------------------------------|-------------------------------------|-------|
| 有線カメラ | 2時間40分 | 160万円 (カメラマン 10名@50,000 円、アシスタ ント10名 @30,000円、 2日) | 20万円 (@5,000 円、20 本、2日 間) | 20万円 (@50,000 円、2セッ ト、2日間) | 200万円 |
| 無線カメラ | 1時間20分 | 100万円(カ メラマン10名 @50,000円、2 日) | N/A | N/A | 100万円 |

※会場はいずれもLINE CUBE SHIBUYAであり、カメラ台数は10台である。また、いずれの種別のカメラもPLAN D社が設営・撤去を行った。

② 演出・表現の向上効果

有観客環境下においてワイヤレスカメラで収録されたパフォーマンス映像と、同じく他施設において有観客環境下において有線カメラで収録されたパフォーマンス映像の比較動画を業界関係者および一般視聴者に公開し、ヒアリングおよびアンケート調査を行った。

業界関係者に対するリモートカメラリグによる演出・表現向上効果ヒアリングについては、これまで困難であった撮影が可能になるという意見が大勢を占めた。今後の課題としてカメラ撮影動作のプログラミングにより、更なる向上が得られる、という意見もあった。カメラ可動域の拡大による演出・表現向上効果についても上記と同様に、これまで難しかった視点での撮影が可能になるという意見が多かった。

表 4.4.3 業界関係者に対する演出・表現効果のヒアリング結果

| 項目 | ヒアリン グ対象者 | 意見 |
|-------------------------------|---------------------|---|
| リモートカメラリ グによる演出・表 現向上効果 | 制作会社 プロデュ ーサー | ケーブルがないことで、カメラの移動が非常にスムーズ。ライブ会場の中にカメラポジションをとって撮影する上でも機動性が高いと感じた。天吊りカメラ設置にも有効。 |
| | 演出家 | 有人カメラでは困難な狭いスペース（今回は座席の間 60cmほど）での撮影、可動域拡大は有効。 |

| | | |
|-----------------------|-----------------|---|
| | | 今後、カメラ撮影動作のプログラミングが可能になれば、よりダイナミックな表現が期待される。 |
| カメラ可動域の拡大による演出・表現向上効果 | 制作会社 プロデューサー | ステージ上でのカメラワークの自由度、安全性がワイヤレスになることで飛躍的に向上した。 カメラとパフォーマンスのコラボレーション的な演出が実現しやすくなるため、より近い距離感の映像で楽しむことが可能になる。 |
| | 映像演出家 | 通常の LIVE 撮影は客席からステージへの軸が一般的だが、ワイヤレスで撮影の自由動作が可能になることで、LIVE 会場全体を多角的に撮影することができる。 そのためステージパフォーマンスを広い視点で捉えることができ、映像作品では視聴者の様々な欲求を可能にできると感じた。 |

一般視聴者の WEB アンケートについては、「通常環境（有線カメラ撮影）によるパフォーマンス映像」と「ローカル 5G 利用（無線カメラ映像）によるパフォーマンス映像」を YouTube に限定公開し、それらを比較視聴していただいた上で、WEB アンケートに答えていただいた。対象者は 24 名である。

<アンケート結果および得られた結果および考察>

・設問 1. ライブ配信の視聴経験についての結果<アンケート結果>

8 割以上の方がこれまでオンラインライブ視聴経験があり、オンライン視聴の需要は有ることがわかる。視聴経験がある人の 8 割以上は、完全に満足していない。その理由としては、通信環境問題や価格設定以外の「臨場感」や「配信ならではの演出」といった内容が多いことが分かった。また、これまでオンラインライブ視聴経験が無い人の理由としては、「動画視聴への抵抗」および「出演者による」以外の理由として、「リアルタイム」に対しての価値を感じていないことが分かった。

<考察>

以上より、「配信ならではの」・「リアルタイムならではの」の「演出」を提供することで、視聴者の満足度や試聴の動機付けに影響を与えることができると考えられる。従来のオンライン配信では、ライブ会場で視聴している観客の導線や視聴環境への影響を考慮して、有線カメラでの撮影ポジションは限定的になっていたことでアーティスト及び会場で視聴している観客との「距離感」が課題だった。これに対して本システムを活用することでカメラポジションの制約を受けなくなることから、アーティストや観客との距離感を近づける演出が可能となり、ひいては「臨場感」を生み出すことが可能となると想定される。「配信ならではの演出」は、stu 社が得意としているリアルタイム AR 配信技術を応用することで、より魅力的なコンテンツを創出することが可能であると考えられる。

・設問 2. 映像比較視聴の感想についての結果

＜アンケート結果＞

比較視聴の結果、9割以上の方がこれまでとの違いを感じていることが分かった。その違いに価値を感じた人は全体の7割と非常に多い。彼らの意見より、これまでに無いアングル・カメラワークが可能になったことで、「臨場感」や「没入感」を生み出すことが出来たことが分かる。会場でリアルに体験するのは異なる付加価値があるという意見もいただいた。

一方、これまでと違いはあるが価値を感じなかった人は3割程度おり、「演出」ということで視聴者の好みが変わるといった意見や、演者とカメラワークの関係性の脆弱さ、さらに全体構成としての新しさが無かったという意見があがった。

＜考察＞

当該システムを活用した撮影方法により違いを生むことができる点については明らかになったので、それらを活かした演出方法について、今後の課題である。特に、カメラワークに関しては実際に撮影するカメラマンのスキルセットやセンスに依存する部分が大きく、本システムの効果を最大限に発揮するためには、映像撮影事業者に対する操作説明を含めた普及啓蒙活動が必須であると考えられる。今後の横展開を見据え、まずは本実証にて撮影技術協力を行ったNHKエンタープライズにて本システムのポテンシャルを最大限に引き出す撮影手法の検討を行い、知見を蓄えていくことが重要だと考える。

・設問 3. 今後のオンラインライブにおける映像表現・演出についての結果

＜アンケート結果＞

7割以上の方が、今回の新たな撮影手法を用いた新しい映像表現・演出によるオンラインライブが行われる場合、視聴頻度に変化があると答えた。これにより、当該システムを用いたオンラインライブの開催は、一般視聴者がオンラインライブを視聴する頻度の向上に貢献出来る事が分かった。今後期待する映像表現・演出については、「臨場感」や「没入感」に関わる意見が多数あがった。さらに、「視聴者自身のアングル選定」といった意見も多かった。

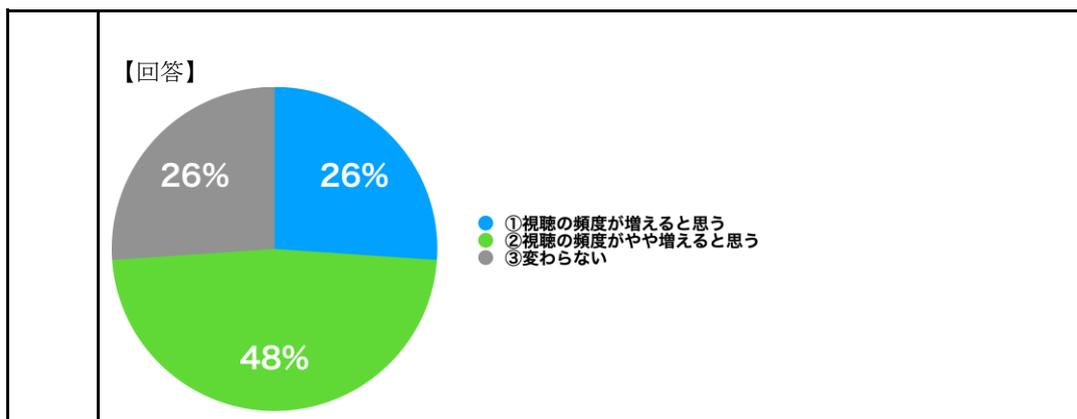
＜考察＞以上より、本システムがオンライン配信モデルにおいて有用であることが確認できたが、更なる価値向上に向けては、当該システムと、視聴者インターフェース側のサービスを組み合わせることで、更なる価値を発揮する可能性があると考えられる。加えて、「360° VR ストリーミング」「マルチアングル」「立体音響」等を備えた配信プラットフォームと連携し視聴環境の充実化を行うことで更なる付加価値創出に繋げることが期待できる。

表 4. 4. 4 一般視聴者に対する映像体験・映像価値のヒアリング結果 (n=24)

| 設問 1. ライブ配信の視聴経験について | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----|----|--------------------|-----|----------------------|-----|---------------------------------|-----|--|----|-------------------------------------|-----|------------------------------|-----|----------|---|------|---|
| 1-1 | <p>あなたがこれまでにオンラインライブ（音楽コンサートのほか各種イベントのライブを含む）の配信サービスを視聴した回数を選択してください。</p> <p>【回答】</p> <table border="1"> <caption>1-1 視聴回数</caption> <thead> <tr> <th>回数</th> <th>割合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①10回以上</td> <td>13%</td> </tr> <tr> <td>②5回～9回</td> <td>26%</td> </tr> <tr> <td>③3回～4回</td> <td>22%</td> </tr> <tr> <td>④2回</td> <td>9%</td> </tr> <tr> <td>⑤1回</td> <td>13%</td> </tr> <tr> <td>⑥ない</td> <td>17%</td> </tr> </tbody> </table> | 回数 | 割合 | ①10回以上 | 13% | ②5回～9回 | 26% | ③3回～4回 | 22% | ④2回 | 9% | ⑤1回 | 13% | ⑥ない | 17% | | | | |
| 回数 | 割合 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ①10回以上 | 13% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②5回～9回 | 26% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③3回～4回 | 22% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ④2回 | 9% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑤1回 | 13% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑥ない | 17% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1-2 | <p>あなたがこれまで視聴したオンラインライブの全体的な満足度を選択してください。 * 【1-1】で①～⑤の回答をした方への質問です。</p> <p>【回答】</p> <table border="1"> <caption>1-2 満足度</caption> <thead> <tr> <th>満足度</th> <th>割合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①視聴したすべてのライブにおいて満足</td> <td>14%</td> </tr> <tr> <td>②視聴した多くのライブにおいて満足</td> <td>36%</td> </tr> <tr> <td>③満足・不満足のものと同程度</td> <td>32%</td> </tr> <tr> <td>④視聴した多くのライブにおいて不満足</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>⑤視聴したすべてのライブにおいて不満足</td> <td>14%</td> </tr> </tbody> </table> | 満足度 | 割合 | ①視聴したすべてのライブにおいて満足 | 14% | ②視聴した多くのライブにおいて満足 | 36% | ③満足・不満足のものと同程度 | 32% | ④視聴した多くのライブにおいて不満足 | 5% | ⑤視聴したすべてのライブにおいて不満足 | 14% | | | | | | |
| 満足度 | 割合 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ①視聴したすべてのライブにおいて満足 | 14% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②視聴した多くのライブにおいて満足 | 36% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③満足・不満足のものと同程度 | 32% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ④視聴した多くのライブにおいて不満足 | 5% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑤視聴したすべてのライブにおいて不満足 | 14% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1-3 | <p>不満足だったオンラインライブについて、満足できなかった理由を選択してください（複数選択可）。 * 【1-2】で②～⑤の回答をした方への質問です。</p> <p>【回答】</p> <table border="1"> <caption>1-3 不満理由</caption> <thead> <tr> <th>理由</th> <th>回数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①画像や音声の乱れがあった</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>②画質や音響から臨場感が感じられなかった</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>③会場参加では体験できない配信視聴者向けの映像や演出がなかった</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>④会場参加や収録映像の視聴では体験できないリアルタイム視聴者向けの演出がなかった</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>⑤演者（アーティストなど）と観客との双方向のやりとりを感じられなかった</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>⑥演者（アーティストなど）のパフォーマンスが不十分だった</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>⑦料金が高かった</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>⑧その他</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> | 理由 | 回数 | ①画像や音声の乱れがあった | 4 | ②画質や音響から臨場感が感じられなかった | 6 | ③会場参加では体験できない配信視聴者向けの映像や演出がなかった | 5 | ④会場参加や収録映像の視聴では体験できないリアルタイム視聴者向けの演出がなかった | 6 | ⑤演者（アーティストなど）と観客との双方向のやりとりを感じられなかった | 8 | ⑥演者（アーティストなど）のパフォーマンスが不十分だった | 2 | ⑦料金が高かった | 2 | ⑧その他 | 1 |
| 理由 | 回数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ①画像や音声の乱れがあった | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②画質や音響から臨場感が感じられなかった | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③会場参加では体験できない配信視聴者向けの映像や演出がなかった | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ④会場参加や収録映像の視聴では体験できないリアルタイム視聴者向けの演出がなかった | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑤演者（アーティストなど）と観客との双方向のやりとりを感じられなかった | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑥演者（アーティストなど）のパフォーマンスが不十分だった | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑦料金が高かった | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑧その他 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1-4 | <p>【1-3】で⑧の回答をした方への質問です。その他とした内容を記載してください。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | <p>【回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自宅の環境もあるだろうが、配信はリアルライブの臨場感には到底及ばないため。満足できたライブは配信視聴向けに特化したものだった。 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|------|----|--|-----|--|-----|------------------------------|----|------------------------------|----|--------|---|------|---|
| 1-5 | <p>あなたがこれまでオンラインライブの視聴をしなかった理由を選択してください（複数選択可）。</p> <p>*【1-1】で⑥の回答をした方への質問です。</p> <p>【回答】</p> <table border="1"> <caption>Reasons for not watching online live broadcasts</caption> <thead> <tr> <th>理由</th> <th>人数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①ライブを動画で視聴する価値を感じなかった (リアルタイムか否かを問わず配信されたものを見ようと思わなかった)</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>②ライブをリアルタイムで見る価値を感じなかった (後日動画配信されるものを見ようと思った)</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>③好きなアーティストがオンラインライブを行っていない</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>④見ようと思ったが時間などの都合が合わなかった</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>⑤料金が高い</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>⑥その他</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> | 理由 | 人数 | ①ライブを動画で視聴する価値を感じなかった (リアルタイムか否かを問わず配信されたものを見ようと思わなかった) | 1 | ②ライブをリアルタイムで見る価値を感じなかった (後日動画配信されるものを見ようと思った) | 2 | ③好きなアーティストがオンラインライブを行っていない | 0 | ④見ようと思ったが時間などの都合が合わなかった | 0 | ⑤料金が高い | 0 | ⑥その他 | 1 |
| 理由 | 人数 | | | | | | | | | | | | | | |
| ①ライブを動画で視聴する価値を感じなかった (リアルタイムか否かを問わず配信されたものを見ようと思わなかった) | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| ②ライブをリアルタイムで見る価値を感じなかった (後日動画配信されるものを見ようと思った) | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| ③好きなアーティストがオンラインライブを行っていない | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| ④見ようと思ったが時間などの都合が合わなかった | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑤料金が高い | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑥その他 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1-6 | <p>【1-5】で⑥の回答をした方への質問です。その他とした内容を記載してください。</p> <p>【回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・好きなアーティストが特にいない | | | | | | | | | | | | | | |
| 設問 2. 映像比較視聴の感想について | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2-1 | <p>従来の撮影手法の映像と新たな撮影手法の映像を比較して見た結果、あなたが感じた違いの有無・程度について選択してください。</p> <p>【回答】</p> <table border="1"> <caption>Distribution of responses regarding video production differences</caption> <thead> <tr> <th>回答内容</th> <th>割合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①違いがあり新しい映像表現・演出としての価値を感じる</td> <td>70%</td> </tr> <tr> <td>②違いはあるが新しい映像表現・演出としての価値は感じない</td> <td>22%</td> </tr> <tr> <td>③違いが小さく新しい映像表現・演出としての価値は感じない</td> <td>9%</td> </tr> <tr> <td>④違いを感じない又は比較して見なければ違いに気が付かない</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table> | 回答内容 | 割合 | ①違いがあり新しい映像表現・演出としての価値を感じる | 70% | ②違いはあるが新しい映像表現・演出としての価値は感じない | 22% | ③違いが小さく新しい映像表現・演出としての価値は感じない | 9% | ④違いを感じない又は比較して見なければ違いに気が付かない | 0% | | | | |
| 回答内容 | 割合 | | | | | | | | | | | | | | |
| ①違いがあり新しい映像表現・演出としての価値を感じる | 70% | | | | | | | | | | | | | | |
| ②違いはあるが新しい映像表現・演出としての価値は感じない | 22% | | | | | | | | | | | | | | |
| ③違いが小さく新しい映像表現・演出としての価値は感じない | 9% | | | | | | | | | | | | | | |
| ④違いを感じない又は比較して見なければ違いに気が付かない | 0% | | | | | | | | | | | | | | |
| 2-2 | <p>どのような点に特に違いを感じたかについて教えてください。</p> <p>*【2-1】で①～③の回答をした方への質問です。</p> <p>【回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・演者の近くまで寄った撮影 ・アングルの違いによる臨場感、パフォーマーを近くに感じる臨場感 ・見たことがないアングル、有機的な動き、アングルの自由/多彩さ、視点の動き ・カメラのスイッチング ・カメラワークの自由さ、ダンスの中に入り込んでいく映像 | | | | | | | | | | | | | | |

| | |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ・演者の表情をしっかり捉えられている ・背景映像や照明演出等との融合 |
| 2-3 | <p>新たな映像表現・演出のうち、どのような点についてあなたが従来の映像よりも価値を感じるかについて教えてください。 *【2-1】で①～③の回答をした方への質問です。</p> <p>【回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カメラアングルの多様さによるスケール感&臨場感 ・見たことのないダイナミズム、臨場感 ・観客との一体感、会場雰囲気強く感じる ・映音の近さ、クリアさ ・表情がよく見えるところ ・完成された映画やプロモーションビデオとも違った観客との一体感 ・立体感 ・視点が自由で、演出の幅が広がり、楽曲の魅力が自然に伝わってきた ・観覧者側よりも作り手の表現度が上がることの楽しみが価値な気がした ・リアルとは異なる価値創出 ・演出者と観客のインタラク션을リアルタイムで実現できそう |
| 2-4 | <p>新しい映像表現・演出としての価値を感じなかった理由について教えてください。 *【2-1】で②または③の回答をした方への質問です。</p> <p>【回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・演者側の演出がカメラワークを活かした演出になっていないため ・視聴者の好みで評価の判断が分かれる ・カメラの数・動き・アングルの自由度が増しているところ以外に違いは感じない ・方法は異なるが無線機器で撮影されたライブ映像を見たことがあったため ・引き画とアップ画がある組み合わせとしては、これまで同様で目新しさを感じなかった |
| <p>設問 3. 今後のオンラインライブにおける映像表現・演出について</p> | |
| 3-1 | <p>ワイヤレス化によって自由なカメラワークが可能となった新たな撮影手法について、今後期待する映像表現・演出について教えてください。</p> <p>【回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人間が入れない場所の撮影映像 ・ドローンを使った自由自在なカメラワーク ・より近くで感じられるカメラワーク ・舞台と一緒に立っている感覚 ・出演者からの視点 ・舞台中央からの視点 ・演者の気づかないカメラからの映像 ・出演者の背後から観客席を撮影する映像 ・場所、会場を超えた表現 ・踊ってるダンサーが映像を撮る ・特別プランとして専用カメラを用意し、プラン購入者しか見られない映像提供ができそう ・見たいカメラワークを自分でスイッチングできるような双方向性 ・マルチなアングルを複数楽しめる画面構成 ・スポーツを各選手目線で見たい |
| 3-2 | <p>今回の新たな撮影手法を用いた新しい映像表現・演出によるオンラインライブが行われる場合、あなたのオンラインライブを視聴する頻度に変化があるかについて選択してください。</p> |



③ ローカル5G導入に関する施設事業者観点での費用対効果

本システムの有用性を評価するに当たり、施設事業者が本システムを導入した際の費用対効果検証を行った。検証に当たり、本実証の会場であるLINE CUBE SHIBUYAの実際の利用料及び実稼働数をヒアリングした。

本システムは、基本的に施設事業者が保有する施設に対して、自らの負担で設備導入及び保守を行うことを前提としており、施設事業者は公演事業者に対して課する施設利用料に加えて、公演事業者が本システムの利用を希望する場合、オプションプランとして施設利用料に加算する形で公演事業者に請求することで、導入コスト及び保守費用を回収するものとする。

実証会場であるLINE CUBE SHIBUYAの現状利用料金は、終日利用の場合平日は120万円（税別）、休日は138万円（税別）であり、施設運営事業者へのヒアリングを実施したところ、年間を通して約90%の稼働率であることから、年間のおおよその利用料金収入を算出した。

システム利用料の設定に関しては、前述の通り本システムを利用した際のコスト削減効果が1日当たり約50万円であることと、本システムを活用して撮影された映像作品の二次利用価値が向上することを加味し、利用料は50万円に設定した。システム利用者の割合に関しては、年間稼働日の内、20%の公演事業者が使用すると仮定し、システム導入前と導入後での収入差分（C）を算出した。

本システム導入に伴う支出の考え方として、環境構築コストは、ローカル5G基地局機材、基地局マウント作業及び配線配管作業、加えて無線配信システム構築に要する映像伝送中継機コストを合算する形で算出した。また、導入設備に対する償却期間は5年で設定した。加えて、ローカル5G基地局の維持管理に必要な基地局ベンダーの保守費用に関してもNEC社にヒアリングを行い算出、また運用後のオペレーションサポート対応人件費を加味し、これらを合算してシステム導入に伴う年間の追加支出額（D）を算出した。

上記年間の収入差分（C）から追加支出額（D）を差し引くと、システム導入に伴う部分における収益は485万円となり、施設事業者に対しても収益性が見込まれる。

表 4.4.5 LINE CUBE SHIBUYA における費用対効果の検証結果

| 条件設定 | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------------------|-----|--------|-----------|---------------------|
| 会場：LINE CUBE | | | | | | |
| 休日稼働率：90% 平日稼働率：90% | | | | | | |
| システム利用率：会場稼働数の20% | | | | | | |
| L5G環境構築費用：1億円 | | | | | | |
| 収入の部 | | | | | | |
| 条件 | 摘要 | 会場稼働日数 | 稼働率 | 会場利用日数 | 会場利用料/日 | 利用料小計 |
| システム導入前 | 平日利用料 | 245 | 90% | 221 | 1,200,000 | ¥264,600,000 |
| | 休日利用料 | 120 | 90% | 108 | 1,380,000 | ¥149,040,000 |
| | A. 年間会場利用収入計 | | | | | ¥413,640,000 |
| システム導入後 | 平日利用料（システム利用なし） | 245 | 70% | 172 | 1,200,000 | ¥205,800,000 |
| | 休日利用料（システム利用なし） | 120 | 70% | 84 | 1,380,000 | ¥115,920,000 |
| | 平日利用料（システム利用あり） | 245 | 20% | 49 | 1,700,000 | ¥83,300,000 |
| | 休日利用料（システム利用あり） | 120 | 20% | 24 | 1,880,000 | ¥45,120,000 |
| | B. 年間会場利用収入計 | | | | | ¥450,140,000 |
| C. システム導入後収入差分 (B-A) | | | | | | ¥36,500,000 |
| 支出の部 | | | | | | |
| システム導入後追加 | システム環境構築費（償却期間5年設定） | 環境構築初期費用：1億円想定 | | | | ¥20,000,000 |
| | 年間基地局保守費 | | | | | ¥8,000,000 |
| | オペレーションサポート | 人件費単価：50,000円/日、稼働日：73日想定 | | | | ¥3,650,000 |
| | D. 年間支出計 | | | | | ¥31,650,000 |
| E. システム導入後年間収支 (C-D) | | | | | | ¥4,850,000 |

4.4.1.3 機能検証

本実証システムは複数のカメラから大容量の映像をローカル5Gネットワーク経由で伝送・配信するものであるが、従来の通信システムでは配信される映像の品質やリアルタイム性、同時接続台数の担保等が困難であった。本実証システムでは上記課題を解決するため、有線ケーブルを用いた伝送時の性能をベンチマークに以下の機能検証を行った。

4.4.1.3.1 評価・検証項目

① 映像品質（ビットレート及び安定性）

- ・ 収録、配信、スイッチングすることができるビットレートか否か（定性評価項目）
- ・ スwitching時の画質の劣化又は映像データの欠損の有無（定性評価項目）
- ・

- ② 伝送遅延（リアルタイム性）
 - ・ スイッチング卓に到達時の遅延（定量評価項目）
- ③ 同時接続台数
 - ・ 基地局に安定して同時に接続できるカメラ台数（定量評価項目）
- ④ システム伝送可能範囲の評価検証
 - ・ 実証会場における実際の伝送装置での伝送可能範囲（定量評価項目）
- ⑤ システムセッティング等所要時間の評価検証
 - ・ 実証会場における設営及びシステムセッティングに要する時間（定量評価項目）

表 4.4.6 課題実証の評価機能項目と要求性能

| 評価・検証項目 | | 本実証システムの要求性能（目標値） |
|---------|-------------------|---------------------------|
| 1 | 映像品質（ビットレート及び安定性） | 有線接続と同等の映像品質を担保する |
| 2 | 伝送遅延（ms） | 有線接続と同等のリアルタイム性を担保する |
| 3 | 同時接続台数（台） | 最大 10 台の同時接続 |
| 4 | 伝送可能範囲 | 28 会場内地点と電波測定可能範囲 |
| 5 | 会場配線設営時間（分） | システムのセッティングが 60 分以内で完了する。 |

4.4.1.3.2 評価・検証方法

以下の項目について、無観客環境下及び一部有観客環境下（実証公演中の定期計測）で検証を行い、その内容を評価した。

① 映像品質（ビットレート及び安定性）

本実証システムの無線カメラを使用して、収録、配信に耐えられるとされる 5Mbps、10Mbps、15Mbps の 3 種類のビットレートの映像伝送を試行し、その配信可否について配信先モニターを目視することで計測した。また、カメラ内部で REC を行い、無線カメラで収録、配信に耐えられる映像のビットレートが有線の場合と同等であることを確認し

た。

また、無線カメラを使用した各ビットレートの映像配信時に画質の劣化又はデータの欠損が生じた場面を各5分間評価し、その安定性を評価した。

② 伝送遅延（リアルタイム性）

本実証システムにおいては、無線カメラを使用して、映像遅延時間（ms）を遅延測定器とソリトンのアプリ内で計測した。また、有線で接続したカメラでも同様の計測を行い、無線カメラで配信可能な映像の遅延値が有線の場合と同等であることを確認した。

具体的には、光パスコミュニケーションズの製品 DPN2011B を用いて明滅するLEDをカメラで撮影し、伝送後のモニターに観測用ダイオードを取り付け明滅検出し、専用ソフトウェアで時系列毎の遅延を測定している。

図 4.4.6 光パスコミュニケーションズ DPN2011B



図 4.4.7 遅延測定システムイメージ

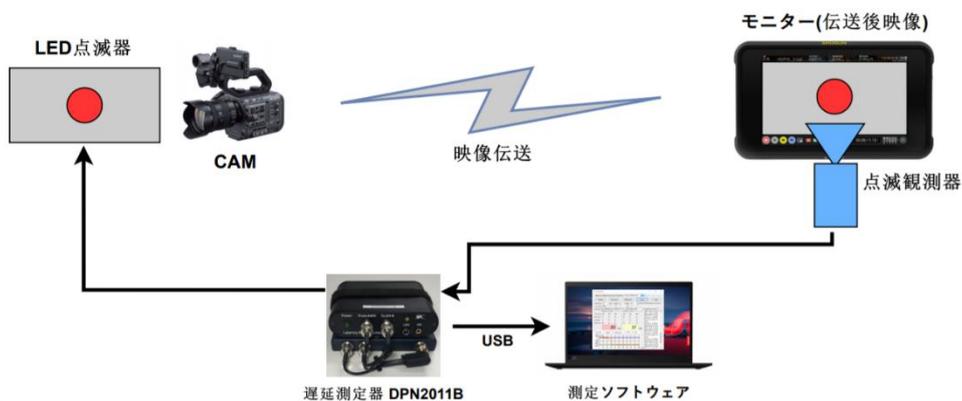
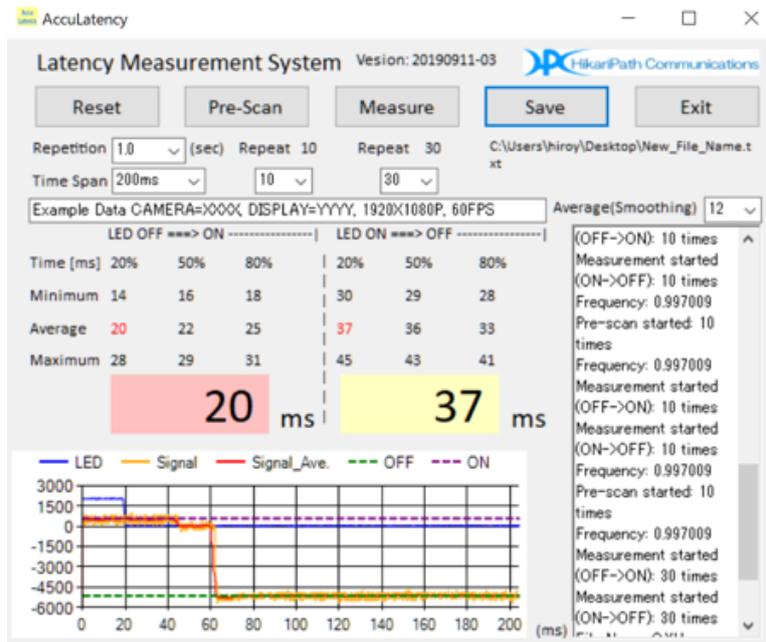


図 4.4.8 遅延測定ソフトウェア



(出所) 株式会社 光パスコミュニケーションズ WEB サイト(https://h-path.co.jp/service_product/7-latency-measurement-unit-dpn2011a/)

③ 同時接続台数

同時に接続・配信できるカメラ台数について、スループット理論値を基に下表の検証設定 A 及び B の 2 パターンで検証している。各パターンについて接続台数分の映像の切り替えを行い、配信先モニターを目視することで同時に接続・配信が実施できているカメラ台数を計測することにより、最大 10 台のカメラから映像が配信できるかどうかを確認した。

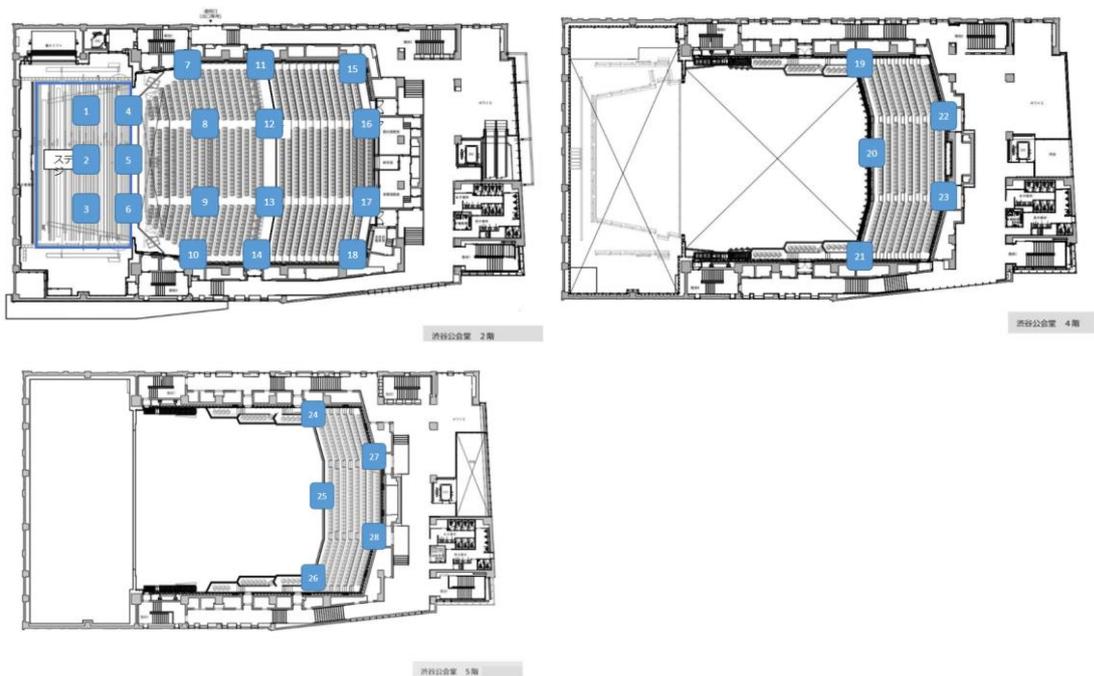
表 4.4.7 スループット理論値及びカメラ台数

| | 解像度 | フレームレート | ビットレート | カメラ台数 | スループット理論値 | 映像品質ベンチマーク |
|--------|-----|---------|--------|-------|-----------|--------------------------|
| 検証設定 A | HD | 30 | 10Mbps | 5 | 50 | HD 映像配信において最高画質と呼ばれる品質 |
| 検証設定 B | HD | 30 | 5Mbps | 10 | 50 | NETFLIX のコンテンツ配信と同等の映像品質 |

④ システム伝送可能範囲の評価検証

実証会場における実際の伝送装置での伝送可能範囲（定性評価項目）を検証するものであり、技術実証の測定地点 28 地点で実際の映像伝送が可能かどうか検証している。

図 4.4.9 定点通信に係る測定点（再掲）



(出所) LINE CUBE SHIBUYA WEB サイト (<https://linecubeshibuya.com/download>) 掲載の図面を基にコンソーシアム作成

⑤ システムセッティング等所要時間の評価検証

無線カメラと有線カメラ各 1 台のセッティング所要時間を計測。FOH のスイッチング卓から、舞台上手の袖までを計測区間とした。舞台袖にカメラ、ケーブル、無線機等は置かれているものとし、舞台袖から FOH のスイッチング卓までの機材の運び出しから伝送開始までをストップウォッチを用いて計測を行う。

4.4.1.3.3 実証結果及び考察

① 映像品質（ビットレート及び安定性）

カメラの内部収録映像と無線映像を同時に録画し元の映像と伝送後をそれぞれ同じフレームで比較した。

ZA0-SH にて 5M 10M 15M のビットレートで伝送しそれぞれ、配信・収録に耐えうる映像品質かを比較した。

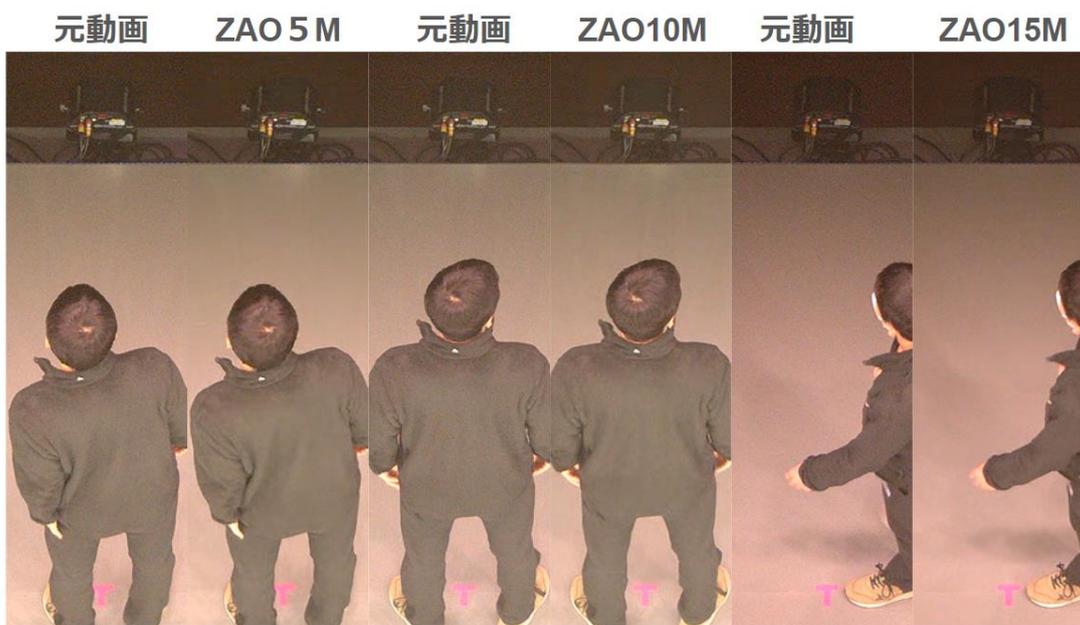
図 4.4.10 の画像の比較になるが、5M では元の映像に比べるとノイズが消え、ディテールが落ち収録には耐えられないが、YouTube などの低ビットレート配信には耐えられる画質ではある。

10Mになると5Mよりディテールが増え、収録やより高いビットレートにも耐えられる画質になり、15Mになると元の映像とは言えないが10Mからさらにディテールが増す結果となった。

配信や収録を考えると最低でも10Mは欲しいが、こちらは総アップリンクと同時接続数とのトレードオフになる。

また、映像伝送後の映像を各カメラ1分間評価し、映像データの欠損の有無を確認した。三脚に乗っている固定カメラに関しては安定してデータが遅れていたが、ステディカム、ワイヤーカム、リモートカムなどの移動するカメラに関しては1分間のうち数回カクツキが見られた、特にステディカムに関しては移動が激しく特に多く見られた、ZAO-SHのデコードのモニタリングを見ると、ステディカムの移動中は遅延量が増加しているのが見受けられた。

図 4. 4. 10 各種ビットレートでの画質の違い



② 伝送遅延（リアルタイム性）

ZAO-SHを取り付けたカメラをカメラポジションに配置し、それぞれ遅延を測定した。

平均 219ms の遅延が確認された、そもそも有線カメラをシステム全体で計測すると約 100ms の遅延が確認された。有線に代わるキャプチャー・エンコード・伝送からデコードまで約 119ms 掛かっていることがわかった。29.97p で約 3-4F の遅延であるため、遅延補正機で最大 8F (264ms) まで補正可能なため遅延補正範囲内であることを確認した。

表 4. 4. 8 配信時の映像品質及び遅延値

| 無線伝送カメラ | 遅延 ms | 有線カメラ | 遅延 ms |
|---------|-------|------------|-------|
| CAM1 | 207 | 有線カメラ FX6 | 103ms |
| CAM2 | 230 | 有線カメラ ARRI | 91ms |
| CAM3 | 216 | 有線カメラ PTZ | 100ms |
| CAM4 | 216 | | |
| CAM5 | 220 | | |
| CAM6 | 233 | | |
| CAM7 | 211 | | |
| CAM8 | 240 | | |
| CAM9 | 201 | | |
| CAM10 | 211 | | |
| 平均 | 219 | | |

図 4. 4. 11 遅延測定の様子





③ 同時接続台数

ZA0-SH を取り付けたカメラ 10 台を 5Mbps, 10Mbps, 15Mbps のビットレートで伝送し、それぞれ何台まで同時接続が可能かを確認した。

各ビットレート共通で基地局の総アップリンクを超えると全てのカメラがカクツキ始めることが確認された。

理論値では 5Mbps のビットレートの設定で 10 台であったが、実際には 5Mbps に設定しても映像によっては 6Mbps 近くまで一瞬上がることが確認された。従って想定より 1 台減って 9 台となった。

10Mbps についても想定より 1 台減り、5 台 15Mbps ついても想定より減り 3 台となった。

本番公演の 10 台運用の際には安定を考慮し 4Mbps を設定し運用を行った。10 台運用時の基地局のログを確認したところ、53-58Mbps を推移していたため、現基地局で 10 台運用行う際は 4Mbps が最適だと考える。

表 4. 4. 9 同時接続可台数

| | 5Mbps | 10Mbps | 15Mbps |
|-------|-------|--------|--------|
| CAM1 | ○ | ○ | ○ |
| CAM2 | ○ | ○ | ○ |
| CAM3 | ○ | ○ | ○ |
| CAM4 | ○ | ○ | ✕ |
| CAM5 | ○ | ○ | ✕ |
| CAM6 | ○ | ✕ | ✕ |
| CAM7 | ○ | ✕ | ✕ |
| CAM8 | ○ | ✕ | ✕ |
| CAM9 | ○ | ✕ | ✕ |
| CAM10 | ✕ | ✕ | ✕ |

④ システム伝送可能範囲の評価検証

実際の映像伝送機器での映像伝送可能範囲を確認した。

カメラを手持ちの状態で行き、パン・チル・ズームの映像が伝送可能かを測定した。

ホール内はどの地点も伝送可能なことを確認した。技術実証と同様にホールの扉 2 枚閉めホワイエに出る途中で映像が途切れることが確認された。またホール内に戻って伝送可能範囲に入るとスムーズに伝送が再開されることが確認された。

図 4. 4. 12 伝送範囲の測定の様子



遅延量に関しては概ね実運用範囲内であったが、映像品質については配信や収録を考えると最低でも 10Mbps のビットレートを確保したい、10 台運用する場合最低でも基地局の総アップリンクが 120Mbps 以上必要と考える。今後のアップリンクの性能向上に期待したい。

またデコーダーPC に関しては 10 台運用を見込んでない設計になっているため、デコーダーの小型化、集約化のアップデートに期待したい

⑤ システムセッティング等所要時間の評価検証

FOH のスイッチング卓から、舞台上手の袖までを計測区間とした。舞台袖にカメラ、ケーブル、無線機等は置かれているものとし、舞台袖から FOH のスイッチング卓までの機材の運び出しから伝送開始までをストップウォッチを用いて計測を行った。

図 4.4.13 セッティング所要時間計測区間

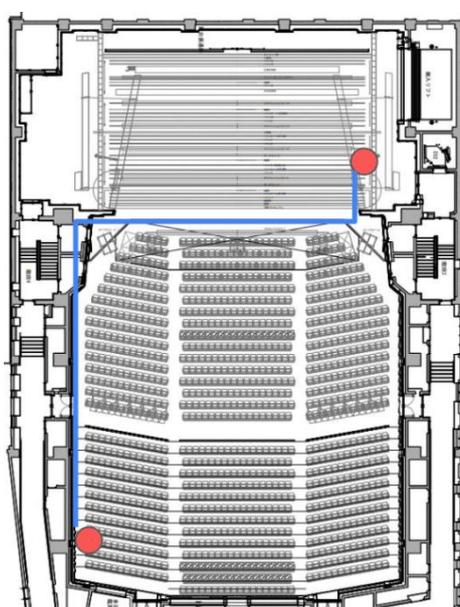


表 4.4.10 システムセッティング等所要時間

| 計測時間分類 | 所要時間 | 作業人員 |
|------------------------------|---------|------|
| 有線カメラセッティング開始から、映像の出まで | 約 480 秒 | 2 名 |
| 無線カメラセッティング開始から、映像の出（伝送開始）まで | 約 240 秒 | 1 名 |

4.4.1.4 運用検証

本実証システムであるワイヤレス映像伝送システムの導入にあたっては、通常の映像撮影方式とワークフローが異なることから、実証実験の検証結果を踏まえ、汎用性のあるオ

ペレージョンマニュアルの作成が求められる。

加えて、映像データの伝送に関しては、取り扱うデータ容量が大きいため、対象施設内で許容されるアップリンク総量に応じて、同時接続・伝送が可能なカメラ台数やビットレートも制限されることになる。したがって、実証実験の結果を踏まえ、推奨の同時接続カメラ台数及びビットレートの設定を行うこととした。

なお、何らかの事情によりローカル5Gの電波が断絶された場合を想定し、通信パフォーマンス状況に即した対応策を検討することで、サービスとしての十分な安定性を確保したい。

4.4.1.4.1 評価・検証項目

- ① オペレーションマニュアルの有用性
 - ・ 本実証で作成したオペレーションマニュアル案の有用性（定性評価項目）
- ② 推奨される同時接続カメラ台数及びビットレート
 - ・ 本実証システムで推奨されるカメラ台数及びビットレート（定量評価項目）

4.4.1.4.2 評価・検証方法

① オペレーションマニュアルの有用性

実証公演の準備・運営を行うNHKエンタープライズ及び委託先のPlanDの実証担当者において、実際に行った準備作業、設営作業（セッティングや事前検証を含む。）、運営時の作業を記録することとした。その後、上記の作業内容、既存のワークフローとの違い、マニュアルに記載すべき業務フロー、必要な運用サポート、その他オペレーションにおける留意事項等についてコンソーシアムで整理・マニュアル化を行った上で、客観的なマニュアルの有効性（容易に理解ができ初めて運用する際に参照すべき事項が漏れなく記載されているか等）を検証するため、公演事業者としての立場の意見を把握するために本実証と関連のないNHKエンタープライズの撮影チームにヒアリングを行うとともに、運用サポートを行う施設事業者としての立場の意見を把握するためにLINE CUBE SHIBUYAの指定管理者に対してヒアリングを行った。

② 推奨される同時接続カメラ台数及びビットレート

- 1：通常の使用に耐えられる映像品質かどうか。（定性評価項目）
- 2：カメラ台数が著しく減少しないか。（定量評価項目）

4.4.1.4.3 実証結果及び考察

① オペレーションマニュアルの有用性

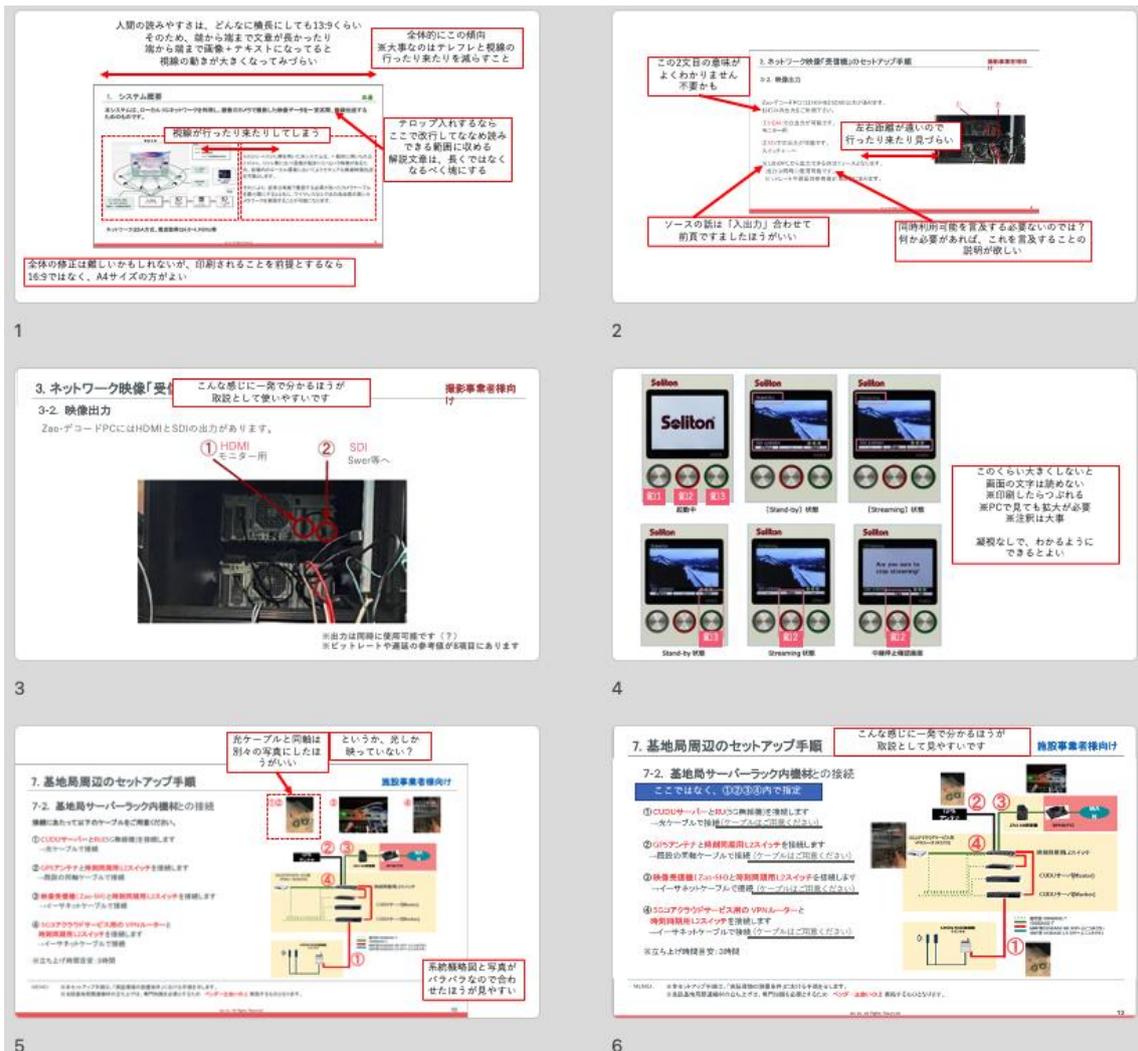
stuにてオペレーションマニュアル案を作成し、NHKエンタープライズ及び映像機材手配を委託した株式会社PlanDよりマニュアルの有用性に対して以下のレビューを受けた。

結果、運用マニュアルとして記載が求められる事項は全て網羅されており、記載内容に関する不足等の指摘は得られなかった。また、施設事業者および公演事業者（＝撮影事業者）視点からは、有用性が高く実運用可能との評価を頂いた。

一方で、実運用を想定した際のユーザビリティの観点から、体裁に関する指摘を受けた。

本マニュアルのセットアップ事業者目線からの有効性に対しては評価を受けたが、ユーザビリティの観点から改善すべき修正を加えて、stuにて最終版を作成。

図 4.4.14 オペレーションマニュアルに対する体裁レビュー



3. ネットワーク映像「受信機」のセットアップ手順

3-1. 電源投入と立ち上げ

ZaoデコードPC電源投入後、ソフトウェアの立ち上げを行ってください。
PC側では、ビットレートやフレームレートの設定ができます。
基本的には立ち上げるだけで接続が完了になります。

受信機と送信機は1対1の関係にあり、1台のデコードPCで受けられるソースは1台分となります。

Zao-PC IPリスト

PC1:192.168.150.1
PC1:192.168.150.2
PC1:192.168.150.3
PC1:192.168.150.4
PC1:192.168.150.5

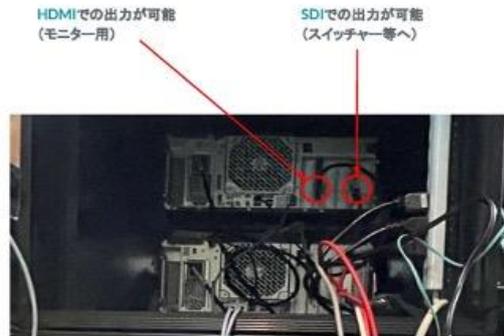
アプリショットカット



3. ネットワーク映像「受信機」のセットアップ手順

3-2. 映像出力

Zao-デコードPCにはHDMIとSDIの出力があります。



※出力は同時に使用可能です。
ビットレートや遅延の参考値が8項目にあります。

4. ネットワーク映像「送信機」のセットアップ手順

4-1. 立ち上げと接続

Zao-SHの設定には子機の立ち上げが必要です。
基本設定は完了しているので各種ケーブルを接続して立ち上げを行えば設定終了です。

①子機と5Gルーター「Raku+」のネットワーク接続

→イーサネットケーブルを用いて接続

②カメラと子機との映像線の接続

→同軸ケーブルで接続

※子機の連続稼働時間は**バッテリーを繋いだ状態**で6時間稼働です。



Zao-SHの詳しいセットアップは
下記URLをご覧ください。
<https://www.soliton.co.jp/zao-support/zao-sh/setting/download/Zao-SH-Manual.pdf>

4. ネットワーク映像「送信機」のセットアップ手順

4-2. Zao-SH状態確認

各種機器の接続が完了したら、Zao-SHの送信機の状態が**Streaming**である稼働かを確認します。

Stand-byの状態の場合は右側の緑のボタンを押す事で**Streaming**状態にすることができます。

また、中継を停止する場合は**赤ボタンを2度押す**事で中継を停止できます。



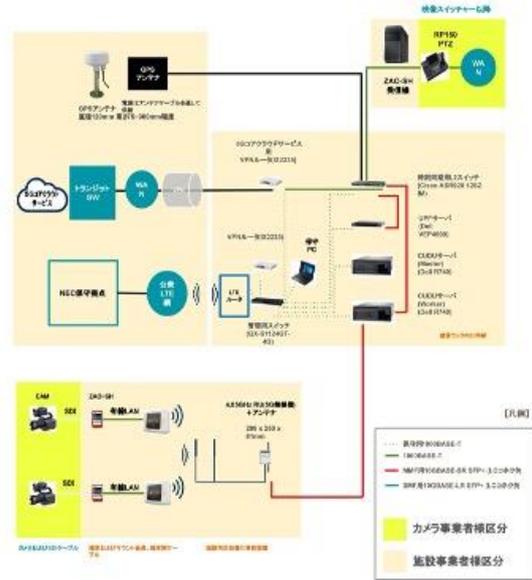
4. ネットワーク映像「送信機」のセットアップ手順

5. 担当管理区分

4-3. Raku+状態確認

5Gルーター「Raku+」の接続状況を確認します。
画面左上の接続状況が5Gになっているかどうかを確認してください。

接続状況が悪い場合は、SIMカードの挿入状態の確認や、電源の再投入をお試しください。



※カメラ事業者には、カメラ本体と映像機材をご用意いただきます。

6. 各種機材

7. 基地局周辺のセットアップ手順

| | No.1, 2, 3 | No.4 | No.5 | No.6 | No.7 |
|----|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 写真 | | | | | |
| 機材 | LSGサーバー6機 UPS/冷却サーバー NEC製 | LSGアンテナ 6機 NEC製 | 映像サーバー 5台 NEC製 | LSGサーバー-複数機 5台 NEC製 | VPNルーター WANアクセスルーター NEC製 |
| 台数 | 3 | 1 | 5 | 1 | 2 |
| | No.8 | No.9 | No.10 | No.11 | No.12 |
| 写真 | | | | | |
| 機材 | GPSアンテナ 位置情報受信機 NEC製 | 管理用2スロット マニファゲージ管理機 NEC製 | Zao-5G送信機 無線機受信機 Saiton製 | Zao-5G送信機 無線機受信機 Saiton製 | カメラマウントキット Zao送信機, Raku+用 |
| 台数 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 |

7-1. サーバールックの準備

地下舞台機品庫に保管されているラックを舞台上の所定位置に搬入し、設置します。



舞台機品庫(地階)



ステージ上手(1F)

7. 基地局周辺のセットアップ手順

7-2. 基地局サーバーラック内機材との接続

接続にあたって以下のケーブルをご用意ください

- ① CUDUサーバーとRU/5G無線機とを接続します
→光ケーブルで接続
- ② 5Gアンテナと特別同期用LSスイッチを接続します
→同様の同軸ケーブルで接続
- ③ 映像受信機(Zao-SH)と特別同期用LSスイッチを接続します
→イーサネットケーブルで接続
- ④ 5Gクラウドサービス用のVPNルーターと特別同期用LSスイッチを接続します
→イーサネットケーブルで接続

仮立ち上げ期間目安: 3時間



※(注) 仮立ち上げ期間目安は、実装環境の設置条件における目安となります。
※本図は基地局系標準機材の仮設によるもので、専門知識を必要とするため、ベンダーごとの違いや変更があるものとさせていただきます。

7. 基地局周辺のセットアップ手順

7-3. 5Gアンテナとの接続

①②でご用意いただいたケーブルを左UIに挿入する場合、下の画像を参考に接続してください。
サーバー側168番はREC側の区分になりますのでケーブルをおまねしてください。



※(注)

7. 基地局周辺のセットアップ手順

7-4. 接続状況と疎通確認

基地局との接続確認ですが、下のVPNルーターのリンクランプをご確認下さい。
その他にPing疎通などの確認方法がありますが、より専門的になりますので、分からない場合は基地局ベンダー様にご連絡ください。



8. 仕様に関する注意事項

8-1. ビットレートの設定と伝送遅延量について

◎ビットレートについて

基地局(1局)のアップリンク上限は63Mbpsです。
映像伝送量が63Mbpsを超えると全てのカメラ映像がカクツキが発生します。
設定上は10Mbpsでも、映像によって瞬間的に上昇することがあります。
余裕を持ったビットレートに設定してください。

◎遅延値について

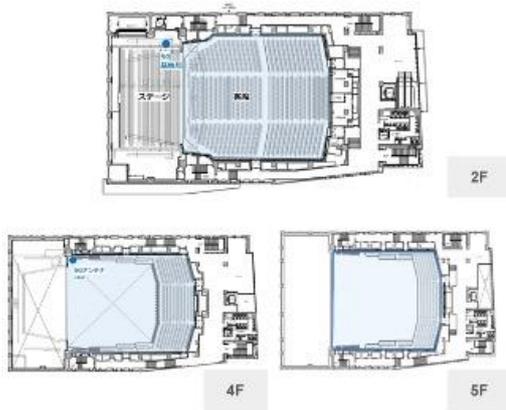
Zao-SHにて約220msの遅延が確認されています。(1F=33ms)
前提として、有線カメラが約100ms

有線カメラと併用する場合、遅延補正機能F程度選らせてください。

8. 仕様に関する注意事項

8-2. 電波のカバー範囲

下の図の青の部分が生Gカバーエリアです。
主にホール内での使用が可能になっています。



② 推奨される同時接続カメラ台数及びビットレート

項目 4.4.1.2 の結果を踏まえ、解像度 FHD にて 5Mbps 時は 9 台、10Mbps 時は 5 台、15Mbps 時は 3 台での同時接続による伝送が可能であることを確認した。

現状の基地局のアップリンク上限の 63Mbps を超えるとカクツキが発生してしまう事や、設定以上に瞬間的に bps が上昇する現象を鑑みるに一定程度のバッファは必要だと思われる。

また映像品質という面において 5Mbps では画質が粗いことから推奨は 10Mbps 以上であると言える。

表 4.4.11 同時接続可能台数（再掲）

| | 5Mbps | 10Mbps | 15Mbps |
|-------|-------|--------|--------|
| CAM1 | ○ | ○ | ○ |
| CAM2 | ○ | ○ | ○ |
| CAM3 | ○ | ○ | ○ |
| CAM4 | ○ | ○ | ✕ |
| CAM5 | ○ | ○ | ✕ |
| CAM6 | ○ | ✕ | ✕ |
| CAM7 | ○ | ✕ | ✕ |
| CAM8 | ○ | ✕ | ✕ |
| CAM9 | ○ | ✕ | ✕ |
| CAM10 | ✕ | ✕ | ✕ |

4.4.2 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

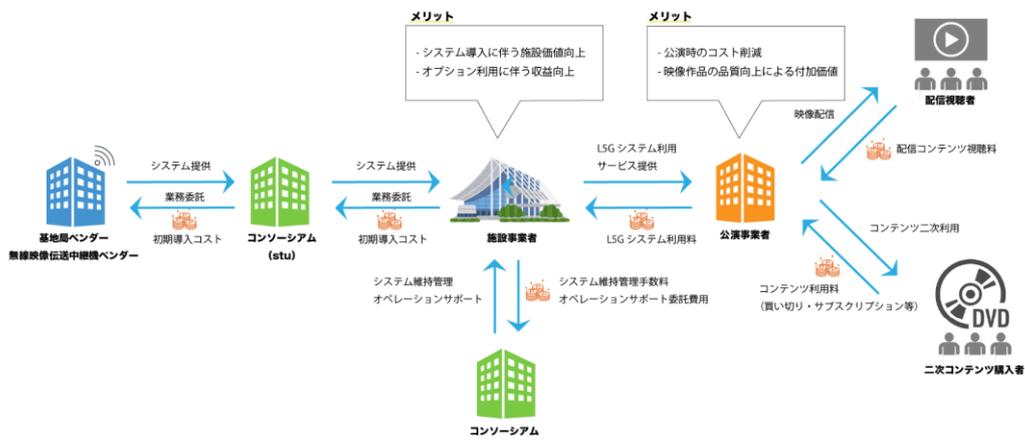
本実証システムのビジネスモデルは、施設事業者（施設所有者）が施設を利用する公演事業者（イベント運営事業者）に対してワイヤレス映像伝送サービスを提供するインフラビジネスを中心としたモデルである。

施設事業者は、コンソーシアムからローカル 5G ネットワーク環境及び無線映像配信システムの提供を受けるとともに、通常施設事業者が公演事業者に対して行う公演のオペレーションサポート（音響管理等）の業務について、ローカル 5G の設定調整・運用も含めてコンソーシアムから支援を受ける。上記の対価として施設事業者は初期設備導入費用・維持管理費用及びオペレーションサポート委託費用をコンソーシアムへ支払う。また、施設事業者は、公演事業者に対する施設提供サービスのオプションとしてローカル 5G 環境をメニュー化し、経済合理性の高い付加的なサービスとしてイベント運営事業者に提供す

ることで初期投資と基地局の年間維持費（保守費用）の回収を図る。

公演事業者は本システムを利用することにより、公演における映像撮影コストをカメラのワイヤレス化によって削減することが可能となる。また、映像撮影用カメラがワイヤレスになることに伴い、従来同規模のコンサートホールでは実現不可能だった自由なカメラワークが可能となるため映像コンテンツの価値向上が期待でき、公演事業者が販売する映像コンテンツの配信視聴料の収益増及びコンテンツの二次利用収益増が見込まれる。

図 4.4.16 本実証システムのビジネスモデル



本実装モデルが成立する前提として、公演事業者におけるライブ設営関連費用の削減ニーズだけでなく、ライブ配信等による収益拡大ニーズが認められることが必要である。

この点、令和2年度から令和3年度にかけての新型コロナウイルスによる国や地方自治体からの外出自粛要請を受け、消費者の巣ごもり需要が拡大し、オンラインを介したライブコンテンツの視聴・消費機会が高まった結果、従来プロモーション目的において一部のアーティストによる大手動画配信サイトでのミュージックビデオの配信などにとどまっていたライブコンテンツの活用が、本格的な収益獲得を目指す取り組みとして急速に進んでいる。そのジャンルは音楽にとどまらず、舞台や朗読劇、声優イベント等のコアなファンコミュニティを伴ったジャンルのアーティストをはじめとしてデジタル化対応が進んでおり、オンライン配信からサービス提供を開始したVTuber等によるライブイベントの開催など新たな配信需要も開拓されている。

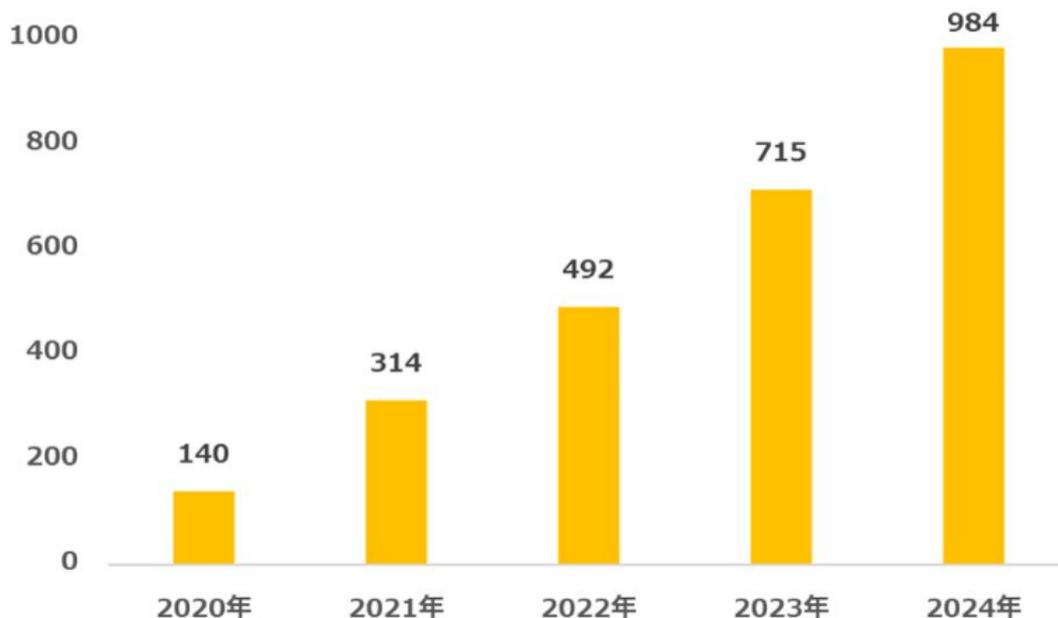
2022年度以降は、新型コロナウイルス感染拡大への対策が進み、リアルライブ需要は2019年以前の水準に向けて緩やかな拡大基調を続けることが予想されるが、その一方で、

リアルライブにおける感染症対策を前提にした物理的な収容人員の抑制などによる収益機会の減少を補う手段として、また都心部で開催される公演会場へ物理的に来場が困難である地方在住の視聴希望者に対し、リアルライブの代替体験として、デジタルライブ配信による収益拡大を図る取り組みは、不可逆的に進むことが予想される。

図 4.4.17 デジタルライブ・エンターテインメント市場規模予測

【デジタルライブエンターテインメント市場規模予測2020年—2024年】

(単位：億円)



(出所) 株式会社 PR TIMES WEB サイト

(<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000668.000006792.html>)

なお、LINE CUBE SHIBUYA の運用モデルは本件事業において実証を行う「最小事業モデル」であり、より大きな施設を対象とした場合にはより円滑に投資回収される。

4.4.2.1 ローカル5G活用モデルの構築・検証

(1) 想定されるターゲット

① 導入主体

ローカル5G活用モデルの導入主体は、ローカル5G設備（システム）の稼働機会を確保して投資対効果を高め、コストの回収を図る必要がある。

公演当日の運営以外に公演の企画・準備調整も実施する公演事業者が導入主体となる場合、十分な設備の稼働機会（年間公演回数）を確保することができず投資対効果が低

く、また公演の都度、当該公演事業者が公演を行う会場にローカル5G設備（システム）を移設するには費用・期間を要するため、公演事業者が導入先となることは想定されない。

一方、公演会場を管理する施設事業者が導入主体となる場合、様々な公演事業者と契約して年間を通して公演を行うこととなるため投資対効果が高く、ローカル5G設備も自らの施設に常置して稼働させることができる。

したがって本ローカル5G活用モデルの想定ターゲット（対象システム一式の導入先・買い手）として、各種施設の管理者を想定している。

② 導入が想定される施設類型

本実証モデルはケーブルで接続された有線カメラを用いて撮影及び配信が行われる施設の施設事業者であれば、撮影主体にローカル5G環境をサービスとして提供する（又はテレビ放送局のように施設管理者と撮影主体が同一であれば自らローカル5G環境を利用する）モデルが成立する。具体的には以下の施設類型の施設事業者が導入主体として想定される。

a. コンサートホール・劇場

実証会場であるLINE CUBE SHIBUYAなどのコンサートホールや劇場においては、前述のとおり音楽コンサートや演劇で既に有線カメラを用いた多くのライブ配信が行われている。また、このほか演芸寄席や著名人のファンイベント、アートパフォーマンス等の様々なライブイベントが開催されており、近年ではこうしたイベントにも広くペーパービュー形式のライブ配信の取り組みが浸透している。

コンサートホールや劇場においては、ワイヤレス化による敷設業務の簡略化のほか、カメラワークの自由度向上、多数同時接続による新たなカメラワーク・演出の実現ニーズがあり、本実証システムの普及が想定される。

（ニーズ例）

- ・ステージ上の演者の視線で撮影できるので、演者の気持ちを疑似体験できる。
- ・ダンサーの動きをカメラマンが自由自在にフォローできるため躍動感を感じられる。
- ・ラジコンカーやワイヤーカムなど、特機にカメラを乗せることもできるため、コンサート会場で見ているだけでは体感できないスペクタクルを味わうことができる。
- ・推しメンカメラを設けることもできるため、好きなときに好きな演者の映像を楽しむことができる。
- ・カメラワークが自由になるので、上記の種類を組み合わせることで今までにない映像構成の体験ができる。

また、コンサートホールや劇場を所有する施設事業者は、施設内で開催されるイベントに占めるライブ配信を伴うイベントの割合が増加すればサービスとしてのローカル5G環境の提供機会が増えることから、こうした公演事業者におけるライブ配信の取組の浸透によって一層早期に投資回収が可能となると考えられる。

b. スタジアム・アリーナ

スタジアムやアリーナで開催されるスポーツイベントは、従来からテレビやインターネットの媒体で有線カメラを用いた撮影・中継が行われている。スポーツ中継においては、コンサートホールや劇場におけるイベント同様、テレビ局等の撮影主体が有線カメラを持ち込んでケーブルの敷設・撤去を行うことから、ワイヤレス化による時間・費用削減のニーズが存在すると想定される。また、スポーツ中継においては展開に応じた自由なカメラワーク等が求められるとともに、新たな演出のニーズも高いことから、撮影事業者はワイヤレス化による表現向上の効果についても享受することができる。

(ニーズ例)

- ・選手にカメラを設置することができれば、スポーツ選手の気持ちを疑似体験できる。
- ・ラジコンカーやワイヤーカム、さらにはボールやスポーツ器具にカメラを設置した場合は、会場で見ているだけでは体感できないスペクトルを味わうことができる。
- ・特定選手専用カメラを設けることもできるため、好きなときに好きな選手の映像を楽しむことができる。

※音楽ライブを行う場合のニーズ例はコンサートホール・劇場のニーズと同じ。

上記のように撮影主体のニーズが想定されることから、スタジアム・アリーナの施設事業者においては一定のローカル5G環境の提供機会が見込まれ、比較的早期に投資回収が可能であると考えられる。

c. テレビ放送局（放送センター）及び撮影スタジオ

2020年1月に放送法が改正され、テレビ放送局が同時に動画ストリーミングサービスを提供することが可能となり、2020年末時点でNHKのほか日本テレビ、テレビ朝日、TBSテレビ、フジテレビ、テレビ東京の大手放送局5社がライブストリーミングサービスを提供している。

上記のライブストリーミングサービスでは、既に収録された映像を加工・編集した番組を放送することもあるが、生放送番組として放送センターや撮影スタジオにおいて撮影された映像をリアルタイムで配信するものもあるため、自ら構築したローカル5Gによる無線映像伝送システムの導入ニーズ（ワイヤレス化による敷設業務の簡略化や演出効果・表現の向上ニーズ）があると考えられる。

(音楽番組におけるニーズ例)

- ・ 演者目線で撮影ができるので、演者の気持ちを疑似体験できる。
- ・ ダンサーの動きにカメラマンが自由自在にフォローできるため躍動感を感じられる。
- ・ ラジコンカーやワイヤーカムなど、特機にカメラを乗せることもできるため、現場で見ているだけでは体感できないスペクタクルを味わうことができる。
- ・ カメラワークが自由になるので、上記の種類を組み合わせることで今までにない映像構成の映像体験ができる。

(ドラマ・映画におけるニーズ例)

- ・ 1カットをマルチカメラ撮影するアクションシーンで、ケーブルがないことで完全自由な演出が可能。
- ・ 撮影した映像確認において、カメラからメディアを抜き取らず、卓モニターで監督がリアルタイムで確認しながら撮影進行ができる。

公共空間等にローカル 5G による無線映像伝送システムを導入することで、これまでケーブル敷設が障害となり撮影カメラ導入が困難であった施設内の公共空間において、ワイヤレス映像収録及び配信が可能となりうることから、他の商業施設との競争優位性向上に寄与できるため、導入先の候補として十分検討に値すると考えている。加えて、複合商業施設内に本システムを導入した撮影スタジオをテナントとして誘致することも施設における付加価値となりうると思われる。

d. ショッピングモール等複合商業施設におけるイベントスペース等の公共空間

コロナ禍を通じ、消費者の購買体験が加速度的にデジタルシフト化が進んでいることで、小売業における重要な顧客接点の場であったショッピングモールのあり方が今大きく見直されている。現在建設が計画されている施設の多くは、ショッピングのみならずその施設にわざわざ行く目的・価値をいかに数多く提供できるかが課題となっており、空間の利用方法が多様化していくと予想されている。このような状況下の中で、公共空間等にローカル 5G による無線映像伝送システムを導入することで、これまでケーブル敷設が障害となり撮影カメラ導入が困難であった施設内の公共空間において、ワイヤレス映像収録及び配信が可能となりうることから、他の商業施設との競争優位性向上に寄与できるため、導入先の候補として十分検討に値すると考えている。加えて、複合商業施設内に本システムを導入した撮影スタジオをテナントとして誘致することも施設における付加価値となりうると思われる。

近年、上記のように商業施設内に公共空間を設け、イベント利用するケースが増えており、いずれも有観客で音楽やパフォーマンスの演目でイベントを実施している。カメラケーブルが必要なくなれば、こうした場所からイベント配信ができるようになり、イベント企画の自由度があがるため一定のニーズが期待できる。

③ 施設類型に応じたカメラ台数と必要スループットの推定

上記施設類型を踏まえ、導入が想定される施設類型/施設規模に応じたカメラ台数と必要なスループットを以下の通り推定した。カメラ台数は、施設の規模感に応じ弊社過去実績等から算出した想定数であり、実際は施設の規模や形状、公演事業者の撮影手法によってカメラの必要台数は大きく増減する。またスループットの推定にあたっては、音楽ライブにおいてHD(10Mbps)相当の画質で映像伝送を行う前提で算出している。

(1) 導入ターゲットにおいては、c. テレビ放送局（放送センター）及び撮影スタジオ及びd. ショッピングモール等複合商業施設におけるイベントスペース等の公共空間も候補に挙げたが、施設環境の個体差が大きくカメラ台数の類推が困難であるため、④に記載のとおり主なターゲットとしての検討対象からは除外した。

表 4.4.12 施設類型ごとの標準的なカメラ台数及び必要スループットの推定

| No. | 施設類型 | 施設規模 | 標準的なカメラ台数 | 必要スループット (HD 10Mbps/台) |
|-----|-------------|------------|-----------|---------------------------|
| A | ライブハウス | 500 人収容 | 5 台以上 | UL60Mbps 以上 |
| B | コンサートホール・劇場 | 2,000 人収容 | 10 台以上 | UL120Mbps 以上 |
| C | アリーナ | 10,000 人収容 | 15 台以上 | UL200Mbps 以上 |
| D | スタジアム | 30,000 人収容 | 30 台以上 | UL400Mbps 以上 |

④ 主にターゲットとする施設類型

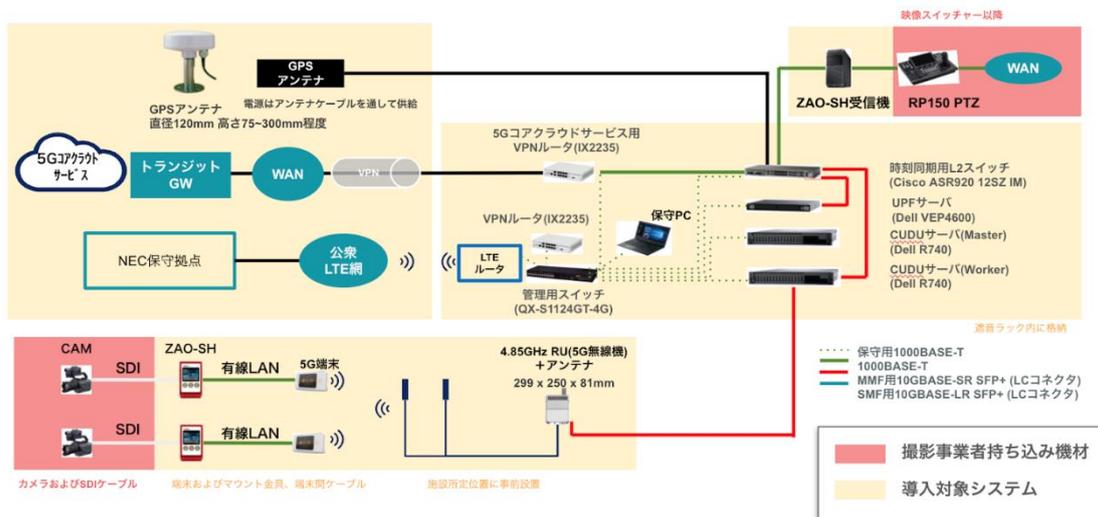
上記考察を踏まえ、令和4年度以降の横展開においては「ライブハウス」「コンサートホール・劇場」「アリーナ」の既存及び新規開業予定施設をターゲットとしている。理由としては大きく2点あり、まず現状のローカル5Gネットワークのスループット値ではUL総量に限界があること、加えて現状の機能性能としてHD相当の画質で映像伝送を想定していることから、公演+収録もしくは配信を行う場合にその有用性が発揮されることが挙げられる。また、放送局が有する撮影スタジオへの導入も検討の余地はあるが、8K16Kなどの高解像度映像撮影には、前述の通りUL総量の課題により期待される同時接続数や映像伝送性能を満たすことが困難であることが想定されるため、まずは小規模施設への導入とユースケース作りを目的とした普及活動を行っていく。

(2) 対象となるシステム

本実証で用いる映像伝送中継器を含んだワイヤレスの映像伝送システムが実装対象と

なるパッケージである。なお、撮影カメラについては、通常公演事業者が持ち込むものであるため、施設事業者の実装パッケージには含まれない。

図 4.4.18 導入対象となるシステム



(3) ソリューションが活用可能な事業者の前提条件

① 収益確保の見込みがあること

本実証システムを導入する施設事業者における想定収益額は、効果検証で検証したとおり、

年間売上増加額（会場利用費単価増加額×会場稼働率×稼働数のうち撮影を伴うイベントの割合×365）－年間出増加額（年間償却費＋年間運営管理費）

※会場利用費単価増加額は最大で公演事業者の費用削減額と同値

で計算できるところ、上記計算結果が正になる場合に施設事業者に収益が生じる。このため、施設の年間稼働率や撮影を伴うイベントの割合が一定以上低い施設では収益を上げることが困難であるといえる。したがって、損益分岐点となるシステム利用日の年間合計数を算出した効果検証の結果から一般的なLINE CUBE SHIBUYAと同規模（2000人収容）のコンサートホール・劇場を利用する公演事業者の1日当たり費用削減額は50万円と想定されるため、システム利用料を50万円/日と設定し、また年間償却費は2,000万円、年間運営管理費は基地局保守費800万円及び公演当日運営サポート費が50,000円×稼働日数と想定される。したがって会場稼働日うち撮影を伴うイベントが年間63日以上の施設の施設事業者であれば収益確保見込みがあるといえ、本実証システムの導入が可能と考えられる。

※会場利用費単価増加額 50万円×63日>年間償却費 2000万円＋運営管理費 800万円＋運営サポート費 5万円×63日

仮に、月に1日、また年末年始で5日間の計17日間休館日がある前提とした場合、年間63日の稼働率は以下の計算式から算出できる。

$$63 \text{ 日} / (365 \text{ 日} - 17 \text{ 日}) = 18.1\%$$

従って、本システムを利用する公演が年間18.1%以上行われる場合、収益確保見込みがあると言い換えることができる。

上記によって算出された期待稼働率を元に、仮に公演が行われている稼働日の内、約3割が映像撮影を伴う公演だとすれば、年間の稼働率が60.3%を超える施設においては、収益確保の見込みがあると言える。

上記を踏まえ、文化庁「劇場・音楽堂等に関する基礎データ」を参考に全国の稼働率状況を鑑みると、2,000人規模を収容できるホールにおいては、全ての地域において収益確保の見込みがあることが伺える。

表 4.4.13 地域別ホール・劇場稼働率

上欄:ホール数、下欄:稼働率(%)

| 収容人数 | 合計 | 北海道 地区 | 東北 地区 | 関東甲 信越静 地区 | 東北 海陸 地区 | 近畿 地区 | 中国 四国 地区 | 九州 地区 |
|-----------|-------|-----------|----------|------------------|----------------|----------|----------------|----------|
| | 平均 | | | | | | | |
| 2000名～ | 52 | 3 | 5 | 17 | 7 | 8 | 7 | 5 |
| | 67.5 | 61.3 | 60.4 | 75.0 | 61.8 | 71.4 | 71.6 | 70.8 |
| 1500～1999 | 110 | 4 | 11 | 35 | 16 | 14 | 13 | 17 |
| | 60.3 | 57.9 | 59.6 | 68.1 | 59.9 | 54.5 | 58.8 | 63.3 |
| 1000～1499 | 369 | 13 | 47 | 136 | 50 | 43 | 32 | 48 |
| | 47.4 | 36.1 | 51.9 | 57.3 | 47.8 | 51.6 | 42.5 | 44.6 |
| 500～999 | 550 | 20 | 59 | 150 | 81 | 74 | 74 | 92 |
| | 51.4 | 49.6 | 54.6 | 57.8 | 47.2 | 48.5 | 47.3 | 55.1 |
| 499以下 | 679 | 30 | 71 | 214 | 92 | 116 | 67 | 89 |
| | 56.8 | 51.0 | 55.5 | 63.7 | 56.9 | 58.4 | 52.2 | 60.2 |
| 全体の合計 | 1,760 | 70 | 193 | 552 | 246 | 255 | 193 | 251 |
| 平均 | 56.7 | 51.2 | 56.4 | 64.4 | 54.7 | 56.9 | 54.5 | 58.8 |

・稼働率=稼働日数÷利用可能日数(小数点2位以下四捨五入)

(出典) 文化庁「劇場・音楽堂等に関する基礎データ」より引用
(https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkashingikai/kondankaito/engeki/01/pdf/shiryō_5.pdf)

また、例えば1万7千人規模の横浜アリーナにおいて基地局2局を設置してエリア化し、撮影の際にはカメラ25台を活用することを前提とした場合、音楽ライブイベントの運営事業者の費用削減額は640万円と想定され、また2局分の年間償却費(償却期間5年想定)は4000万円、年間管理費は1600万円(基地局保守費800万+オペレーションサポート人件費2名@400万)と想定される。仮にシステム利用料を300万円に設定した場合、年間のシステム利用回数が19回を超えた際には収益が確保できる。この場合、

2020年度の横浜アリーナの会場稼働率は55.6%（稼働日203日）*であることから、仮に会場稼働率×公演のうち撮影を伴うイベントの割合の値が10%以上であれば収益確保見込みがあるといえ、本実証システムの導入が可能と考えられる。

*株式会社横浜アリーナ第36期事業報告書から転載 (https://www.yokohama-arena.co.jp/common/img/company/settlement/36_report.pdf)

② 本実証システムの運用が可能な設備・インフラを有していること

施設によっては、その設備内容やインフラによって本実証システムを運用することが困難であるケースも想定される。具体的には、以下のような施設の場合大幅な改修や回線の開通工事が必要となり、本実証システムの導入が困難と考えられる。

- ・ 映像中継室等の映像の配信等を行う専用空間がない施設
- ・ 配信関連機材やローカル5G関連機器一式を常設で収容可能なスペースを確保できない施設
- ・ 電源や光回線といったインフラを確保できない施設

(4) 標準モデル

本実証の実証会場であるLINE CUBE SHIBUYAと同規模の施設に導入することを前提とした、標準的な機能・運用上のモデルは下表を想定している。

表 4.4.14 標準モデルの内容

| | | |
|---|--------------|---|
| A | 機能要件 | <ul style="list-style-type: none"> ・ UL スループット 120Mbps 以上であること（10Mbps でカメラ 10 台の映像を安定的に伝送可能） ・ エンドツーエンドの伝送遅延が 264ms 以下であること（遅延補正による映像同期変換が可能） ・ 150 分間の継続稼働が可能であること ・ Sub6 帯の周波数帯で同期運用を行うものであること ※安定性の観点からミリ波や準同期 TDD の活用には更なる技術実証が必要 |
| B | 非機能要件 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 映像レシーバ側がなるべくワンタッチで起動し容易にシステムのアクティベーションが可能であること ・ 顧客（公演事業者）が所有するカメラのシステムへの接続やシステムの利用に対する技術サポート体制が確立していること ・ システムエラーやトラブルが発生した際の問い合わせ先が明確であること |
| C | ネットワークシステム構成 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証システムの構成と同一 |

| | | |
|---|---------------------------|--|
| D | 業務・処理フロー (導入先である施設事業者) | <ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証システムを用いて撮影を行う予定の公演事業者に対して、伝送が可能な映像品質（解像度、フレームレート、ビットレート）、同時接続可能台数、接続可能なカメラ種別、オペレーションマニュアルを事前に通知する ・ 設営当日にバッテリーが満充電の状態の中継器を公演事業者に対して引き渡すとともに、故障等の不測の事態が発生した場合は代替機との交換を行う ・ カメラと本実証システム（中継器等）との接続に困難が生じた場合には自らサポートを実施又は技術サポート窓口の案内を行う ・ 上記のほか、施設事業者（又は委託事業者）は定期的にエリア内のU/Lスループット、遅延値、電波強度を計測し、本実証システムの保守管理を行う |
| E | 運用ノウハウ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証システムの提供元（本実証コンソーシアムを中心とした事業体）から施設事業者に対してシステムに係る知見の移管を行う ・ 施設事業者は積極的にシステムの習熟度を深めトラブルシューティングを蓄積するとともに、導入ユーザー間で知見の共有が進むようコンソーシアム参加企業から施設事業者に対して積極的な情報提供を行う |
| F | 実装方法・手順 | <ol style="list-style-type: none"> ① 現地調査 ② システム設計 ③ ローカル5G商用免許申請 ④ ケーブル敷設・基地局等NW機器設置工事 ⑤ 疎通試験 ⑥ システム機材の納入 ⑦ 結合試験を実施 ⑧ 実測値パフォーマンスの記録・SLA規定 ⑨ 本番レベルでのオリエンテーション ⑩ 最終引渡し <p>以降、保守運用サポート</p> |

(5) 体制・事業スキームのモデル

体制・事業スキームの標準的なモデルとして下表を想定している。ただし、小規模施設等でローカル5G無線局の免許人となるために必要な免許（第三級陸上特殊無線技士）の取得等が困難である場合などは映像システム取扱事業者等が代替して免許人となることも考えられる。

表 4.4.15 体制・事業スキーム

| | 役割 | 想定される担当事業者 | 本件実証における事業者相当 |
|---|-----|------------|---------------|
| a | 免許人 | 土地所有者 | 東京都渋谷区 |

| | | | |
|---|----------|---------------------|-----|
| b | ネットワーク構築 | ローカル5G NWベンダー | NEC |
| c | システム構築 | 映像システム取扱事業者 | stu |
| d | 運用サポート | 施設事業者 / 映像システム取扱事業者 | stu |

(6) 導入効果

各規模の会場における1公演当たりの費用削減効果を試算した結果は下表のとおり。

表 4.4.16 一般的なケーブル関連コスト

| 削減の対象となる1公演当たりのケーブル関連コスト | |
|----------------------------------|-------------|
| LINE CUBE SHIBUYA (収容人数: 2,000人) | ¥1,000,000 |
| 東京ガーデンシアター (収容人数: 8,000人) | ¥3,080,000 |
| 横浜アリーナ (収容人数: 17,000人) | ¥6,400,000 |
| 国立競技場 (収容人数: 88,000人) | ¥12,400,000 |

費用内訳は以下のとおりであり、本件実証会場であるLINE CUBE SHIBUYAを最小サイズの導入モデルとして考えた場合、敷地面積・収容人数の大きい会場であるほど経済合理性の高いシステムであるといえる。

表 4.4.17 一般的なケーブル関連コスト内訳（再掲）

| ① ケーブルコスト | | | | | |
|--------------------|-------|----------------------------|--------|------|------------|
| 支出項目 | カメラ台数 | ケーブル本数 | 見積単価/日 | 稼働日数 | 金額 |
| LINE CUBE | 10 | 20 | 5000 | 2 | ¥200,000 |
| 東京ガーデンシアター | 18 | 150 | 5000 | 2 | ¥1,500,000 |
| 横浜アリーナ | 30 | 340 | 5000 | 2 | ¥3,400,000 |
| 国立競技場 | 50 | 540 | 5000 | 2 | ¥5,400,000 |
| ② 光伝送機器コスト | | | | | |
| 支出項目 | カメラ台数 | セット数 (光電送機の受信機・送信機のセット) | 見積単価/日 | 稼働日数 | 金額 |
| LINE CUBE | 10 | 2 | 50000 | 2 | ¥200,000 |
| 東京ガーデンシアター | 18 | 5 | 50000 | 2 | ¥500,000 |
| 横浜アリーナ | 30 | 24 | 50000 | 2 | ¥2,400,000 |
| 国立競技場 | 50 | 40 | 50000 | 2 | ¥4,000,000 |
| ③ ケーブル敷設・撤収関連人件コスト | | | | | |
| 支出項目 | カメラ台数 | 人数 | 見積単価/日 | 稼働工数 | 金額 |
| LINE CUBE | 10 | 10 | 40000 | 2 | ¥600,000 |
| 東京ガーデンシアター | 18 | 18 | 40000 | 2 | ¥1,080,000 |
| 横浜アリーナ | 30 | 35 | 40000 | 2 | ¥1,500,000 |
| 国立競技場 | 50 | 50 | 40000 | 2 | ¥3,000,000 |

費用削減効果のほか、事業実体としては限られた時間の中で設営を行う必要があるため、作業時間の削減という観点でも実用性は高い。また、撮影スタジオのような閉空間においては、従来ケーブルの制約で検討できなかったカメラワークが可能になるといった品質面における貢献も導入効果として挙げられる（詳細は効果検証結果を参照）。

(7) 実装モデルに関する検証結果

上記の実装モデルのフィージビリティについてヒアリングを中心とした検証を行った。具体的には、将来の導入先となり得る新規開業予定の施設関係者や映像事業関係者等が参加する実証視察会を実施し、実証システムについて説明するとともに、視察会参

加者に対して実装モデルの可用性についてヒアリングを実施した。

(ヒアリング対象企業)

- ・株式会社 NHK テクノロジーズ
- ・三井不動産株式会社
- ・株式会社アミューズ
- ・株式会社シアターワークショップ

表 4.4.18 実装モデルに関するヒアリング結果概要

| 項目 | 意見 |
|--------------|---|
| 想定ターゲット | <ul style="list-style-type: none"> ・NHK の収録スタジオ (NHK テクノロジーズ) ・新設予定のアリーナ施設 (三井不動産) ・新規開業予定のアリーナ施設 (シアターワークショップ) |
| 対象システム | <ul style="list-style-type: none"> ・基本システムとしてはシンプルで取り扱いしやすいと感じる。ルーターや映像電送機については機器同士の接続が簡易になると良い。カメラにタリーや送り返し映像があると既存システム利用者にとっては安心感がある。(NHK テクノロジーズ) ・これだけの規模感の公演に対してケーブルの少なさに驚いている。カメラワークの自由度が革新的に変わる可能性を感じており、市場のニーズも高いと感じた。(アミューズ) |
| 導入先の前提条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・常設のみでなく、可搬型になることで活用範囲が広がる (NHK テクノロジーズ) ・新規開業予定の施設には導入しやすい、埋設配管や基地局やデコード PC ラック設置箇所を加味すると、基本設計段階から計画に組み込んでおきたい。(シアターワークショップ) |
| 標準モデル | <ul style="list-style-type: none"> ・UL スループットの容量拡大を希望。通常 8K では 130Mbps が理想と考えている。高解像度にも対応されると、より活用の幅が広がる (NHK テクノロジーズ) ・UL スループット値がよりあった方が良い (シアターワークショップ) |
| 体制・事業スキームモデル | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型利用が可能になれば、自社でも免許を取得し、ローカル 5G を活用したいと考えている (NHK テクノロジーズ) |
| 導入効果 | <ul style="list-style-type: none"> ・10 カメのカメラケーブル敷設した場合と比較して 1 日程度のコスト削減になるので効果は大きい。さらに通常設置するのが困難な場所にカメラを設置できるため演出の幅が大きく広がる (NHK テクノロジーズ) ・他の施設との差別化につながる有用なシステムだという印象。アリーナにはスポーツ以外の利用用途が求められる中、ワイヤレスで映像撮影が可能となれば、音楽イベントの誘致に効果的。(三井不動産) |

(8) ヒアリング等を踏まえた課題と対応策

① コスト負担

ローカル5G導入にあたっての初期コストが大きくコモディティ化のハードルが高いことが課題となるが、LINE CUBE SHIBUYA で実証された回収モデルを提示し、経済合理性を持った設備投資が行えるよう投資対効果に係る決済材料を可能な限り明確化する。また、令和4年度以降基地局敷設コストも価格低下が期待できることから、市場調査を入念に行い、費用対効果の高い基地局ベンダーの選定を行う。

② 技術面の知見不足

施設事業者は映像機器やネットワーク機器に対する知見が不足しており、導入システムの運用面に対しての不安が強いことが課題となるが、本実証システムの提供元（本実証コンソーシアムを中心とした事業体）がトレーニングやマニュアル化を行い、保守メンテナンス対応のスキームを手厚く用意する。導入施設の運営状況によっては、常設初年度はコンソーシアムにて本システム利用の運用サポートチームを組成し、本番前の事前準備や、本番当日の運営サポートを行うことで技術者不足に依る常設化判断の障壁を取り払っていく。

③ ネットワークのスペック

LINE CUBE SHIBUYA での実証スキームでは映像伝送の同時接続数が1台当たり4Mbpsで10台であり、本来導入における経済合理性が高くなるはずのアリーナやスタジアムサイズの要求性能に達していないことが課題であるが、本件実証におけるシステムは帯域性能の向上に伴いスケーラビリティを持つと考えられる。

④ システムの安定性

システム全体の安定性をどのように確保できるかが課題であるが、スループット性能が向上し同時接続台数が増えた際には、接続チャンネル毎に帯域を確保するようなネットワークスライシングを想定し、輻輳時の制御において使用頻度の低いチャンネルをカットしアクティブなチャンネルを優先するような形を構築することが想定される。

4.4.2.2 普及展開方策の検討

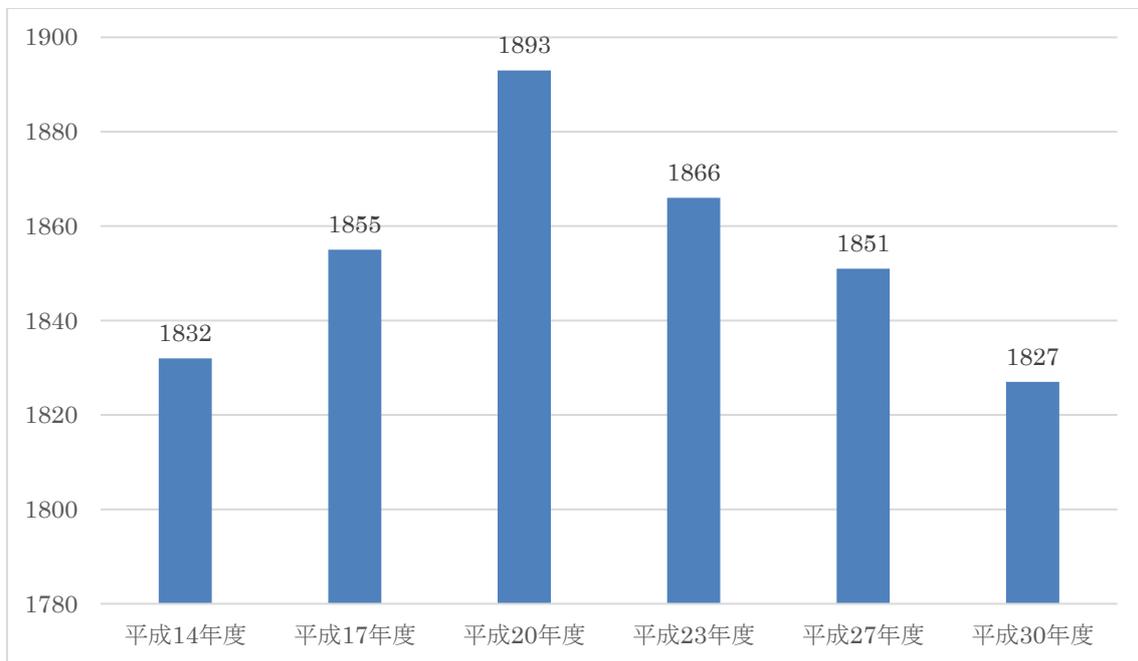
(1) 市場環境

4.4.2.1でも述べたとおり、本実証システムはホール・劇場、スタジアム・アリーナ、放送局・撮影スタジオ、複合商業施設等の幅広い施設に展開可能である。

特に普及先の中心となるホール・劇場については、2010年以降、新宿厚生年金会館（2010年閉鎖）や五反田ゆうぽうと（2015年閉鎖）など都心で駅から近く着席可能な2,000席規模のホールが複数閉鎖された影響から、平成20年度の1,893施設をピークに

微減の傾向にあるが、継続して1,800以上の施設数を維持している。

図 4.4.19 ホール・劇場数推移



(出典) 文部科学省社会教育調査よりコンソーシアム作成

全体としての施設数は微減の傾向にある一方、本実証システムの導入障壁が比較的低い施設の新設・建替え・改修も毎年一定数行われている。近年では、赤坂 ACT シアター（2008年新設）や KAAT 神奈川芸術劇場（2011年新設）、東急シアターオーブ（2012年新設）などの専門劇場、Zepp ダイバーシティ東京（2012年新設）、チームスマイル・豊洲 PIT（2014年新設）など、湾岸部におけるホール新設がみられるほか、都心部と首都圏郊外の両地域のホール・劇場で建替えや改修が行われており、リニューアルされた施設の提供が数多く行われている。

上記のとおり、既存施設は劇場・ホールだけで1,800以上の数があるため本実証システム関連市場は比較的大規模といえ、また、より導入障壁の低い新設・建替え・改修案件も毎年企画されていることから、継続的かつ安定的な普及が見込まれる環境にある。

加えて、昨今プロバスケットボールBリーグの人気の高まっており、これに伴い各チームのホームアリーナ建設ラッシュが続いている。2021年から2025年までに開業を予定しているアリーナは現時点で7施設に及んでいる。いずれの施設もBリーグの試合は年間での開催数が60日程度となり、300日程度試合が行われていない状況であることから、バスケットボール以外で利用者をいかにして獲得するかが業界全体の課題でもある。このため、各施設「選ばれる」アリーナを目指し、付加価値創出が求められている。

こうした背景を踏まえ、本コンソーシアムにおいても令和4年度以降の普及展開における実装先の候補としてBリーグのアリーナ施設を検討している。

表 4.4.19 首都圏における近年の新設又は建替え・改修の事例及び予定

| 年 | 施設名 | 施設類型 | 種別 |
|------|------------------------|------------|-----|
| 2006 | 杉並公会堂 | ホール・劇場 | 建替え |
| 2008 | TOKYO DOME CITY HALL | ホール・劇場 | 新設 |
| 2008 | 赤坂 BLIZ | ホール・劇場 | 建替え |
| 2008 | 赤坂 ACT シアター | ホール・劇場 | 建替え |
| 2010 | 日本橋三井ホール | ホール・劇場 | 新設 |
| 2010 | 積水ハウスミュージカルシアター四季劇場 | ホール・劇場 | 新設 |
| 2010 | 八王子市民会館 オリンパスホール八王子 | ホール・劇場 | 新設 |
| 2011 | 春日部コンベンションホール | ホール・劇場 | 新設 |
| 2011 | KAAT 神奈川芸術劇場 | ホール・劇場 | 新設 |
| 2012 | Zepp ダイバーシティ東京 | ホール・劇場 | 新設 |
| 2012 | 渋谷ヒカリエ ヒカリエホール | ホール・劇場 | 新設 |
| 2012 | 東急シアターオーブ | ホール・劇場 | 新設 |
| 2012 | 舞浜アンフィシアター | ホール・劇場 | 新設 |
| 2013 | EX THEATER ROPPONGI | ホール・劇場 | 新設 |
| 2013 | 歌舞伎座 | ホール・劇場 | 建替え |
| 2014 | チームスマイル・豊洲 PIT | ホール・劇場 | 新設 |
| 2015 | 川崎市市民会館 | ホール・劇場 | 建替え |
| 2015 | 西部地域振興ふれあい拠点施設 ウェスタ川越 | ホール・劇場 | 建替え |
| 2017 | 川崎市体育館 | スタジアム・アリーナ | 建替え |
| 2017 | 川崎市スポーツ・文化総合センター（アリーナ） | スタジアム・アリーナ | 建替え |
| 2017 | IHI ステージア라운드東京 | ホール・劇場 | 新設 |

| | | | |
|------|-----------------------|------------|-----|
| 2017 | 日本青年館 | ホール・劇場 | 建替え |
| 2017 | アリーナ立川立飛 | スタジアム・アリーナ | 新設 |
| 2017 | 武蔵野の森総合スポーツプラザ | スタジアム・アリーナ | 新設 |
| 2017 | 武蔵野市民文化会館 | ホール・劇場 | 改修 |
| 2018 | 川崎市スポーツ・文化総合センター（ホール） | スタジアム・アリーナ | 建替え |
| 2018 | 川崎市教育文化会館 | ホール・劇場 | 建替え |
| 2018 | 茅ヶ崎市民文化会館 | ホール・劇場 | 改修 |
| 2019 | 新国立競技場 | スタジアム・アリーナ | 建替え |
| 2019 | 渋谷公会堂 | ホール・劇場 | 建替え |
| 2019 | 国立霞ヶ丘陸上競技場 | スタジアム・アリーナ | 建替え |
| 2019 | 新宿住友ホール | ホール・劇場 | 新設 |
| 2019 | 東京建物 Brillia ホール | ホール・劇場 | 新設 |
| 2019 | 室町三井ホール&カンファレンス | ホール・劇場 | 新設 |
| 2019 | 有明アリーナ | スタジアム・アリーナ | 新設 |
| 2019 | 有明コロシアム | スタジアム・アリーナ | 改修 |
| 2020 | JR 東日本アートセンター四季劇場 | ホール・劇場 | 建替え |
| 2020 | 高崎文化芸術センター | ホール・劇場 | 新設 |
| 2020 | 東京ガーデンシアター | ホール・劇場 | 新設 |
| 2021 | 水戸市新市民会館 | ホール・劇場 | 新設 |
| 2021 | 埼玉市民会館おおみや | ホール・劇場 | 建替え |
| 2025 | 中野サンプラザ | ホール・劇場 | 建替え |
| 2025 | 国立劇場 | ホール・劇場 | 改修 |
| 未定 | 日比谷公会堂 | ホール・劇場 | 改修 |

(出典) JTB 総研 「平成 28 年度ホール・劇場に係る調査・分析報告書」

(https://www.seikatubunka.metro.tokyo.lg.jp/bunka/bunka_seisaku/houshin_torikumi/files/0000000938/houkokusho.pdf) よりコンソーシアム作成

※上記対象は1,000人以上のキャパシティの施設

表 4.4.20 2025 年までに開業するアリーナ

| 開業予定年 | 施設名 | ホームチーム | 事業主体 |
|--------|----------------------|-----------------|------|
| 2021 年 | 沖縄アリーナ | 琉球ゴールデンキングス | 公設 |
| 2022 年 | SAGA アリーナ | 佐賀バルーンズ | 公設 |
| 2023 年 | OTA アリーナ | 群馬クレインサンダーズ | 公設 |
| 2024 年 | LaLa arena TOKYO-BAY | 千葉ジェッツ | 民設 |
| 2024 年 | 神戸アリーナ | 西宮ストークス | 民設 |
| 2024 年 | 長崎アリーナ | 長崎ヴェルカ | 民設 |
| 2025 年 | 愛知アリーナ | 名古屋ダイヤモンドドルフィンズ | 公設 |

(出所) Forbs 「Bリーグ悲願の「魅せるアリーナ」誕生 続く建設ラッシュ、成功の鍵は？」 (<https://forbesjapan.com/articles/detail/39839/2/1/1>)

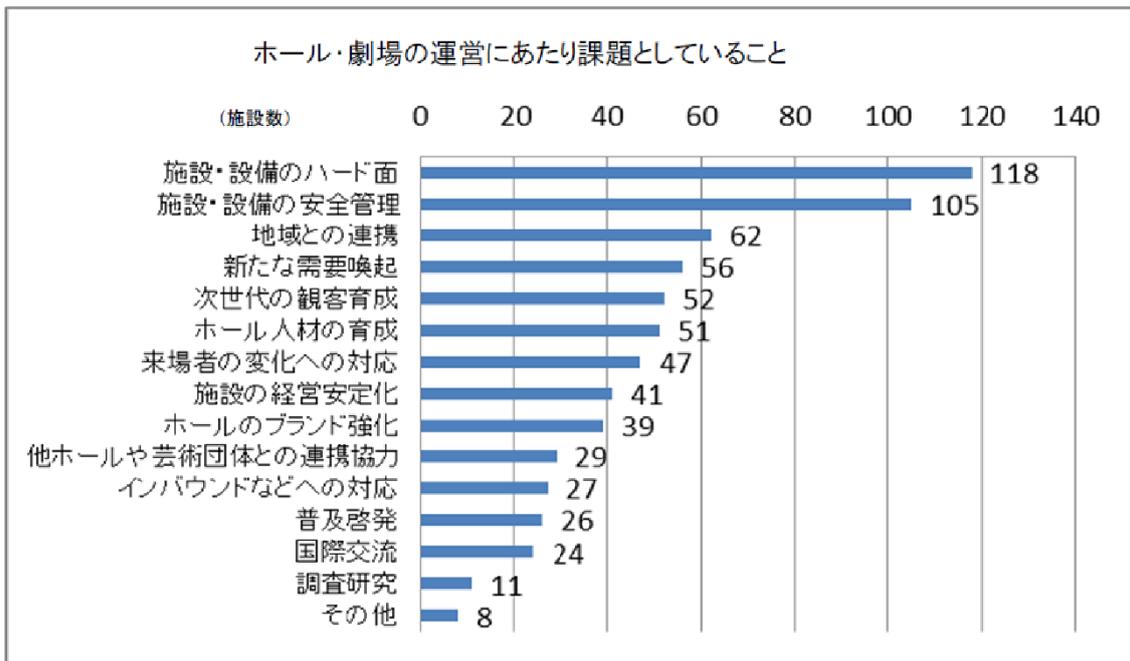
(2) 施設事業者のニーズ

前述のとおり本実証システムのおおよその収益効果は以下の式で求めることができるため、一定以上の稼働率及び稼働数のうち撮影を伴うイベントの割合があれば収益化が可能であり、前提条件に該当する施設事業者のニーズが見込まれる。

年間売上増加額 (会場利用費単価増加額×会場稼働率×稼働数のうち撮影を伴うイベントの割合×365) - 年間出増加額 (年間償却費+年間管理費)

また過去の調査 (150 施設に対するアンケート調査) によると、1/3 以上のホール・劇場の施設事業者が新たな需要喚起を課題としている。施設事業者にとっての顧客となる公演事業者に広く浸透している配信事業の需要の取り込みを行う観点からも、本実証システムの導入ニーズは高まっていると考えられ、上記前提条件を満たしていない施設事業者についても新規需要開拓の観点から戦略的に本実証システムを導入することも想定される。

図 4.4.20 ホール・劇場の抱える課題



(出典) JTB 総研 「平成 28 年度ホール・劇場に係る調査・分析報告書」
 (https://www.seikatubunka.metro.tokyo.lg.jp/bunka/bunka_seisaku/houshin_torikumi
 /files/0000000938/houkokusho.pdf) より引用

(3) 普及展開の体制

実証会場以外の施設への普及展開においては、本実証コンソーシアムの構成会社を中心とした体制を構築する。また、本実証システムを含むサービスの提供はコンソーシアム構成各社の既存事業とも関連性が大きいことから、別途新たに事業会社を設立することはせず、コンソーシアム体制を維持して普及促進を行う。

施設事業者へシステム導入を行う際には、株式会社 stu が事業主体となり施設事業者から業務委託を受けて、実装に向けた計画立案からシステム設計、構築、運用サポートまで請け負う形を想定している。システム構築に当たっては、コンソーシアム外の基地局ベンダーおよび無線映像伝送中継機ベンダーに対して株式会社 stu から業務委託を行う形で、ローカル 5G 電波環境および無線映像伝送システム構築を行う。令和 4 年度以降のコンソーシアム各社の関係については、stu から NHK エンタープライズ、KDDI、渋谷未来デザインに対して本実証システムのサービスの販売・営業を委託する形を採用する (stu においても自ら販売・営業を行う)。本実証コンソーシアム構成事業者 (stu、NHK エンタープライズ、KDDI、渋谷未来デザイン) の関連するプロジェクトは先進的なソリューションを要求される性質のものが多く、各社の事業を通じて本件実証システムの販売機会の探索・アプローチを行うことが考えられる。

表 4.4.21 令和4年度以降の普及展開におけるコンソーシアム各社の役割

| 会社名 | 普及展開における役割 |
|--------------|--|
| stu | <ul style="list-style-type: none"> ・施設事業者へシステム導入を行う事業主体 ・普及展開活動において主体的に推進し、コンソーシアム構成企業と連携をとりながら各社の自社事業での本システム利活用の可能性を模索 ・本実証事業の実証公演に出演協力頂いたアーティストとも足並みを揃えた形での戦略的な広報活動 |
| NHK エンタープライズ | <ul style="list-style-type: none"> ・NHK および NHK グループ各社へのシステム導入の働きかけ ・システムを活用した制作・企画の推進 |
| KDDI | <ul style="list-style-type: none"> ・自社事業及び関連部署との連携による、システムの安定性向上に向けた開発 ・パブリック 5G (5G SA) によるボンディング代替など、普及促進に向けた戦略検討 ・システムを活用した制作・企画の推進 ・他施設への導入に向けた啓蒙活動、導入提案 |
| 渋谷未来デザイン | <ul style="list-style-type: none"> ・渋谷区内企業とのメディアリレーション ・渋谷区との継続協議窓口対応 ・渋谷 5G エンターテイメントプロジェクト内での普及啓蒙活動 |

表 4.4.22 (参考) 実証システムの普及機会に繋がるコンソーシアム各社の現状の取組

| |
|--|
| KDDI |
| <p>・5Gの普及浸透に向けて、ホール・スタジアム向けの5G置局のみに止まらず、放送事業者や興行事業者や自治体との協働を行い、エンターテイメントに関係する各ステークホルダーの事業活用を推進している。</p> <p>具体的には、「渋谷5Gエンターテイメント推進プロジェクト」によるバーチャル渋谷を軸とした新たなオンラインエンターテイメントの事業開発、野球・サッカーチームとの5G/XRを利活用した新たな観戦スタイルの提供、ネット放送事業者と共同して5G SAのネットワークスライシングを用いた安定的な映像配信実証などを行っている。</p> |
| NHKエンタープライズ |
| <p>親組織であるNHKはNHKホールを保有しているほか、放送及び放送関連イベントなど配信や収録と密接に結びついた事業を行っている。2024年にはNHK放送センター建替の一期工事が竣工予定であり、本件実証システムの活用について案内先候補になると考える。グループ会社としては、同社は各種配信イベントを企画・運営しており、本システムを活用した事業を企画が可能である。</p> |

渋谷未来デザイン

渋谷区を世界最前線の「実験基地」として位置付け、イノベーションプラットフォームとして80以上の参画企業と共に可能性開拓型のプロジェクトを推進する社団法人。現在では、「渋谷5Gエンターテインメント」をはじめとした様々な共創プロジェクトが立ち上がっており、まちづくりの観点からは主要デベロッパーとの結びつきも強く商業施設に向けた情報発信や、都市として実証した事業モデルを、渋谷から、日本のみならず世界に発信している。

stu

2021年沖縄アリーナの配信システムの設計・実装を担当したことが評価され、現在4都道府県のアリーナ、スタジアム、ホールの映像関連技術概念設計に携わっている。

(4) 提供するサービス

本実証システムの構成機器（ローカル5G機器その他中継器等のシステム構成機器）の提供を行うほか、施設事業者の導入障壁と想定されるネットワークの知見不足に対して、以下の各種導入支援サービスを提供する。

① システム検討・構築支援

導入までのシステム設計、免許申請、設備設置位置・施工内容の検討に関するコンサルティング・実行支援を行う。また、設備設置後の疎通試験・結合試験を支援する（ローカル5Gネットワークの設定調整については普及促進主体であるコンソーシアムからNWベンダーに委託する形を想定）。

② システム運用サポート

導入後の運用面のサポートとして、ネットワーク及び実証システム自体の運用サポートと通常施設事業者が公演事業者に対して行う音響管理等の公演のオペレーションサポート（stuが現在事業として行っているサービスであり、ローカル5Gシステムの導入有無にかかわらず求められるサポート）をパッケージ化して提供する。

(5) 普及展開の手順・進め方

本実証システムの性能はローカル5Gネットワークの性能に依存する。現時点のローカル5G機器のスペックでは導入可能な施設規模に限界があるため、普及当初はLINE CUBE SHIBUYAと同規模の施設若しくは小規模な施設を対象に普及を推進する。ローカル5G機器の性能が向上し、ULスループットが向上した結果カメラの同時接続可能台数が十分となった段階で、多くのカメラを必要とする大規模ホール・劇場やスタジアム・アリーナに対してアプローチを行う。

表 4. 4. 23 施設規模と普及が可能となる目安時期

| 類型 | 施設例 | 収容人数 | 標準カメラ台数 | 必要ULスループット (10Mbps/台の場合) | 基地局1局で対応可能となる予想時期 |
|-------------|-------------------|---------|---------|-----------------------------|-------------------|
| コンサートホール・劇場 | LINE CUBE SHIBUYA | 2,000人 | 10台 | 120Mbps | 2022 |
| コンサートホール・劇場 | 東京ガーデンシアター | 10,000人 | 18台 | 230Mbps | 2022-2023 |
| スタジアム・アリーナ | 横浜アリーナ | 17,000人 | 25台 | 320Mbps | 2023-2024 |
| スタジアム・アリーナ | 新国立競技場 | 68,000人 | 50台 | 650Mbps | 2023-2024 |

また普及当初は、公演の数が多いため必然的に稼働率が高く、施設も密集している首都圏の施設を重点的に普及対象とする。また、首都圏における普及が進み、一定の収益モデル・実績が蓄積された段階で地方の施設に対してアプローチを行う。

表 4. 4. 24 地域別ホール・劇場稼働率（再掲）

上欄:ホール数、下欄:稼働率(%)

| 収容人数 | 合計 | 北海道地区 | 東北地区 | 関東甲信越静地区 | 東北海陸地区 | 近畿地区 | 中国四国地区 | 九州地区 |
|-----------|-------|-------|------|----------|--------|------|--------|------|
| | 平均 | | | | | | | |
| 2000名～ | 52 | 3 | 5 | 17 | 7 | 8 | 7 | 5 |
| | 67.5 | 61.3 | 60.4 | 75.0 | 61.8 | 71.4 | 71.6 | 70.8 |
| 1500～1999 | 110 | 4 | 11 | 35 | 16 | 14 | 13 | 17 |
| | 60.3 | 57.9 | 59.6 | 68.1 | 59.9 | 54.5 | 58.8 | 63.3 |
| 1000～1499 | 369 | 13 | 47 | 136 | 50 | 43 | 32 | 48 |
| | 47.4 | 36.1 | 51.9 | 57.3 | 47.8 | 51.6 | 42.5 | 44.6 |
| 500～999 | 550 | 20 | 59 | 150 | 81 | 74 | 74 | 92 |
| | 51.4 | 49.6 | 54.6 | 57.8 | 47.2 | 48.5 | 47.3 | 55.1 |
| 499以下 | 679 | 30 | 71 | 214 | 92 | 116 | 67 | 89 |
| | 56.8 | 51.0 | 55.5 | 63.7 | 56.9 | 58.4 | 52.2 | 60.2 |
| 全体の合計 | 1,760 | 70 | 193 | 552 | 246 | 255 | 193 | 251 |
| 平均 | 56.7 | 51.2 | 56.4 | 64.4 | 54.7 | 56.9 | 54.5 | 58.8 |

・稼働率＝稼働日数÷利用可能日数(小数点2位以下四捨五入)

(出典)文化庁「劇場・音楽堂等に関する基礎データ」より引用
(https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkashingikai/kondankaito/engeki/01/pdf/shiryo_5.pdf)

具体的な普及促進の想定フェーズは以下のとおり。なお、各フェーズを通じて、直接の顧客となる施設事業者を導入効果等を含む実証結果を周知していくほか、実証システムのニーズの裾野を拡大させていくため、公演事業者にも実証システムの価値を周知し訴求していく。

① 実装フェーズ1

令和4年度においては、本実証会場であるLINE CUBE SHIBUYAにおける常設化を継続検討及び協議するほか、実証システム概要、実装モデル、実装による便益をとりまとめた販売促進用資料（サービスリーフレット）を作成し、施設への技術設計等の機会をとらえてサービスの案内を行う。提案先には収益シミュレーションを実施して導入を促進する。

② 実装フェーズ2

2023年度においては、ローカル5Gネットワークベンダーの製品開発が一層進み、スループットや同時接続可能数等の性能が向上する見込みである。このため、より高精細な映像を多くのカメラから伝送できるようになり、本実証システムの利用価値が大幅に増加する。こうした性能の向上について訴求するとともに、LINECUBE SHIBUYAにおける2022年度の年間収益増加額が算出可能なため、これを資料化して販売促進を加速化させる。上記の販売促進活動により、首都圏の既存施設を中心にLINE CUBE SHIBUYAのほか2施設において新規導入を実現させる。

③ 実装フェーズ3

特にstuでは多くのアリーナ、スタジアム、ホールの映像関連技術概念設計を担当しており、今後も継続して同様の業務を受注することが想定されることから、実装フェーズ1・2の段階からstu等が映像関連技術概念設計等を担当する2024年度以降の新設・建替え・改修予定案件に対して本実証システムの導入提案を行い、24年度においては首都圏を中心に既存分含めて10施設程度への普及を実現させる。

※なお、スタジアム・アリーナ改革（スポーツ庁）で推進されている所有者・運営者等が一体となった施設においてはシステムの導入主体とコスト削減等の利益の帰属主体が同一となるためシステムの導入ニーズがより高いことが想定されるため、一体的な運営を行う施設を重点的に普及対象とすることを想定している。

④ 実装フェーズ4

2025年度においては各分野におけるローカル5G設備の普及が進み、機器の価格も低減していると想定されることから、一層の普及促進が可能となる。また、導入施設数が10施設を超えた場合、施設事業者の収益効果も周知され、次世代の施設設備として一般化していくことが想定されることから、導入実績及び収益効果の実例を基に全国の新設・建替え・改修予定の施設に対してアプローチを行う。

表 4.4.25 実装及び横展開に向けたステップイメージ（再掲）

| フェーズ | 時期 | 導入施設数 | 実施内容 |
|---------|-------|-------|--|
| 実装フェーズ1 | 22年4月 | 1施設 | 本件実証会場 LINE CUBE SHIBUYA にて常設化を検討し、導入された暁には公演事例を増やしプレスリリースを発出するとともにサービスのリーフレットを作成し周知を図る。 |

| | | | |
|-------------|-------|------|--|
| 実装フェーズ 2 | 23年4月 | 3施設 | スループットや同時接続数等のローカル5Gの性能向上*によって、より高精彩な映像でサービス提供が可能になり導入モデルが増加する |
| 実装フェーズ 3 | 24年4月 | 10施設 | 2024年竣工予定の大規模商業施設やイベント会場が本件システムを導入し開館を行う |
| 実装フェーズ 4 | 25年4月 | 30施設 | 導入モデル自体が一般化し、既存施設にも導入が進む |

*本実証機器の提供元である日本電気(株)の機器開発計画においてスループット・遅延・同時接続数等の性能の向上が予定されている。

図 4.4.21 横展開計画表

| | フェーズ1 (FY2022) | フェーズ2 (FY2023) | フェーズ3 (FY2024) | フェーズ4 (FY2025) |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| 実証会場 | LINE CUBE 常設化 | LINE CUBE 運営サポート | | |
| 既存ホール・ライブハウス・劇場 | 販促資料まとめ既存ホール・劇場に提案開始 | LINE CUBE収益実績・運営サポート実績踏まえ加速化 | 性能向上・価格低下も踏まえ普及進む | 認知向上し業界口コミにより全国で導入が進む |
| 既存スタジアム・アリーナ | スタジアム・アリーナ等大規模施設への提案を見据えた検討開始 | 性能向上を踏まえ既存スタジアム・アリーナ等への提案を開始 | カバーエリア拡大等NW性能向上を踏まえ提案を加速化 | 首都圏中心に大規模施設への普及が開始 |
| 新設・改修施設 | FY2024以降の新設・改修予定施設の映像技術企画等業務で提案を開始 | | 導入提案した新設・改修施設が順次オープン | |
| 外部環境変化 | — | ・スループット等のNW性能が向上し4K等高精細映像の伝送が可能となる | ・NW性能の更なる向上でカバーエリア・スループットが向上し大規模施設の導入障壁緩和 ・ローカル5Gの分野横断的な普及に伴い機器価格が低下 | ・継続的なNW性能向上 ・継続的な機器価格低下 ・認知の向上により次世代設備としての業界統一意識が形成 ・スタジアム・アリーナで施設事業者と興行主の一体化の進展 |
| 想定導入先 | 首都圏の既存ホール・ライブハウス・劇場 | 首都圏の既存ホール・ライブハウス・劇場 | 首都圏の既存・新設・改修ホール・劇場・スタジアム・アリーナ等 | 全国の既存・新設・改修ホール・劇場・スタジアム・アリーナ等 |
| 目標導入施設数 | 1施設 (LINE CUBE SHIBUYA) | 3施設 | 10施設 | 30施設 |

(6) 5Gソリューションセンターとの連携

現在構築が進められている5Gソリューションセンターについては詳細の機能が明らかになっていないものの、令和4年度以降、システムの運用サポート・技術サポート等において活用することを検討し、一層の普及展開につなげることを想定している。

① ユーザー企業に必要となるスキルセット、支援内容等における見解

当コンソーシアムでは、ユーザー企業を「施設事業者」「公演事業者」「イベント運営（撮影）事業者」と定めており、実運用されることを想定した場合には、それぞれ求められるスキルセットが異なることを想定している。

【ユーザー企業の定義】

A. 施設事業者：

公演事業者に対する施設提供サービスのオプションとしてローカル5Gを用いたワイヤレス映像伝送システムをメニュー化し、経済合理性の高い付加的なサービスとしてイベント運営事業者に提供

B. 公演事業者：

施設事業者が保有する本実証システムを施設利用時にサービスオプションとして利用申請を行い、同社が委託するイベント運営（撮影）事業者に対してその利用を促す

C. イベント運営（撮影）事業者：

公演事業者からの委託を受け、イベント運営業務に含まれる映像撮影業務のワークフローの中で、本システムを活用して公演の収録及び配信を行う

【ユーザー企業に求められる役割とスキルセット】

A. 施設事業者：

ローカル 5G 基地局設備含むインフラ設備とプロフェッショナル向けの映像撮影機材に関する基本的な知見を有しており、公演事業者に対して本システムの概要及び利用方法に関して具体的に説明でき、当日のオペレーションサポートが行えるとともに、インシデント発生時に初期対応が可能となるスキルセットが求められる。通常施設付きで、映像音響照明機材管理及び施設全体のネットワーク管理を行う技術スタッフが常駐しており、基本的にはこういったスキルセットを有する人格であれば運用可能と想定している。ただし、公演事業者に対して当日のオペレーションサポートが求められることが想定されるため、本システム運用に当たっては施設事業者の通常業務範囲外となるため、追加で専任人材を雇用し、常駐させることが望ましい。

B. 公演事業者：

本システムに対する基本的な構成とメリット・デメリットを正しく理解することが求められる。実際にシステムを利用するのはイベント運営（撮影）事業者となるが、自社の公演において本システムの利用は費用対効果があるのかを、イベント運営委託先企業と密に連携をとりながら判断する役割が求められる。

C. イベント運営（撮影）事業者

本システムを利用する実際のオペレーターとしての役割を担う。システムの利用方法は通常、公演で映像撮影を担う企業であれば理解は容易なシステムだが、機材セットアップや映像伝送のワークフローが従来と異なることから、イベント運営（撮影）事業者においては対応の柔軟性が求められる。また、本システム利用に当たり、ワイヤレスならでのカメラワークを取り入れた従来とは異なる映像表現が可能となることから、撮影機材や撮影手法に対する幅広い知識と経験があることが望ましい。

② 提供コストの考え方や価格イメージ

令和3年度の実証結果より、初期投資としてローカル 5G 基地局設備導入費約 8 千万円、無線映像伝送中継機システム機材費約 2 千万円であることから、LINE CUBE SHIBUYA（2 千人規模）のコンサートホールと同規模の施設においては、約 1 億円の初期投資が必要となる見込み。加えて、ローカル 5G 基地局保守費用約 800 万、システム運用に伴う施設付きの担当者人件費約 400 万（システム利用頻度に応じて増減）を加味すると、おおよそ年間約 1200 万円のランニングコストが想定される。

一方、本システム利用に伴い、従来の映像撮影手法と比較した場合のケーブル敷設削減コストは1日当たり50万程度の試算であることから、サービス提供価格に関しては、ランニングコスト及び初期導入コストの原価償却費ならびにケーブル敷設削減コストを加味し、さらに撮影された映像の二次利用価値向上（配信・映像作品としての販売）も見込めるも踏まえ、これらの条件から総合的に判断される。

表 4.4.26 LINE CUBE SHIBUYA における費用対効果の検証結果（再掲）

| 条件設定 | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------------------|-----|--------|-----------|---------------------|
| 会場：LINE CUBE | | | | | | |
| 休日稼働率：90% 平日稼働率：90% | | | | | | |
| システム利用率：会場稼働数の20% | | | | | | |
| L5G環境構築費用：1億円 | | | | | | |
| 収入の部 | | | | | | |
| 条件 | 摘要 | 会場稼働日数 | 稼働率 | 会場利用日数 | 会場利用料/日 | 利用料小計 |
| システム導入前 | 平日利用料 | 245 | 90% | 221 | 1,200,000 | ¥264,600,000 |
| | 休日利用料 | 120 | 90% | 108 | 1,380,000 | ¥149,040,000 |
| | A. 年間会場利用収入計 | | | | | ¥413,640,000 |
| システム導入後 | 平日利用料（システム利用なし） | 245 | 70% | 172 | 1,200,000 | ¥205,800,000 |
| | 休日利用料（システム利用なし） | 120 | 70% | 84 | 1,380,000 | ¥115,920,000 |
| | 平日利用料（システム利用あり） | 245 | 20% | 49 | 1,700,000 | ¥83,300,000 |
| | 休日利用料（システム利用あり） | 120 | 20% | 24 | 1,880,000 | ¥45,120,000 |
| | B. 年間会場利用収入計 | | | | | ¥450,140,000 |
| C. システム導入後収入差分 (B-A) | | | | | | ¥36,500,000 |
| 支出の部 | | | | | | |
| システム導入後追加 | システム環境構築費（償却期間5年設定） | 環境構築初期費用：1億円想定 | | | | ¥20,000,000 |
| | 年間基地局保守費 | | | | | ¥8,000,000 |
| | オペレーションサポート | 人件費単価：50,000円/日、稼働日：73日想定 | | | | ¥3,650,000 |
| | D. 年間支出計 | | | | | ¥31,650,000 |
| E. システム導入後年間収支 (C-D) | | | | | | ¥4,850,000 |

4.4.3 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

4.4.3.1 実証結果から得られた課題の抽出および解決策

① 必要スループットの限界とシステムの安定性

<課題>

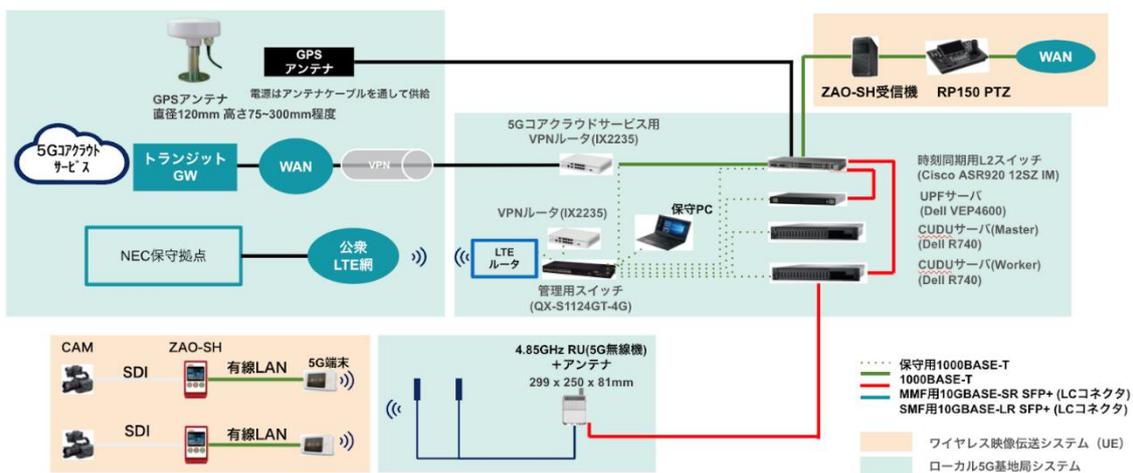
本実証と同規模のコンサートホール空間において実装を想定した場合、一般的に必要なとされるカメラ台数は10台、またNetflix等の配信プラットフォームでの実運用を想定した場合の一台あたりに期待されるビットレートは10Mbpsであり、加えて動きの大きい映像を撮影した際にビットレートが瞬間的に増減することから、期待されるスループットの合計は120Mbpsを想定している。これに対して、令和3年度の実証においては上りのスループット値が63Mbpsであったことを踏まえると、現状の規格では要求仕様を満た

しておらず、実装に向けては上りスループット値の大幅増が必要不可欠である。

加えて、ライブイベント等での使用を想定する場合、パフォーマンス収録中に電波の断絶やスループットが不安定になると撮影自体を行うことができない恐れがあるため、システムの安定性は実装に向けて必要不可欠となる。しかし、本実証時においては、ローカル5Gの疎通確認後に30分程度停波する事象が確認されており、今回採用された基地局の仕様には不安が残る結果となった。

上記結果を受け、基地局ベンダーである NEC 社と協議の結果、停波の要因として考えるものとして、5G コアの機能の一部がクラウドに置かれており、一度 WAN 回線を経由することから、その際トラフィック状況の影響を受けたことが想定されるとの見解を受けている。

図 4.4.22 ローカル5Gシステム基本構成図（再掲）



< 解決策 >

UL スループットに対する解決策としては、準同期 TDD 技術応用及び同期スループットの性能向上を想定しており、令和4年度以降基地局ベンダーと協力し課題解決に努めていく。現在基地局ベンダーおよび映像伝送中継機メーカー各社と次年度に向けた開発計画の協議を行っており、課題解決につなげられる見込みである。

また、令和4年2月にリリースされた、株式会社 FLARE SYSTEMS 社製の汎用サーバーを利用したソフトウェア基地局を活用することにより、最大 UL スループット 220Mbps となり、かつ汎用サーバー上にモバイルコアと基地局がオールインワンで実装されていることから、外部環境の影響を受けづらいことが想定されるため、システムの安定性にも期待ができる。

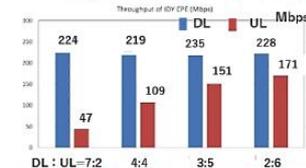
いずれの基地局を採用するにしても、令和3年度の NEC 社製ローカル5G基地局の UL スループット 63Mbps であったことと比較すると、令和4年度には大きな性能向上が期待できるため、実装に向けた課題解決に資するものとする。

図 4.4.23 FLARE SYSTEM ローカル 5G 実証用ソフトウェア基地局

FLARE SYSTEMS ローカル5G実証用ソフトウェア基地局について

ソフトウェア基地局 [FW-L5G-1]の特徴

- ✓ **市販のポータブル電源で長時間稼働の動作実績**
省電力（150W以下）常設電源がない場所でも簡単に設置可能
汎用サーバ × ソフトウェア制御により実現
- ✓ **認証 機関による工事設計認証を取得済み**
FW-L5G-1は、**工事設計認証取得済み**
無線局開設時の**免許申請手続きを簡略化**可能
- ✓ 「令和3年度総務省課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」で基地局仕様に求められる**準同期の追加パターンに対応済み**



汎用サーバ上にソフトウェア基地局を
実装することにより、
「安定性」と「カスタム性」を両立



東京大学
東京大学知見の社会展開

FLARE SYSTEMS
東京大学ベンチャー
デジタルトランスフォーメーションを牽引するプラットフォーム (5G又は、beyond5G) のコンサルティングとシステム提供

NECネットエスアイ
置局設計/施工
免許申請支援
運用支援等

共同事業化

✓ **NECネットエスアイのプロフェッショナルサービスにてご支援可**

2 FLARE SYSTEMS© 2021. All rights received.

FLARE SYSTEMS Confidential

FLARE SYSTEMS

図 4.4.24 FW-L5G-1 製品仕様

FW-L5G-1 製品仕様



◆ FW-L5G-1 外観

※仕様やデザインは変更の可能性があります。

FW-L5G-1 諸元表

| 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) |
| アンテナゲイン | 指向性アンテナ 12dBi |
| 最大チャネル帯域幅 | 100MHz |
| MIMOレイヤ数 DL/ UL | DL : 2 × 2 MIMO UL : 2 × 2 MIMO |
| 変調方式 | 256QAM (DL/ ULともに) |
| 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 |
| 電源条件 | AC100V |
| 質量 | 約20Kg |
| サイズ (高さ × 幅 × 奥行) | (W) 285mm x (H) 513mm x (D) 471mm |
| 動作温度 | 0 °C ~ 40 °C |

4 FLARE SYSTEMS© 2021. All rights received.

FLARE SYSTEMS Confidential

FLARE SYSTEMS

(出所) FLARE SYSTEMS 社ホームページ (<http://flare-systems.co.jp/>)

② 高額な初期導入コスト

<課題>

令和3年度の実証結果を踏まえ、本システムの常設化にかかる初期導入コストとしては、ローカル5G基地局導入コストで約7000万、無線映像伝送システム構築コストで約2000万、常設化に向けた配線配管等の施設付帯工事で約1000万の総額約1億円が必要となる。現状の価格感では、施設事業者としては導入の意思決定及び導入後の投資回収ハードルが高いことが課題として挙げられる。

<解決策>

上記に対する対応策としては、令和3年度の実証期間中にも多くの基地局ベンダーから廉価版の基地局がリリースされていることから、使用する基地局の選定見直しを令和4年度では計画している。また、同様にサブスクリプション型のサービスモデルもリリースされているため、これらのサービスを活用することも視野に入れ、初期導入コストの課題解決を図っていく。

具体的には、NTT東日本から令和4年3月にリリースされた企業向けマネージド・ローカル5Gサービス「ギガらく5G」によると、準同期TDDを採用した場合、理論値ではULスループット446Mbpsを実現可能で、かつ提供料金に関しては従来の約1/5（同社比較）とされており、工事費を含んでも初期導入コスト2000万以下を実現できる見込みである。加えて、令和3年度におけるNEC社製ローカル5G基地局設備の年間保守費用は約800万が想定されていたが、NTT東日本社製の「ギガらく5G」の場合、年間保守費用は約170万となっており、この点も施設事業者にとって収益確保に貢献するものと考えられる。

表 4.4.27 ギガらく5G 提供料金について

| 項目 | | 提供料金 | | |
|-------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------|
| | | サブスクリプション型* (月額) | 一括支払い型 | |
| 基本料金 | 基本利用料 (拠点) | 306,900円 | 一括11,594,000円 +月額113,300円 | |
| | RU・アンテナ 利用料 (台/セット) | インドARU (アンテナ一体) | 26,400円 | 一括1,056,000円 +月額8,800円 |
| | | アウトドARU | 26,400円 | 一括1,056,000円 +月額8,800円 |
| | | アンテナ | カテゴリ1 | 7,700円 |
| | カテゴリ2 | | 13,200円 | 一括737,000円 |
| オプション 料金 | RU・アンテナ 追加利用料 (台/セット) | インドAHUB 59,400円 | 一括2,486,000円 +月額17,600円 | |
| | | 上記以外 | 基本料金のRU・アンテナ利用料と同額 | |
| | 免許取得支援料 (拠点) | | 110,000円 | |
| 初期費用 | 工事費 | | 実費 | |
| | SIM発行手数料 (枚) | | 3,300円 | |

(出所) NTT 東日本報道発表資料 (https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220301_01.html)

従って、令和3年度の実証で算出された本システムの常設化にかかる初期導入コスト総額約1億円に対し、令和4年度にはローカル5G基地局導入コストで約2000万、無線映像伝送システム構築コストで約2000万、常設化に向けた配線配管等の施設付帯工事で約1000万の総額約5000万と約半額で実装が可能となる見込み。また、基地局保守費で年間170万、公演当日運営サポート費が5万×稼働日数であることを考慮に入れると、収益確保に必要な年間の最低システム利用日数は26日以上となる。

<算出条件>

初期導入減価償却：1000万

保守費用：170万

運営サポート：5万×システム利用日数

システム利用料：50万（設定）

<収益確保に必要な最低システム利用日数>

1000万円+170万円+5万×利用日数 < 50万×利用日数

26日 < 利用日数

上記結果を踏まえ、仮に、月に1日、また年末年始で5日間の計17日間休館日がある前提とした場合、年間26日の稼働率は以下の計算式から算出できる。

$$26日 / (365日 - 17日) = 7.4\%$$

従って、本システムを利用する公演が年間7.4%以上行われる場合、収益確保見込みがあると換えることができる。

上記によって算出された期待稼働率を元に、文化庁「劇場・音楽堂等に関する基礎データ」を参考に全国の稼働率状況を鑑みると、2,000人規模を収容できるホールにおいて平均の稼働率が67.5%であることから、左記のうち約1割以上の公演事業者が本システムを利用することで、収益確保が可能となる。

表 4. 4. 28 地域別ホール・劇場稼働率（再掲）

上欄:ホール数、下欄:稼働率(%)

| 収容人数 | 合 計 | 北海道 地 区 | 東 北 区 | 関東甲 信越静 地 区 | 東 北 区 海 陸 区 | 近 畿 区 | 中 国 区 四 国 区 | 九 州 区 |
|-----------|-------|------------|-------|-------------------|----------------|-------|----------------|-------|
| | 平 均 | | | | | | | |
| 2000名～ | 52 | 3 | 5 | 17 | 7 | 8 | 7 | 5 |
| | 67.5 | 61.3 | 60.4 | 75.0 | 61.8 | 71.4 | 71.6 | 70.8 |
| 1500～1999 | 110 | 4 | 11 | 35 | 16 | 14 | 13 | 17 |
| | 60.3 | 57.9 | 59.6 | 68.1 | 59.9 | 54.5 | 58.8 | 63.3 |
| 1000～1499 | 369 | 13 | 47 | 136 | 50 | 43 | 32 | 48 |
| | 47.4 | 36.1 | 51.9 | 57.3 | 47.8 | 51.6 | 42.5 | 44.6 |
| 500～999 | 550 | 20 | 59 | 150 | 81 | 74 | 74 | 92 |
| | 51.4 | 49.6 | 54.6 | 57.8 | 47.2 | 48.5 | 47.3 | 55.1 |
| 499以下 | 679 | 30 | 71 | 214 | 92 | 116 | 67 | 89 |
| | 56.8 | 51.0 | 55.5 | 63.7 | 56.9 | 58.4 | 52.2 | 60.2 |
| 全体の合計 | 1,760 | 70 | 193 | 552 | 246 | 255 | 193 | 251 |
| 平均 | 56.7 | 51.2 | 56.4 | 64.4 | 54.7 | 56.9 | 54.5 | 58.8 |

・稼働率＝稼働日数÷利用可能日数(小数点2位以下四捨五入)

(出所) 文化庁「劇場・音楽堂等に関する基礎データ」より引用
https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkashingikai/kondankaito/engeki/01/pdf/shiryo_5.pdf

このことから、令和4年度以降においては施設事業者としては投資回収が容易となる
 ことが想定され、導入の意思決定ハードルが低くなり、普及展開が十分に期待される。

③ 可搬型モデル検討における免許制度の課題

<課題>

令和3年度の実証結果に関して、複数の施設事業者、公演事業者、撮影事業者からヒアリングを行った結果、本システムが場所を選ばず、利用したい時にいつでも使えるものであれば有用性が高いという多くの声を頂いた。可搬型の基地局設備に関しては現在開発を進めているベンダーが存在しているため、ハード面での環境構築には可能性を見出しているが、可搬型モデル実現に向けた課題としては、現状の免許制度が懸念として挙げられる。現状のローカル5G免許制度は、「自己土地利用」が前提とされた制度となっており、業界関係者から多く上がった「いつでも・どこでも・だれでも」使える仕組みにはなっていない。また、商用局免許取得に当たっては、煩雑な書類作成及び手続き処理が必要とされており、加えて免許取得までに申請から数ヶ月の期間を要することも課題として挙げられる。

<解決策>

上記課題に際しては、申請手続きを含む免許制度自体のルール設計の見直しを強く期待したい。本コンソーシアムとしては、商用利用の普及展開促進にあたって可搬型シス

テムの導入実現が強い後押しになると確信しており、令和4年度に向けてはベンダー各社の協力を仰ぎながら可搬型のシステム構築に注力していく。

4.4.3.2 今後想定される課題の抽出および解決策

ローカル 5G 環境の障害発生時におけるボンディングの可能性

<課題>

ローカル 5G 環境になんらかの障害があった場合、キャリア 5G が通っている地域においてはボンディングで代替できる可能性を検討する必要があると想定している。

<解決策>

MNO の 5G を利活用する場合、パブリック 5G の帯域から本実証におけるカメラ映像通信を NW スライシングで帯域保証して共有する方法、MNO の無線周波数帯域を施設向けに活用するプライベート 5G を使用する方法などが考えられるため、事業性や実現性を今後検証の上、普及促進に向けた戦略を策定していく。

4.4.4 継続利用の見通し・実装計画

令和4年度以降の継続利用に関しては、本実証において実証会場として協力頂いた、LINE CUBE SHIBUYA の所有者である渋谷区及び本施設の指定運営管理事業者（以下「運営事業者」という。）*である株式会社アミューズと3月3日に実証成果報告および、今後の継続利用に関する協議を行った。

協議の結果、渋谷区及び指定管理者からはシステム全体の有用性に対して評価を頂き、LINE CUBE SHIBUYA における常設化に対して前向きに検討頂いたが、実装に向けてはいくつかの課題が顕在化しており、次年度以降もこれらの課題に関して継続的に協議を進めることになった。

*渋谷区から施設の運営及び維持管理を委託されている事業者を指す。LINE CUBE SHIBUYA においては、建物所有者である渋谷区により指定管理者制度が導入されており、指定管理者として株式会社アミューズ(代表企業)、LINE 株式会社、株式会社パシフィックアートセンターによって構成される「渋谷公会堂プロジェクトチーム」が運営業務を担っている。

4.4.4.1 次年度以降の継続課題

①システムの安定性とスループット最大 UL の限界値に伴う同時接続カメラ台数の制約

<課題>

- 実証結果において、ローカル 5G 基地局立ち上げ時に電波発出までに想定以上の時間を要し、また実証中に一部電波断絶の事象も起こったことを受け、システム自体の安定性において改善の余地があることが明らかになっていることから、現状の仕様のままで常設化させていくことは施設事業者としても運用リスクを伴う
- 令和3年度実証時におけるスループットの上り値 UL63Mbps では、後編集工程を考慮した各カメラから伝送される映像の必要ビットレート 10Mbps、同時接続が必要と想定されるカメラ台数 10 台の要件を満たすことができないため、要求仕様（同時接続カメラ台数 10 台以上）を満たしていない

<対応策方針>

- 安定性が高く、立ち上げ時間が短縮されたシステムの実現性に対して今回委託した基地局ベンダーにヒアリングを実施

②運用サポート体制と責任分解点

<課題>

- 施設の指定管理者側では、公演事業者に対して本システムに関する全面的な運用サポートを担うことは、体制・知見の観点から現状では不可
- システムに不具合が発生した際の責任分解点がどこにあるのか明確にしなければ、トラブル発生時の責任問題が懸念される

<対応策方針>

- LINE CUBE SHIBUYA において常設化されることを前提とした際の運用方針として、常設初年度を試験運用期間と定め、コンソーシアム内でシステム運用チームを組成し、施設事業者及び運営事業者に代わり、本システムの利用を希望される公演事業者に対して直接運用サポートを行うことを想定
- 具体的なフローとしては、興行の主催である公演事業者が本施設の利用申込を行った際に本システムの利用案内も合わせて行い、システムの説明及び利用の希望があった際には、運営事業者から公演事業者を紹介頂き、以降の窓口対応から公演当日の運用サポートまでシステム運用チームにてワンパッケージで提供
- 令和4年度以降に関しては、試験運用期間中に運営事業者に対して運用ノウハウを継承し、運営事業者側でサポート体制が整ったことを確認した後、運用窓口を運営事業者へ移管、コンソーシアムによるシステム運用チームは、必要に応じて公演準備期間中の技術的なサポート及び公演本番日の運営サポートを行う

③ 商流とコンソーシアムの役割

<課題>

- LINE CUBE SHIBUYA においては、現状施設利用に伴うオプション利用料（備品利用費、電気代等）は公演当日の退館時に現金払いにて支払われるシステムとなっているため、現状の仕組みでは公演事業者が本システムをオプション利用する際に高額な現金での支払いが求められるため利便性に課題がある

<解決策方針>

- ②の課題解決方針と同様に運用体制案を見直すことで段階的に解決していくことを検討
- 実運用開始初年度は、コンソーシアムにて構成されたシステム運用チームと公演事業者が直接契約を行い、システム運用チームがシステム利用料を公演事業者から徴収
- 本システムを運用するに当たり、ローカル 5G 基地局保守費用の支払いが基地局ベンダーに対して発生するが、初年度に関してはシステム利用料をシステム運用チームが徴収することから、保守費用はシステム運用チームが負担実運用開始後 2 年目以降に関しては、システム運用主体が運営事業者に移管されることから、システム利用料の徴収及び基地局保守費用の負担は運営事業者が担うものとし、システム運用チームは、公演事業者から技術支援また公演当日の運用サポートを依頼された場合に限り、これにかかる費用を都度見積りし、システム運用チームから公演事業者へ直接請求する
- このタイミングで、従来の現金でのオプション利用料支払い方式から、振り込み等への支払いに変更を行うことで公演事業者の利便性に関する課題を解決する

④ 商用免許人

<課題>

- 商用免許取得の扱いが不明確

<解決策方針>

- 商用免許人の扱いに関しては、令和 4 年度以降システム常設の目処が立った段階で改めて渋谷区及び運営事業者と協議を行い、決定する予定

図 4.4.25 L5G 映像伝送システム運用体制 案 1

L5G映像伝送システム運用体制 案1. コンソーシアム主体の運用 (常設初年度想定)

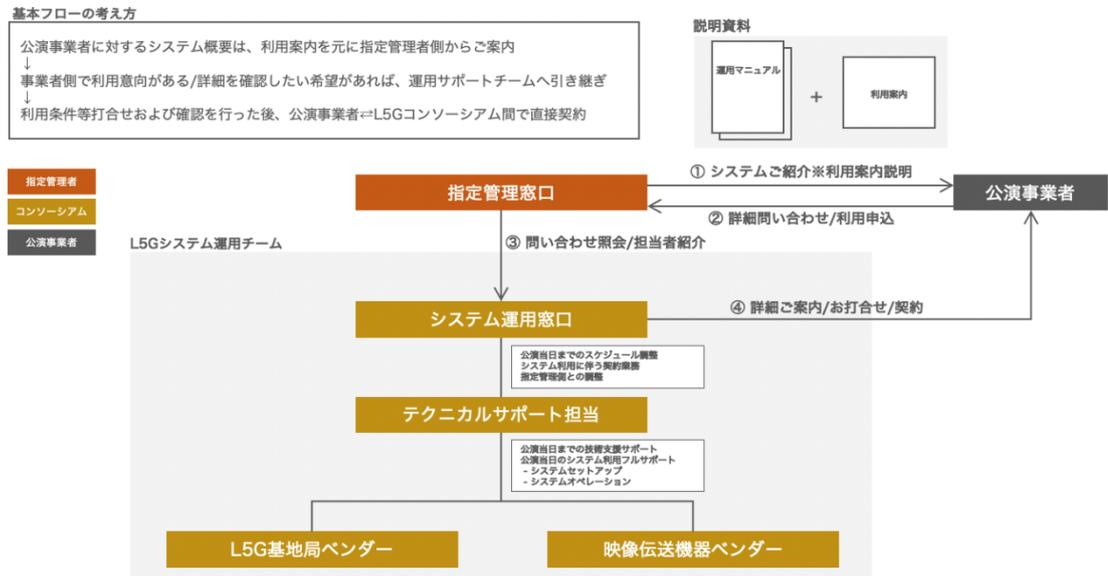
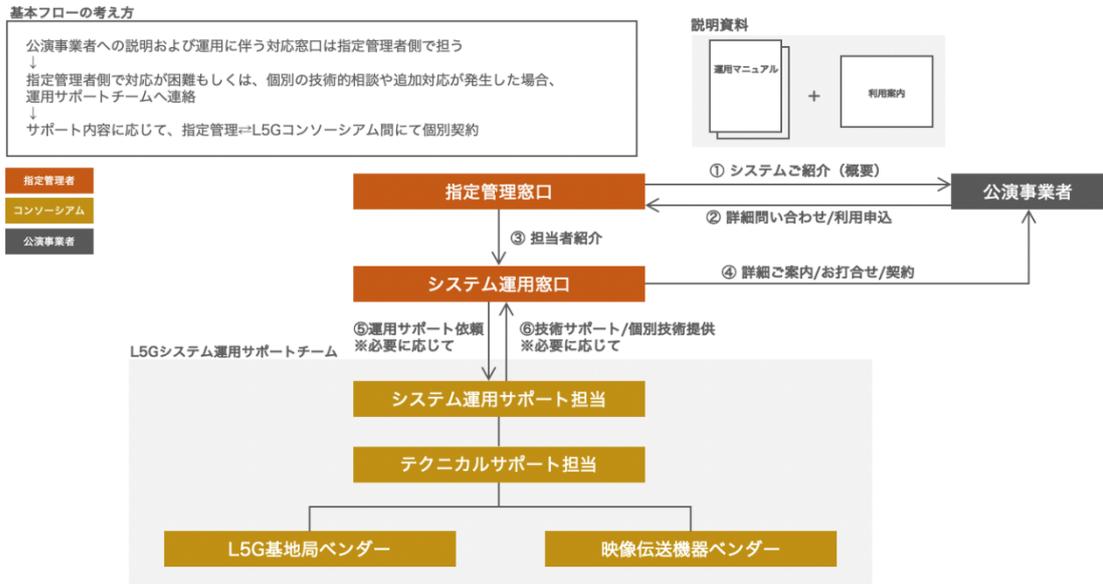


図 4.4.26 L5G 映像伝送システム運用体制 案 2

L5G映像伝送システム運用体制 案2. 指定管理者主体の運用 (常設から2年目以降想定)



4.4.4.2 継続利用に向けた今後の協議スケジュール案

上記課題解決に向けて、次年度下記のスケジュールにて継続協議を行う予定。

<スケジュール案>

4月 令和4年度内の基地局開発計画のスケジュールを取りまとめる

- 5月 開発計画、運用課題、商流の整理、免許人に関する実施案を構築
- 6月 渋谷区および指定管理者との協議を再開
- 9月 実装に向けた課題解決がなされ、実装に向けた具体的な工事スケジュールが確定
- 12月 常設化に向けた導入工事実施
- 1月 システムランスルー、調整
- 2月 実運用開始

4.4.4.3 実装・横展開に向けたロードマップ案

LINE CUBE SHIBUYA における継続利用に向けた具体的な行動計画および、他施設への普及および横展開を見据えた実装計画を作成した。本実証において、システムの有用性は十分に立証され、また業界関係者からのニーズも高いことから、次年度以降の課題はシステムの安定性確保および機能性の拡充、および導入意思決定に繋がるシステム全体の導入コスト低減となる。これらの課題に対しては、前述の通り令和 4 年度には解決策の見込みが立っていることから、実装に向けて各施設事業者への販促活動を加速させ、令和 7 年度までにはシステム導入実績 30 施設以上を目指していく。また、システム全体の安定性向上に加え、本実証では行わなかった、従来 stu が得意とする「AR」「360° VR ストリーミング」「マルチアングル」「立体音響」等の先端技術応用によりシステムの更なる付加価値向上を目指す。

また、本実証システムに加えて、業界関係者からのヒアリングから明らかになった可搬型モデル開発にも令和 4 年度から着手していく。既に基地局ベンダーとは、準同期 TDD 対応の可搬型基地局を用いて既存のライブハウスや撮影スタジオを対象に令和 4 年度から実証実験を行う準備を進めており、ここでの有用性・可用性が確認され次第、市場へのサービスインに向けた事業化の検討を進めていく。

加えて、可搬型システムに関しては、導入事業者がシステム機材一式を保有し、施設事業者、公演事業者、撮影事業者のニーズに合わせて貸し出しを行う、レンタル型のビジネスモデルへと応用できる可能性があるため、令和 4 年度に計画している実証実験と並行して事業化検討を行い、令和 5 年度には事業化を目指す。

最後に、UL スループット最大値の向上に伴い、同時接続が可能なカメラ台数の増加に加え、一台あたり伝送が可能なビットレートを上げることが可能となるため、4K/8K の映像伝送システム開発も並行して進めていく。令和 3 年度の実証では、4K の映像伝送に対応している中継機が存在し、伝送自体が可能であることは確認できたものの、遅延量が大きく遅延補正可能範囲外であったため中継機側の課題が明らかになったが、この点に関しても令和 4 年度にリリースされるソリトン社の 4K 対応超低遅延映像伝送中継機を活用することで、実現性を帯びてくると想定しており、令和 4 年度内には実運用化を目指す。

これらの取り組みを複合的に行うことで、従来の映像撮影ワークフローを DX し、ライブエンターテインメント業界が抱える構造的課題の解決を目指す。

図 4.4.27 実装・横展開に向けたロードマップ

| | 2022年度 | 2023年度 | 2024年度 | 2025年度 | 2026年度 | |
|--------------------|--|---|---|--|--------|--|
| ローカル5G整備環境 (外部環境) | ローカル5G実証 ローカル5Gの複数運用を可能とする拡張整備検討 | ・ スループット等のNW性能が向上し、4K等高画質映像の伝送が可能となる ・ NW性能の更なる向上でエリア・スループットが向上し大規模施設の導入が実現 ・ ローカル5Gの分野横断的な普及に伴い機器価格が低下 | ・ NW性能の更なる向上でエリア・スループットが向上し大規模施設の導入が実現 ・ ローカル5Gの分野横断的な普及に伴い機器価格が低下 | ・ 継続的なNW性能向上 ・ 継続的な機器価格低下 ・ 認知向上による次世代設備としての業界統一意識が形成 ・ スタジアム・アリーナで施設事業者と観客の一体化の進展 | | |
| ULスループット最大値 (期待値) | UL170-230Mbps | UL240-460Mbps | | UL650Mbps以上 | | |
| 同時接続カメラ台数 (HD相当) | 10-18台 | 19-35台 | | 50台以上 | | |
| 導入可能施設規模 | コンサートホール・劇場・撮影スタジオ (2000-10000人規模) | コンサートホール・劇場・撮影スタジオ・アリーナ (2000-20000人規模) | | コンサートホール・劇場・撮影スタジオ・アリーナ・スタジアム (2000-70000人規模) | | |
| システム改善 可搬型モデル開発 | ULスループットが向上した基地局等を用いた可用性検証 NECの現場および既存施設での準同期対応システム実証実験実施 映像伝送中継機メーカーとの4K対応映像伝送設備共同開発 | 常設型システムの確立 更なるULスループット向上に対応したアップグレード 可搬型モデルの実運用に向けたパッケージシステムの構築 4K/8Kの複数台カメラ同時接続システム構築 | | 基地局性能および映像伝送技術向上に対応して、常設型・可搬型・4K/8K映像伝送システムの性能向上および機能拡大実験施設からのフィールドバックに基づき継続改善 (PDCA) IARJ 360°VRストリーミングプラットフォーム「J」の映像・音の先進技術の応用によるシステムの更なる付加価値向上 | | |
| サービスイン 事業化検討 | 各年度におけるシステム性能・価格に合わせた収支モデルの構築 システム導入および運用体制の構築 | 導入施設での実運用サポート開始 可搬型システムレンタル事業化 | | マーケットの状況を鑑みビジネスモデルを修正 システム利用2年目以降の施設事業者への運用サポート業務展開 屋外での利用を含む可搬型レンタル事業の拡大 | | |
| 実装横展開 | 収録を前提とした撮影スタジオへの実証導入 収録：Jリーグ、NFL、NBA、F1、ラグビー等 会場内への施設導入検証活動 収録：Jリーグ、NFL、NBA、F1、ラグビー等 実証協力アーティストとの共同プロモーション・有名人/有識者の広域活動の実施 Tokyo 5G Booster Projectとの連携 | システム改善状況に応じたライブ配信での実運用開始 会場内への導入検討加速化 ファンクラブ/ファンショップ/施設内での先行先行販売促進 | | 既存施設の改善および新規事業施設等に対して、導入を加速化 導入施設数目標：2025年時点 30施設 | | |

4.4.5 課題実証における追加提案

本実証システムを中長期的に普及していくことを検討した際、ユーザー側の要望として想定される4K映像の伝送は必然的に対応する必要がある。

基本実証の要求スペックでは、4K映像伝送に耐え得る十分なアップリンク帯域を確保できていないものの、冗長化可能な検証スキームを設計しており、将来的なスループット性能向上を見込んだ4Kシステム実証を行う必要があったところ、令和4年度以降の本件システム導入においては4K対応が可能になることから、本実証において追加的に4K映像の伝送可否について検証した。

4.4.5.1 評価・検証項目

解像度を4K標準であるUHDで固定した場合に伝送可能な映像品質（ビットレート）

4.4.5.2 評価・検証方法

以下の映像品質（ビットレート）で伝送可否を検証する。

表 4. 4. 29 検証設定及び映像品質のベンチマーク

| 設定 | 解像度 | フレームレート | ビットレート | カメラ台数 | スループット理論値 | 映像品質ベンチマーク |
|--------|-----|---------|--------|-------|-----------|---------------------------|
| 検証設定 C | UHD | 30 | 15mbps | 2 - 3 | 40 - 60 | Netflix における UHD 視聴推奨映像品質 |

将来的な品質スタンダードと想定される Netflix 相当の検証設定Cの条件下で、映像伝送の動作試験とともに、伝送された当該映像のビットレート品質が実運用レベルとして必要十分か、主観評価を試みた。

具体的には、一般視聴者へ向けたサービス水準として、4K品質の「良い」「普通」「悪い」の基準を策定し、映像品質と同時接続数のトレードオフをモデル化している。

表 4. 4. 30 検証内容・実施イメージ・評価方法

| 検証内容 | 実施イメージ | 評価方法 |
|--|-------------------------------------|--|
| <p>【追加実証】</p> <p>4K映像伝送における推奨セッティングのモデル化</p> | <p>カメラ機材を持ち込み遅延測定及び映像品質のチェックを行う</p> | <p>①前述の検証設定 C に基づいた動作試験</p> <p>②それぞれの設定で映像品質の主観評価を行う</p> |

また、検証に当たっては4K映像伝送が可能なレシーバーアプリケーションを使用し、ローカル5G対応の京セラ製端末（K5G-C-100A）にインストールした上で、当該端末を経由して伝送可否を検証している。

※K5G-C-100A はローカル5G対応端末として排熱機能を保有し、機器単体で4K映像のブロードキャストに対応可能。映像プロトコルとしてもUDP / SRT に対応しており4K映像配信機器としてのポテンシャルが高いため当該機器を採用した。

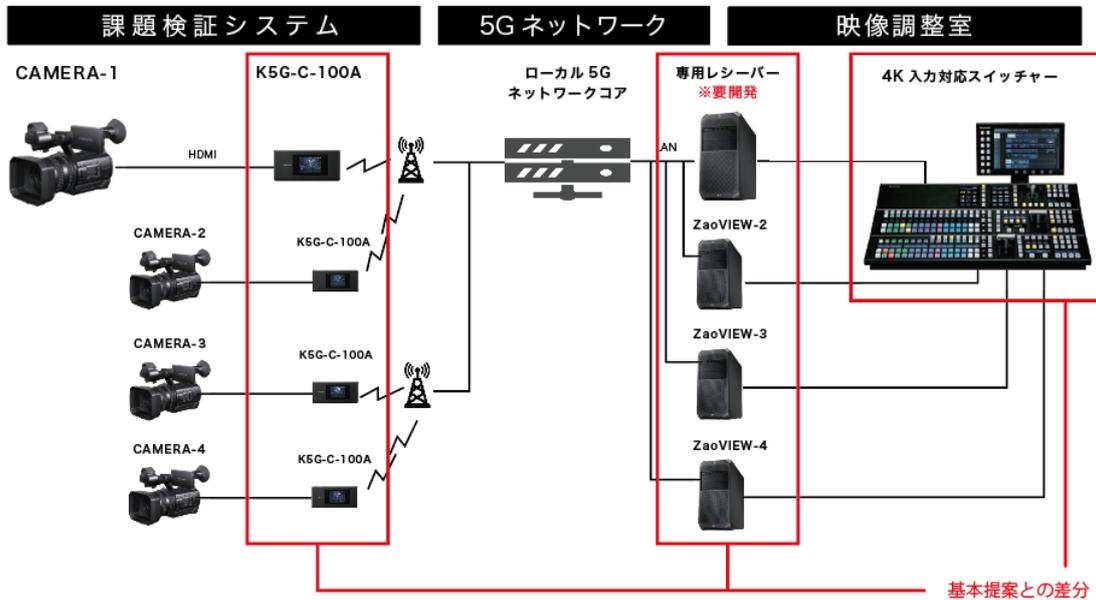
図 4. 4. 28 K5G-C-100A の外観及びスペック



| | |
|-------------|--|
| サイズ | 約78(H) x 165(W) x 27(D)mm |
| 重量 | 約326g |
| ディスプレイ | 約2.6インチ |
| 電池/充電端子 | リチウムイオン電池(6,000mAh)/USB Type-C™(PD3.0) |
| 位置測位 | GPS/GLONASS/BeiDou/ガリレオ/みちびき/A-GPS |
| CPU | Qualcomm® Snapdragon™ 865 5G Mobile Platform, Snapdragon™ X55 5G Modem-RF System |
| メモリ | RAM:8GB / ROM:128GB |
| インターフェース | USB Type-C™ |
| Bluetooth® | 5.1 |
| Wi-Fi® | Wi-Fi(802.11 a/b/g/n/ac/ax) |
| Wi-Fi 同時接続数 | 20デバイス |
| 通信方式 | 5G NR(Sub6/mmW)、Local5G(Sub6/mmW)、4G LTE™ |
| ネットワークタイプ | NSA/SA ※SAはローカル5Gでのみ使用可能です。 |
| SIM | nano SIM x2 |

(出所) 京セラ株式会社 WEB サイト
<https://www.kyocera.co.jp/prdct/telecom/office/iot/products/k5g-c-100a.html>

図 4. 4. 29 追加実証のシステム構成図



なお、SRT アプリケーションは京セラ社から提供されているエンコードアプリを利用した。キャプチャー経由での 4K30P には対応していなかったが、京セラ社に協力を打診し、試作版アプリケーションにて検証を実施した。

USB 経由で 4K30P をキャプチャーするためには、USB の帯域の問題により NV12 フォーマットでキャプチャーしているものしかなく、検討開始時は NV12 に対応した android アプリケーションが存在していなかった。京セラ社に相談し、NV12 に対応した試作版のアプリを提供していただいた。

4.4.5.3 実証結果及び考察

① 映像品質の比較

カメラの内部収録と伝送後の映像品質の比較を行った。ノイズ及びディテールが消え、少しのっぺりとした印象にはなるが、京セラ機での 4K 解像度の映像伝送を確認した。一部データの欠損を確認したが、フレームレートは安定していた。今回は京セラ社提供の試作版アプリケーションで実証を行った為、実証結果で得られた結果は、同社にフィードバックを行い今後も協業を行いながら改善に努めていく。

図 4. 4. 30 4K の映像品質の比較



② 遅延測定

機能検証の測定と同様に LED の明滅を使用し、10 台のカメラポジションにて遅延量の測定を行った。

4KSRT では平均して約 869ms の遅延量を確認した。およそ HDSRT の 2 倍以上の結果となった。遅延補正可能範囲外のため、現状では実運用レベルには達していないと考える。

表 4. 4. 31 4KSRT の遅延量

| | 4KSRT |
|-------|---------|
| | 遅延 (ms) |
| CAM1 | 830 |
| CAM2 | 835 |
| CAM3 | 863 |
| CAM4 | 884 |
| CAM5 | 1036 |
| CAM6 | 907 |
| CAM7 | 827 |
| CAM8 | 848 |
| CAM9 | 829 |
| CAM10 | 835 |
| 平均 | 869 |

③ 考察

フレームレートや遅延の課題はあるものの、4K 解像度を L5G ルーター単体で伝送できたことに対しては、将来性を感じる結果となった。純正アプリケーションのアップデート又はルーターが android のため社外アプリケーションで今後課題は解決されていくと予想する。映像業界では近年映像機器の IP 化が進んでおり、SRT のみならず、NDI やその他映像プロトコルが開発されており、ローカル 5 G においても今後最適なアプリケーション及びプロトコルが出てくることを期待したい。

また、基地局についての所感であるが、課題実証における考察と重複するものの、4K 解像度では最低でも 1 カメラ当たり 15Mbps の映像データ伝送が必要となり、カメラ 10 台運用を想定した場合、安定性及び安全性を考慮すると、200Mbps 以上のアップリンクが必要かと思われる、基地局の総アップリンクの性能向上に期待するとともに、令和 4 年度以降、準同期 TDD の技術を用いることで本課題解決に取り組んでいきたい。

図 4.4.31 カメラに装着された京セラ機



5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作への協力

本実証によって評価・検証を行った公演モデルの普及の観点から、株式会社三菱総合研究所（以下「三菱総研」という。）の行う映像制作に対し、ワイヤレスカメラを用いた映像の配信テストの状況等を撮影した映像の素材提供を行った。映像制作への協力については、三菱総研と実証コンソーシアムにおいて事前に連携した上で、三菱総研の指示に従い実施した。

5.2 実証視察会の実施

公演モデルの普及を目的として、2月23日の実証公演当日に業界関係者視察会を開催することとし、全国のライブ・エンターテインメント業界関係者（各地の施設事業者・公演事業者等）に対して視察会の周知を積極的に行った。

視察会では、実証概要を説明するとともに、実際に実証公演の中での無線カメラの動き等を見せることで視察関係者に導入効果のイメージを明確化させた。また、普及促進の観点から、導入による費用効果、導入に当たっての必要な環境や機器の機能条件、運用上の留意点等についても詳細に参加者に共有している。

令和4年度以降、引き続き直接の顧客となる施設事業者に導入効果等を含む実証結果を周知していくほか、実証システムのニーズの裾野を拡大させていくため、公演事業者にも実証システムの価値を周知し訴求していく予定である。

（参加者）

NHK：放送及び放送番組の企画・制作、NHK ホールの所有・、運営

NHK：放送番組の企画・制作、NHK 大阪ホールの運営

株式会社サンシャイン劇場：劇場ホールの所有・運営

三井不動産株式会社：ドーム・アリーナ・複合商業施設等を所有

株式会社ミクシィ：アリーナ施設の所有・運営

株式会社アミューズ：コンサートホールの運営、ライブコンサート等の企画・運営

Live Nation Japan 合同会社：海外アーティストの招聘、及び興行、国内外アーティストのライブコンサート等の企画・制作・運営

また、上記の業界関係者視察会とは別途、本実証事業に関係する行政・企業向けの実証視察会を2月28日に開催した。当該実証視察会の開催に当たっては、新型コロナウイルスの感染状況を鑑みオンラインにて行った。実証視察では実証概要や進捗の状況について説明するとともに、事前に撮影した会場の内部環境、機器の設置状況、実証の様子等の映像をオンライン会議上で再生して現状を詳細に報告した。

（参加者）

総務省本省

関東総合通信局

東北総合通信局
信越総合通信局
中国総合通信局
四国総合通信局
九州総合通信局
評価委員
専門会合委員
兵庫県
株式会社三菱総研
住友商事株式会社
富士通株式会社
株式会社スリーダブリュー

5.3 その他普及啓発活動

5.2 の業界関係者に向けた視察会及び普及促進活動を行うのみならず、エンドユーザーを含め広く社会的に周知を図るためにも、令和3年11月に実証内容等についてコンソーシアムからプレスリリースを発出している。また、これを受けた新聞社の取材に対応している。

また、令和4年4月以降月に実証システムを実運用した実証公演の実施結果に関するプレスリリースを発出することを予定しているなど、実証システムの周知・普及を目指した活動について検討を進めている。

6. 実施体制

株式会社 stu が代表機関となり、コンソーシアム構成員となる KDDI 株式会社、株式会社 NHK エンタープライズ、株式会社クニエ、一般社団法人渋谷未来デザインに対して委託を行うとともに、コンソーシアム外のヒビノイマジニアリング株式会社と株式会社オン・ザ・ラインに委託を行った。

また、KDDI 株式会社及び株式会社 NHK エンタープライズからは更に委託を行っている。

図 6.1 実施体制図

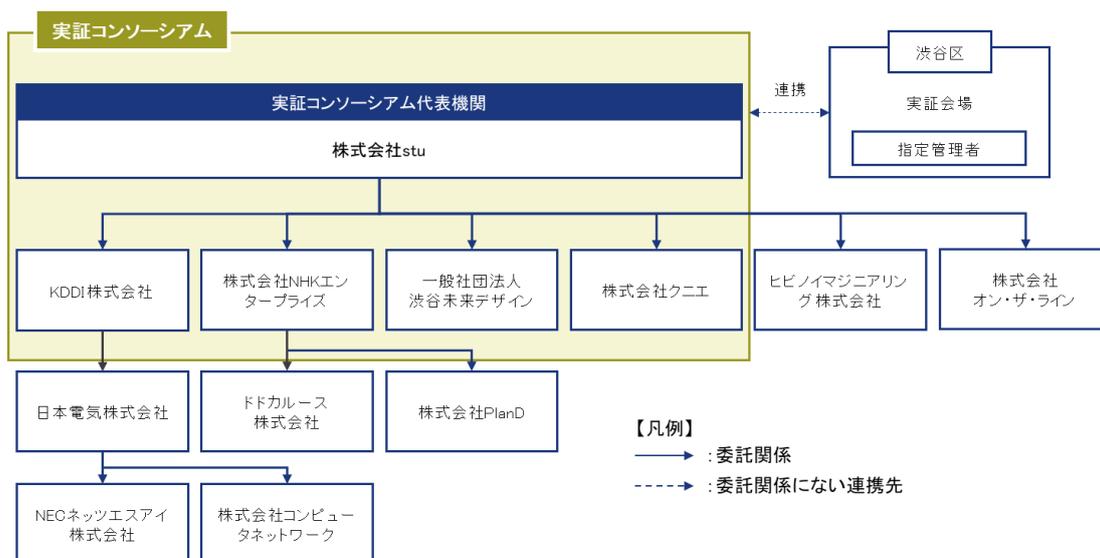


表 6.1 コンソーシアム構成・役割

| 企業・団体名 | 役割 |
|-------------------|--|
| 株式会社 stu | 実証実施主体として全体を統括 |
| KDDI 株式会社 | 技術実証における技術要件（具体的な実証内容や測定項目・方法）の検討や、スループット、遅延等の電波伝搬試験の実測データの評価・とりまとめを支援 |
| 株式会社 NHK エンタープライズ | 効果検証（撮影映像の表現効果向上効果の検証部分）及び運用検証（ワイヤレスカメラによる撮影・配信のワークフロー整理・マニュアル評価部分）を担当するとともに、公演映像の撮影内容・撮影業務の全体管理・調整を実施 |
| 一般社団法人渋谷未来デザイン | 実証会場（LINE CUBE SHIBUYA）の所有者や関係各社との利用調整、次年度以降の実装に関する調整を行うほか、実証結果の普及促進に関する支援を実施 |
| 株式会社クニエ | 進捗管理や定例会運営等のマネジメント業務を実施 |

| | |
|------------------|--|
| ヒビノイマジニアリング株式会社 | 実証現場における電源・通信線の開通に係る施工工事や機器設置等を実施 |
| 株式会社オン・ザ・ライン | 実証内容に適合した実証公演の企画、演者やアーティストの選定等公演の制作及び運営に向けた準備、関係各所へのディレクション業務を実施 |
| ドドカールズ株式会社 | 実証公演の映像撮影に関する具体的な企画・演出（カメラワーク等）の検討を実施 |
| 株式会社PlanD | 実証公演の映像撮影に関する企画・演出に必要な演出機材（カメラ、照明、音響等）の選定、実際の撮影、照明・音響収録に伴う技術業務を実施 |
| 日本電気株式会社 | ローカル5G機器の調達に係る工程の全体管理、免許申請手続に関する支援、ローカル5Gネットワークの構築（ネットワーク設計、ローカル5G機器のセットアップからローカル5Gネットワークの疎通試験の実施まで）の全体管理を実施 |
| NEC ネットズエスアイ株式会社 | ローカル5G機器のセットアップ業務を実施 |
| 株式会社コンピュータネットワーク | ローカル5G機器のネットワーク設計を実施 |

