

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

成果報告書概要版

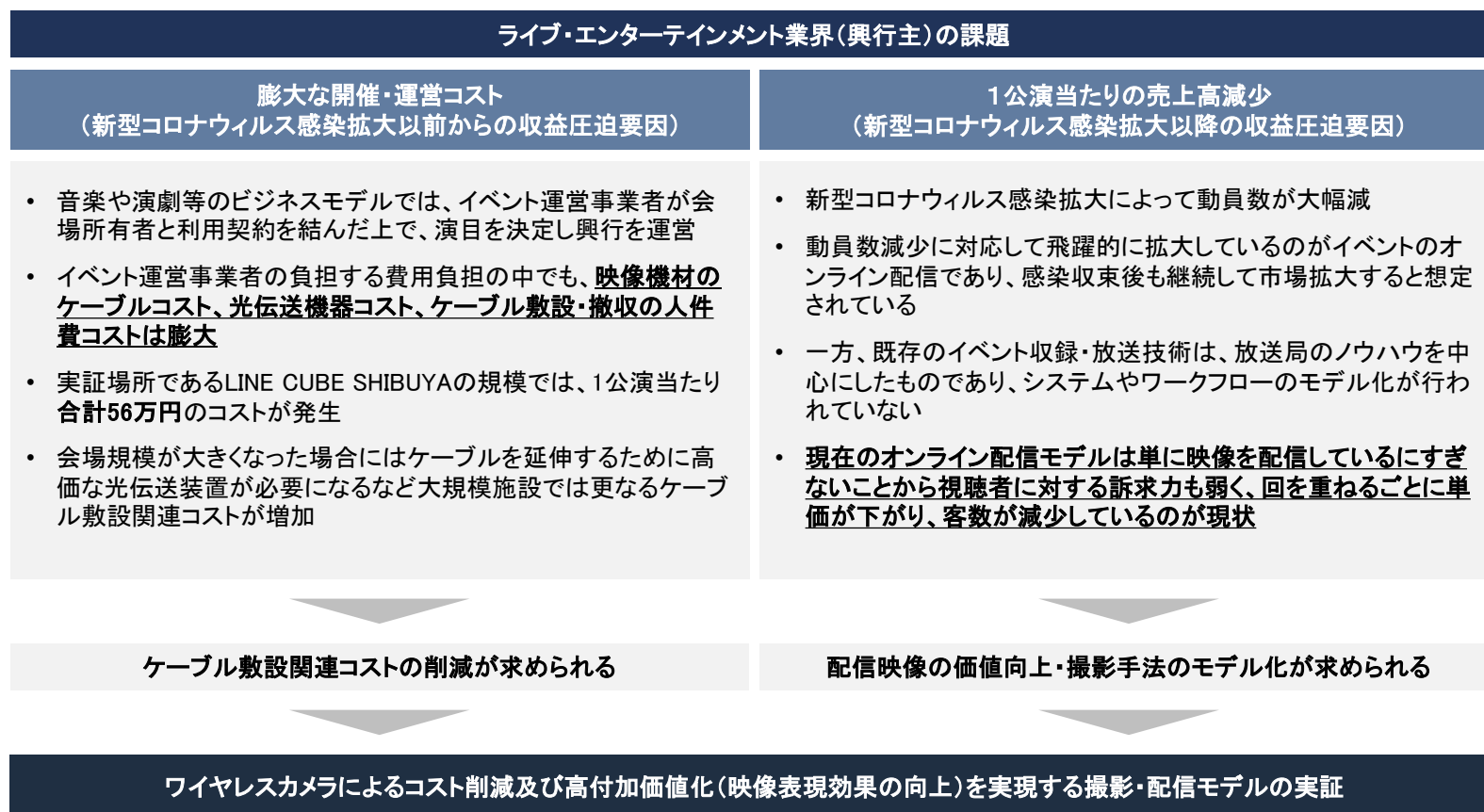
令和4年3月25日

株式会社stu

実証概要

実証背景・目的

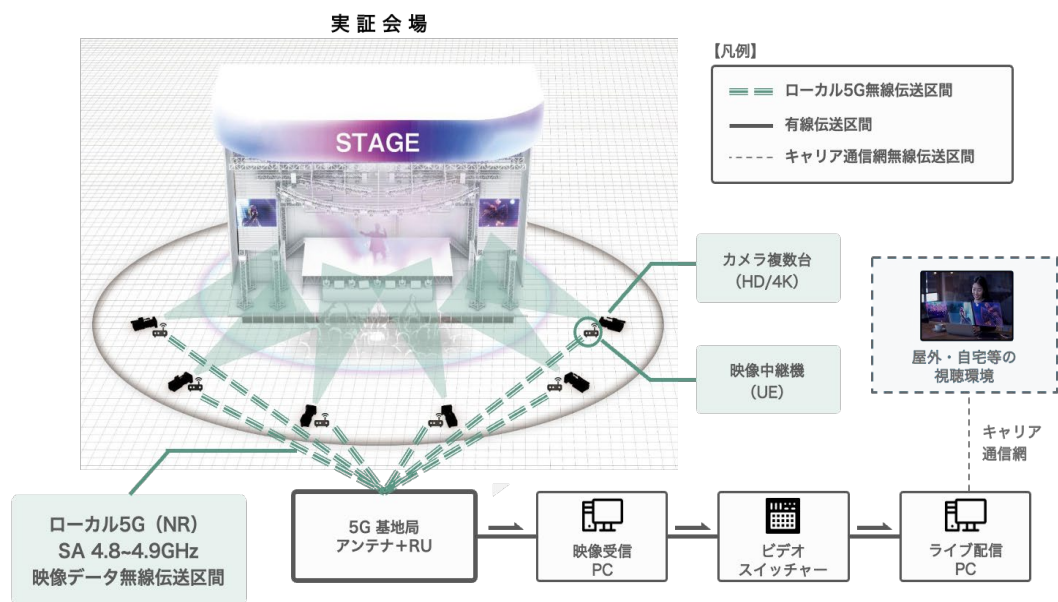
- ローカル5Gを活用したワイヤレスカメラ導入によるコスト削減・配信映像の高付加価値化を可能とする撮影・配信モデルを確立することで、ライブ・エンターテインメント業界が抱える構造的課題の解決を狙う。



実証の概要

- 本実証は、コンサートホールを実証会場とし、ローカル5Gを活用したワイヤレスカメラによる映像伝送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、特異な壁面構造の場合の電波伝搬モデルの精緻化を行った。
- 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。

実証システムの概要



技術実証

- 電波伝搬特性等の測定
 - 実証環境におけるローカル5Gネットワークのスループット (UL・DL) 及び遅延量等の測定
- 電波伝搬モデルの精緻化 (パラメーターR)
 - 既存のエリア算出式によるカバーエリア端・調整対象区域端と実測値との乖離状況の検証
 - カバーエリア端・調整対象区域端の閾値が実測される基地局からの距離の算出

課題実証

- 実証システムの可用性検証
 - 遅延補正の可否及び最適なブロードキャストプロトコルの検証
 - 4K標準の映像伝送の可否の検証
- 実証システムの有効性検証
 - システムの導入効果、機能、運用上の留意事項等の検証
- 実装性検証
 - 実証会場及び他施設への実装・横展開の可能性検証

実証環境の構築

実証会場の概要

- 渋谷区が所有する音楽ホール「LINE CUBE SHIBUYA(渋谷公会堂)」を対象に実証を行った。

実証会場の外観



対象用途 : 多目的コンサートホール

施設構造 : 鉄骨鉄筋コンクリート造

客席構成 : 3層構造


座席総数 : 1956席(1階席:1180席, 2階席: 424席, 3階席: 352席)

基地局カバーエリア



 基地局設置場所

 業務区域

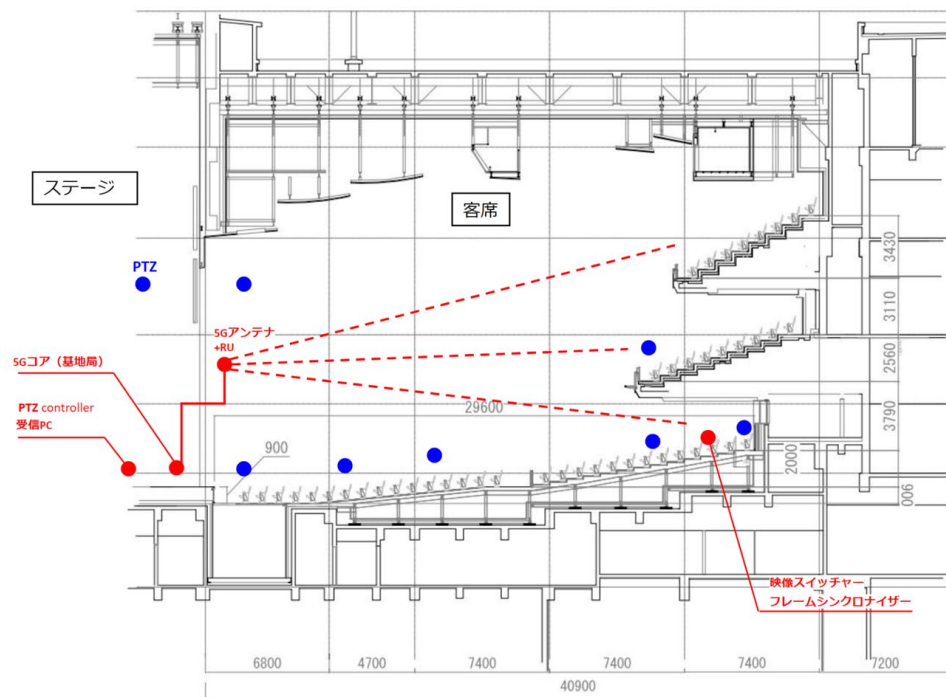
 4.8GHzカバーエリア
セル半径 54m

 4.8GHz調整対象区域
セル半径 61m

実証会場ホール内詳細

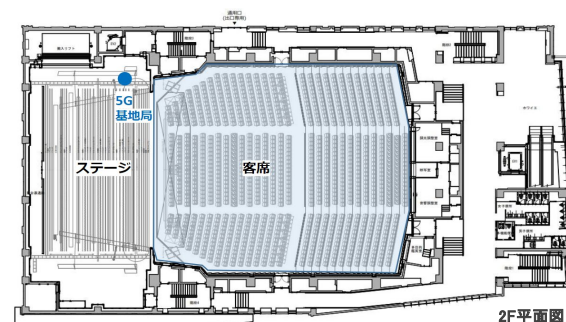
- カメラの移動するコンサートホール内(ステージ・客席)を業務範囲と定義
- 想定する業務範囲がカバーされ、観客の視線を遮らない位置にアンテナを設置。

基地局・アンテナ設置位置

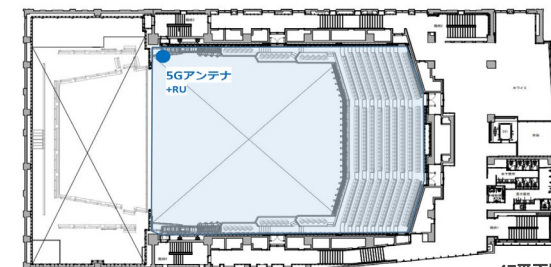


【断面図】

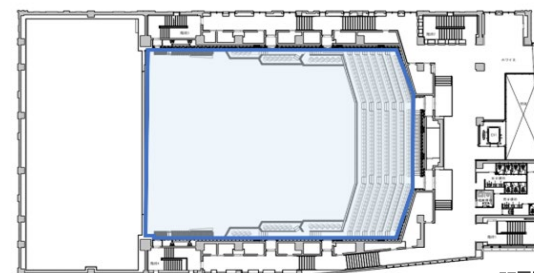
業務範囲



2F平面図



4F平面図



5F平面図

- : CAM設置位置
- : デバイス設置エリア

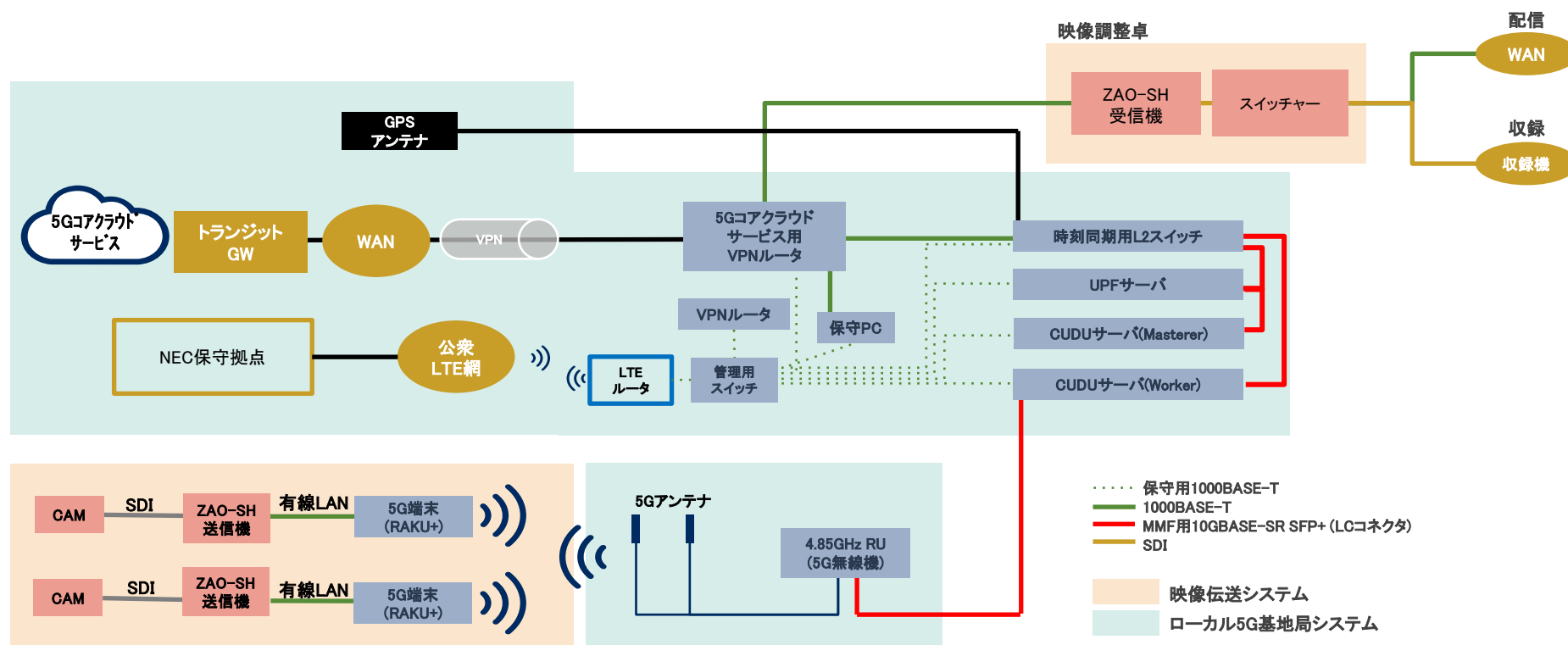
(参考) 免許情報

- 申請内容: 基地局1局(日本電気製MB5400-r7790-81)及び端末22局(Compal製RAKU+12局及び京セラ製K5G-C-100A10局)
- 周波数: 4849.98MHz
- 基地局電波形式: 99M9X7W
- 基地局空中戦電力: 2.29W

実証システム構成

- 複数のカメラで撮影した映像データを映像伝送システムを用いて、ローカル5G基地局システムを経由しワイヤレスで映像調整卓へ伝送。
- 映像調整卓で受信した映像は、収録・配信に利用
- 映像伝送のため、ローカル5Gのアップリンクのみ利用

実証システム構成



カメラ - 5Gアンテナ間を無線化

システム機能・性能・要件

- ネットワークの技術的諸元と要件は下表のとおり。

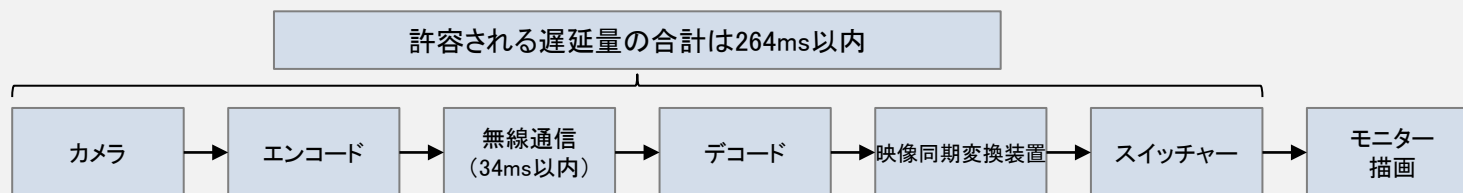
スループット 要求条件

- 5台のカメラを同時接続(実証会場であるLINE CUBE SHIBUYAの規模における最小構成)することを想定
- ビットレートは高品質とされる10Mbpsを想定
- 上記想定におけるULスループットにおける要求条件は50Mbps

解像度	フレームレート	ビットレート	カメラ台数	ULスループット 理論値	映像品質ベンチマーク
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

遅延量 要求条件

- 各カメラから伝送される映像の遅延のずれを配信用に補正する映像同期変換を行うためにはシステム上264ミリ秒以下の遅延量である必要
- 各機器で生じる遅延を踏まえると無線通信部分で許容される遅延量は34ミリ秒以下



免許及び実証環境の運用

- 関東総合通信局から実験局免許を受けた上で、令和4年2月に実証環境を運用して各種検証を実施。

免許申請の概要

免許申請先	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・同期
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）
干渉調整	干渉する可能性があった株式会社NTTドコモ及び日本電信電話株式会社と協議をしたものの調整不要との回答があったため調整は不実施

実証環境の運用

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） 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） 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）		—
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） 映像品質測定、最大カメラ台数測定、映像プロトコル比較		—
2/23 公演日	電波伝搬特性計測（有観客） 映像品質測定、最大カメラ台数測定、映像プロトコル比較		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

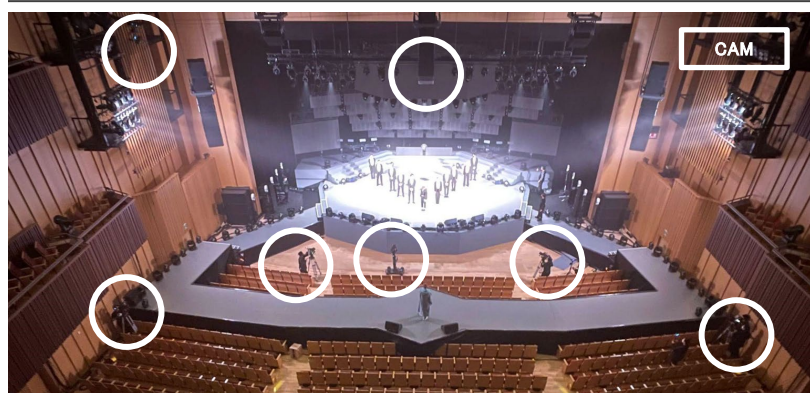
実証システムの運用

- 映像伝送中継機デバイスを一体化する器具を製作するとともに、バッテリーの小型化に成功。
- ワイヤレスの特性を活かし、無線制御型特殊カメラの使用およびカメラ配置を実施。

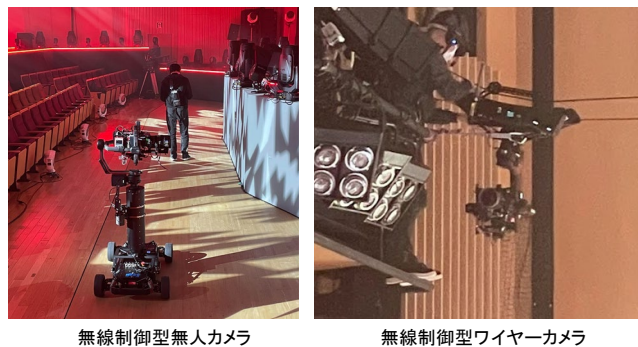
実証会場に構築された実証システム



ワイヤレスの特性を活かしたカメラ配置



実証で使用された無線制御型カメラ



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)

技術実証の背景と目標

- ホールの特殊な環境・構造に起因する技術的課題に基づき実証目標を設定。

実証システムの利用における技術的課題

特殊な利用環境

実証システムは一般視聴者に向けたリアルタイム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必要

一方で以下のようなホール内の特殊な環境で実証システムを利用するものの、当該環境下における電波伝搬特性(スループット・遅延量)が不明確

- ✓ 遮音特性・反響特性を考慮した壁面構造・素材
- ✓ バックヤード・ホワイエ・楽屋の隔絶された場所の存在
- ✓ カメラマンによるカメラ(端末)の移動
- ✓ 会場内の他の業務用無線や映像・音響無線の存在
- ✓ 観客の有するスマホ等の無線機器の存在

特殊な建築構造

実証会場であるコンサートホールは高い反響性能や遮音性能を有する特殊な構造をしており、エリア算出法の想定する一般的な建築構造とは異なる

既存のエリア算出法による調整対象区域とカバーエリアでは実態との乖離が予想される

※本来不要な干渉調整等によって最適な基地局配置が阻害される可能性が存在する

実証目標

電波伝搬特性等の測定

- すべての検証環境において以下の必要な伝搬性能を達成すること

1. スループット(地点ごと)
 - UL 15Mbps以上 (UDP)
2. 遅延量
 - 片道 平均 34msec以内 (RTT 68ms以内)

(検証環境)

- 業務エリアの定点測定
- バックヤード・ホワイエ・楽屋の定点測定
- 業務エリアのカメラ移動時の測定
- 会場内の業務用等無線環境下の定点測定
- 有観客公演時の定点測定

電波伝搬モデルにおけるパラメータRの精緻化

- 実証会場をモデルとしたRの精緻化のために以下を達成すること

1. 既存のエリア算出式と電波強度実測値との比較によるカバーエリア端・調整対象区域端の乖離状況の明確化
2. 測定結果からパラメータRについて精緻化

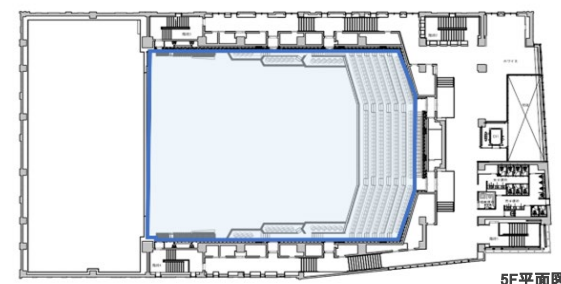
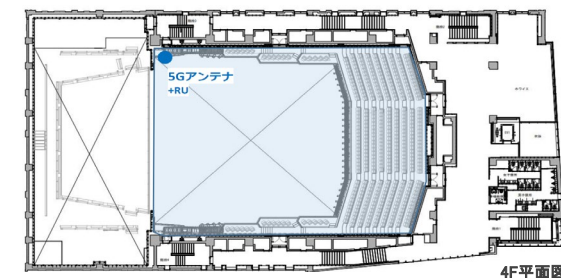
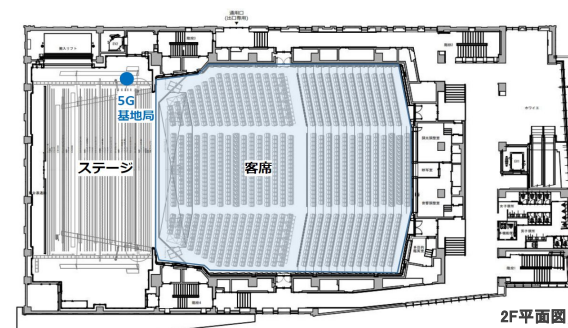
電波伝搬特性測定に関する実証内容・方法

- 5つの環境下でスループット・遅延量・受信電力の通信性能を測定。

実証内容・方法

検証項目	<ul style="list-style-type: none">スループット (UL・DL)遅延量受信電力
検証方法	<ul style="list-style-type: none">以下の5つの環境下で通信性能を測定<ol style="list-style-type: none">業務範囲内の通常的环境 (28地点)業務範囲外の遮蔽物で隔離されたホワイエ・バックヤードの環境 (26地点)業務範囲内で時速1～3kmほどの緩やかな移動を行う環境 (3地点)業務範囲内で他の無線通信が行われる環境 (9地点)業務範囲内の有観客公演環境 (3地点)
測定方法	<ul style="list-style-type: none">各測定点において、高さ約1mの木製の台の上にCPEを2機設置し、そのうち1台にPCを接続してスループット(iperf2)・遅延量(ping)を測定受信電力はCPEの管理画面上の測定値を記録するとともに、併せてもう片方のCPEに搭載されている電波測定用アプリを利用して受信電力を記録

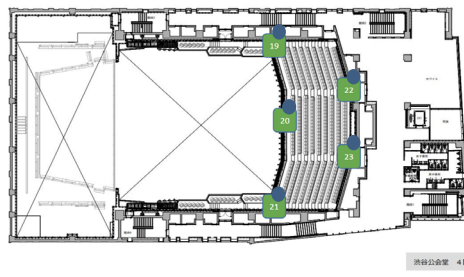
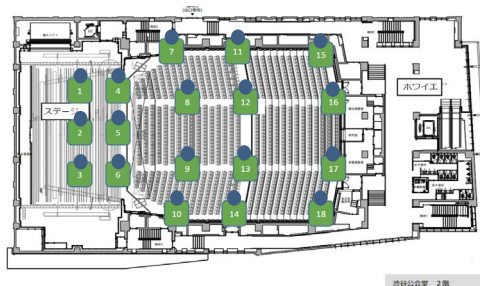
2・4・5階席の業務範囲(再掲)



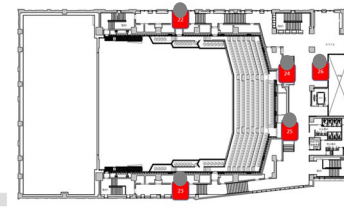
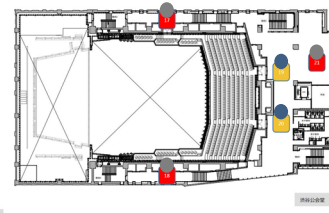
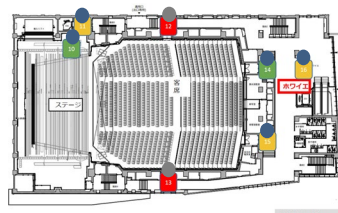
電波伝搬特性測定に関する実証結果(1/2)

- 通常環境・移動環境においてULスループット・遅延の目標値を達成したが、隔絶された環境においては通信不可の箇所が多い結果となった。

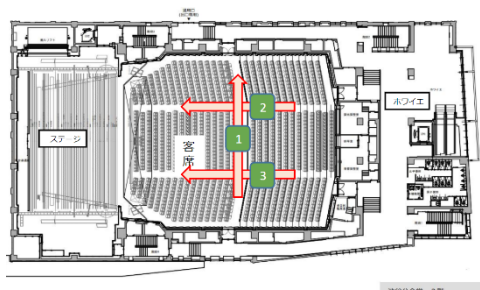
環境① 通常環境



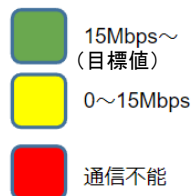
環境② 隔絶環境



環境③ 移動環境



<ULスループット>

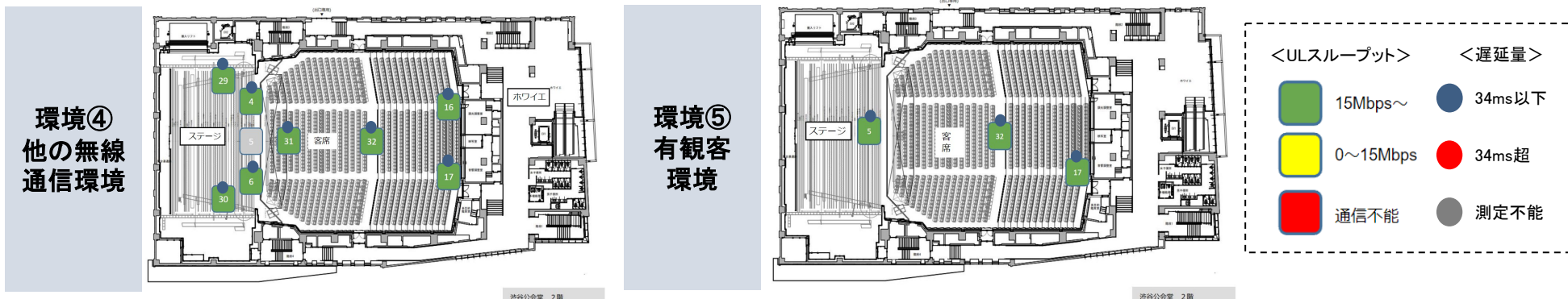


<遅延量>



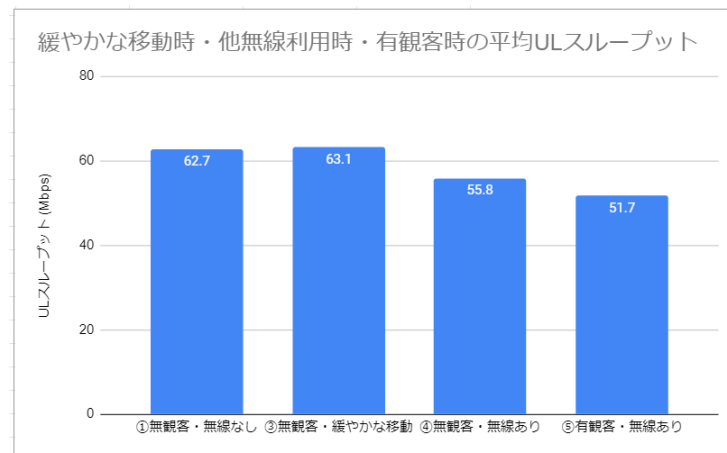
電波伝搬特性測定に関する実証結果(2/2)

- 他の業務用の無線通信機器や観客の携帯電話の無線通信の影響等によりULスループットは2割程度低下したが、地点ごとの要求スループットは達成。



実証結果考察

- 検証結果ステージ付近にアンテナを設置したことにより、業務範囲として設定したホール内では良好な通信を確認。
- 一方、廊下やホワイエなど壁などで隔離された地点では通信不可・著しい性能低下となったため、それらの地点をカバーしたい場合は基地局・アンテナの追加が必要
- 他の無線利用時・有観客時にULスループットに最大2割程度の性能低下がみられたが、要求性能は達成
- 緩やかな移動時の性能低下はみられなかったが、公演本番時において動きの激しいカメラでは伝送した映像にカクつきがみられたため、高速で動くカメラとともにCPEが移動している場合の測定の工夫・検討が課題



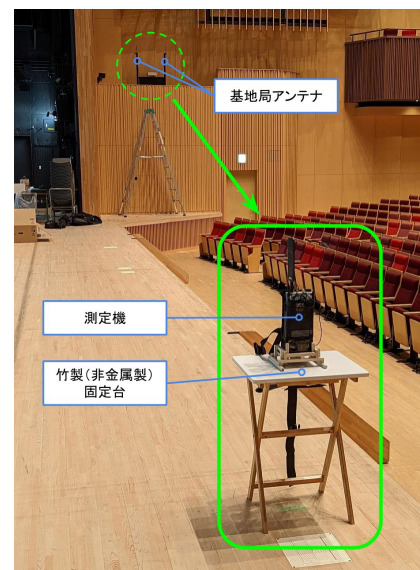
電波伝搬モデルの精緻化に向けての仮説と検証方法

- Rの精緻化に向けて屋内外の測定点で電波強度の測定を実施。

実証内容・方法

測定対象	<ul style="list-style-type: none"> 基準信号受信電力 (SS-RSRP)
仮説	<ul style="list-style-type: none"> 建物の構造の特殊性から建物侵入損 (パラメーター R) が大きいと想定されたため、エリア算出法によるカバーエリア端・調整対象区域端は全て屋外であったが、実測値のカバーエリア端及び調整区域端は屋内になるとの仮説を立て実証を実施
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 事前に設定した屋内外の各測定点で受信電力を測定 測定した受信電力を元にRを推定
測定点の選定方法	<ul style="list-style-type: none"> 置局点を中心に30° 方向ごとを基本として各壁面の前後に測定点を設定 その他、各種扉の前や各エリア端上にも測定点を設定
測定方法	<ul style="list-style-type: none"> 屋外測定については、歩行者の妨げにならないよう測定器を背負って実施 屋内測定については、精度を重視して固定台の上に乗せて測定を実施

測定風景



▲屋内測定点(舞台上)

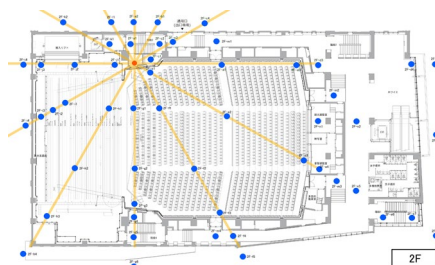


▲屋外測定点(歩道上)

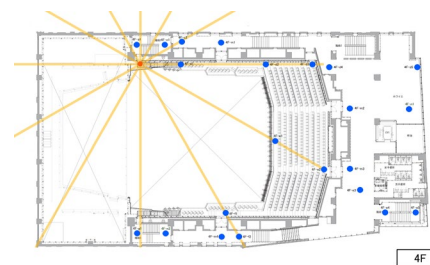
屋内外の測定点



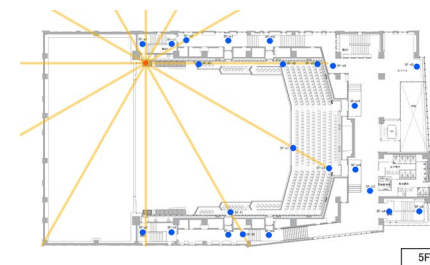
▲屋外のエリア端測定点 (24地点)



▲2階および屋外測定点 (53地点)



▲4階測定点 (22地点)

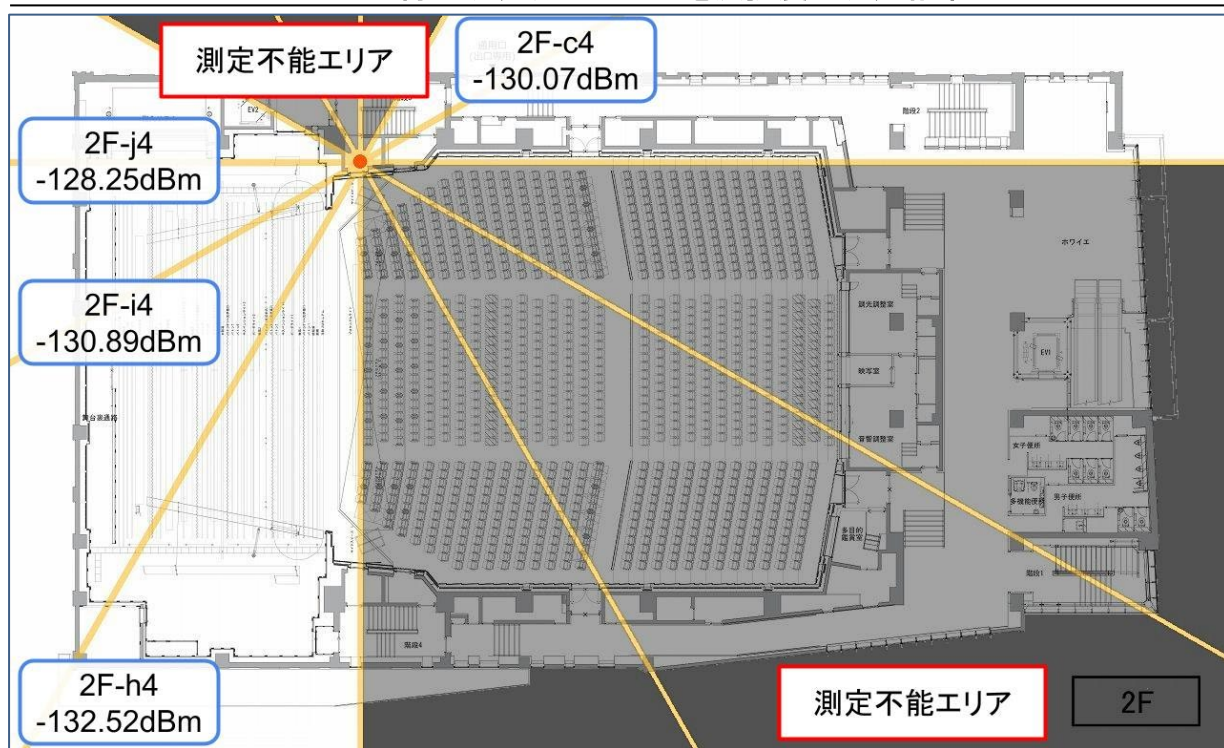


▲5階測定点 (23地点)

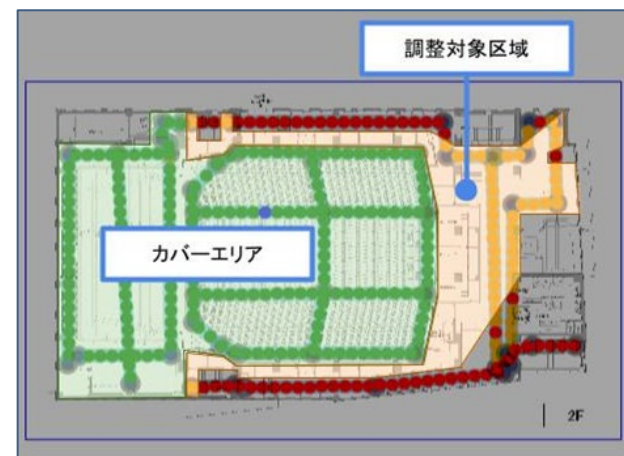
電波強度の測定結果とエリア算出法との比較

- 屋外で測定を行えた測定点のいずれも調整対象区域の電波強度以下であったため、屋外に調整対象区域が存在しないことが確認された。

屋外外壁際の測定点における電波強度の測定結果



測定結果に基づくエリア作図結果



エリア算出法に基づく算出結果との比較

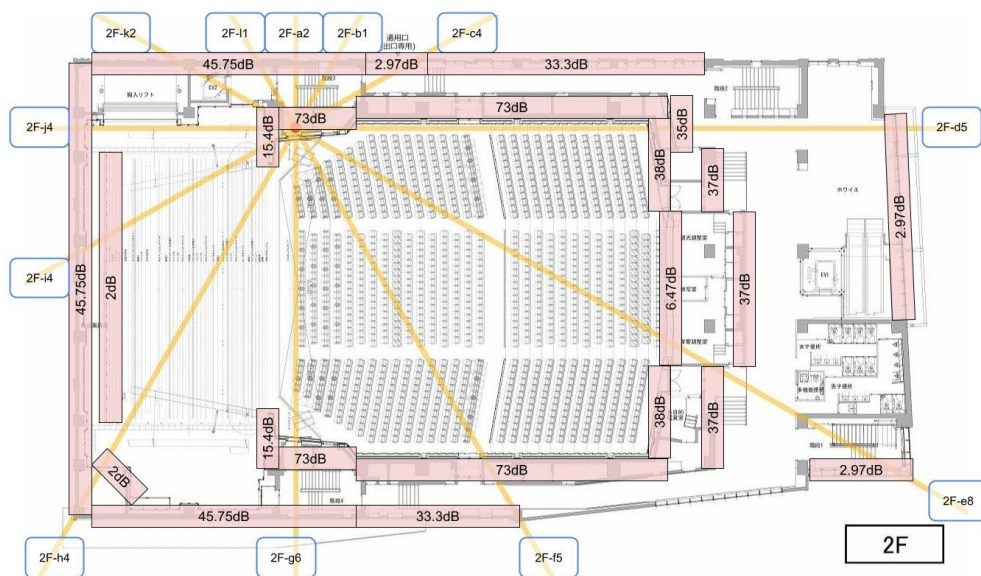


- 12箇所の屋外外壁際の測定点において、電波強度の測定を行えたのは4箇所のみであった。それ以外の測定点では電波が微弱すぎるため測定を行えなかった。(※使用測定機の測定下限値はカタログ掲載の値で-132dBm)
- エリア算出法との比較では、最大56mの誤差が確認された。(※調整対象区域端の位置)

パラメーターRについての精緻化結果と考察

- 本施設において、Rの値は最小で61.15dB、最大では118.75dBになると推定される。
- 精緻化後の平均平方二乗誤差は4.86dB、精緻化前の平均平方二乗誤差は52.16dBとなっており、従来手法と比べて高い精度のRが得られたと考えられる。

各壁面の推定透過損失と各評価点の位置



▲ 図中の各壁面の数値は材質と厚さから推定した透過損失

精緻化の計算に用いた材質ごとの推定透過損失

材質	厚さ(基準値)[mm]	透過損失[dB]
木材(表面反響材)	7 ~ 10	1
石膏ボード	12.5 + 9.5 (積層)	2
グラスウール	50	0
鉄筋コンクリート	200	35
ガラス	(参照資料に記載なし)	2.97

実証結果考察

- 壁面材質や厚みから推定した透過損失を積算し、それを建物侵入損Rとすることで、既存のエリア算出法と比較して高い精度のRを得ることができた。
- 推定透過損失から、壁面での減衰は遮音材よりも鉄筋コンクリートによる減衰が支配的だと考えられる。
- 同手法は開口部や窓ガラスの少ない鉄筋コンクリート造の建物において有効だと考えられる。

評価点名	2F-a2	2F-b1	2F-c4	2F-d5	2F-e8	2F-f5	2F-g6	2F-h4	2F-i4	2F-j4	2F-k2	2F-l1
実測値に基づくR[dB]	(78.08)	(77.22)	71.57	(53.26)	(46.20)	(65.05)	(65.78)	65.62	68.83	67.23	(73.35)	(77.3)
精緻化後のR[dB]	118.75	118.75	75.97	75.79	46.44	106.3	118.75	63.15	63.15	61.15	118.75	118.75

※カッコ内の数値は参考値。受信電力が計測可能な範囲を下回っていたため、実測値をカタログに記載の測定下限値である132dBmとして算出。参考値のため平均平方二乗誤差(RSME)の算出には含めていない。

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)

実証システムの背景

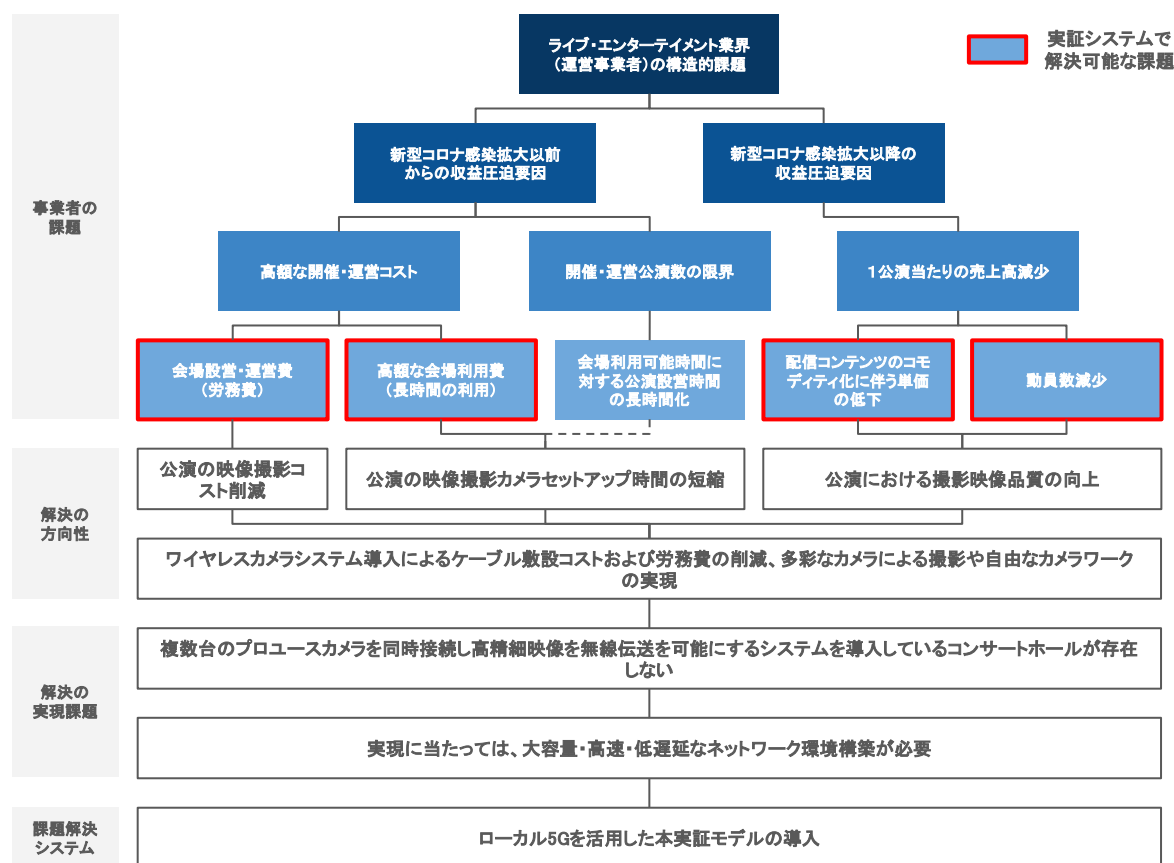
- コロナ禍で大打撃を受けたライブ・エンターテインメント業界ではコスト削減・動員数向上が今後の課題であり、本システムは当該課題の解決を図る。

本実証システム開発と実証の背景

- **ライブエンターテインメント業界の顕著な課題**
 - ・ 膨大な公演開催・運営コストが必要
 - ・ 配信コンテンツのコモディティ化による1公演当たりの(ライブ配信事業含む)売上高減少・動員不調
- **上記課題の解決に求められる事項**
 - ・ 公演開催・運営コストの削減
 - ・ 特に今後成長が予測されるライブ配信事業の動員増
- **実証システムの位置づけ**
 - ・ 撮影機材の無線化によってケーブル敷設関連コストを削減することが可能であり、公演開催・運営コストを低下させることが可能と想定
 - ・ 撮影機材の無線化によって自由なカメラワークを活用した表現・演出効果の向上及び視聴者に対する訴求力の向上が可能となり、ライブ配信の動員増が可能と想定

上記背景を踏まえ、課題解決システムの可用性と有用性を明確化することを課題実証目標と位置づけ

イシューツリー



実装課題と課題実証の目標

- システムの可用性及び有効性に関する課題に対応した目標を設定。

実証システムの実装課題

実証システムの可用性

ライブ配信における撮影機材のワイヤレス化システムはこれまで実運用レベルで使用されたことがなく、以下のような無線部の通信を含むシステム全体の可用性が未検証

- ✓ エンドツーエンドの伝送遅延量補正の可否が不明
- ✓ 映像伝送を最適化する実運用可能なブロードキャストプロトコルが不明確
- ✓ 高精細の4K映像の伝送可否が不明

実証システムの有効性

ライブ配信における撮影機材のワイヤレス化システムはこれまで実運用レベルで使用されたことがなく、以下のような実証システムの有効性が未検証

- ✓ システムの導入効果
- ✓ システムの機能性
- ✓ システムの運用上の留意事項

実証目標

可用性検証

- 実運用に向けて、実証システムの可用性に関する以下の目標を達成すること
 1. カメラの遅延差を踏まえた適切な遅延補正值を明確化して補正が可能であることを確認すること
 2. 最適なブロードキャストプロトコルを明確化して映像品質・遅延量の観点から実運用が可能であることを確認すること
 3. 解像度を4K標準のUHDで固定した場合に伝送可能な映像品質（ビットレート）を明確化して4K映像の伝送が可能であることを確認すること

有効性検証（効果・機能・運用検証）

- 実運用及び横展開に向けて、実証システムの有効性に関する以下の目標を達成すること
 1. 導入による公演事業者の費用削減効果、表現価値・演出効果向上効果等を明確化すること
 2. 有線と同様の映像品質・遅延量の確保及び実運用で一般的に求められる10台同時接続、会場内全28地点における映像伝送、有線より短時間でシステムセッティングが可能であることを確認すること
 3. オペレーションマニュアルの有用性を確認すること

課題実証(可用性)に関する実証内容・方法

- エンドツーエンドの伝送遅延量補正の可否の検証、最適なブロードキャストプロトコルの明確化、追加実証としての4K映像の伝送可否を検証。

① エンドツー エンドの伝 送遅延量 補正検証	目的	配信時に不可欠な複数のカメラ映像の遅延補正を行うことができるか否かを確認
	項目・方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 伝送遅延差 会場内の10か所から映像を送りエンドツーエンドの遅延差を計測 ・ 遅延補正の可否 各遅延差ごとに伝送機器・伝送アプリにて遅延補正の可否を確認
② ブロードキ ャストプロ トコルの最 適化検証	目的	安定的な通信を行うためのブロードキャストプロトコルの明確化
	項目・方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 映像品質(欠損・劣化)の有無 カメラ台数10台、ビットレートの最大値4Mbps、HD画質(29.97P)とした上でRASCOW2とSRTでそれぞれ映像を送り映像品質の優劣を確認
③ 4K映像伝 送検証 (追加実 証)	目的	4K映像の伝送可能な条件の明確化
	項目・方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 適切に伝送可能な映像品質(ビットレート) 4K映像伝送が可能なレシーバーアプリケーションをローカル5G対応端末(K5G-C-100A)にインストールして伝送 解像度を4K標準であるUHDに固定してビットレートごとの4K映像品質を確認

(参考)BP最適化検証の比較対象

BP	特徴	検証方法
RASCOW 2 UDP/IP, TCP/IP	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。	ZAO-SHを用いて検証
SRT	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	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

(参考)4K映像伝送検証の設定

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

課題実証(可用性)に関する実証結果

- 伝送遅延量補正は中継器ソフトウェアにおいて実運用可能なレベルで実施できることを確認し、最適なブロードキャストプロトコルも明確化された。
- 4K映像は伝送可能であったが、遅延量が大きく現状では実運用は困難であった。

エンドツーエンド伝送遅延量補正検証

- 遅延補正値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たが、遅延補正値 Target delay110msで行った場合、映像品質の観点から**実運用可能な映像**であることを確認
- また、上記遅延補正値を入れた際のシステム全体の遅延値はカメラ一台あたり約220msであり、各カメラポジションで遅延測定した結果は201~240msとバラツキはあったが、**実運用可能範囲内で補正が可能**であることを確認
- 上記から、中継器のコードソフトウェアの設定で**映像品質に問題ない状態で遅延補正を実現できる**との結論に至った

ブロードキャストプロトコル最適化検証

- 元動画に比べるとRASCOW2はノイズが消えディテールが少し落ちた印象であったが、SRTは大きくディテールが劣化しており、**映像品質の点でRASCOW2が適切**
- RASCOW2では、約220msの遅延であった一方、SRTでは約470msの遅延があり、**遅延量の点でもRASCOW2が適切**
- 最適化検証の結果として、本実証システムにおける最適なブロードキャストプロトコルは**RASCOW2**との結論に至った
- ※ 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か、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と考えられる

4K映像伝送検証(追加実証)

- HD同様ディテールが落ちたが、京セラ機での**4K解像度の映像伝送の実現性がある**ことを確認
- ※ 一部データの欠損があったほか、カクツキが見られたが、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予定
- 遅延量については、LEDの明滅を使用してカメラ10台のポジションにて遅延量を確認
- 結果、HDの2倍以上である平均**約869ms**の遅延量を確認。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**との結論に至った

課題実証(有効性)に関する実証内容・方法

■ 有効性の検証として、システムの効果・機能・運用に係る検証を実施。

①	効果検証	目的	本実証システムの導入効果(コスト削減効果・表現向上効果)を明確にすること
		項目・方法	<ul style="list-style-type: none">ケーブル敷設関連時間・費用の削減効果 有線カメラと無線カメラをそれぞれ敷設し、計測した所要時間・費用を比較検証演出効果・表現向上効果 演出家・業界関係者に対して無線カメラによる演出効果等の可能性についてヒアリング 一般視聴者に対する視聴体験の変化についてのアンケート調査を実施
②	機能検証	目的	本実証システムの機能範囲(適応できる品質・撮影条件)を明確にすること
		項目・方法	<ul style="list-style-type: none">伝送可能な映像品質(ビットレート・安定性) ビットレートを変更して検証し有線と比較伝送遅延量(無線区間を含むシステム全体の遅延量) 10地点で遅延量を計測して有線と比較同時接続可能台数 ビットレートを変更して何台まで同時接続・映像伝送できるかを検証カメラセッティング等所要時間 舞台袖から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
③	運用検証	目的	本実証システムの運用上の留意事項を明確にすること
		項目・方法	<ul style="list-style-type: none">オペレーションマニュアル案の有用性 公演事業者に対するオペレーションマニュアル案のヒアリング安定的な運用のために推奨される映像品質・カメラ台数 機能検証の結果を踏まえた評価

課題実証(有効性)に関する実証結果

- 効果検証では実装・横展開に必要なコスト効果・表現効果が得られることを確認。

効果検証結果(コスト削減・費用対効果)

- 比較検証の結果、システムの導入によって一公演あたり(二日間の会場利用想定) **100万円の削減効果**があることを確認

カメラ種別	作業時間	人件費	ケーブルコスト	光伝送機コスト	費用総額
有線カメラ	2時間40分	160万円	20万円	20万	200万円
無線カメラ	1時間20分	100万円	N/A	N/A	100万円

- 実証会場をベースとしたシステム導入による費用対効果の試算の結果、**年間収益は485万円増加**することを確認

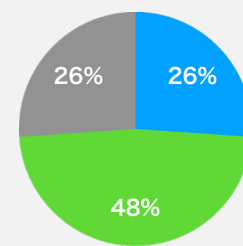
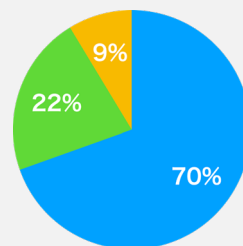
収入		
システム導入前	年間会場利用収入計 ※稼働率90%で1日当たり会場利用料は平日120万円、休日138万円	¥264,600,000
システム導入後	年間会場利用収入計 ※稼働率は導入前と同一、システム稼働率20%の前提 ※システム利用の場合は会場利用料に50万円(コスト削減想定額半額)加算	¥450,140,000
	システム導入後収入差分(A)	¥36,500,000
支出		
システム導入に伴う年間費用	システム環境構築費(5年償却)	¥20,000,000
	基地局保守費	¥8,000,000
	オペレーションサポート	¥3,650,000
	年間支出増加額計(B)	¥31,650,000
収支		
システム導入後年間収支(A-B)		¥4,850,000

効果検証結果(表現・演出向上効果)

- 表現・演出向上効果について、業界関係者へのヒアリングをした結果、**高い評価**を確認

対象者	意見
制作会社 プロデューサー	<ul style="list-style-type: none"> 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。天吊りカメラ設置にも有効。 ステージ上でのカメラワークの自由度、安全性がケーブルレスになることで飛躍的に向上。 カメラとパフォーマンスのコラボレーション的な演出、近い距離感の映像を実現可能。
演出家	<ul style="list-style-type: none"> 座席の間など狭いスペースでの撮影、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。
映像演出家	<ul style="list-style-type: none"> LIVE会場全体を多角的に撮影することができる。 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る。

- 一般視聴者に従来の撮影システムの映像との比較した表現・演出効果に係るアンケートでは、**70%がワイヤレスカメラを用いた映像表現に価値を感じると回答**
- また、**74%がワイヤレスカメラを用いたライブ配信サービスであれば視聴頻度が増える又はやや増えると回答**



課題実証(有効性)に関する実証結果

- 配信の実運用が可能な機能を有すること及び運用マニュアルの有効性を確認。

機能検証結果

■ 映像品質(ビットレート及び安定性)

- 5Mbpsでは元の映像に比べディテールが落ちるが、YouTube等の低ビットレート配信は可能な品質
- 10Mbps以上ではディテールが増え収録にも耐えられる品質になることを確認
- 総アップリンクと同時接続数とのトレードオフの関係となるが、高ビットレート配信や収録を考えると最低でも10Mbpsが必要との結論に至った
- 安定性に関しては、ステディカム、ワイヤーカム、リモートカムで検証した結果、1分間のうち数回カクツキが発生

■ 遅延量(リアルタイム性)

- 無線カメラでは平均219msの遅延が発生し、有線カメラの遅延量である約100msと比較して遅延量が大きくなっているが、遅延補正機で補正可能な範囲内であることを確認

■ 同時接続台数

- 瞬間的にULスループットが上がることを確認されたため、各検証ビットレートで同時接続可能な台数は想定よりも1台ずつ少ない結果となった

	CAM1	CAM2	CAM3	CAM4	CAM5	CAM6	CAM7	CAM8	CAM9	CAM10
5Mbps	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
10Mbps	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
15Mbps	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×

■ システムセットアップ時間

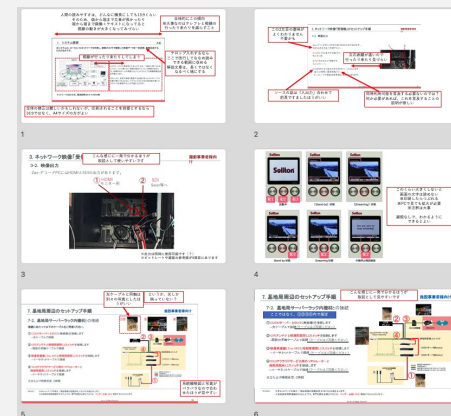
- システムセットアップ時間は有線カメラと比較して人員・時間ともに半減した

計測時間分類	所要時間	作業人員
有線カメラセットアップ開始から、映像の出まで	約480秒	2名
無線カメラセットアップ開始から、映像の出(伝送開始)まで	約240秒	1名

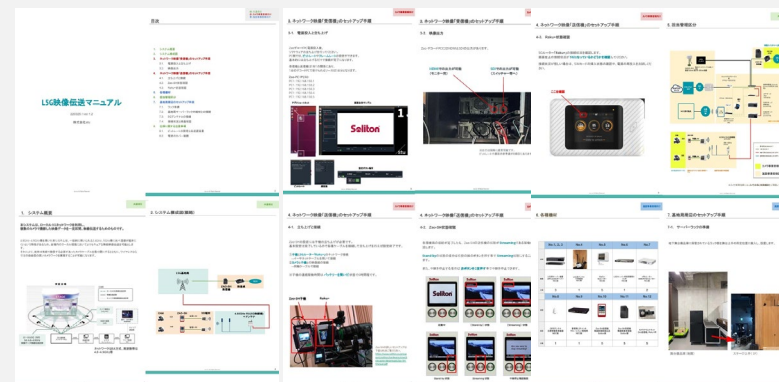
運用検証結果

■ マニュアルの有効性

- ヒアリングの結果、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、有用性が高く実運用可能との評価
- 一方、実運用を見据えたユーザビリティの観点から、体裁に関する改善提案を受け(右図)、当該提案を反映した最終版を作成



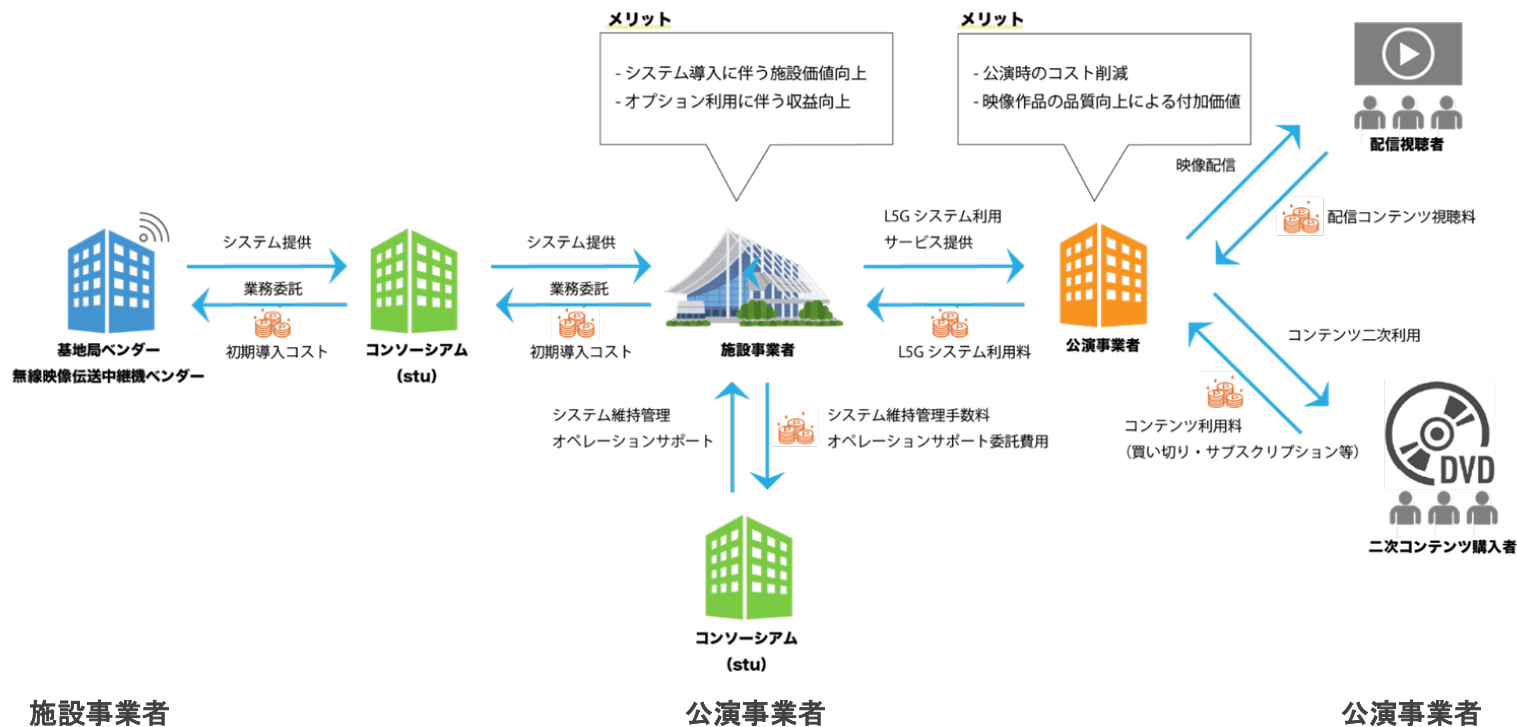
最終版のL5G映像伝送マニュアル(抜粋)



実装性に関する検証(実証システムのビジネスモデル)

- 本実証システムのビジネスモデルは、施設事業者が施設を利用する公演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。

実証システムのビジネスモデル



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することで初期投資と基地局の年間維持費(保守費用)を回収

オプション利用料を支払って本システムを利用することで、オプション利用料以上のケーブル関連コストを削減可能であり、加えて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による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

施設事業者にローカル5Gを用いたワイヤレス映像伝送システムを提供するとともに、システムの維持管理・運用等の公演オペレーションサポートを包括的に提供

実装性に関する検証(実装モデル)

- 現時点では以下の実装モデルを想定。

	実装検討	実装準備	運用
想定実装先	<ul style="list-style-type: none"> ・ ホール・ライブハウス・劇場 ・ スタジアム・アリーナ ・ 放送局・撮影スタジオ ・ 複合商業施設のイベント空間 等 	実装システム <ul style="list-style-type: none"> ・ ローカル5Gネットワークシステム(サーバー・コア・基地局・端末)及び映像伝送中継 ※撮影機材は公演事業者が持ち込む想定 	ノウハウ移管 <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を移管 ・ その後は施設事業者において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・導入ユーザー間で知見の共有等を行う
実装条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 以下の計算で収益効果が見込まれる施設 ※想定収益＝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ワイヤレス化に伴う公演事業者のコスト削減効果(LINE CUBE SHIBUYAでは1公演当たり約60万円) ・ 映像中継室等の映像配信等を行う専用空間、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空間、電源・光回線といったインフラを確保できる施設 	実装手順 <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 配線・基地局等NW機器設置工事 ⑤ システム機材の納入 ⑥ 疎通試験 ⑦ 結合試験 ⑧ 実測値パフォーマンス記録・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 	運用の基本的な流れ <ul style="list-style-type: none"> ・ システムを用いて撮影予定の公演事業者にシステムスペック・マニュアルの事前通知(伝送可能な映像品質、同時接続可能台数、オペレーションマニュアル等) ・ 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し ・ 設営時にカメラとシステム(L5GNWや中継器等)との接続に困難が生じた場合には技術サポート窓口を案内 ・ 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ULスループット、遅延値、電波強度を計測して管理
		実装支援 <ul style="list-style-type: none"> ・ 現地調査を踏まえたシステム設計・施工内容の検討支援(①・②) ・ 免許申請支援(③) ・ 設備設置後のNW試験(⑥～⑧) ※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ベンダに委託する想定 	運用支援 <ul style="list-style-type: none"> ・ ネットワーク及びシステム自体の運用・技術サポートのほか、希望者には本システムを最大限に活用できる様、公演自体の演出企画からパッケージ化して提供

実装性に関する検証(実装シナリオ)

■ 現時点では以下の実装から運用までの流れを想定。

	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)	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5G開発実証 ローカル5Gの柔軟運用を可能とする制度整備検討 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 継続的なNW性能向上/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思が形成 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 	
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 style="list-style-type: none"> ULスループットが向上した基地局等を用いての可用性検証 NECラボ環境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対応低遅延伝送機共同開発 	<ul style="list-style-type: none"> 常設型システムの確立 ULスループット向上に応じたアップデート 可搬型モデルの実運用化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 		<ul style="list-style-type: none"> 基地局性能および映像伝送機技術向上に応じて常設型・可搬型・4K/8K映像伝送システム性能向上および機能拡大 実装施設からのフィードバックに基づき継続改善(PDCA) 「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	<ul style="list-style-type: none"> 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 可搬型システムレンタル事業化の検討 ベンダーと安定性確保の協議を開始し、必要性能が確保された段階でLINE CUBE 常設化協議再開 	<ul style="list-style-type: none"> 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 		<ul style="list-style-type: none"> 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移管 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	<ul style="list-style-type: none"> 収録を前提とした撮影スタジオへの実証導入 他施設への常設導入販促活動 	<ul style="list-style-type: none"> システム改善状況に応じライブ配信での実運用開始 他施設への導入検討加速化 フィジビリティ検証・システム設計・商用免許取得支援 		<ul style="list-style-type: none"> 既存施設の改修および新規開業施設等に対して、導入を加速化 導入施設目標:2025年時点 30施設 	

実装性に関する検証(実装モデルの検証結果及び対応策)

- 実装モデルに関する施設事業者・公演事業者に対するヒアリングでは高い評価を得たが、次年度以降の展開を見据え、残る課題に引き続き対応することを検討。

	ヒアリングから得られた示唆		→	コンソーシアムにおける検討
	評価	課題		対応策
映像の表現 価値向上	<ul style="list-style-type: none"> ・映像表現の幅が革新的に広がる可能性がある ・世界の潮流に沿った撮影手法が可能になる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ULスループットの限界に伴う同時接続カメラ数の制限 		<ul style="list-style-type: none"> ・準同期TDDの技術応用検討
映像の表現 価値向上の 収益効果	<ul style="list-style-type: none"> ・会場選択に十分な理由になる ・コンテンツの魅力が上がることで視聴率向上に直接的に寄与する為、収益向上に繋がる 	<ul style="list-style-type: none"> ・可搬型システムがあれば、撮影できる場所の制約がなくなる事により、収益性が高まる 		<ul style="list-style-type: none"> ・基地局ベンダーとの継続協議による基地局およびシステム全体の安定性向上 ・可搬型システムのフィジビリティ検証
新システム導入に関する 一般的事項	<ul style="list-style-type: none"> ・コンテンツ価値向上は業界が抱える課題であり、ニーズは大きい ・他施設との十分な差別化要因になりうる 	<ul style="list-style-type: none"> ・導入・保守コスト ・運用リスク(電波遮断時対応等) ・システムの安定性確保 		<ul style="list-style-type: none"> ・他ベンダー含めた基地局敷設コストの比較検討 ・導入施設を確保し、ユースケースを積み上げてPDCAを回す
本実証システムの導入に関する事項	<ul style="list-style-type: none"> ・実運用レベルのシステムであればすぐにも導入検討したい 	<ul style="list-style-type: none"> ・トラブル発生時の対応 ・導入検討に向けたユースケース作り 		<ul style="list-style-type: none"> ・オペレーションマニュアルの精緻化 ・導入施設を確保し、ユースケースを積み上げて普及活動に繋げる

まとめ

まとめ

ライブエンターテインメント業界の課題

公演開催の膨大なコスト負担が収益を圧迫

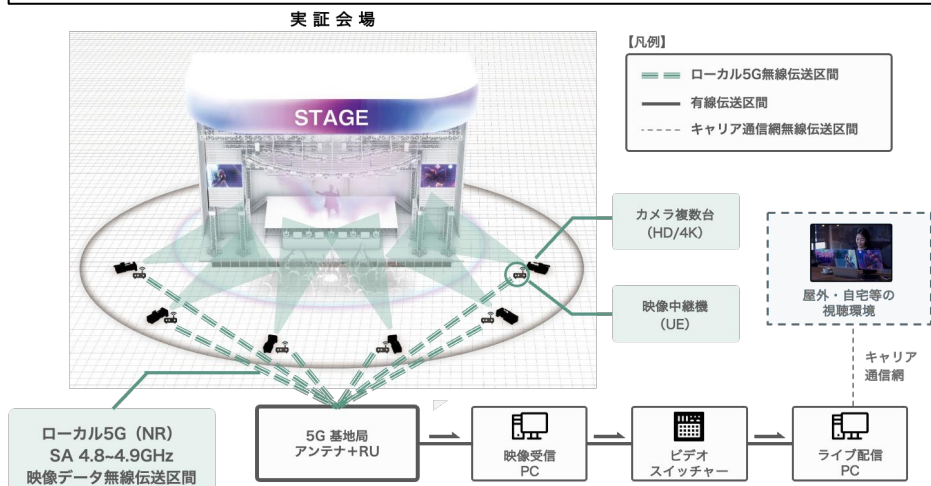
コロナ禍の動員制限・ライブ配信の動員不調による収益悪化

多額の撮影機材ケーブル敷設関連コストの削減が必要

成長が見込まれるライブ配信の動員増に向けた訴求力向上が必要

実証システムによる解決

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



実証システムの位置づけ

ローカル5Gの超高速・超低遅延の特性を活かしてカメラをワイヤレス化して映像を無線伝送するシステムを構築

- ワイヤレス化によりケーブル敷設関連コストの削減が可能
- 自由なカメラワークによりライブ配信の映像価値の向上が可能

実装課題

- ホール内の特殊な利用環境から実運用が可能な電波性能を確保できるかが未検証
- ホールの特殊な建築構造からエリア算出式に基づくカバーエリア・調整対象区域では電波干渉等によって利用が制限される可能性
- 実際にワイヤレス化をした場合に遅延補正等のライブ配信に不可欠な機能を確認できるかどうかや、適切なプロトコルが何かが不明確
- システム導入効果・システムの有する機能・運用上の課題が不明確
- 想定する実装モデルに対する想定顧客のニーズが未検証

本実証事業における検証

実証成果

①電波性能

一部の隔絶された場所を除き、15MbpsのULスループットと遅延補正に必要な34ms以下の遅延量であることを確認

②電波伝搬モデル精緻化

カバーエリア・調整対象区域がエリア算出式よりも大幅に狭く屋内に留まるため容易に利用可能であることを確認

③可用性

中継器ソフトを活用して実運用に必要な遅延補正が可能であるとともに、RASCOW2が最適なプロトコルであることを確認

④有効性

導入費用対効果が485万円に上るとともに表現・演出向上効果の高い評価を確認
また機能・運用面でも実運用上問題ないことを確認

⑤実装性

施設事業者にとって差別化要素となり、会場選択の訴求力向上になるなど業界のニーズが高いことを確認