

地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた
開発実証に係る観光・文化分野におけるローカル5G等の
技術的条件等に関する調査検討の請負
(MR 技術を活用した新たな観光体験の実現)

成果報告書

2021年3月31日

日本電気株式会社

目次

1. 全体概要	1-1
1.1 背景・目的	1-1
1.2 実施事項及び実証目標	1-2
1.3 実施体制	1-3
1.3.1 実証体制図	1-3
1.3.2 コンソーシアムの詳細	1-3
1.4 実証のスケジュール	1-5
1.5 免許申請の概要	1-6
1.5.1 開設理由	1-6
1.5.2 無線特性仕様希望理由	1-6
1.5.3 申請スケジュール	1-7
1.5.4 干渉対策	1-7
2. 実証地域	2-1
2.1 実証地域の概要	2-1
2.1.1 実証環境	2-2
2.2 地域課題等	2-6
3. 実証環境	3-1
3.1 ネットワーク構成	3-1
3.2 システム機能・性能・要件	3-7
3.3 実証環境の運用	3-8
3.3.1 募集方針	3-13
3.4 関連事業	3-14
4. 課題解決システムの実証	4-1
4.1 前提条件	4-1
4.2 実証目標	4-4
4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析	4-5
4.3.1 共通項目	4-7
4.3.2 新たな歴史文化体験	4-9
4.3.3 新たな移動体験	4-72
4.4 課題解決システムに関する効果検証	4-81
4.4.1 共通項目	4-81
4.4.2 新たな歴史文化体験	4-85
4.4.3 新たな移動体験	4-115
4.5 課題解決システムに関する機能検証	4-142
4.5.1 新たな歴史文化体験	4-142

4.5.2	新たな移動体験	4-152
4.6	課題解決システムに関する運用検証	4-158
4.6.1	新たな歴史文化体験	4-158
4.6.2	新たな移動体験	4-181
4.7	まとめ	4-184
5.	ローカル5Gの性能評価の技術実証	5-1
5.1	前提条件	5-1
5.1.1	前提条件の詳細事項	5-3
5.2	実証目標	5-5
5.2.1	技術的課題	5-5
5.2.2	技術基準の見直し等に資する新たな知見	5-6
5.2.3	実施事項	5-6
5.3	ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等	5-27
5.3.1	実施概要	5-27
5.3.2	評価・検証項目	5-27
5.3.3	評価・検証方法	5-27
5.3.4	性能評価結果	5-58
5.3.5	技術的課題の解決策	エラー! ブックマークが定義されていません。
5.4	ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等	5-91
5.4.1	実施概要	5-94
5.4.2	評価・検証項目	5-94
5.4.3	評価・検証方法	5-94
5.4.4	性能評価結果	5-100
5.4.5	技術的課題の解決策	5-104
5.5	その他ローカル5Gに関する技術実証	5-106
5.5.1	実施概要	5-106
5.5.2	評価・検証項目	5-106
5.5.3	評価・検証方法	5-106
5.5.4	性能評価結果	5-113
5.5.5	技術課題の解決策	5-116
5.6	まとめ	5-117
6.	実装及び横展開に関する検討	6-1
6.1	前提条件	6-1
6.1.1	実装・横展開に係る関係者の意向	6-1
6.1.2	実装・横展開における制約条件等	6-4
6.2	持続可能な事業モデル等の構築・計画策定	6-5
6.2.1	実証終了後の継続利用	6-5
6.2.2	事業モデル	6-7
6.2.3	実装計画	6-19
6.2.4	その他考察	6-20

6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討.....	6-21
6.3.1 普及モデル（他地域への展開）.....	6-21
6.3.2 推進対応方策.....	6-26
6.3.3 横展開計画.....	6-27
6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討.....	6-28
6.4.1 5Gソリューションを構成する各種ソフトウェア、ハードウェアの具体的な提供イメージ、提供スキーム案.....	6-28
6.4.2 既存の製品や知的財産を導入する際のパターンやビジネススキーム.....	6-31
6.4.3 「5Gソリューション提供センター」の企画・設立展開に資すると思われる要素、提言.....	6-35
6.5 まとめ.....	6-37
7. 会合等の開催（該当する活動がある場合）.....	7-1
8. まとめ.....	8-1
9. 参考資料.....	9-1

1. 全体概要

1.1 背景・目的

奈良県は、飛鳥時代から奈良時代にかけて政治の中心地であり、国内及び世界的にも屈指の価値を持つ歴史文化を保有している。この歴史文化を観光資産として活用した観光産業振興が重要な政策の柱である。

しかし、これらの観光資産は、建造物が広く大きいこと、点在していること、移動手段が乏しいことから、観光客は一部の観光ポイントのみに集中しているのが現状である。観光客は奈良公園近辺を観光後に京都、大阪等の他観光地に移動することがパターン化しており、結果、奈良県での「滞在時間が短い」、「宿泊客が少ない」状況から脱することができていない（奈良県の2019年調査によると、奈良県への来訪者数2,618万人に対し県内宿泊者は約9%の236万人。また、近畿運輸局等の調査によると、奈良県平均滞在時間は4.6時間と近畿二府四県の中で最下位）。よって、県内の他観光ポイントの観光振興を図り周遊性を高めていくことが急務である。このためには県内に点在する歴史文化資源の魅力や価値を向上させ、かつ奈良県全体における魅力ある観光体験の実現が不可欠である。

また、新型コロナウイルス感染症の拡大による観光需要の減少も喫緊の課題である。感染拡大防止対策を考慮した新たな観光体験コンテンツを実現し、経済の活性化を図る必要がある。

本方針に基づき、奈良県では平城宮跡の観光価値向上施策を進めている。平城宮跡は1300年前の遺構や空間がそのまま残る本格的都城として世界的にも貴重な歴史的価値を持つが、建造物が残っていないため、観光客に当時の平城宮の威容を伝えることができず、奈良公園近辺にありながら、観光客の訪問が十分でないという課題がある。たとえば、2019年に奈良公園や平城宮跡のある奈良市を来訪する観光客は年間1,741万人であるのに対して、平城宮跡を来訪する観光客は約1.3%の22万人に止まっている。そのため、今回課題としている観光ポイントの価値を高めるという実証課題に適した場所であると考え。この平城宮跡において、「奈良時代を今に感じる」歴史文化体験の充実により「楽しい」「行きたい」観光価値を高めることで、観光客の入込客数の向上が期待できる。

現実空間と仮想空間を融合し、現実の世界と仮想的な世界がリアルタイムで影響しあう新たな空間を構築できる技術として、複合現実（Mixed Reality。以下「MR」という）がある。MRは、現実空間と仮想空間とをリアルタイムで融合することができ、一人ひとりに異なるコンテンツを同期配信してそれぞれの体験を共有し、多数起こる出来事をグループ体験として遅延なく全体験者へ一斉表示することができる。そのため、体験者の空間への没入を促進できる新たな表現技術として注目されている。

超高速・超低遅延・多数同時接続といった特長を有するローカル5Gが、我が国の経済成長に不可欠なSociety 5.0を支える基幹インフラとして、様々な産業分野での活用が期待されている。このローカル5Gの技術的条件等については、実際のユースケースの利用環境における性能評価試験や既存無線局との共用可能性に関する試験等が求められており、観光分野においても技術実証を進めることが必要とされている。

これらを踏まえて、本調査検討では、奈良県の抱える観光価値向上という課題に対し、観光地における新たな情報発信手段や観光の質の向上等による観光産業の振興等の課題解決に向けて、歴史的遺産が故に建造物を十分に整備できないため、来訪者に観光資産の魅力を十分に伝えきれないという課題に対し、MR 技術を用いて現実世界の上に仮想世界をリアルタイムに融合することで観光資産の魅力向上を図り、来訪者の満足度向上、さらには再訪意欲の想起を促すことを目指す。

また、MR 歴史体験提供時に必要となる大容量で低遅延な通信手段は、ローカル 5 G による通信を採用することで、歴史的遺産が故に有線の通信設備を設置しづらいという地域課題の解消を目指す。

さらに、屋外環境下にある観光施設やエリアにおけるローカル 5 G の電波伝搬特性の解明及び課題解決システムによる具体的なアプリケーション (MR 技術を活用した新たな観光体験の実現) を想定した MR 等の端末における映像伝送等に基づくローカル 5 G の性能評価を実施することも目的とする。

なお、平城宮跡と同様に、建造物等を十分に整備できず観光価値を伝えきれなかった観光地は全国各地に存在する。今回の実証システムを横展開することで、隠れていた観光価値を顕在化させて観光客を集め、各地の観光産業の活性化も期待できる。

1.2 実施事項及び実証目標

本実証では、観光分野の課題解決に資するローカル 5 G システムの具体的なユースケースとして、新しい観光体験コンテンツの提供等に関する実証を行い、その有効性を検証するとともに、ローカル 5 G の電波伝搬特性や性能評価といった技術的検討を実施し、技術面・制度面・運用面から課題の抽出及び解決策、当該実証モデルの今後の普及展開に向けた検討を行う。

具体的には次のテーマに取り組む。

- ①「新たな歴史文化体験」に関する実証
- ②「新たな移動体験」に関する実証
- ③ローカル 5 G 電波伝搬特性の解明、及び性能評価

本実証では、①の取り組みを通して、広大な公園内の歴史的遺産をグループで同時に体験でき、個々の楽しみ方もできる MR による歴史文化体験を提供して現地での実証を実施し、体験者へのアンケート等を通してその有効性の検証を目標とする。

また、②の取り組みを通して、公園内の移動中も AI による自然な会話で公園内を案内する体験を提供する実証を実施し、体験者へのアンケート等を通してその有効性の検証を目標とする。

さらに③の取り組みを通して、文化財保護の観点から、有線ネットワークの敷設工事を行わずに低遅延で高精細な映像を配信できる無線ネットワーク (ローカル 5 G) を整備し、現地での技術実証を通してその有効性を検証することを目指す。

これらの取り組みにより、歴史公園エリアにおける新たな観光価値向上施策の構築を目指す。

1.3 実施体制

1.3.1 実証体制図

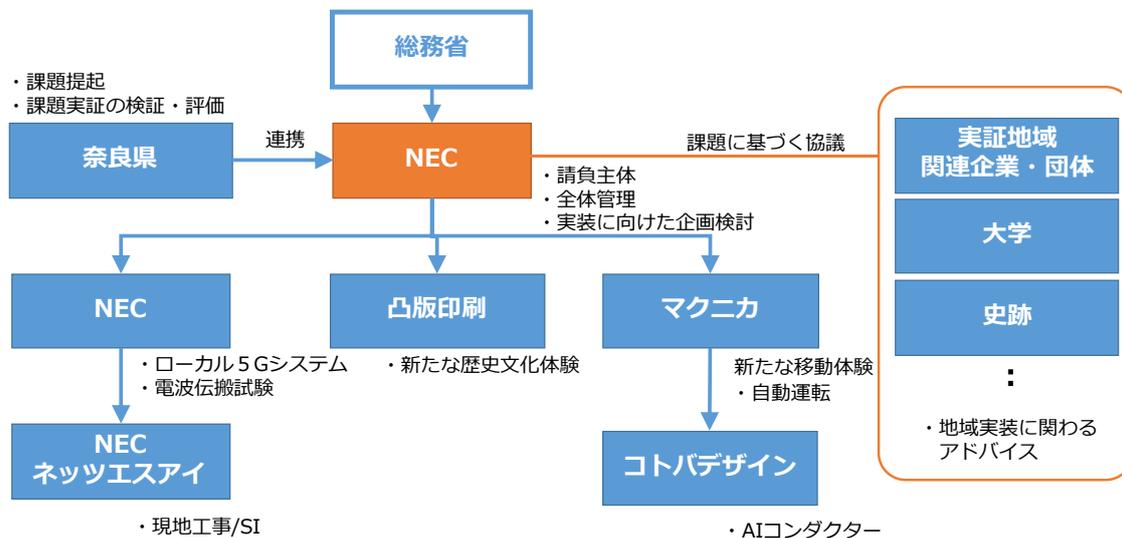


図 1.3.1-1 実施体制図

1.3.2 コンソーシアムの詳細

企業・団体名	役割
奈良県	課題提起、課題実証の検証評価、地域実装に関わるアドバイス
日本電気株式会社	請負主体、全体管理、地域実装検討、ローカル5Gシステム提供、免許取得、電波伝搬試験、ローカル5Gプロジェクト調整
凸版印刷株式会社	新たな歴史文化体験の映像配信制御システム開発、コンテンツ制作
株式会社マクニカ	新たな移動体験の自動運転システム開発
株式会社コトバデザイン	新たな移動体験のAIコンダクター開発
NEC ネットワークスエスアイ株式会社	現地工事、SI

代表者及び主要参加企業・団体

企業・団体名	日本電気株式会社
部署名・役職	社会公共ビジネスユニット 第一都市インフラソリューション事業部 マネージャー
氏名	坂倉 彰
連絡先	044-455-8089

主要参加企業・団体

企業・団体名	日本電気株式会社
部署名・役職	社会公共ビジネスユニット 奈良支店 支店長
氏名	中川 裕子
連絡先	0742-26-1622

企業・団体名	日本電気株式会社
部署名・役職	クロスインダストリーユニット ローカル5G事業推進本部 マネージャー
氏名	高地 成彦
連絡先	03-3798-9504

企業・団体名	NEC ネットエスアイ株式会社
部署名・役職	社会公共ソリューション事業部 第一システム部 担当部長
氏名	浦田 和成
連絡先	044-435-1534

企業・団体名	凸版印刷株式会社
部署名・役職	関西事業部 ソーシャルビジネス推進部第一課 課長
氏名	染田 直樹
連絡先	06-6454-6009

企業・団体名	凸版印刷株式会社
部署名・役職	ソーシャルイノベーション事業部 先端表現技術開発本部 課長
氏名	江幡 雅紀
連絡先	03-5840-2771

企業・団体名	株式会社マクニカ
部署名・役職	イノベーション戦略事業本部 モビリティソリューション事業部 部長
氏名	福田 泰之
連絡先	045-470-9118

企業・団体名	株式会社コトバデザイン
部署名・役職	代表取締役社長 COO
氏名	古谷 利昭
連絡先	03-6805-1752

1.4 実証のスケジュール

項目		令和2年				令和3年					
		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	
全体			▼10/6 契約日	▼月次 報告	▼月次 報告	▼月次 報告	▼月次 報告	▼月次 報告	▼最終 報告	▼機器 撤去	
			← 実証環境構築 →				← 実証実験 →		← 報告書作成 →		
5G 基地局 関連			← 構築・設定・設置・確認 →			← ローカル5G基地局手配 →		← 現地サーベイ・NW設計 →		← システム事前構築/連結テスト作業 (NEC サイト) →	
			← 現地設置工事 →		← 電波発射 →		← 5G通信環境の維持 →				
			← 免許申請準備・干渉調整・免許申請・登録点検・免許交付 →								
課題解決 システム	新たな歴史文化体験		← コンテンツ計画 →		← コンテンツ基本設計・開発・検証 →			← 運用準備・テスト・現地機器設置 →			
	新たな移動 体験	自動運転車	← 制御装置ソフト・API開発 →			← 車両搬入 準備・テスト →					
		AIコンダクター	← 車両I/F設計・制作 →		← 車内映像学習・調整 →		← 運用準備 →		← コンテンツ基本設計・作成 →		← 現地機器設置 →

1.5 免許申請の概要

1.5.1 開設理由

IoT の普及に代表されるように通信ニーズの多様化が進んでおり、5G 時代においてはより一層の多様化が進むことが想定される。そのため携帯電話事業者による全国サービス提供に加えて、地域ニーズや産業分野の個別ニーズに応じて、柔軟に構築／利用可能な第 5 世代移動通信システム（ローカル 5 G）を導入し、5G の地域での利用促進を図ることが検討されている。

上記ローカル 5 G に割り当て予定の 4.7GHz 帯を使い、生産性向上・新しい付加価値の創造を目的とした、4.7GHz 帯ならではの広帯域・低遅延を必要とする無人化・自動化・エンターテインメントサービスの共創をエンドユーザのお客様とともに実施した。

受信局の電波の受信レベル変動や空間的な広がり、測定エリア（環境）の建造物分布や、地形、周辺の移動物体（人、車）の影響を強く受けることが知られており、様々な特性の測定エリア（環境）での電波伝搬の調査・特性評価を行い、技術実証の検討・考察に用いた。

ローカル 5 G は、将来的には SA 構成に移行することが想定されるものの、それまでの間はアンカーバンド（2.5GHz）を利用した NSA 構成となる。そのため本実証では NSA 構成を採用した。また同時にアンカーバンド（2.5GHz）の基地局及び移動局の免許も申請した。

本実証では、免許人を日本電気株式会社（以下「NEC」という）、種別を実験試験局とした。実験試験局は、「科学若しくは技術の発達のための実験、電波の利用の効率性に関する試験又は電波の利用の需要に関する調査を行うために開設する無線局であつて、実用に供しないもの」と定義されている。今回の実験試験局の申請では、常設場所を NEC 玉川事業場とし、移動範囲として、実証場所である平城宮跡歴史公園周辺を指定した。

1.5.2 無線特性仕様希望理由

① 2.5GHz 帯（中心周波数 2.585GHz）を希望した理由

NSA 構成における 4.7GHz 帯のエリア特性及び伝送特性の評価において、2.5GHz 帯をアンカーとした見通し・遮蔽物など実利用環境下での電波の到達距離、システム通信品質などの評価実験を行い、技術確立に向けた検証を実施していく必要があったため、2.585GHz を希望した。

② 4.7GHz 帯（中心周波数 4.75GHz）を希望した理由

ローカル 5 G で今後導入が見込まれる 4.7GHz 帯での伝搬・伝送実験を行い、技術確立に向けた検証を実施していく必要があった。

帯域幅 100MHz に対応した装置において、数 Gbps を超える伝送実現に向けて、その実験的検証を実施するために、4.7GHz 帯の 4.75GHz を中心周波数として希望した。

③ 2.5GHz 帯、帯域幅 10MHz を希望した理由

2.5GHz 地域 BWA システムに割り当てられた 10MHz 帯域を利用した伝搬特性を取得するための実験を行い、性能検証を行った。

④ 4.7GHz、帯域幅 100MHz を希望した理由

高周波数帯において数 Gbps を超える超高速伝送を早期に実現することを目的に、帯域幅 100MHz での伝搬・伝送実験を行った。本実験では、ローカル 5 G に割り当てられた 100MHz を利用した伝搬特性取得のための実験を行い、超高速伝送や低遅延といった性能検証を行った。

1.5.3 申請スケジュール

- ① 免許申請 : 2020 年 11 月 16 日
- ② 予備免許取得 : 2020 年 12 月 1 日
- ③ 本免許取得 : 2021 年 1 月 8 日

表 1.5.3-1 申請スケジュール



1.5.4 干渉対策

(1) 2.5G 干渉対策

本実験試験局の電波発射までに関係各社と運用調整を実施し、問題がないことを確認したうえで電波発射を行った。調整した関係各社を表 1.5.4-1 に示す。

表 1.5.4-1 2.5G 干渉対策

事業者	調整状況
UQ	調整済み【2020/11/5】
WCP	調整済み【2020/10/26】
地域BWA事業者 近鉄ケーブルネット ワーク	調整済み【2020/10/9】

当該周波数帯を割り当てられた開設者を含めて運用調整を実施し、当該無線局の運用に支障のない場合に限り電波を発射した。また、常設場所では空間に電波発射をせず運用を行った。

補足として、調整した内容を以下に示す。

以下の項目を含む資料を作成し、提出、電波発射の許可をいただいた。

- 申請する基地局の設置場所、移動範囲、電波発射期間
- 無線局工事設計（周波数帯、占有帯域幅・方式、アンテナ利得など）
- 同期条件
- カバーエリア
- アンテナパターン

本実験試験局の電波発射時に、近鉄ケーブルネットワークのエンドユーザへの干渉の影響について調査を実施し、影響がないことを確認した。

免許取得後の近鉄ケーブルネットワーク株式会社（以下「KCN 社」という）との調整は以下の通りである。

1/22 :

L5G 電波の発射前と発射中、停止後の電波強度を確認し、KCN 社の電波に干渉しているか試験を実施。平城宮跡歴史公園内以外は影響を与えていないことを確認していただいた。

また、電波を発射するスケジュールを毎週連絡することで、電波発射の許可をいただいた。

1/27 :

KCN 社の電波へ影響を与えてはいないが、L5G 電波が影響を受けていることが判明した。

1/28～2/3 :

干渉調査を実施。シールドテントを使用することで KCN 社の電波の影響を 4dB 程度低減することが可能と判明。

※技術実証にはシールドテントを使用しない。

(2) 4.7G 干渉対策

本実験試験局の電波発射までに関係各社と運用調整を実施し、問題がないことを確認した上で電波発射を行った。

表 1.5.4-2 4.7G 干渉対策

事業者	調整状況
NTTドコモ	調整済み【2020/10/27】
NTTアクセスサービスシステム研究所	調整済み【2020/10/23】
NTTコミュニケーションズ	調整済み【2020/10/23】

当該周波数帯を割り当てられた開設者を含めて運用調整を実施し、当該無線局の運用に支障のない場合に限り電波を発射した。

補足として、調整した内容を以下に示す。

以下の項目を含む資料を作成し、提出、電波発射の許可をいただいた。

- 申請する基地局の設置場所、移動範囲、電波発射期間
- 無線局工事設計（周波数帯、占有帯域幅・方式、アンテナ利得など）
- 同期条件
- カバーエリア
- アンテナパターン
- 同期パターン

2. 実証地域

2.1 実証地域の概要

本実証を実施する平城宮跡歴史公園は、奈良県にある歴史公園である。

奈良県は人口約 132 万人、県内には多くの歴史的遺産が存在し、県が掲げる奈良県政の発展の目標と道筋である「奈良新『都』づくり戦略 2020」の中でも「生活に、観光に自然歴史文化資源を活用」として観光産業の活性化が行政テーマの 1 つとして掲げられるなど、観光施策が重視されている自治体である。

また、県内でも平城宮跡歴史公園が所在するエリアでは、日本の律令国家が形成された奈良時代の政治・文化の中心として多くの重要な遺構が確認されており、学術上きわめて価値の高い文化財として、昭和 27 年に特別史跡に指定され、平成 10 年には「古都奈良の文化財」の構成資産の 1 つとして世界遺産に登録されている。さらに、平成 20 年 10 月の閣議決定に基づき「古都奈良の歴史的・文化的景観の中で、平城宮跡の保存と活用を通じて、“奈良時代を今に感じる”空間」の創出を目指して事業化され、国営公園区域、県営公園区域とが連携し、平成 30 年 3 月に「平城宮跡歴史公園」が開園した。

平城宮跡歴史公園は、約 132ha（甲子園球場約 34 個分）の広大なエリアに、1300 年前の遺構や空間がそのまま残る本格的都城として世界的にも貴重な歴史的価値を持つ。しかし、建造物が残っておらず、そこにある歴史的遺産や埋蔵文化財の存在には気づけないことから、観光客に当時の平城宮の威容を伝えることができず、奈良公園近辺にありながら、観光客の訪問が十分でないという課題を持つ地域である。

2.1.1 実証環境

本実証は、平城宮跡歴史公園県営公園区域にて実施する。

- 正式名称
平城宮跡歴史公園
- 設立年月日
平成 30 年（2018 年）3 月 24 日
- 設立経緯
平成 20 年度の閣議決定に基づき、「古都奈良の歴史的・文化的景観の中で、平城宮跡の保存と活用を通じて、“奈良時代を今に感じる”空間」として事業化。国営公園区域と県営公園区域で連携して開園。
- 建物所有者
県営公園区域：奈良県
国営公園区域：国土交通省 近畿地方整備局 国営飛鳥歴史公園事務所
- 目的
世界遺産「古都奈良の文化財」の構成資産の 1 つでもあり、我が国を代表する歴史・文化資産である平城宮跡の一層の保存・活用を図る。
- 面積
約 132ha
- 住所
奈良県奈良市二条大路南 4-6-1
- 年間入込客数
218,527 人（平成 31 年度）
- 地形的特徴
平坦で開けた土地が多く、建造物が少ない地形である。
県営公園区域は、4 棟の建造物と復原遣唐使船が存在する。

平城宮跡歴史公園の開園について



- ▶平城宮跡は、我が国の律令国家が形成された奈良時代の政治・文化の中心として、多くの重要な遺構が確認されており、学術上きわめて価値の高い文化財として、昭和26年度に特別史跡に指定され、平成10年度には世界遺産に登録されている。
- ▶平城宮跡歴史公園は、平成20年度の閣議決定に基づき、「古都奈良の歴史的・文化的景観の中で、平城宮跡の保存と活用を通じて、“奈良時代を今に感じる”空間」として事業を進めて来ているところ。
- ▶今般、「朱雀門ひろば」等について整備が進んだことから、平成30年3月24日(土)に、県営公園部分と国営公園部分を同時に供用開始する。

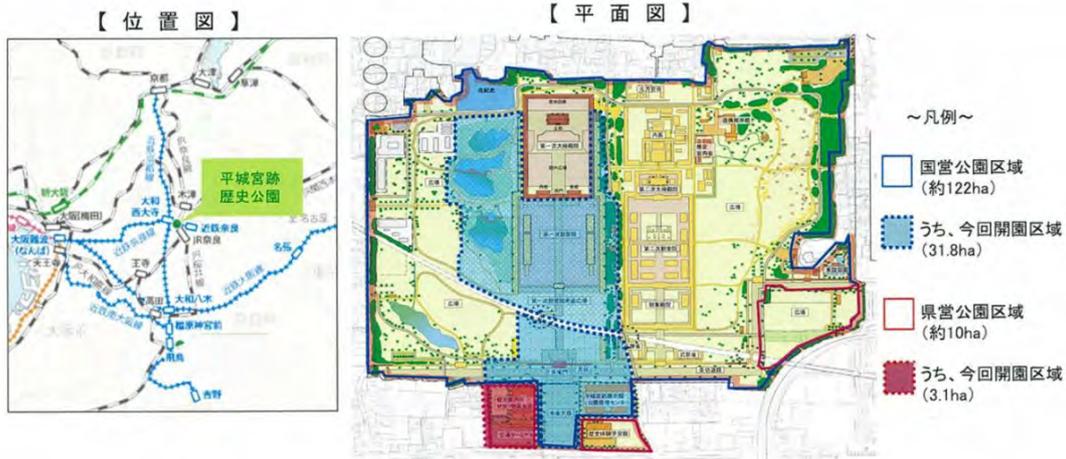


図 2.1.1-1 平城宮跡歴史公園の概要

出典) 奈良県 平城宮跡歴史公園開園時の報道資料 (平成 29 年 9 月 6 日) より作成

【実証フィールド】

平城宮跡歴史公園

奈良県奈良市二条大路南 4-6-1

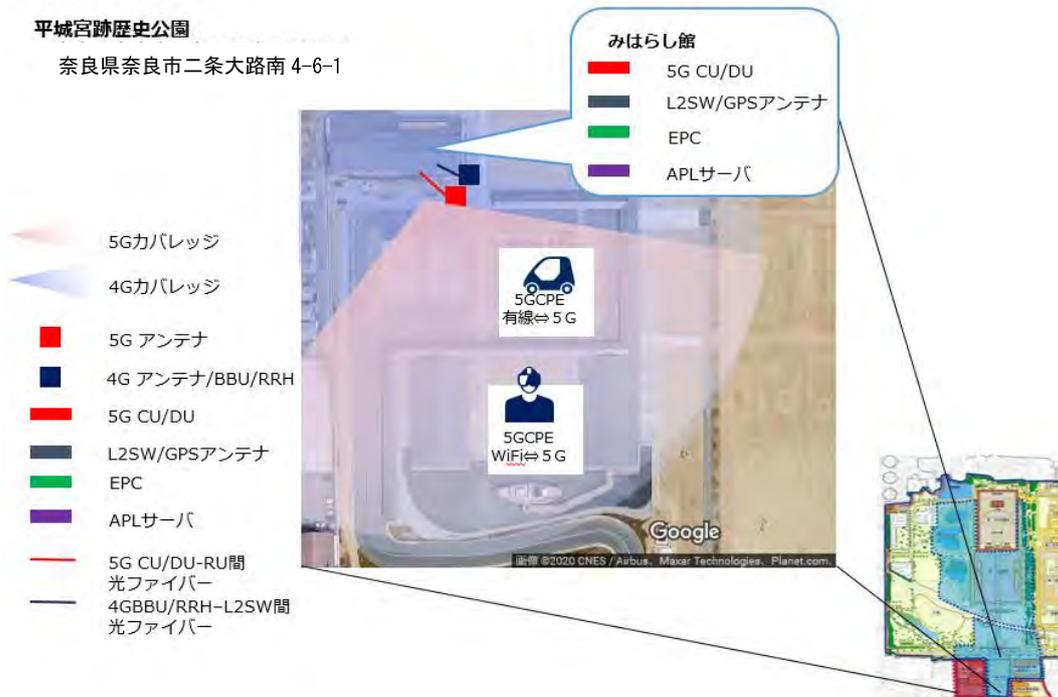


図 2.1.1-2 実証フィールドの概要



図 2.1.1-3 現地の設置したローカル5Gアンテナ



図 2.1.1-4 朱雀門とローカル5Gアンテナ



図 2.1.1-5 復原遣唐使船とローカル5Gアンテナ

2.2 地域課題等

奈良県は、飛鳥時代から奈良時代にかけて政治の中心地であり、国内及び世界的にも屈指の価値を持つ歴史文化を保有している。この歴史文化を観光資産として活用した観光産業振興が重要な政策の柱である。

奈良県には圧倒的な歴史文化資産

- ・世界遺産 3件 (全国1位)
- ・重要文化財 1,327件 (全国3位)
- ・国宝 203件 (全国3位)
- ・国指定史跡 114件 (全国1位)

図 2.2-1 奈良県の歴史文化遺産の数

出典)

奈良県歴史文化資産データベース [いかすなら](http://www.pref.nara.jp/miryoku/ikasu-nara/kurabete/)

<<http://www.pref.nara.jp/miryoku/ikasu-nara/kurabete/>> (世界遺産、重要文化財)

毎日新聞 ランキングで奈良学

<<https://mainichi.jp/articles/20190923/ddl/k29/040/272000c>> (国宝、国指定史跡)

しかし、これらの観光資産は、建造物が広く大きいこと、点在していること、移動手段が乏しいこと等の理由から、観光客は一部の観光ポイントのみに集中しているのが現状である。

- 隠れた観光資源が多く、認知度や関心が低い
 - ✓ 遺構や史跡が多い
 - ✓ 復原や資料館建設は、コスト面や史跡保護の観点から設備しきれない
- 観光ポイントが離れている。各観光ポイントも広大。観光での移動が大変
 - ✓ 観光ポイントが点在化しているため、観光地間に距離がある
 - ✓ 一つ一つの観光地が広く、施設内の移動にも時間がかかる

図 2.2-2 奈良県の観光資産の特徴

出典) コンソーシアムメンバによる分析

また、観光客は奈良公園近辺を観光後に京都、大阪等の他観光地に移動することがパターン化しており、結果、奈良県での「滞在時間が短い」、「宿泊客が少ない」状況から脱することができていない。よって、県内の観光ポイントの魅力を向上して観光振興を図り観光地域としての価値を高めていくことが急務である。

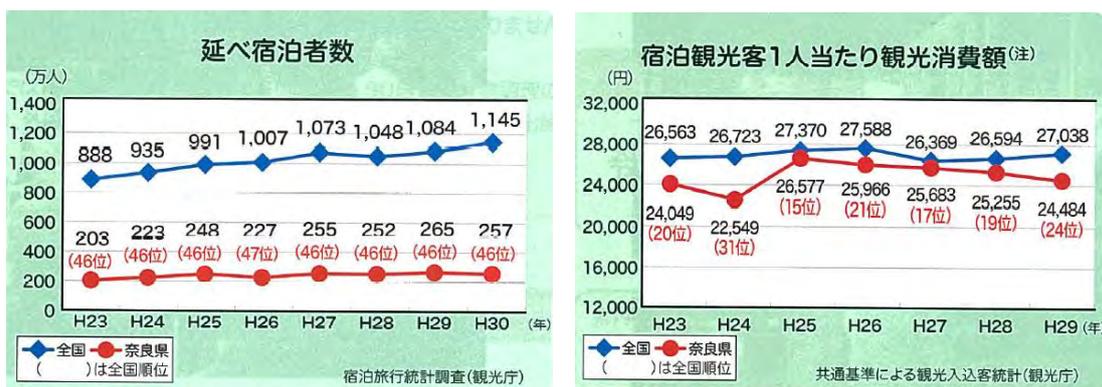


図 2.2-3 奈良県を来訪する観光客の宿泊者数と観光消費額

このためには県内に点在する歴史文化資源の魅力や価値を向上させ、かつ奈良県全体における魅力ある観光体験の実現が不可欠である。また、新型コロナウイルス感染症の拡大による観光需要の減少も喫緊の課題である。感染拡大防止対策を考慮した新たな観光体験コンテンツを実現し、経済の活性化を図る必要がある。

これらの課題に対する 1 つの施策として、奈良県では平城宮跡における観光価値向上施策を進めている。

平城宮跡は 1300 年前の遺構や空間がそのまま残る本格的都城として、世界的にも貴重な歴史的価値を持つ観光資産である。132ha（甲子園球場約 34 個分）の敷地の中を来訪者が自由に散策できる歴史空間となっており、ほぼ全域に埋蔵文化財が存在し、大極殿や朱雀門等の象徴的な歴史的遺産は、建造物として復原され、さらに公園内の基壇や礎石等の歴史的遺産の中を自由に散策することができる。

一方で、132ha に渡る広大な公園に復原建造物や資料館が点在するため、平城宮跡の広さを体感できる反面、そこにある歴史的遺産や埋蔵文化財の存在には気づけないことが多い。そのため、来訪者はバス停駐車場近辺や復原建造物の周囲の散策が中心となり、100ha を超える広大なエリアの歴史的遺産を周遊してもらえないという課題がある。

また、来訪者の年齢層について、休日は 30 代やファミリー層の割合が多いため、単なる歴史学習ではなく、歴史的遺産をより深く楽しく理解できるような、若年層がグループで楽しめる新たな歴史文化体験を提供し、平城宮跡全体を周遊してもらうことが重要である。

さらに、ほぼ園内全域に埋蔵文化財があるため、文化財保護の観点から、建造物の設置には制約があり、平城宮跡の昔の街並みを実際の建造物として広域に面的に再現するのは困難である。加えて埋蔵文化財保護の観点から、公園内に建造物やネットワーク設置の工事を行うことも困難である。

このように、観光客に当時の平城宮の威容を十分に伝えることができず、奈良公園近辺にありながら、観光客の訪問が十分でないという課題がある。今回課題としている地域の観光資産の価値を高めるための、若年層やファミリー層で楽しめる新たな歴史文化体験や、広大なエリアでの新たな移動体験、さらにはローカル 5G による、無線による低遅延で高精細な映像配信ネットワーク構築という実証課題に適した場所であると考えられる。

この平城宮跡において、「奈良時代を今に感じる」歴史文化体験の充実により「楽しい」「行きたい」観光価値を高めることで、観光客の入込客数の向上が期待できる。さらに、

県内の他エリアに拡大していくことで県全域にて新しい観光体験を作り出す。

なお、平城宮跡と同様に、地域に残る歴史文化資源を十分に整備できず、観光価値を伝えきれなかった観光地は全国各地に存在する。今回の実証システムを横展開することで、隠れていた観光価値を顕在化させて観光客を集め、各地の観光産業の活性化も期待できる。

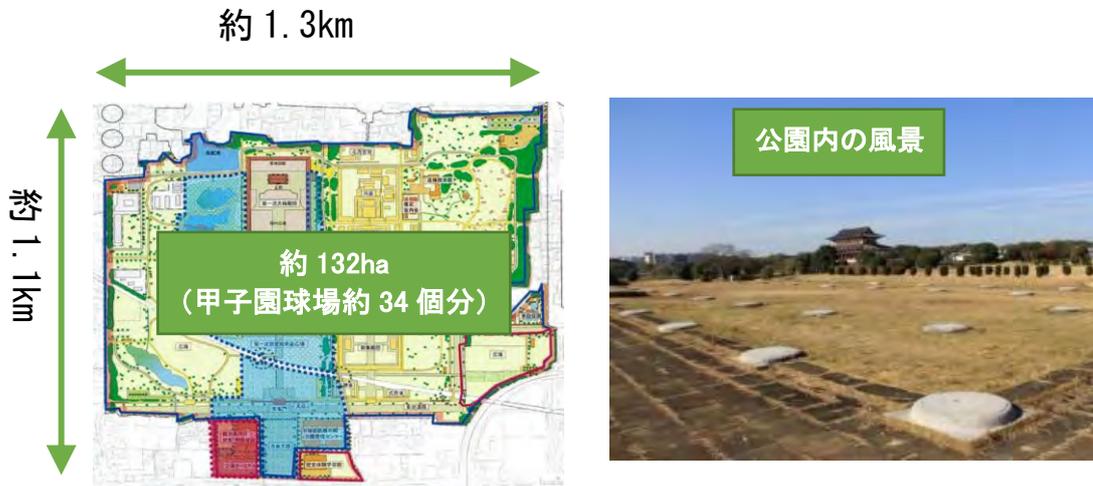


図 2.2-4 平城宮跡歴史公園の大きさと風景

来訪者滞在場所調査 (令和1年度調査)
 →滞在は復原建造物等の周囲が中心
 →休日は30代やファミリー層の割合が多い

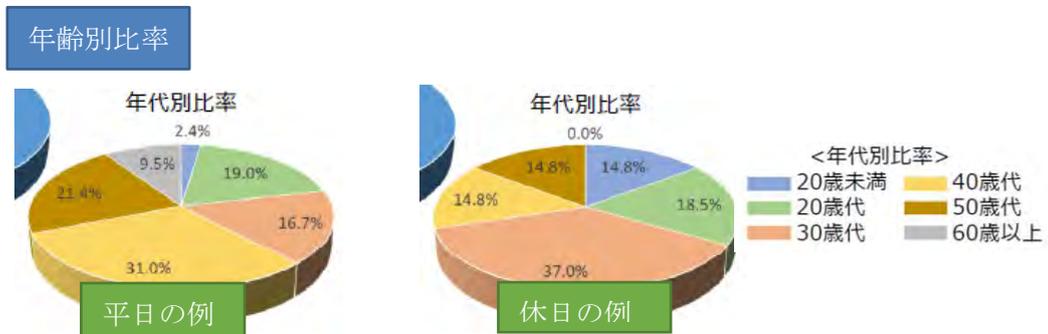
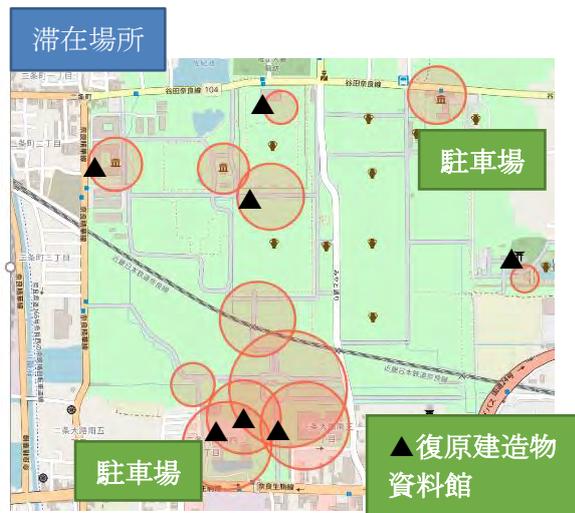


図 2.2-5 平城宮跡歴史公園の来訪者調査結果

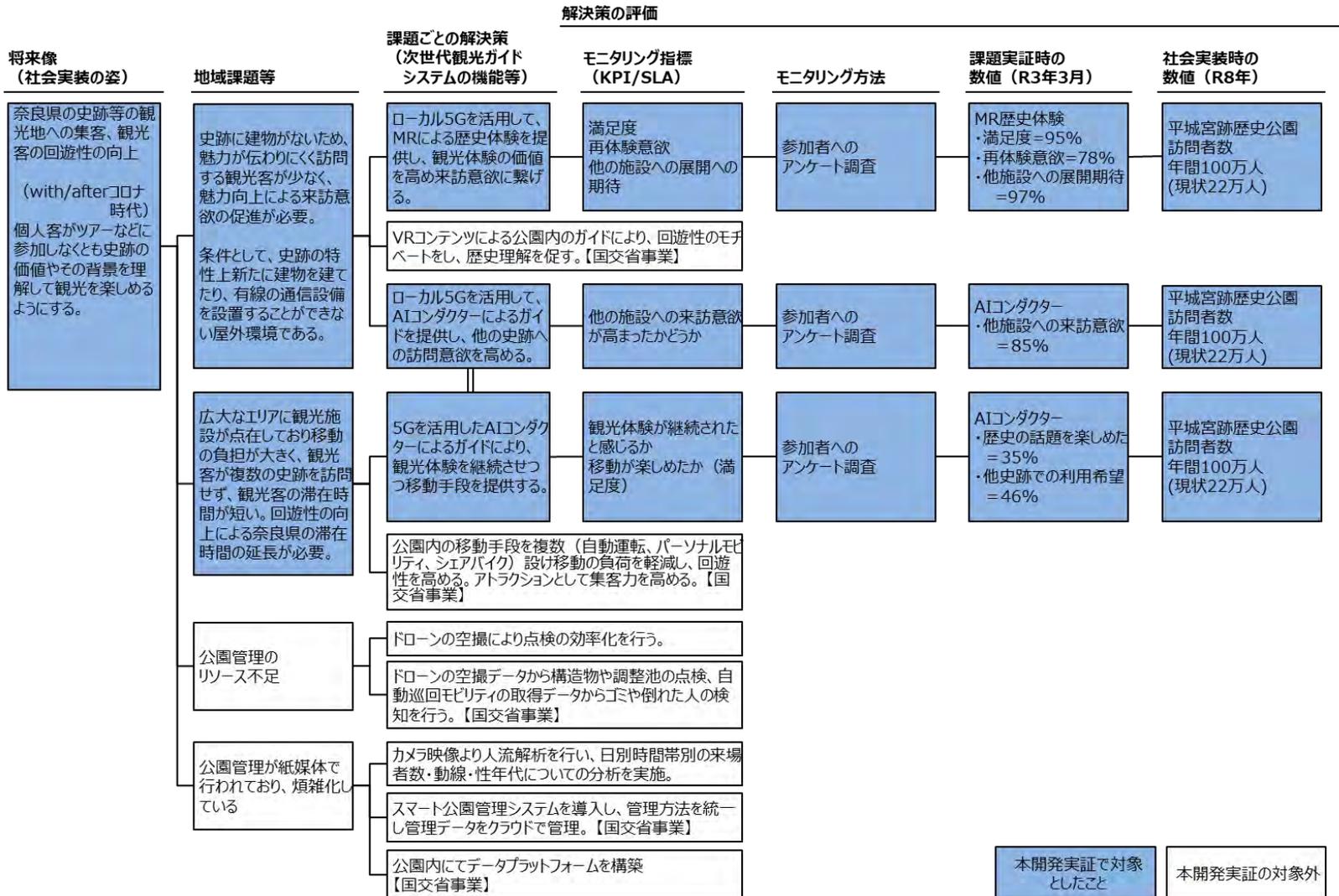


図 2.2-6 地域課題に関する 이슈ーツリー

3. 実証環境

3.1 ネットワーク構成

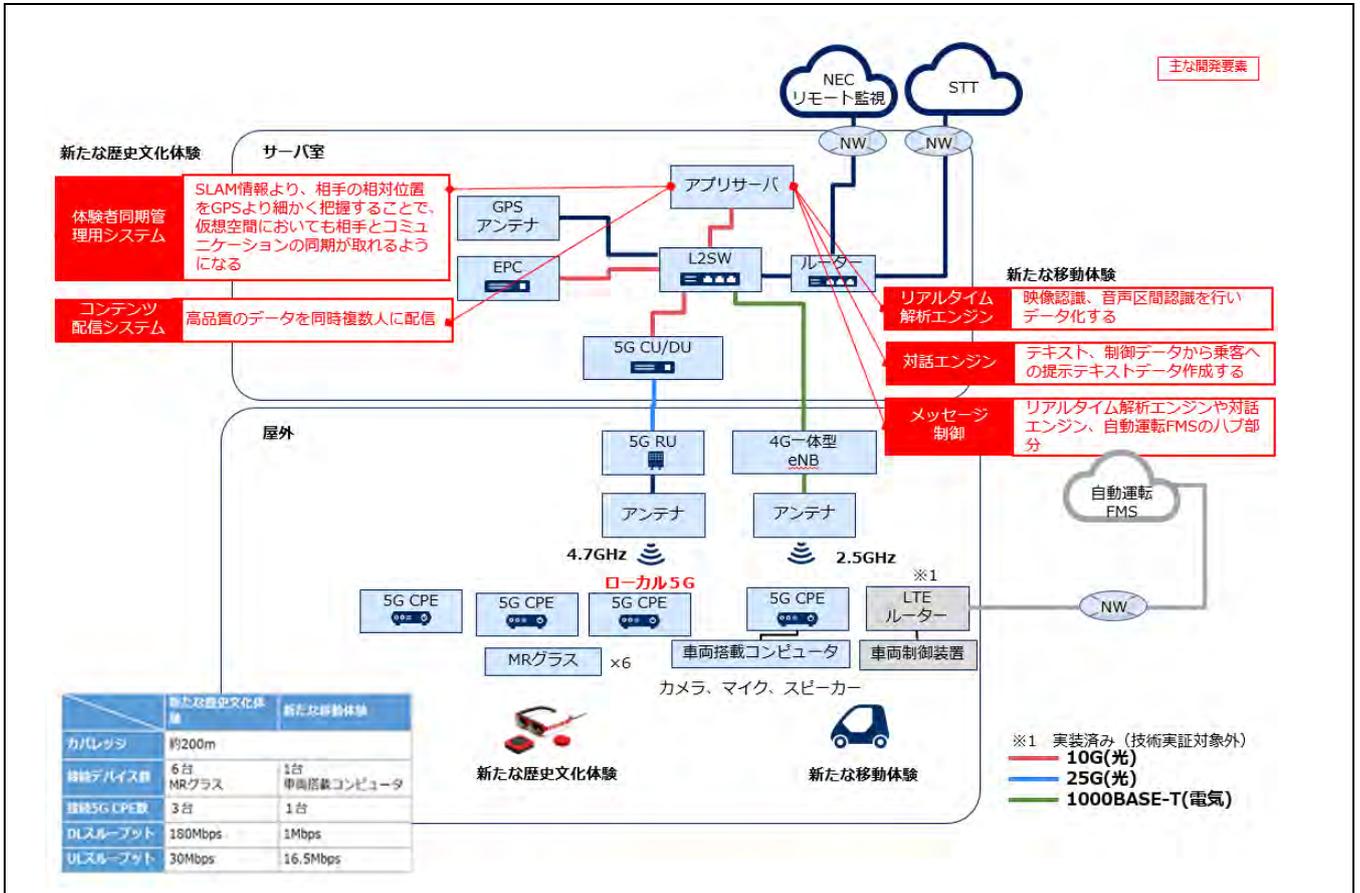


図 3.1-1 ネットワーク構成

表 3.1-1 ネットワーク機器

項目	品名	数量	設置形態	設置場所	調達先	役割	機能
ローカル 5Gシステム	EPC	1	固定	サーバ室	NEC	5G/4G コアネットワーク	端末のモビリティ管理やデータパケットの転送など
	5G CU/DU	1	固定	サーバ室	NEC	5G 基地局 (集約部/デジタル部)	基地局制御とベースバンド処理
	5G CU/DU ソフトウェア	1	搭載	サーバ室	NEC		
	5G CU/DU FPGA	1	搭載	サーバ室	NEC		
	4.7GHz 5G RU	1	固定	屋外	NEC	5G 基地局 (無線部)	5G 基地局の無線機能
	5G アンテナ	1	固定	屋外	NEC	5G 基地局 (無線部アンテナ)	4.7GHz 帯の電波を放射
	4G BBU/RRH	1	固定	屋外	NEC	4G 基地局 (一体型)	4G の基地局機能
	4G アンテナ	1	固定	屋外	NEC	4G 基地局 (無線部アンテナ)	2.5GHz 帯の電波を放射
NW機器	L2SW	1	固定	サーバ室	NEC	ネットワーク中継器	5G システムとサーバの中継
	GPS アンテナ	1	固定	屋外	NEC	GPS 受信アンテナ	同期
	ルーター	1	固定	サーバ室	NEC	ネットワーク中継器	5G システムとクラウドの中継
ローカル 5G対応 端末	CPE	4	固定	屋外	NEC	5G 対応モバイルルータ	デバイス接続

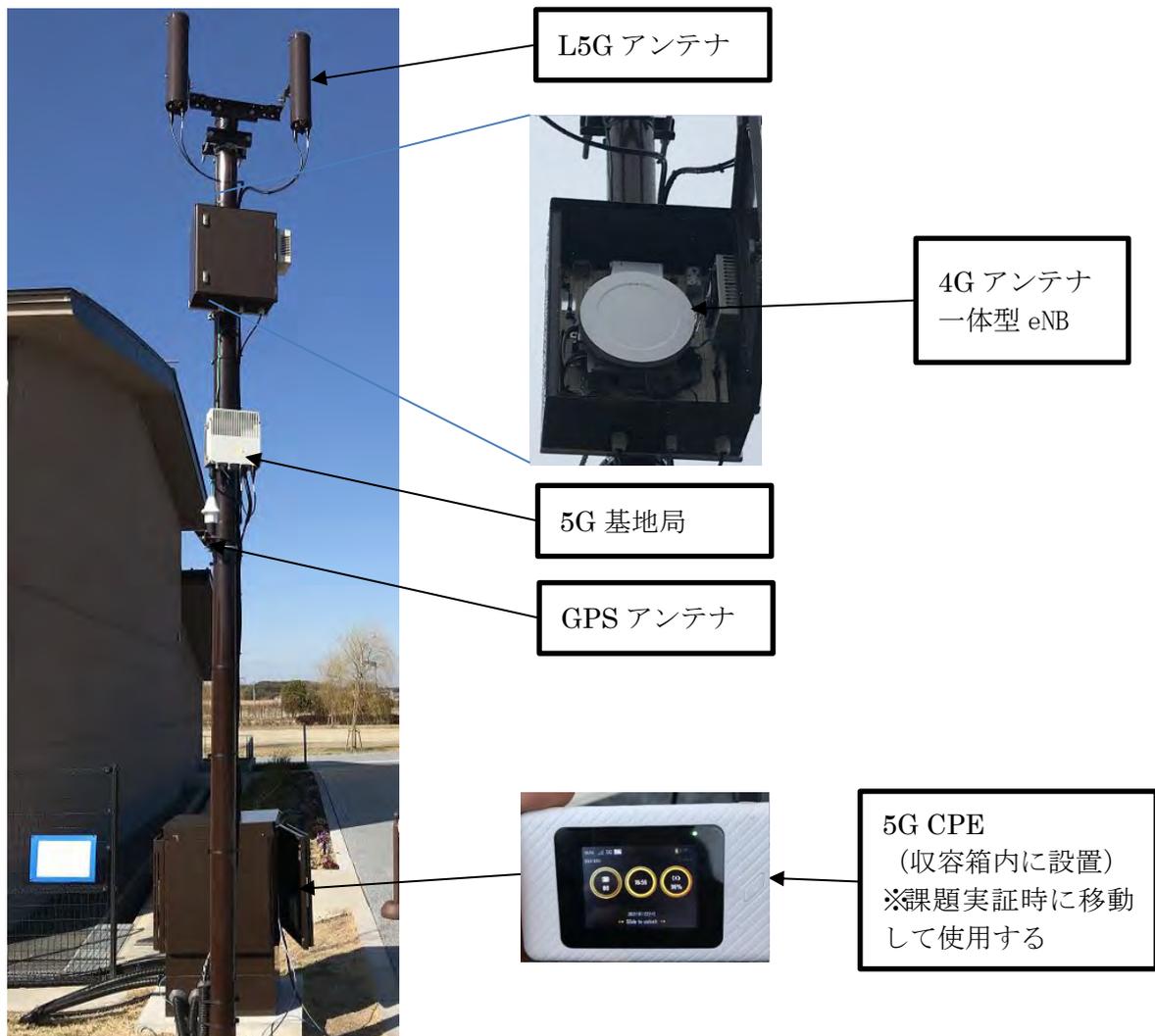


図 3.1-2 ローカル5Gシステム (屋外)

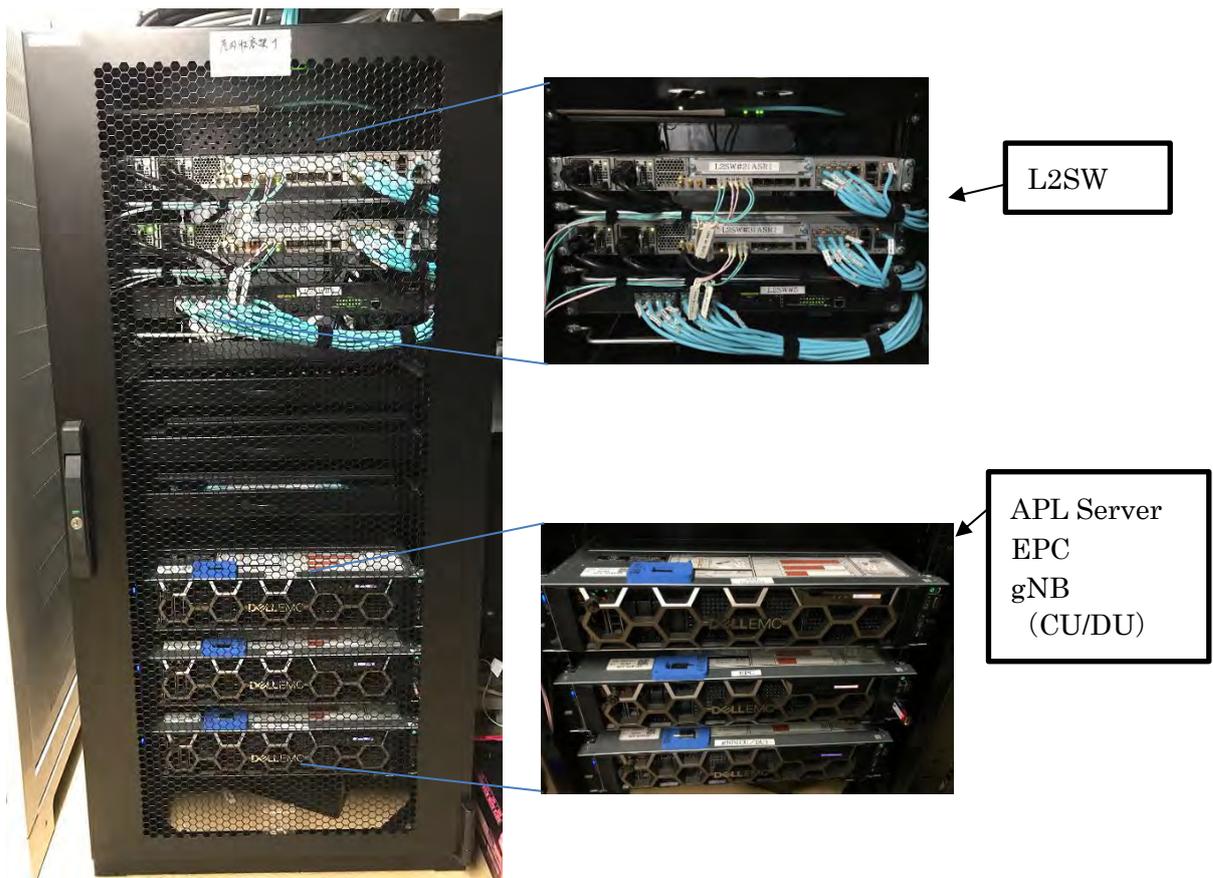


図 3.1-3 ローカル5Gシステム (屋内)

表 3.1-2 ネットワーク機器以外の機器

項目	品名	数量	設置形態	設置場所	調達先	役割と機能
新たな歴史文化体験	体験者登記管理システム用サーバ	1	固定	サーバ室	凸版印刷	MR 歴史体験時の位置情報や動作同期の処理
	コンテンツ配信システム用サーバ	1	固定	サーバ室	凸版印刷	位置情報や動作に基づいた映像データを振り分けストリーミング配信を実行
	MR グラス	6	移動	屋外	凸版印刷	映像データの投影、カメラセンサーによる自己位置情報等の取得
	スマートフォン	6	移動	屋外	凸版印刷	映像データを受信し MR グラスに送信グラスからの取得情報をサーバへ送信
新たな移動体験	超小型モビリティ	1	移動	屋外	マクニカ	自動運転車本体、移動手段
	自動運転ソリューション	1	移動	屋外	マクニカ	ステレオビジョンカメラ、ミリ波レーダ等
	アプリケーションサーバ	1	固定	屋外	コトバデザイン	リアルタイム解析エンジン、対話エンジン、メッセージ制御
	車両搭載コンピュータ (Raspberry Pi)	1	移動	屋外	コトバデザイン	映像、音声取り込みを行い、アプリケーションサーバに配信
	カメラ	2	移動	サーバ室	コトバデザイン	映像データの撮影
	マイク・スピーカー	1	移動	屋外	コトバデザイン	音声データの録音・拡声



図 3.1-4 新たな観光体験に使用したシステム



図 3.1-5 新たな観光体験に使用したシステム

3.2 システム機能・性能・要件

本実証の実施及び実証目標の達成に要する、ローカル5Gシステムの機能及び性能は図3.2-1、図3.2-2に示す通りとする。

課題解決システム		新たな歴史文化体験	新たな移動体験
トラフィック要件	アプリケーション	DL: 複数人が同時に体験できるように、体験者ID、位置情報に応じたリアルタイムストリーミング配信映像 UL: 体験者ID、位置情報	DL: 乗客の挙動をカメラ映像で監視、車の状況を解析エンジンで分析、必要に応じてAIの音声エージェントにより乗客に注意を促す制御信号、音声文データ UL: 映像・音声データ、制御信号
	アプリケーションレイヤスループット(セルあたり)	DL: 合計180Mbpsの映像データ(30Mbps×6台) UL: 合計30Mbpsのユーザー位置情報(5Mbps×6台)	DL: 合計1Mbpsの制御信号、案内文データ UL: 合計16.5Mbpsの映像・音声データ、制御信号
	DL: UL比率	4:1	4:1
	モビリティ条件	ハンドオーバー無し	ハンドオーバー無し
保守要件	安定性	8時間連続	8時間連続
	復旧時間	リセットで復旧できれば良い	リセットで復旧できれば良い
	冗長性	冗長なし	冗長なし
	保守性	オフラインで手動で実施	オフラインで手動で実施

図 3.2-1 本実証でのローカル5Gの機能

	性能目標	性能目標値	測定方法
新たな歴史文化体験	スループット到達目標	DL: 30Mbps×MRグラス6台でシステム合計180Mbps UL: 5Mbps×MRグラス6台でシステム合計 30Mbps	受信量を帯域計測ソフトによる測定
	遅延目標	違和感のない将来的な目標としてシステム全体として100~200msec	データの往復遅延時間(端末~所定サーバ間)の測定
新たな移動体験	スループット到達目標	DL: 制御信号、案内文データ 1Mbps UL: 映像、音声、制御信号 16.5Mbps	受信量を帯域計測ソフトによる測定
	遅延目標	違和感のない将来的な目標としてシステム全体として100~200msec	データの往復遅延時間(端末~所定サーバ間)の測定

図 3.2-2 本実証でのローカル5Gの性能

3.3 実証環境の運用

実証環境は1か所用意し、下記のようなローカル5G環境を提供する。

- **新たな歴史文化体験**
 利用方法は体験開始前のオリエンテーションにて、運営者（NEC）と凸版印刷株式会社（以下「凸版印刷」という）よりモニター等を使用して実施する。また、体験中は、運営者（NECと凸版印刷）が近くで体験者をサポート、かつ、MRグラスの稼働状況はサーバにて監視を行う想定とする。MRグラスなどシステム上のエラー発見時は、運営者（NECと凸版印刷）内で連携して体験者サポートとエラー対応を行う。
- **新たな移動体験**
 乗車場所に案内板を設置し、説明員として現地スタッフを配置する。また、不具合発生時は現地スタッフと運営者（NECと株式会社マクニカ（以下「マクニカ」という）、株式会社コトバデザイン（以下「コトバデザイン」という））内で連携して体験者サポートと不具合対応を行う。

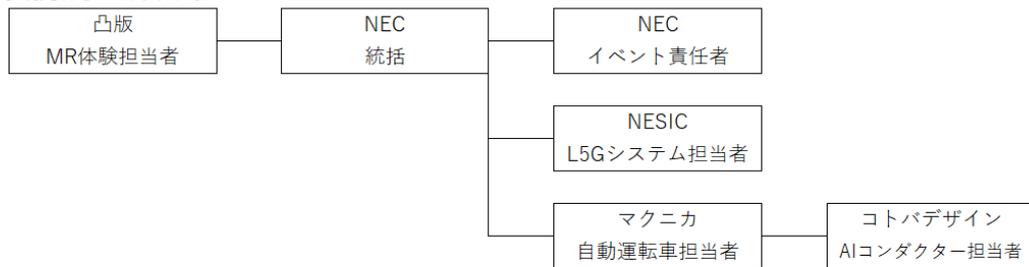
図 3.3-1 に両実証の不具合発生時の対応体制を示す。

イベント時の連絡体制表

1. L5Gシステムの不具合時



2. 新たな観光体験の不具合時



3. 新たな移動体験の不具合時

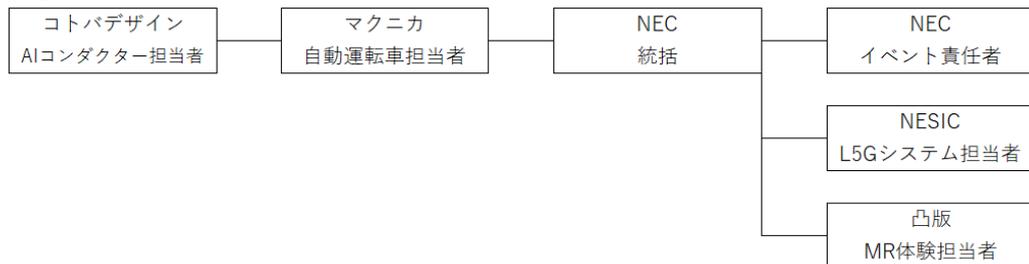


図 3.3-1 イベント時の連絡体制表

基地局の場所、カバレッジ及び目標達成に必要な通信性能を図 3.3-2 に示す。

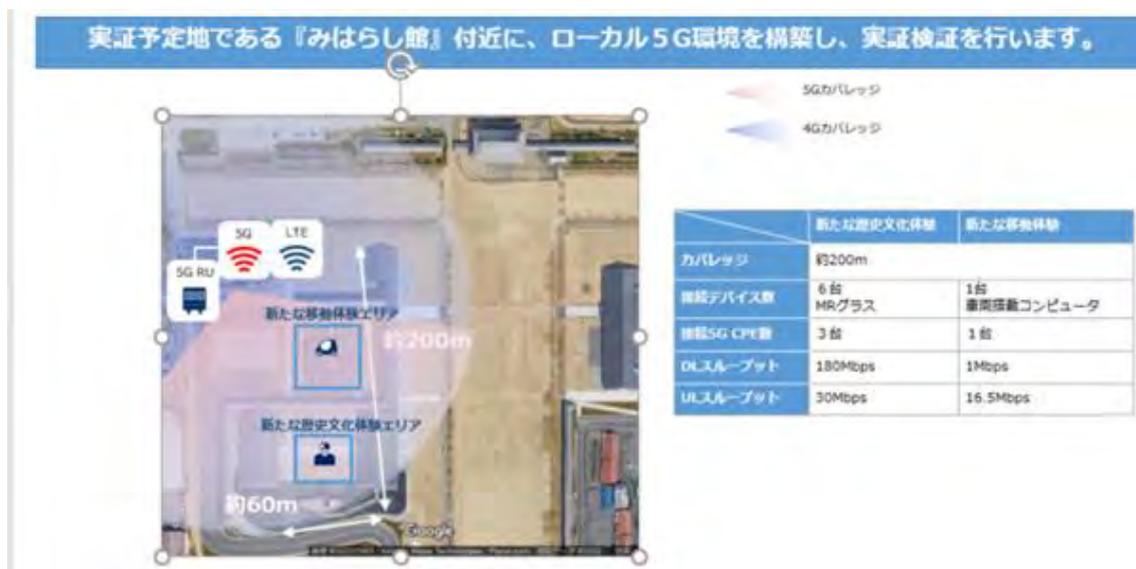


図 3.3-2 基地局の場所、カバレッジ及び目標達成に必要な通信性能

実証に際して基地局を設置したエリアは、KCN 社が 2.5GHz 帯の電波帯域を使用して地域 BWA サービスを展開中であった。KCN 社の地域 BWA の周波数は、本実証で使用する NSA 構成のローカル 5 G のアンカーバンドと合致するため、KCN 社に対して 8 月に電波利用の申し入れを行い、最終的には 1 月のローカル 5 G 基地局設置後に KCN 社地域 BWA への影響調査を実施して、影響がないことの確認を実施した。

基地局を設置したエリアは、奈良市より風致地区に指定されており、風致地区内行為許可申請書（※1）が必要となるため提出した。また、工事にて掘削工事を行うため、埋蔵文化財発掘届出書（※2）を提出し、工事を実施した。

※1：以下の際に風致地区内行為許可申請書が必要。

- (1) 建造物の新築、改築、増築または移転
- (2) 工作物（建造物を除く。）の新築、改築、増築または移転
- (3) 建造物その他の工作物の色彩の変更
- (4) 宅地の造成、土地の開墾その他の土地の形質の変更または水面の埋立て若しくは干拓
- (5) 木竹の伐採
- (6) 土石の類の採取
- (7) 屋外における土石、廃棄物または再生資源の堆積

本実証は、(2)にあたる。

宛先は奈良市長宛へ提出する。

※2：以下の際に埋蔵文化財発掘届出書が必要。

- 遺跡内（周知の埋蔵文化財包蔵地）において建築・造成その他の土木工事を行おうとす

る場合。

- 宛先は奈良県知事宛で、奈良市へ提出する。
- 図 3.3-3 に提出した図面を示す。

2020.11.20 無線機他位置変更
 2020.12.02 ポール選定
 2020.12.03 接地部変更

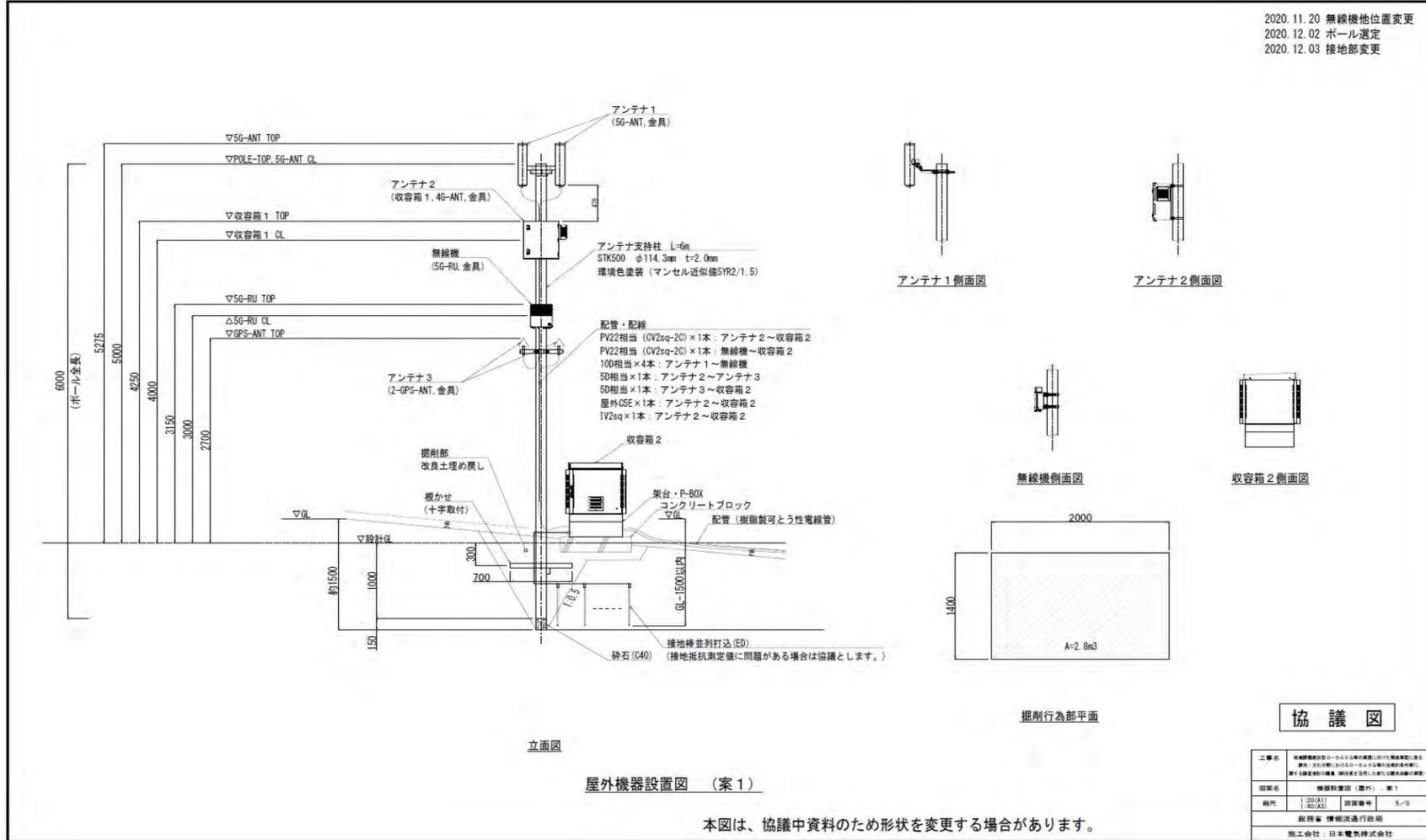


図 3.3-3 屋外機器設置図

また、実証環境にて、新たな歴史文化体験及び新たな移動体験を実施するに際して、それぞれの体験者には、実証当日に実証実験場所において、実証での体験内容の説明を実施した。内容については、4.3章で説明する。

体験者は、新型コロナ感染拡大という状況を勘案し、公開募集方式ではなくクローズド募集方式とし、以下の募集方針にてコンソーシアム関係者を中心に体験参加を依頼した。ステークホルダ各社及び奈良県、観光業界を中心に幅広い事業者から72人（属性分布を図3.3-4に記載）が体験しアンケート回収を行った。

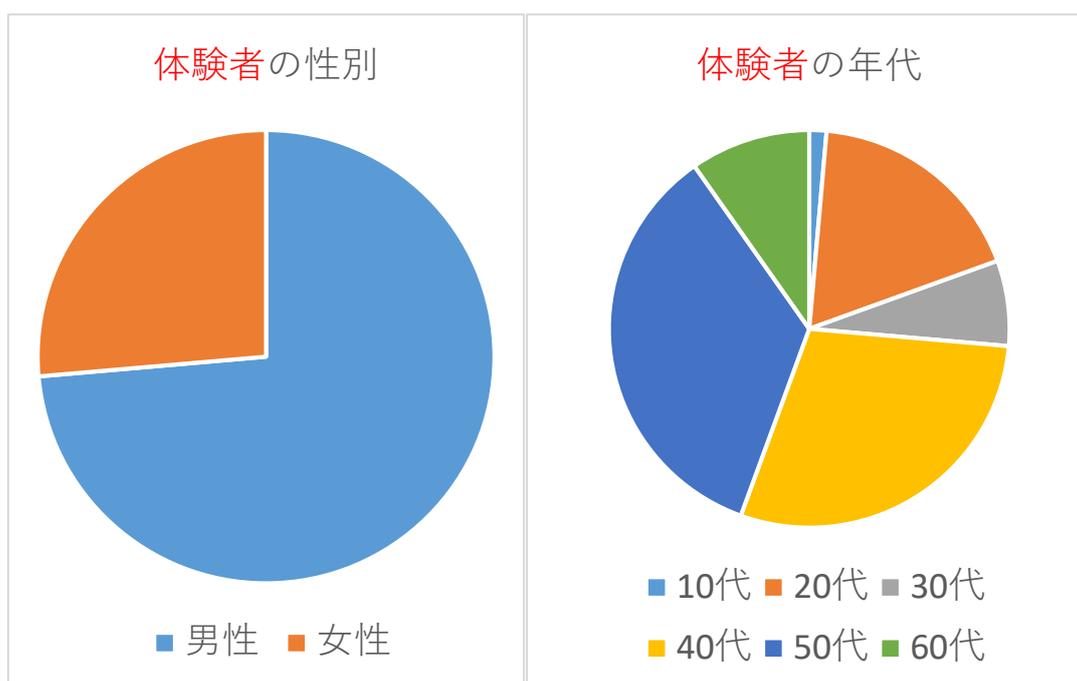


図 3.3-4 体験者の属性

3.3.1 募集方針

(1) 将来の実装の可能性を広げるため、観光関係者を中心に、かつ広い属性(家族、年齢性別の異なる同僚や他業種の友人など)との参加を依頼。(2) 新型コロナ感染防止のため、奈良県在住者または近接府県在住者に依頼。(3) 歴史体験の「体験共有」の評価が必要なため、2名以上での参加を依頼。

また、新型コロナ感染防止対策として、コロナ対策ガイドラインを遵守することにより、感染リスクを押さえながら実証イベントを実施した。実施した感染症対策は以下の通りである。

(1) スタッフ管理

- 体温を測定し記録した。
- 発熱や体調不良(咳、咽頭痛、倦怠感、味覚嗅覚異常)があった場合、休業または受診を指示した。
- 常時マスクを着用した。

(2) 参加者対策

- 体調不良(発熱、有症状)、濃厚接触者で健康監視中の人は来場自粛するよう募集時に周知した。
- 参加時に体温測定と体調確認(書面もあり)。体温と体調が該当した場合は体験お断りした。
- 来場者名簿記載、体調確認欄も設ける。⇒3週間以上の保管、その後の確実な廃棄を行った。必要に応じて保健所等、公的機関へ提供されることを事前周知した。

(3) 衛生管理

- アルコール手指消毒を設置した(受付兼待機場所、アンケート記載場所)。
- 体験時のマスク着用を徹底した。
- 参加者、スタッフとの距離(2m、最低1m)を確保した。MRデバイス装着時など1m以下になる場合は最大限の注意を払う。
- 受け用のアクリルパネルを設置した。
- スタッフ更衣室、休憩スペースでの社会的距離の確保、消毒液設置、ドアノブなどのこまめな消毒を行った。
- MRグラス、受けやアンケート用筆記具、自動運転車の毎回の消毒を行った。
- 予備マスクを準備した。

(4) 管理シート作成

- スタッフ体調管理シート(体温測定、健康状態チェック):3週間保管した。

3.4 関連事業

平城宮跡歴史公園では、公園エリアの活性化やより一層の魅力向上を目的に、公園を管理する国土交通省、文化庁、奈良県、奈良市等の関係者により、様々な取り組みが実施されている。本実証である総務省令和 2 年度地域課題解決型ローカル 5 G 等の実現に向けた開発実証（以下「総務省実証」という）の参加企業である NEC、凸版印刷、マクニカ、コトバデザインは、総務省実証の他に、国土交通省平城宮跡歴史公園スマートチャレンジ(以下「国交省実証」という)にも参画し、それぞれの事業において別の観点からの実証を行い、AI や IoT などの新技術を活用した平城宮跡歴史公園の活性化に取り組んでいる。

国土交通省 近畿地方整備局 国営飛鳥歴史公園事務所
平城宮跡歴史公園スマートチャレンジ
<https://www.kkr.mlit.go.jp/asuka/heiijo/psc/>

NEC は、総務省実証では、ローカル 5 G を活用した地域課題及びローカル 5 G の技術課題に取り組んでいる。また、国交省実証では、公園内での人流解析の課題に取り組んでいる。ローカル 5 G のネットワーク技術、人流解析のデータ活用技術の両面から公園の活性化に取り組んでいる。

凸版印刷は、総務省事業では、MR 技術を活用して現実世界の上に映像を重ね合わせる歴史文化体験に取り組んでいる。また、国交省事業では、VR 技術を活用して仮想空間の歴史世界の中で体験する歴史文化体験に取り組んでいる。MR 技術と VR 技術という異なる技術、使用機材やユーザ体験等で公園の活性化に取り組んでいる

マクニカ及びコトバデザインは、総務省実証では、車両乗車中に利用する観光ガイドの AI 化に取り組んでいる。観光ガイドの AI 化では、周囲の観光案内に加えて、車両の挙動（右左折や加減速等）、乗客の挙動（安全に着座しているか）等を踏まえて、乗客との自然なコミュニケーションを実現する。また、国交省実証では、協力企業とともに車両乗車前に利用する車両呼び出し操作の AI 化に取り組んでいる。ロボットに音声で問いかけることで車両を呼び出す無人配車システムや、アプリケーションでの乗車操作を行うことで車両へのスムーズな乗車を実現する。乗車時のおもてなし体験と、乗車前の車両呼び出し体験の 2 つの観点から、公園エリアの活性化に取り組んでいる。

それぞれの取り組みを一覧化したものを表 3.4-1 に示す。

表 3.4-1 取り組みの一覧

	総務省実証		国交省実証	
NEC	ローカル 5 G	ローカル 5 G を活用した地域課題及びローカル 5 G の技術課題	人流解析	公園内の人の流れを可視化し、公園運営に活用。
凸版印刷	MR 技術 (現実世界に映像を重ね合わせる)	『現実世界の上に映像を重ね合わせた MR による歴史文化体験』 MR で現実空間や演者の動きに合わせた画像を楽しむ。同時に複数人(最大 6 人)が MR 歴史体験可能、体験者の動きに応じて映像も変化し、その変化した画像を参加者全員で共有することができる。	VR 技術 (仮想空間の中に没入する)	『仮想空間の歴史世界の中で体験する歴史文化体験』 利用者が仮想空間の中に没入して、バーチャルな世界を楽しむ。
マクニカ、コトバデザイン	AI コンダクター (観光ガイドの AI 化)	『乗車中に利用するサービスを提供』 車両の挙動を車両から取得、乗客の挙動データを画像で取得、乗客の応答を音声で取得、クラウドに送信して、クラウド上で AI が解析、応答を検討して発出する。遅延なく、乗客が対話や注意喚起を体験できる。 例) 乗り出した場合に即座に注意喚起する。	自動運転 (車両呼び出しの AI 化)	『乗車の前に利用するサービスを提供』 ①無人配車システム(ロボットに音声で問いかけることで呼び出す) ②アプリケーションでの乗車操作。

3.総務省事業

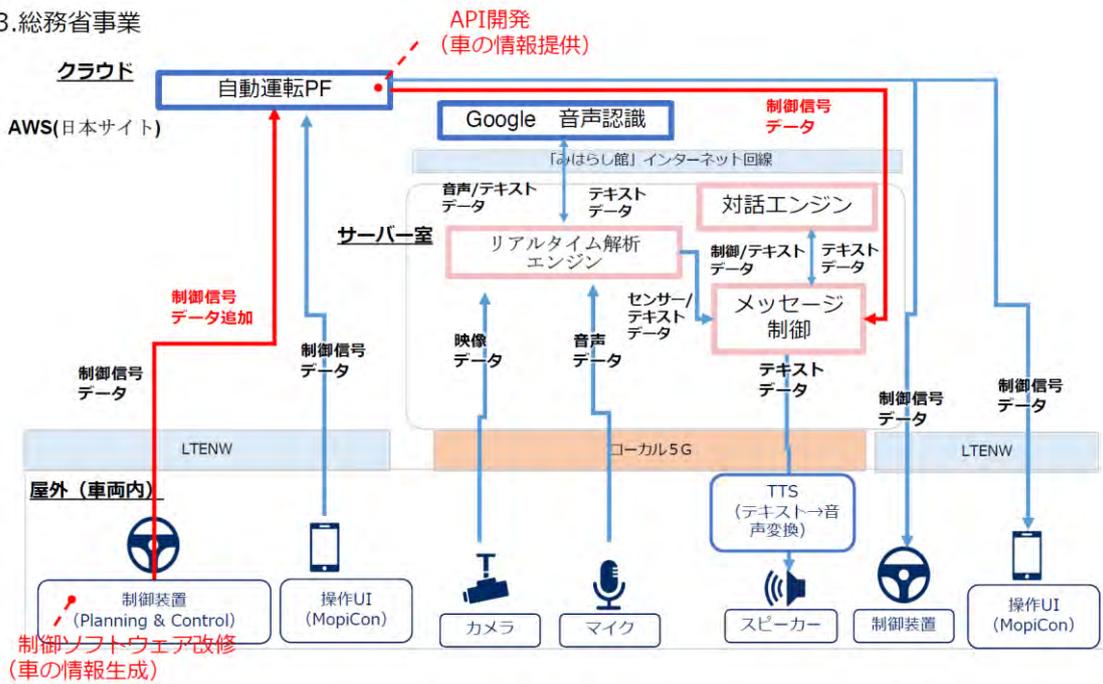


図 3.4-1 AI コンダクター（観光ガイドのAI化）

2.国交省事業（音声での呼び出し）

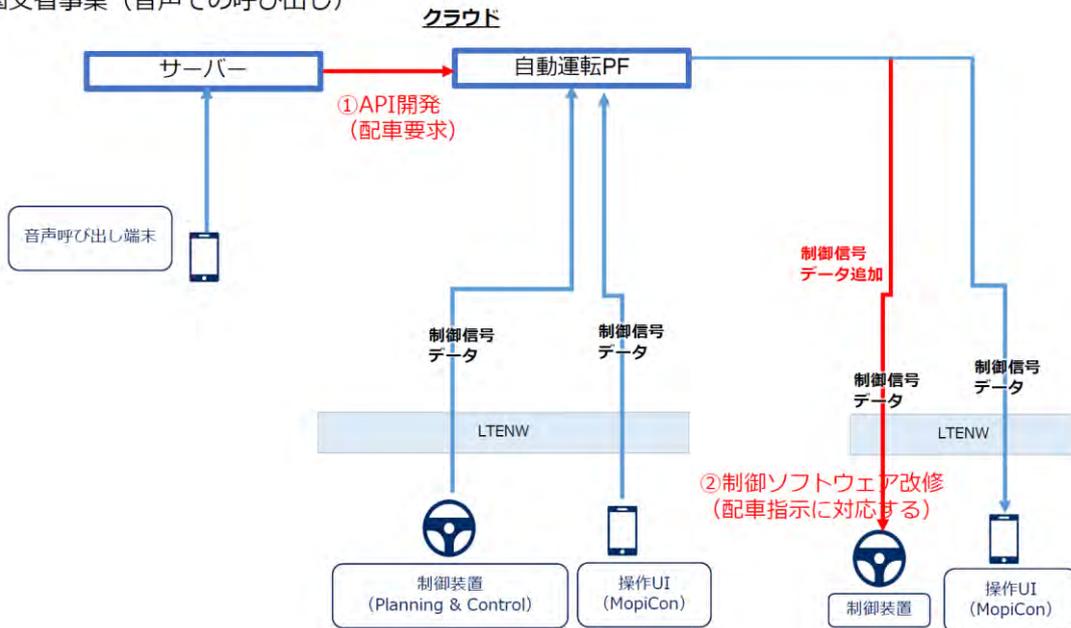


図 3.4-2 自動運転（車両呼び出しのAI化）

4. 課題解決システムの実証

4.1 前提条件

観光地としての奈良県内の各地域の魅力を向上し、県内での周遊性向上を実現すべく、その一環として、平城宮跡歴史公園の魅力向上を目指す。平城宮跡歴史公園を魅力ある歴史文化遺産とすることで、人気スポットである奈良公園に並ぶ魅力的なスポットとし、奈良市エリアでの周遊性を向上させる。同様の取り組みを県内に広げていくことで、奈良県の観光面での魅力向上を目指す。

(新たな歴史文化体験・新たな移動体験 共通)

● 平城宮跡歴史公園の課題認識

132ha に渡る広大な公園に復原建造物や資料館が点々と存在するため、平城宮跡の広大さを体感できる反面、そこにある歴史遺構や埋蔵文化財の存在に気づけないことが多い。

そのため、来訪者はバス停駐車場近辺や復原建造物の周囲が中心となり、100ha を超える広大なエリアの歴史遺構を周遊することができないという課題がある。

また、休日における来訪者の年齢層は、30代やファミリー層の割合が多く、単なる歴史学習ではなく、文化史跡をより深く楽しく理解できるよう、若年層がグループで楽しめる新たな歴史文化体験を提供し、平城宮跡全体を周遊できることが重要である。

さらに、ほぼ園内全域に埋蔵文化財があり、文化財保護の観点から、建造物の設置には制約があるため、平城宮跡の昔の街並みを実際の建造物として広域に面的に再現するのは困難である。

これらを踏まえ、本実証では新たな歴史文化体験と新たな移動体験の提供を行う。

- 目指す姿『また皆で来たい！と思う体験をつくる』
- 観光に来た人達同士が、仮想現実の世界の中で遣唐使船の物語をもとにした歴史文化体験を楽しめる（新たな歴史文化体験）
- 同じ仮想現実の世界の中で、一人ひとり違うパーソナライズ化されたおもてなしを体験できる（新たな歴史文化体験、新たな移動体験）
- 施設間の移動の際にも歴史文化体験の世界観を分断しないような移動案内を行う（新たな移動体験）
- 平城京跡公園全体に渡り、歴史を体感することで、滞在時間を増加させる（新たな歴史文化体験、新たな移動体験）

また、上記の新たな歴史文化体験や新たな移動体験を提供するに際して、大容量で低遅延な通信ネットワークを提供することで、観光客の違和感ない体験が可能になると考える。しかしながら、平城宮跡歴史公園では、埋蔵文化財保護の観点から、公園内に有線による高速ネットワークの敷設工事が困難である。この課題を解消するため、ローカル5Gによる低遅延で高速な無線ネットワークを構築する。

なお、課題解決システム実証は、新型コロナウイルスの感染拡大防止対策を考慮して実施した。屋外型MRを用いた歴史文化体験コンテンツを提供することで換気や対人距離の懸念を抑制し、感染拡大防止対策を考慮した新たな形の歴史文化体験の在り方を検証した。

本実証の環境では、公園周辺で KCN 社がエンドユーザへのサービス提供を行っているため、ローカル 5 G の 2.5GHz 帯において電波干渉が発生している。そのため、各課題実証にて以下の対策を行った。

新たな観光体験では、シールドテントを用意し、干渉波を受けないようにした。

新たな移動体験では、駐車場を一周するコースのため、シールドテントは使用できなかった。そのため、何度か検証を行い、電波干渉が特に強くなる角度を防げるような囲いをアルミホイールにて作成した。

なお、技術実証の測定においては、シールドテントや囲いは使用していない。

各実証にて使用したシールドテントと囲いを図 4.1-1 と図 4.1-2 に示す。



図 4.1-1 シールドテントによる対策



図 4.1-2 アルミホイルによる対策

4.2 実証目標

文化財保護の観点から有線ネットワークの敷設工事を行わずに低遅延で高精細な映像を配信できる無線ネットワーク（ローカル5G）を構築する。また、ローカル5Gの大容量・低遅延通信を活用し、「新たな歴史文化体験」と「新たな移動体験」の2つの課題実証を実施する。

新たな歴史文化体験では、広大な公園内の歴史遺構をグループで同時に、かつ個々の楽しみ方もできるMRによる歴史文化体験を提供する。この地ならではの文化史跡を活用した歴史文化体験の充実により、「楽しい」「行きたい」と思える観光価値を高め、観光客の入込客数を向上させることを目指す。

新たな移動体験では、公園内の移動中もAIによる自然な会話で園内を案内する。観光スポット間の移動時にも、歴史文化体験の世界観を分断しない・安心安全な移動案内を行う新たな移動体験の提供することで、園内さらには県内観光地での周遊性向上をを目指す。

「新たな歴史文化体験」及び「新たな移動体験」の課題実証では、実証体験者に対するアンケートを通して、「体験に観光体験コンテンツとしての価値があること」「体験の安全性」を確認する。

4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

課題解決システムの実証は、実証エリアである平城宮跡歴史公園において、新たな歴史文化体験と新たな移動体験の2つの体験を連続する形で実施した。体験イベントの流れを図4.3-1、図4.3-2に示す。体験者は、集合・受付の後、新たな歴史文化体験、新たな移動体験の順で実施し、その後、両体験に関するアンケートに記入いただく流れとなる。



図 4.3-1 体験イベント当日の流れ (1/2)

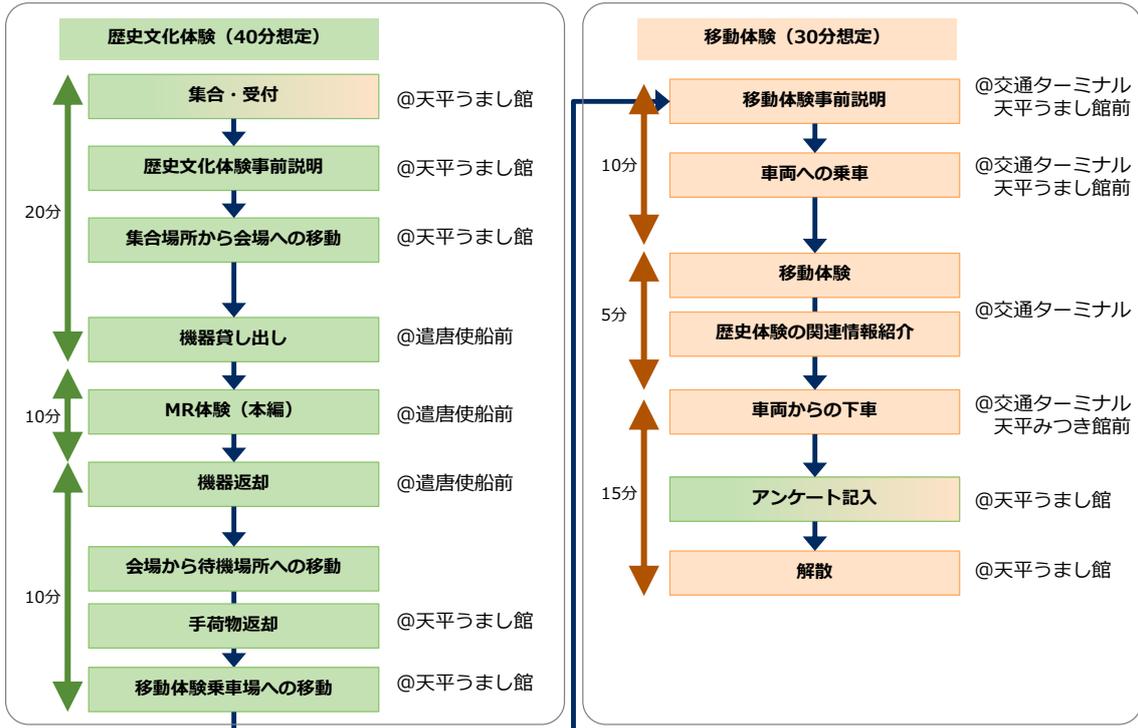


図 4.3-2 体験イベント当日の流れ（2/2）

4.3.1 共通項目

(1) 実証実験スケジュール

課題解決システムによる実証実験は、2021年2月26日～3月1日の4日間の、日没後より1日3回（18時スタート、19時スタート、20時スタート）実施し、合計で12回実施した。図 4.3-3 に実証前準備から実証実験当日の詳細スケジュールを示す。

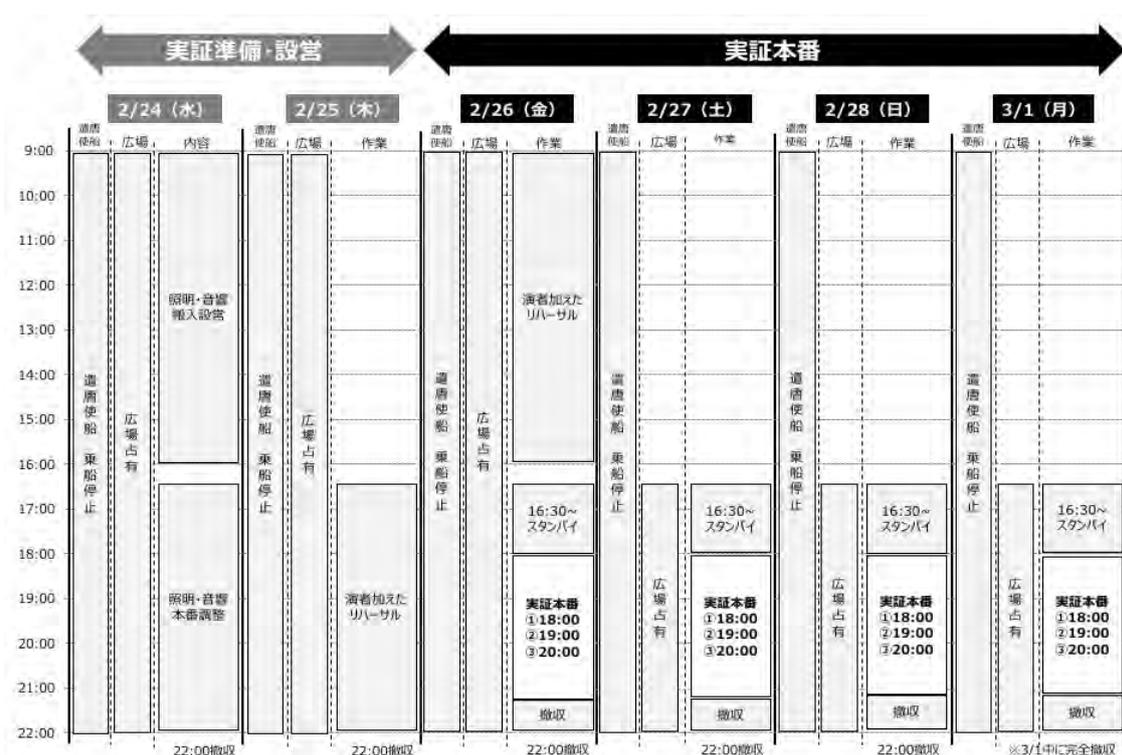


図 4.3-3 実証実験スケジュール

(2) 本番実証時の天候

実証初日、午前中から小雨であったが15時頃になると雨が止み、予定通り実証初日を実施することができた。2日目以降も、天気にも恵まれた。

表 4.3-1 本番実証時の天候

	天気	気温	湿度	風向・風速
2月26日(金)	曇り	6.9℃	89%	北東 0.4m/s
2月27日(土)	曇り	6.7℃	46%	北北東 2.3m/s
2月28日(日)	晴れ	11.7℃	57%	東 4.7m/s
3月1日(月)	曇り	17.1℃	45%	南南東 3.4m/s

(3) 体験者の募集と参加状況

実証体験者数は、1回の参加人数は最大6名（1グループ）とし、1日の参加人数は最大18名（3グループ）4日間で最大72名が体験できるように設計したが、体験者の協力で、全12回全ての回で欠員、遅刻無く、実証をすることができた。

表 4.3-2 実証実験の体験者参加状況

	18時の回	19時の回	20時の回
2月26日（金）	6名	6名	6名
2月27日（土）	6名	6名	6名
2月28日（日）	6名	6名	6名
3月1日（月）	6名	6名	6名

体験者の募集方法は、一般公募を予定していたが、新型コロナウイルス感染症へ配慮を行い、屋外で少人数での体験ではあっても広く一般参加者を集めることは、感染リスクが発生する恐れがあると判断し、コンソーシアム関係者を中心としたクローズドな体験イベントとした。

関係者を中心としたクローズドでの開催となり、参加者属性が限定されて体験者アンケートの客観性が低下する恐れがあるが、関係者の家族やステークホルダの学生等の参加により属性に幅を持たせるよう最大限調整をした。

4.3.2 新たな歴史文化体験

(1) 実施概要：地域課題の解決

平城宮跡は、世界的にも歴史的価値の高い史跡ではあるが、奈良公園近辺にありながら、観光客の訪問が十分でないという課題がある。本実証では、この地ならではの文化史跡を活用した歴史文化体験の充実により、「楽しい」「行きたい」と思える観光価値を高め、観光客の入込を向上させることを目指す。

本実証では、MR 技術を活用して、平城宮跡歴史公園内にある屋外の史跡「復原遣唐使船」（現実世界）に、文化史跡をより深くかつ楽しく理解するためのデジタルコンテンツ（仮想世界）を融合した世界観を、更に、遣唐使船の物語を現実世界の演者によるパフォーマンスと仮想空間で表現する演出効果を重ね合わせることで、現地ならではの臨場感体験、体験者へ没入感ある舞台風歴史体験（MR ヒストリカルエンターテインメントショー）を実現する。これにより、通常の史跡見学では味わうことのできない非日常的な体験となる、新たな歴史文化体験の開発と検証を行った。



図 4.3.2-1 MR 技術を活用した新たな歴史文化体験の考え方

具体的には、地域課題解決の検証として、MR 技術を活用した新たな歴史文化体験（課題解決システム）の開発を行い、課題解決に資する効果検証として、平城宮跡歴史公園において、体験者を募集して課題解決システムを使ったMR 体験を実施し、「体験価値の向上」「歴史文化への興味関心の変化」「訪問満足度や再訪意欲の変化」等について、アンケート方式によるユーザ評価を実施した。また、システムとして必要機能の性能検証、実用化を見据えた運用検証も行い、その有効性を検証と実証モデルの今後の普及展開に向けた検討を行った。

1) 文化史跡で活用される VR・AR・MR について

近年、文化史跡の魅力を伝える手段として、VR・AR・MR 等先進的な映像技術を活用した観光体験コンテンツ化をする動きが活発となっている。ここでは、VR・AR・MR の説明と、本実証で利用する MR 技術について解説をする。

VR (Virtual Reality:仮想現実) :

コンピュータ上に CG 等で人工的な映像空間を作り出し、あたかもそこにいるかの様な感覚を体験できる技術

AR (Augmented Reality:拡張現実)

現実世界にコンピュータで作成したデジタル情報を重ね合わせるにより、現実世界を拡張する技術

MR (Mixed Reality:複合現実)

CG 等で人工的に作られた仮想空間と現実空間をリアルタイムに融合させる技術

MR は、デジタルコンテンツによる仮想空間と現実空間が融合した複合現実であり、VR や AR よりもリアルな体験が可能となる。現実にある遺跡等を利用することができる等、地域資産の観光体験コンテンツ化手段として、非常に期待の高い映像技術である。



図 4.3.2-2 VR・AR・MR の比較図

出所) 平成 31 年 3 月国土交通省観光資源課

「最先端 ICT(VR/AR 等)を活用した観光コンテンツ活用に向けたナレッジ集」

(2) 実施概要：MRによる歴史体験内容、ローカル5Gの有効性

屋外環境において、参加者が一体感を感じられるコンテンツが体験できるように、MR技術とローカル5Gを活用して、体験者同士を繋ぐ仕組みを構築した。

体験者は、グラス型MRデバイスを装着する。MRデバイスを通して、体験者同士で1つの歴史体験を共有し、みんなで楽しめる体験や、体験者の場所移動やハンドジェスチャーにより変化するインタラクティブなコンテンツ体験ができる。



図 4.3.2-3 MR 歴史体験の全体イメージ図



図 4.3.2-4 実際の見え方（左）と MR 歴史体験による見え方（右）

体験者にはリアルな舞台と、そこに合成された映像コンテンツを提供するが、特に、ローカル 5 G の活用のポイントは以下の 2 点である。

①体験者の場所移動：観賞場所の変化によるストーリー展開

スペースが広く移動しやすいという屋外にある歴史遺産の特性を活かし、体験者自らの移動により、シーンの場面転換を行う。これにより、体験者が鑑賞するだけでなく、行動することで MR デバイス内の映像が変わり、ストーリーが展開していくという新しい体験を提供する。

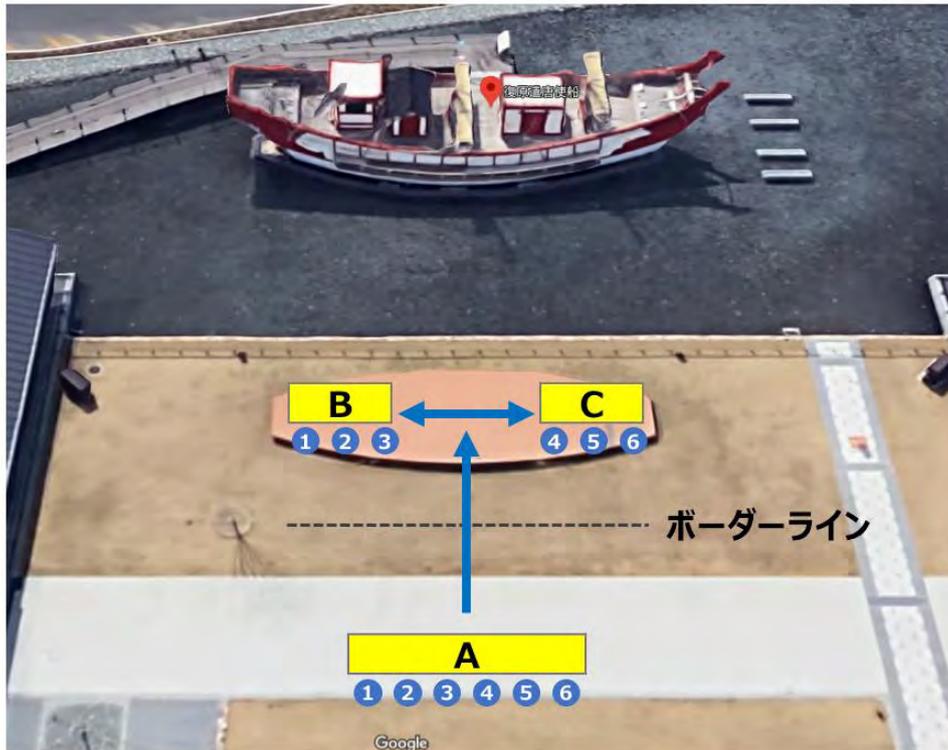


図 4.3.2-5 体験者の移動経路と場所

本実証では、A から B への移動において、体験者が光のボーダーラインを超えると、桜のシーンにから月のシーンに情景が変わり、体験者の後方から鳥たちが現れ、光の環で示された次の移動位置へと誘導する（シーン2の終わり）。



図 4.3.2-6 体験者の移動による映像変化イメージ

また、B①と B②が入れ替わる部分において、B①の位置では冬景色の遣唐使船を、B②の位置では春景色の遣唐使船を見ることができ、B①と B2 を行き来することで、あるシーンにおける表現の変化を与える（シーン3）。

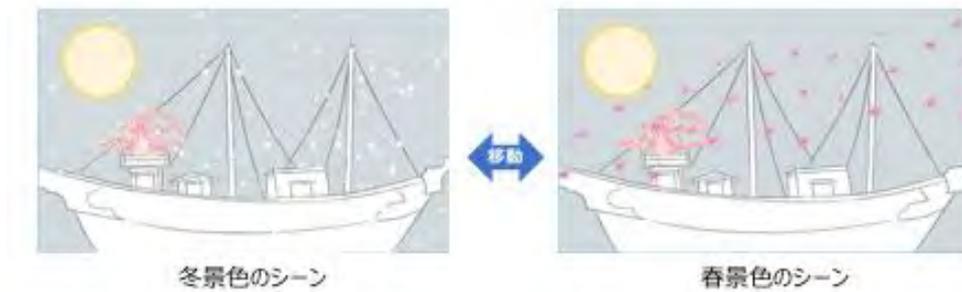


図 4.3.2-7 体験者の移動による映像変化イメージ

②体験者同士の共有体験：体験者が鑑賞舞台演出に参加

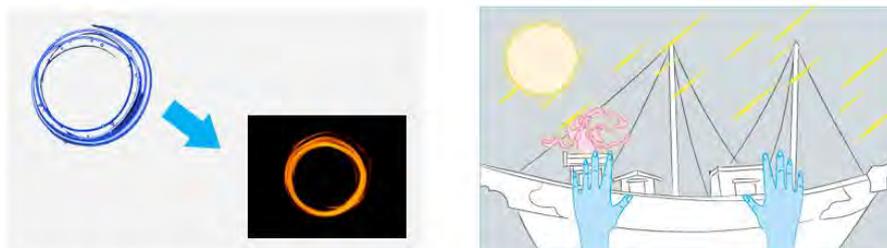
デジタルコンテンツならではの仕掛けとして、体験者の個々の動作、または、体験者同士が協力して、演出映像を表示させて盛り上げる。これらをズレなく表示し、体験できるようにローカル5Gを使って配信管理することで、友人や家族等参加者同士が、演出に参加する新しい共有体験を提供する。

体験者の動作に合わせた演出として、手の動きに合わせて、手元から蝶やパーティクルが舞台の演者（遣唐使たち）に向かっていく。更に、周りを見ると、他の体験者の蝶や花火が見られ、MR 歴史体験を盛り上げる共有体験ができる。



図 4.3.2-8 体験者の手の動きによる映像変化イメージ

また、体験者同士が協力して行う動作に合わせて、コンテンツが切り替わり、新しい映像が表示されるコンテンツ体験ができる。



目の前にある青い光をガイドに従い、指で円を描くと、青い光が赤い光に変化する。全員の光が赤に変化するコンテンツがスタートする。

体験者全員が両手をおかかげる（バンザイ）動作にあわせて、夜空に華やかな流れ星が流れる。

図 4.3.2-9 体験者の手の動きによる映像変化イメージ

これら2点において、ローカル5Gの特性である、低遅延による各MRデバイスからの情報の集約及び各体験者への映像コンテンツ表示処理、ならびに高品質・大容量の映像コンテンツのストリーミング配信によって実現する。

(3) 実施概要：MR 体験に必要なシステム

MR 体験を実現するために、MR デバイスに表示するコンテンツの同期及び配信管理をサーバで制御する仕組みを用意。サーバ側でコンテンツの再生管理を行い、体験者へ同じ空間コンテンツを配信するだけでなく、個々の体験者の MR デバイスを通して屋外にいる体験者の位置把握や手の動きを判別し、それぞれの体験者に適切なコンテンツを、ズレなく同じタイミングで体験できるように配信管理を行う。



図 4.3.2-10 MR デバイスに表示するコンテンツの同期管理

これを実現するために、以下の機能が実現できるシステムを構築する。

- グラス型 MR デバイスを活用し、目の前の現実空間に合わせたコンテンツを、MR デバイスに配信・表示すること
- 複数の体験者へ同じコンテンツを低遅延で同時に配信・表示すること
- 個々の体験者の動作、体験者同士が協力して行う動作に合わせたコンテンツを、低遅延で複数の体験者に同時に配信・表示すること
- 個々の体験者の位置を把握し、位置変化に合わせたコンテンツを、体験者に低遅延で配信・表示すること

この際、移動を伴う屋外体験であるため、管理サーバと複数の MR デバイス間は無線接続である必要がある。屋外において専用網であるローカル5Gの安定した低遅延・大容量ネットワークを活用し、複数の MR デバイスの状況（座標推定・相対位置、ハンドジェスチャー）の変化を、体験者同期管理サーバに集約管理し適切なコンテンツ配信管理、状態変化に合ったストリーミング配信を行うことで、MR デバイス間で同期されたコンテンツ配信を実現する。

(4) 開発するシステムの内容

1) システム構成、役割と機能

新しい体験価値提供となる「新たな歴史文化体験」システムは、3つのソフトウェアから構成される。

- サーバソフトウェア : ①体験者同期管理サーバ
- サーバソフトウェア : ②コンテンツ配信サーバ
- クライアントソフトウェア : ③MR デバイスアプリケーション

サーバシステムである①体験者同期管理サーバ、②コンテンツ配信サーバは、みはらし館内サーバ室に設置し、ローカル5Gネットワークと接続する。クライアントシステムである③MR デバイスアプリケーションは、MR 歴史体験を行う遣唐使船前広場で体験者が利用する。サーバとクライアント間の通信は、ローカル5Gネットワークで接続するが、MR デバイスは直接ローカル5Gネットワークに接続できないため、CPE を介した Wi-Fi 通信でネットワーク接続を行う。

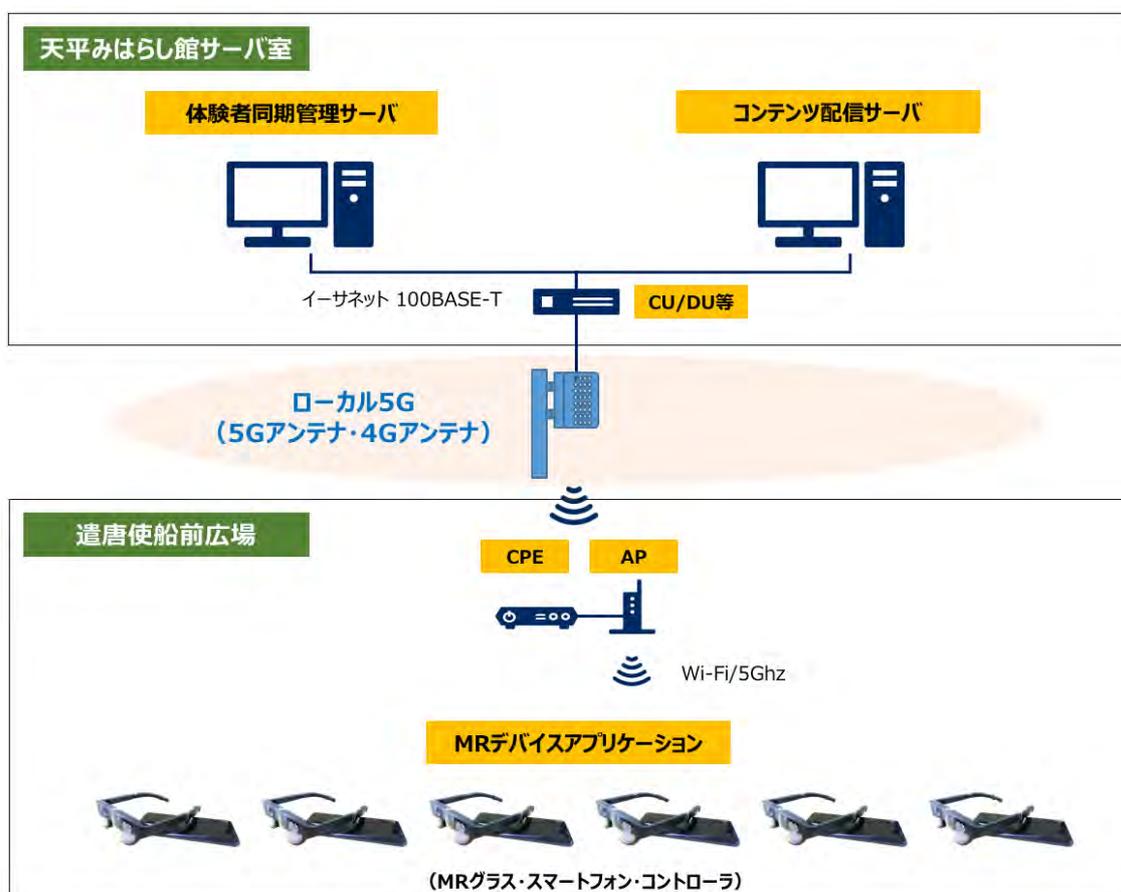


図 4.3.2-11 システム構成図

①体験者同期管理サーバ

MR デバイスのコンテンツ同期を管理する専用サーバシステムである。コンテンツの再生管理、接続されている MR デバイスのステータスや位置情報等の集約と MR デバイスへの同期処理を行う。また、仮想空間 (MR) 上の世界 (以下「ワールド」という) 上にマップを持つことにより、ワールド内での MR デバイスの位置管理を行う。今回、リアルタイムでの座標 (6 名分の体験位置) の集約とビジュアル化を行った。ビジュアル化は、MR デバイスの座標をワールド上のマップにプロットすることで実現した。

表 4.3.2-1 体験者同期管理サーバの機能

機能	役割
コンテンツ再生管理	コンテンツスタート指示等サーバから MR デバイスへコンテンツを同時表示させるための同期処理、絶対時間の管理
MR デバイス間の同期処理	接続されている MR デバイス間において、全 MR デバイスの位置情報、ハンドジェスチャー情報の同期処理 (例. A さんのハンドジェスチャーによる演出付加を B さんから見て同じものが見えるための同期処理)
MR デバイス間の同期処理	Visual SLAM 情報から MR デバイスの相対位置の把握と管理、MR デバイスの体験位置のビジュアル化
MR デバイスのモニタリング	MR デバイスのステータス (バッテリー残量、ネットワーク接続状況等) のモニタリングとステータス異常の監視

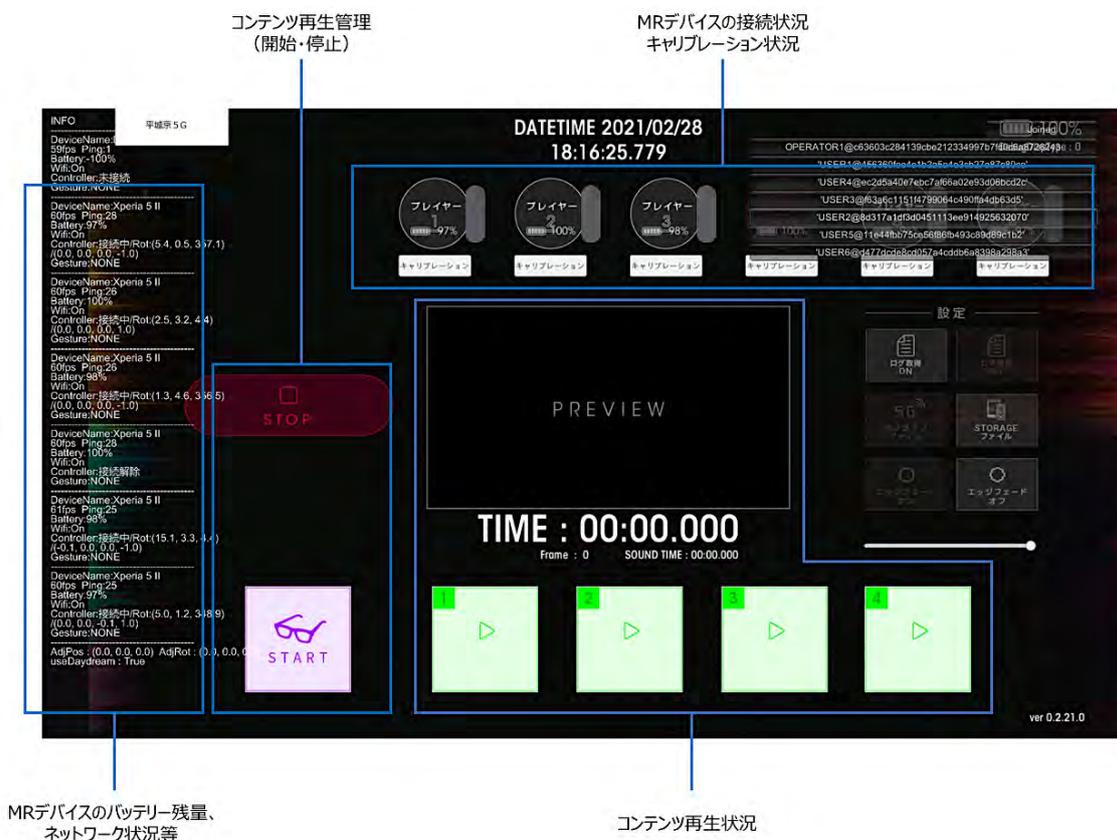


図 4.3.2-12 体験者同期管理サーバの管理画面 (ダッシュボード)

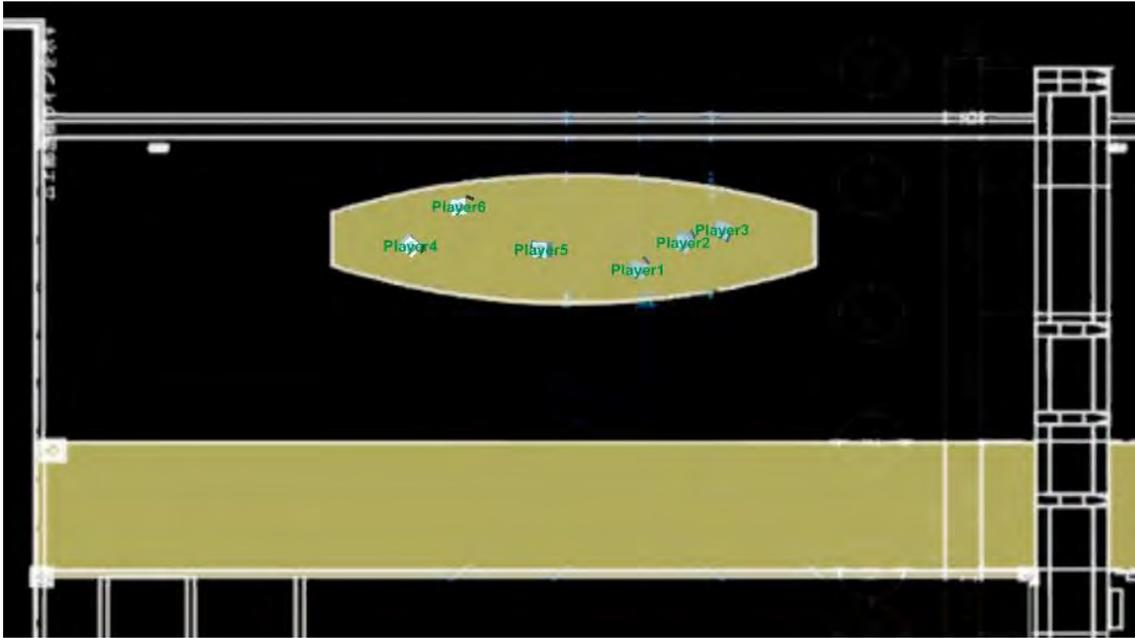


図 4.3.2-13 体験者位置をビジュアル化した画面

②コンテンツ配信サーバ

MR デバイスへの映像データのストリーミング配信を管理する専用サーバシステムである。高品質・大容量の映像データを、コンテンツスタート指示、位置情報やハンドジェスチャー情報のリクエストに合わせて配信処理を行う。

表 4.3.2-2 コンテンツ配信サーバの機能

機能	役割
映像データ配信処理	MR デバイスからリクエストされたコンテンツを配信 <ul style="list-style-type: none"> MR デバイスの位置情報に応じた映像データ ハンドジェスチャー情報に応じた映像データ

③MR デバイスアプリケーション

体験者が装着する MR デバイス用アプリケーションである。体験者に対して、現実空間をベースにデジタルコンテンツを表示する。

表 4.3.2-3 MR デバイスアプリケーションの機能

機能	役割
動作情報取得処理 (1)	カメラセンサーを使った Visual SLAM (MR デバイス機能) による位置と方向情報取得
動作情報取得処理 (2)	外部コントローラを使ったハンドジェスチャー座標情報取得
映像データ送受信 (1)	位置推定をトリガーとした、コンテンツ配信サーバへの映像ストリーミング映像のリクエストと受信
映像データ送受信 (2)	ハンドジェスチャーをトリガーとした、コンテンツ配信サーバへの映像ストリーミングデータのリクエストと受信
サーバとの同期処理	同期管理サーバとの MR デバイスの同期処理 (位置情報、ハンドジェスチャー情報、端末ステータス)

機能	役割
コンテンツ表示処理	同期処理に基づくコンテンツ表示タイミング管理、 ストリーミング映像の受信・表示、ローカルデータの描画・ 表示（体験者への動作指示 UI、インタラクティブコンテン ツ）

2) システム全体のデータ処理フロー

本システムのデータ処理は大きく以下の通りである。

- 1) システムのオンライン化と MR デバイスの接続
 - ・ 同期管理サーバとコンテンツ配信サーバの接続
 - ・ MR デバイスから同期管理サーバへの接続
- 2) 情報同期確認・待機
 - ・ 同期管理サーバと MR デバイスの同期状況確認
 - ・ MR デバイスの初期位置状態（キャリブレーション）の確認
- 3) MR 歴史体験コンテンツの実行
 - ・ 同期管理サーバより、全 MR デバイスへコンテンツスタート信号送信

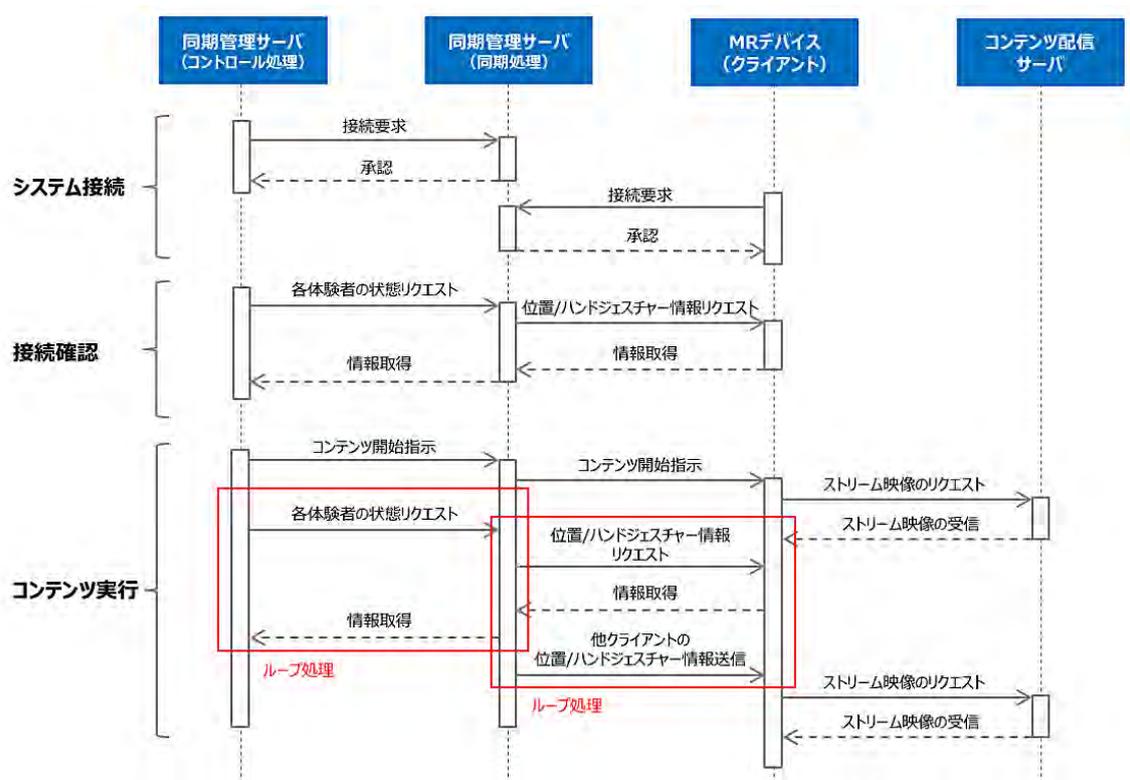


図 4.3.2-14 システムの接続・同期確認・実行までのシステム処理フロー

コンテンツ実行中は、「MR デバイスによる動作情報取得処理」「サーバを介した同期処理」を行い続ける。（実行中のループ処理）

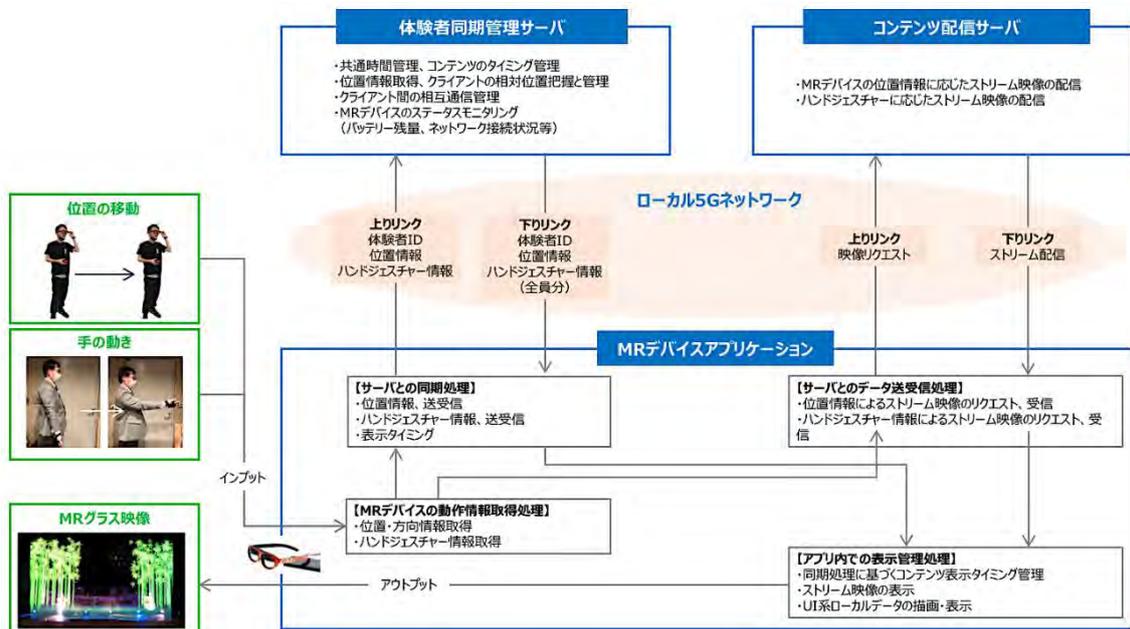


図 4.3.2-15 コンテンツ実行中のシステム処理フロー

3) 同期管理サーバによる同期処理の仕組み

同期管理の仕組みとしては、同期管理サーバにオンラインで接続された MR デバイスの個々の位置情報とハンドジェスチャー情報等を、同期管理サーバ経由で、オンライン接続されている全 MR デバイスへ送信を行うことにより、他の体験者（MR デバイス）の位置とハンドジェスチャー情報の同期が可能となる。

- 1) MR デバイスの位置情報とハンドジェスチャー情報を同期管理サーバへ送信
- 2) 同期管理サーバで情報取得・管理、他 MR デバイスへ送信
- 3) 必要に応じて他 MR デバイスの情報を利用

同期間隔は、同期情報のリアルタイム性を重視し、同期管理サーバと各 MR デバイス間で相互に秒間 30 回（30FPS）の情報の伝達処理を行う。

a) 同期管理サーバと MR デバイス間で同期されるデータ

- 位置情報
- ハンドジェスチャー情報
- MR デバイスの映像表示に関する設定情報（表示輝度設定、エッジのぼかし処理等）
- MR デバイスのステータス情報（バッテリー残量、ネットワーク接続状況、応答速度、コントローラ接続状況）

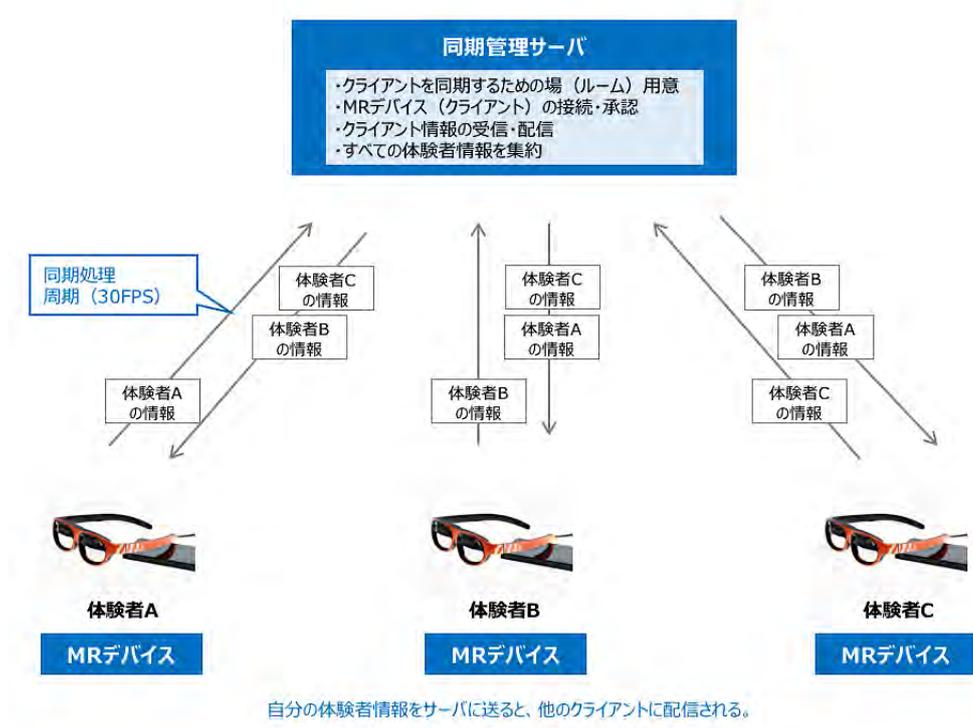


図 4.3.2-16 MR デバイスと同期管理サーバ間のデータ処理

4) MR デバイス側の位置情報取得手法について

一般的に、詳細な位置情報を取得するためには、GPS、ビーコン等を使用するが、GPSは位置精度が悪く（誤差 5m 以上）、ビーコンは利用者が持つデバイス以外に外部機器・システムが必要となる。本実証では、体験デバイスである MR グラスのカメラセンサーを活用した Visual SLAM 技術を用いることにより、基準点からの相対位置として体験者の位置情報を取得する。その際、体験者のデバイス ID で管理し、体験者のプライバシーに配慮し、個人を特定しない設計とした。ビーコン送受信端末の設置が不要なことから、システムの可搬性に優れ、また機材やシステムが必要最小限である点から、他地域への展開性にも優れる。

a) Visual SLAM について

Visual SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) とは、カメラで撮影された映像から、環境の 3 次元情報とカメラの位置と姿勢を同時に推定する技術である。

本実証で使用する MR デバイス「NrealLight」の両側にある 2 つの SLAM カメラを使用して、周囲の特徴点を撮影し、これらの特徴点が時間とともにどのように移動するかを追跡している。「NrealLight」で MR アプリを開発するための SDK「NRSDK」によって、これらの特徴点の動きと、「NrealLight」に装備されている IMU センサー（慣性計測センサー：傾きや回転を測定可能）の読み取り値を組み合わせることにより、空間を移動する MR デバイスの位置と方向の両方を正確に取得できる。



図 4.3.2-17 「NrealLight」の2つのSLAMカメラ

本実証では、MR デバイスで取得された位置情報（ワールド位置座標 (x, y, z) ）及び角度（オイラー角 (rx, ry, rz) ）を同期管理サーバへ送信している。

b) Visual SLAM による位置推定手法の課題と対策

Visual SLAM による位置推定を行うにあたり、カメラセンサーを使って周辺状況を認識させるため、暗闇や逆光、霧等の外部環境の影響を受けることがある。今回の実証は日没後の夕方～夜に実施するため、事前に現地環境光での挙動検証を行い、カメラセンサーが正常に動作するよう、照明や足元の明かりを追加した。

また、Visual SLAM は逐次移動量を推定し続けるが、推定処理時間や移動量が増えることにより、推定位置情報に誤差が発生し、誤差が蓄積されることにより、本来の正しい位置との位置ズレが発生する。今回の実証においては、事前検証の結果、誤差による位置ズレは体験に大きく影響しないことを確認した。今後、移動量が多い場合等では、基準点を使って位置ズレをリセットする等、誤差による位置ズレを解消する方法を検討する必要がある。

5) MR デバイス側のハンドジェスチャー情報取得手法について

ハンドジェスチャーを取得する方法として、3DoF のモーションコントローラーを使用した。Bluetooth を用いて MR デバイスと接続し、MR デバイス内処理でハンドジェスチャー情報として取得する。3DoF では角度の取得しかできないが、MR デバイスの位置（≒体験者の頭の位置）とモーションコントローラーで取得した角度より、本来取得できない手の位置の座標を推定している。具体的には、標準的な体格での人物の骨格の比率より逆算して、手の位置を体験者の頭の位置から約 50cm 下と設定した。

今回の外部コントローラによる取得より、X軸、Y軸、Z軸の3軸の角度が取得可能であり、ベクトルとして正規化して使用している。例えば、上方向なら(0, 1, 0)、下方向(0, -1, 0)のような値になる。

手の動きの判定ロジックとしては、この取得したデータを使い、あらかじめ毎フレームの角度を蓄積しておき、その蓄積された過去の角度と現在の角度を比較し判定する。例えば、真上から真下に振り下ろす場合だと、ピッチ角が1から-1に変化したのを検知したら“振り下ろした”と判定する。



図 4.3.2-18 外部コントローラとコントローラ装着器具



図 4.3.2-19 外部コントローラ装着の様子



図 4.3.2-20 ハンドジェスチャー（下から上へ手をあげて蝶を出す）の様子

6) 同期管理サーバ、MR デバイスでの位置情報管理及び位置把握について

同期管理サーバでは、6 台の MR デバイスのステータスや位置情報等を集約し、各 MR デバイスへ共有している。各 MR デバイスへは、30FPS 周期で送信することで、各 MR デバイス同士でリアルタイムに同期処理が行われる。

位置情報は、ワールド内にマップを持ち、そのマップ上に MR デバイスの位置をプロットして管理する。あらかじめ現実空間と仮想空間（MR 空間）で共通位置となる基準点（以下「アンカー」という）を決めておき、各 MR デバイスで取得した位置情報を、同期管理サーバ経由で他の MR デバイス間で相互に送受信することにより、体験者間で共通の位置情報（ワールド位置座標）として共有することが可能となる。

アンカーを決めるために、初期位置状態の設定（以下「キャリブレーション」という）が重要となる。キャリブレーションは、現実空間と仮想空間（MR 空間）の紐付け作業であり、体験者同士の共通の位置情報（ワールド位置座標）の基準点を決める。キャリブレーション時では、MR デバイスの位置と高さ (x,y,z)、方角（オイラー角 (rx,ry,rz)）を基準設定に合わせる必要がある。

基準設定に合わせる方法として、基準点に固定マーカーを用意し、そのマーカーをカメラ認識させることが一般的である。今回の実証では、複数の MR デバイスを同時にキャリブレーションする効率性を考え、位置と高さの方角を基準設定に合わせたテーブルを用意し、テーブルに MR デバイスを配置することにより、一度に複数の MR デバイスをキャリブレーション処理できるようにした。キャリブレーションの実行処理は、ネットワークで接続されている同期管理サーバより行う（MR アプリケーションでも実行可能）。基準点は、MR 体験のスタート位置とした。



図 4.3.2-21 基準点でのキャリブレーション



図 4.3.2-22 キャリブレーション作業の様子

Visual SLAM で取得した MR デバイスを装着している体験者の位置情報を、ワールド上のマップへリアルタイムにプロットし、ビジュアル化を行った。これにより、実際の位置と MR 映像の位置のズレ等を把握することが可能となる。ビジュアル化した画面は、同期管理サーバの機能の 1 つとして表示することができる。

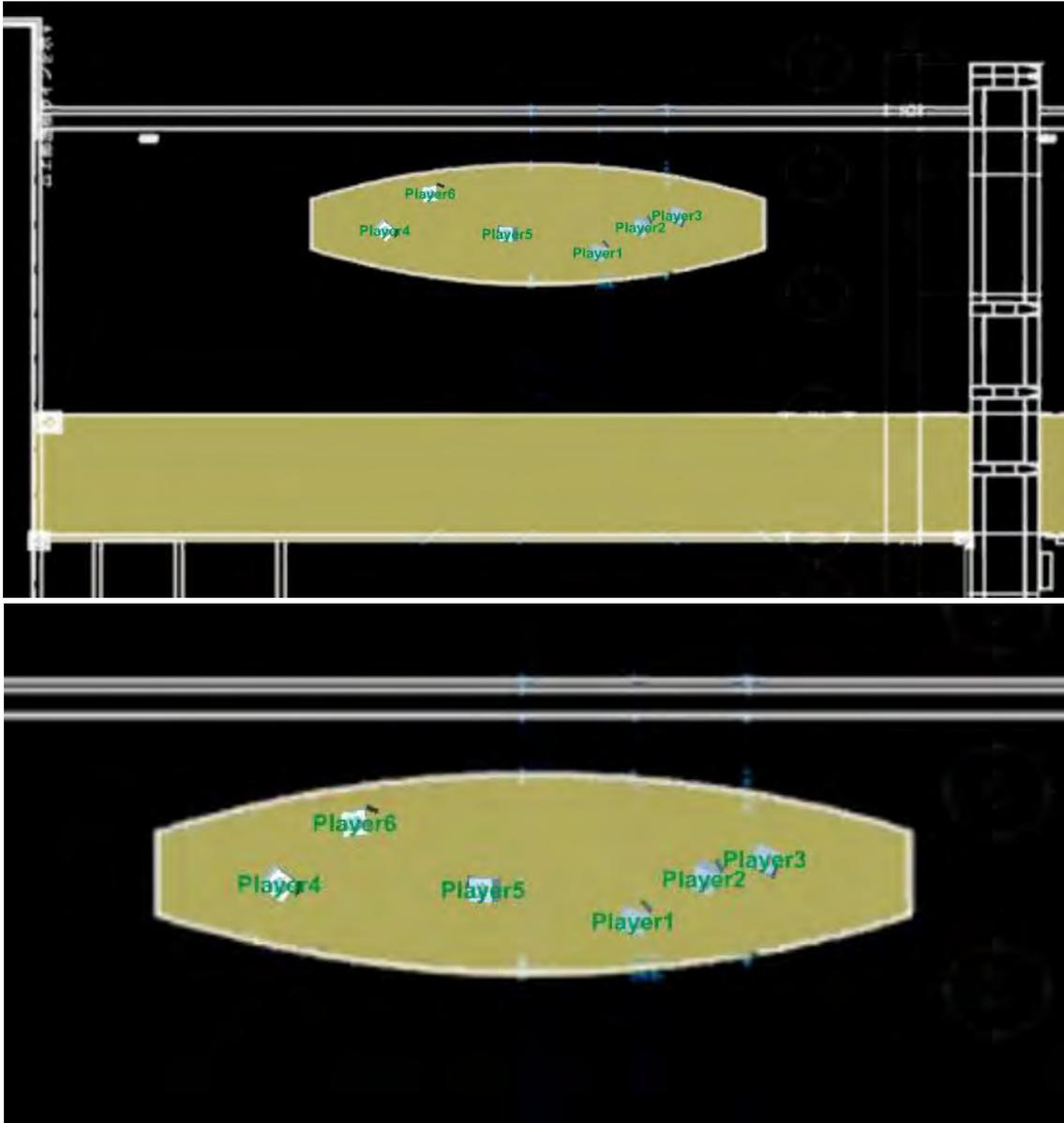


図 4.3.2-23 体験者位置をビジュアル化した画面

7) コンテンツ配信サーバによるストリーミング映像の配信の仕組み

ストリーミング配信は、MR デバイスから要求のあった映像データをパケット単位で分解し、パケット単位で送信する。MR デバイスは、分解されたパケットデータから随時再生を開始する。

高品質な映像として表示するにあたり、MR デバイスで表示可能、かつ、ローカル 5 G が通信処理可能な通信帯域として、下りリンクを 1 台あたり最大 30Mbps と設定した。

a) ストリーミング映像データの主な仕様

- ストリーミングデータ形式：MPEG-Dash
- 解像度：4096×2048 pixel
- ビットレート：最大 30Mbps
- フレームレート：30FPS

動画配信方式として、MPEG-Dash、HLS、HDS、Smooth Streaming 等複数手法はあるが、汎用性や環境構築が容易である等を考慮し、本実証では MPEG-Dash を採用した。MPEG-Dash での配信から再生までの処理時間を短縮させる（低遅延配信）対策として、再生前に読み込みされる動画データ量を最小限に抑えるために、セグメント（小さく分割された動画データ）のサイズ調整を行った。

8) MR デバイスの機種選定

現在、MR デバイスはまだ一般市場に普及しておらず、その種類は多くはない状況にある。本実証にあたり、入手可能であり、本実証用に独自開発が可能等、利用可能なデバイスは、「NrealLight」「Magic Leap 1」「Hololens 2」の3機種が考えられる。

この中より、MR デバイスとしての機能・スペック、使い勝手・重量、システム開発環境、入手しやすさ（コスト）、今後の普及可能性等を比較の上、本実証では「NrealLight」を使用した。また、「NrealLight」の映像表示処理等を行うデバイスとして「NrealLight」対応のスマートフォンが必要となるため、「Xperia 5 II（ソニー製）」を使用した。

表 4.3.2-4 MR デバイスの比較

項目	評価内容
機能・スペック	いずれの機種も、実証に必要な自己位置推定機能や映像データ表示等、MR 活用として本実証に必要な機能は実装されている。ユーザ体験として、視野角と解像度が重要になるが、NrealLight は Hololens2 と同等であり、Magic Leap 1 よりもスペック値が高い。
使い勝手・重量	NrealLight は、メガネ型で軽量であることから、装着が容易であり、装着時の負担が他2機種よりも少ない。Hololens 2 は、重量があるものの、頭部前後でバランスをとっており、装着時の安定性が最も高い。Magic Leap 1 は、少し斜めにかぶる等、装着にコツが必要であり、移動時にズレやすい。
システム開発環境	開発環境として大きな影響のある OS において、NrealLight は、汎用 OS「Android」対応のスマートフォンを接続して利用する仕組みとなり、開発しやすい環境と言える。他2機種は独自 OS となる。
入手しやすさ	いずれの機種も一般販売を行っており入手可能である。その中では、NrealLight は他2機種と比較して、低価格である。
普及の可能性	機器本体の低価格であることに加え、サイズが小さく軽量で使い勝手が良い、汎用的な OS による開発環境の拡大と開発コストの低価格化の可能性等より、NrealLight は、今後、他の MR デバイスよりも普及される製品として期待値が高い。

	NrealLight	Magic Leap 1	Hololens 2
			
製造メーカー	Nreal Ltd. (中国)	Magic Leap社 (米国)	マイクロソフト社 (米国)
国内販売取扱パートナー	KDDI	NTTドコモ	マイクロソフト、ほか
価格 (税込)	170,000円 (グラス+スマートフォン)	273,900円	422,180円
視野角	52度 (対角)	50度 (対角)	52度 (対角)
解像度	1920 × 1080ピクセル	1280 × 960ピクセル	2Kピクセル (推定 1920 × 1280)
コントローラー	無 (スマホで操作可能)	有	無
OS	汎用OS (Android OS)	独自OS (Lumin OS)	独自OS (Windows Holographic Operating System)
重量 (MRグラスのみ)	88g	325g	566g
MRグラスの 形状と装着	メガネ型 メガネを掛けるように装着	メガネ+ヘッドバンド型 頭にかぶるように装着	メガネ+ヘッドバンド型 頭にかぶるように装着

図 4.3.2-24 MR デバイスの主なスペック比較



図 4.3.2-25 「NrealLight」 (MR グラス) と「Xperia 5 II」 (スマートフォン)



図 4.3.2-26 「NrealLight」(MR グラス) 装着の様子

9) 実証実験に必要なシステム（プログラム）以外の要素

今回の「新たな歴史文化体験」実証を行うにあたり、システムの他に必要な要素は以下の通りである。

- MR 舞台としての「全体シナリオ・演出構成」
- システム上に実装する「デジタルコンテンツ」(CG 映像、楽曲)
- MR として融合させるための「演者を使用した演出」
- MR 舞台を構成する「照明機材」「音響機材」

a) MR 舞台としての「全体シナリオ・演出構成」

本実証の舞台となる遣唐使船と、日本の歴史上、海外で最も活躍した偉人、遣唐使「阿倍仲麻呂」を題材にした約 10 分間のエンターテイメントショーを設計。命がけで渡った遣唐使たちの想いや活躍を、最新テクノロジーとリアルなパフォーマンスで表現することで、これから創られていく新たな未来への期待感を高め、ショーとして楽しませるだけでなく、歴史を知るきっかけを与える新たな歴史体験の設計を行った。

- テーマ：

『日本の歴史上、海外で最も活躍した偉人、遣唐使、阿倍仲麻呂』
- ストーリー：

かつて、新たな日本の夜を切り開かんと命がけで唐へと渡った遣唐使たち。

その中でも、阿倍仲麻呂は日本人でありながらも、長安で重臣となり、3 代の皇帝へ仕えた。日本への帰国を試みるも失敗し、その夢はついに叶わなかったが、彼が日本と中国の文化交流に寄与し、また日本文化発展の礎となった功績は計り知れない。

今回、阿倍仲麻呂をモチーフに、遣唐使としての旅立ちから、日本への帰国を夢見た望郷の想いをショーを通して表現。世界情勢が著しく変動する昨今の日本において、遣唐使たちの想いや、活躍を知ることが、新たな日本の未来を切り開く力を創造し、また、世界へおいては、日本の成り立ち、文化をより深く知るキッカケを与える。

- モチーフ：

『天の原 ふりさけ見れば春日なる 三笠の山に出でし月かも』

阿倍仲麻呂が日本への帰路の出立前に読んだとされる、古今和歌集に編纂されている有名な和歌のひとつである。唐から日本への航海前に、満月の日をわざわざ待ち、この歌を詠んだとされている。彼は遣唐使に任命され、命がけで唐へと渡り、類まれなる活躍をした。はるか 1300 年前、唐の都にて見た夜空に美しく輝く満月を見た阿倍仲麻呂は、きっと故郷である奈良への望郷の思いだけでなく、唐で過ごした約 30 年を振り返り、様々な思いを胸に抱いていたに違いない。

そして 1300 年もの月日が流れ、私たちが生きる現代、満月の夜。

平城宮跡は、美しい月の光に照らされている。私たちが遣唐使たちへと思いを馳せる時、新たな夜を切り開かんと命がけで唐へと渡った遣唐使たちの抱いた大きな夢や想いにシンクロし、私たちの目の前にその記憶が色鮮やかに蘇る。

- ショーの構成要素

今回の MR 歴史体験は、4 つのシーンで構成されており、約 10 分の体験である。

以下が各シーンのテーマとメッセージである。

表 4.3.2-5 シーン構成

	テーマ	メッセージ
シーン 1	NEW JOURNEY -旅立ち-	航海を前にし、期待と不安に満ちた阿倍仲麻呂の心情。
シーン 2	VOYAGE -航海-	危険な航海を船員たちが力を合わせて乗り越えていく勇ましさと力強さ。そして、航海の成功を祝福。
シーン 3	NOSTALGIA -望郷-	故郷に思いを馳せる遣唐使たちの想い。
シーン 4	ANCESOTRS LEGACY -先人たちの遺産-	阿倍仲麻呂をはじめとした遣唐使たちの活躍によって開かれた美しい遺産。

- 登場人物

今回の登場人物は、「阿倍仲麻呂」を主人公に、危険な航海を支えた「遣唐使船員」と、モチーフとなる“月”の化身として「月の女神」と「月の女神の従者」で構成した。



717年に遣唐使に任命され、入唐しました。唐の玄宗皇帝に仕え、高官として類まれなる活躍をし、生涯を唐で過ごしました。

当時の技術では、非常に危険な航海でしたが、命をかけて唐を目指しました。

「天の原 ふりさけ見れば春日なる 三笠の山に出でし月かも」の和歌に登場する“月”の化身として登場。故郷・平城京の美しさを思い出させてくれます。

図 4.3.2-27 MR 歴史体験の登場人物

演者の稽古は、リハーサルも含めて全5回実施した。

12月15日	12月22日	12月23日	1月9日	2月2日	2月25日	2月26日→3月1日
振り付け 決定	全体稽古	全体稽古	全体稽古	現地 リハーサル	前日 リハーサル	本番実証

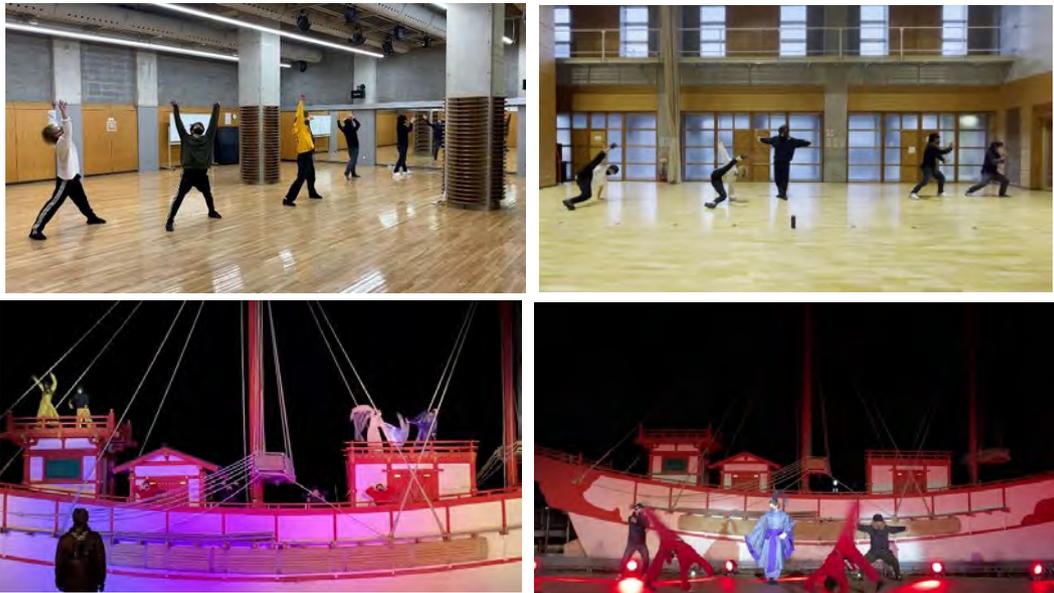


図 4.3.2-28 演者の稽古の様子

ショー全体を通して、リアルな舞台と MR 映像を融合させた体験を提供しながら、ローカル5Gの活用ポイントである「ハンドジェスチャーによる共有体験」、「移動によるシーン転換体験」を各シーンに組み込んだ。図 4.3.2-29 に、シーンごとの体験内容と MR のコンテンツ内容を示す。

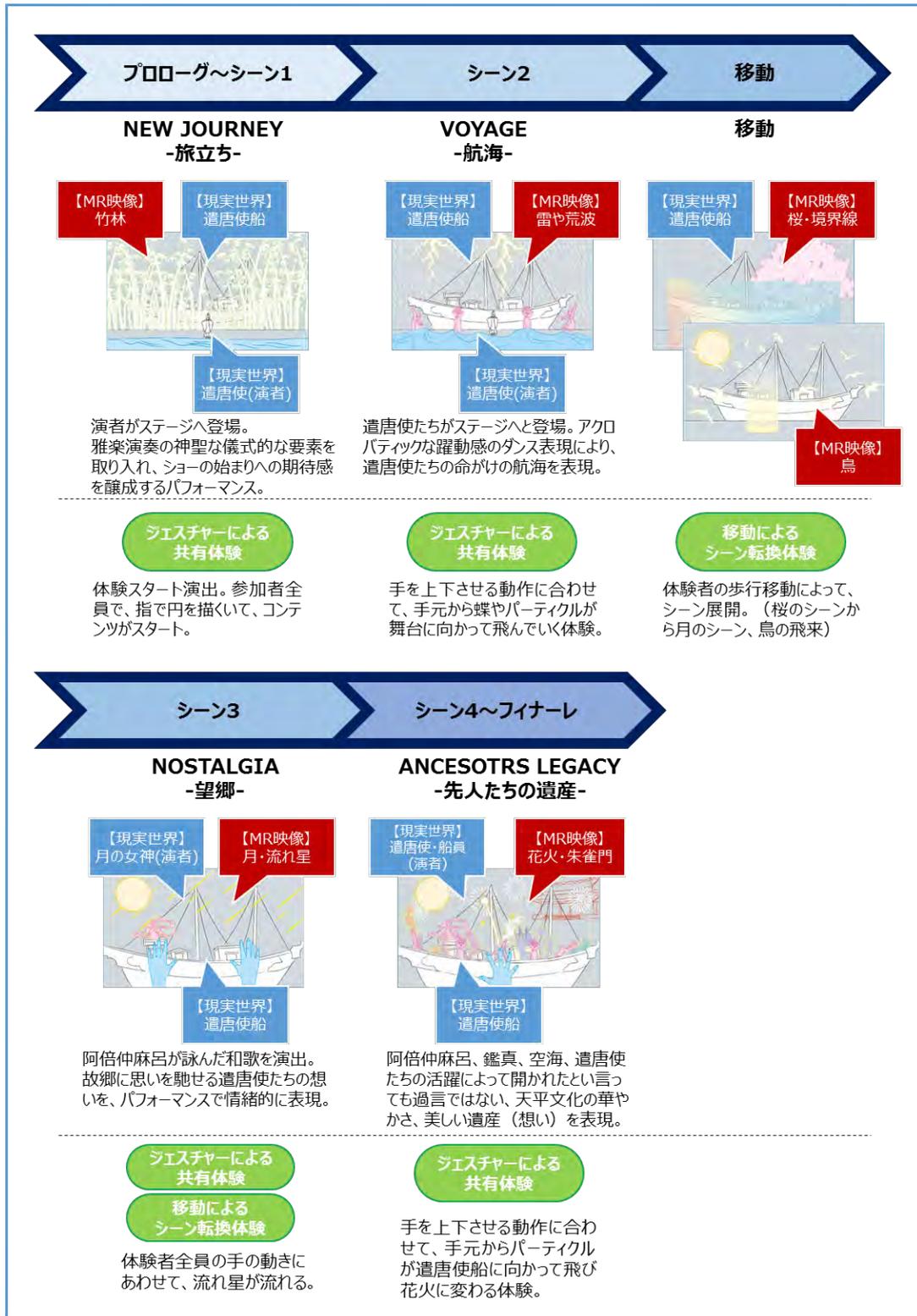


図 4.3.2-29 MR 歴史体験の体験内容と MR 映像内容

b) システム上に実装する「デジタルコンテンツ」の内容

約 10 分間の MR デバイスに表示される映像コンテンツを、図 4.3.2-30 に示す。

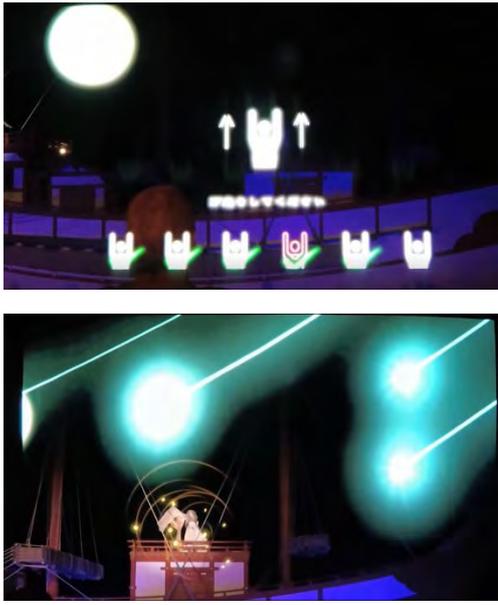
オープニングからシーン 1（旅立ち）

1.		<p>【ハンドジェスチャー共有体験①】 体験者全員で光の線で円を描く。 光の円を描けると、体験者番号に印が付き、全員揃ったことが分かる。</p>
2.		<p>体験者全員が円を描き終わると、カウントダウンが始まる。</p>
3.		<p>カウントダウンが終わると、平城京 CG 映像がスタート。平城京の羅生門から第一次大極殿に向かって進む。 CG：平城京再現 CG 映像</p>
4.		<p>タイトル画面 「FUTURE MR ENTERTAINMENT SHOW TENPYO」</p>
5.		<p>映像が消えるとともに、舞台にほのかな明かりが灯り、壇上に阿倍仲麻呂（演者）が登場する。また、足元には CG の水流、背景には竹林が出現する。 演者：笛を吹いている阿倍仲麻呂 CG：竹林、水流</p>

シーン 2 (航海)

<p>6.</p>		<p>阿倍仲麻呂と遣唐使船員 4 名が登場。激しい航海の始まり。 嵐がやってきて、足元には荒波が出現する。</p> <p>演者：阿倍仲麻呂、船員（4名） CG：嵐（雨風や雷）、荒波</p>
<p>7.</p>		<p>CG で龍が登場、嵐の CG と激しい音楽とダンスパフォーマンスによって、航海の荒々しさを表現。</p> <p>演者：阿倍仲麻呂、船員（4名） CG：嵐（雨風や雷）、荒波、龍</p>
<p>8.</p>		<p>嵐が止んで、桜の木が出現。危険な航海を乗り越え、無事、唐に到達したことを、唐の都に咲き誇る桜や草原によって表現。</p> <p>演者：阿倍仲麻呂、船員（4名） CG：桜の木、草原</p>
<p>9.</p>		<p>【ハンドジェスチャー共有体験②】 遣唐使たちの航海の成功を祝い出迎えるように、輝く蝶が遣唐使の周りを飛び回る。</p> <p>体験者が手を下から上に振ることにより、手から蝶が出現。演者の周りに飛んでいく。桜の木からは花びらが散る。</p> <p>演者：阿倍仲麻呂、船員（4名） CG：桜の木、草原、蝶</p>

移動～シーン 3 (望郷)

<p>10.</p>		<p>【移動体験①】 ステージ上に桜と光の輪が出現。MR グラス上で移動先に光の環を表示させ、そこに向かって移動する。光の輪に入ると、桜が消え、月に変化する。</p> <p>演者：遣唐使船員 CG：桜、光の輪、月</p>
<p>11.</p>		<p>【ハンドジェスチャー共有体験③】 体験者全員でバンザイをすると、体験者番号に印が付き、全員揃ったことが分かる。体験者全員がバンザイすると、流れ星を見ることができる。</p> <p>演者：月の女神、月の従者 CG：流星</p>
<p>12.</p>		<p>阿倍仲麻呂が詠んだ歌が文字として空間を浮遊。月に浮かびあがる朱雀門を懐かしみ、思いを馳せる心境を演者のパフォーマンスで表現。</p> <p>演者：月の女神、従者（2名） CG：星空、月、歌文字、背面に大黒殿</p>

13.



【移動体験②】

時間の流れ、季節の移り変わりとして、冬景色と春景色が変わる。体験者が移動することで、季節の移り変わりを表現。

演者：月の女神、従者（2名）

CG：春 桜の花びら、小鳥

CG：冬 雪、オーロラ

シーン 4 (先人たちの遺産)

14.		<p>夜空に浮かぶ満月と朱雀門。そして、華やかに花火が打ち上がり、ショーのフィナーレを彩る。</p> <p>演者：8名全員 CG：花火、月、星空、朱雀門</p>
15.		<p>【ハンドジェスチャー共有体験④】 体験者が手を上から下に振り下ろすことで、遣唐使船に向かって光の線が飛び、弧を描いて飛んでいった線が花火に切り替わる。</p> <p>演者：8名 CG：動きに連動したパーティクルや軌跡、月、星空、花火</p>
16.		エンディング画面

図 4.3.2-30 MR 歴史体験のコンテンツ構成

MR 歴史体験で使用する音楽は、シーンの内容に合わせて既存楽曲とオリジナル作曲で構成した。システムとの連携は行わず、音響担当者がシステムのスタートに合わせて音楽を再生する方式を取った。

c) 舞台を構成する「照明機材」と「音響機材」の種類と配置

現地に照明はほとんどないため、舞台照明のため、かつ、Visual SLAM を正常に動作させるための照明機材と、ショーを盛り上げるための音響機材を設置した。使用する照明・音響の機材リストは以下の通りである。設営作業は、対象物への保全に対して細心の注意を払い実施した。

● 広場占有時間外の安全対策

ステージ：照明機材を船側ステージ下に降ろし、コーンで囲う等して一般の利用者の邪魔にならないように設置した。

芝生広場：テント・イントレの周囲をコーンで囲い、一般利用者の邪魔にならないように及び触れられないように設置した。

遣唐使船：一般利用者の通路を確保して設置した。

表 4.3.2-6 照明・音響機材リスト

機材名	画像	個数	設置場所
Solar EZ (LED Par ライト)		16	船上：6 個 ステージ：10 個
Mac Aura (ムービングライト)		10	ステージ
雨養生アクリルドーム		10	ステージ
2k クセノンピン (Pin スポット)		2	イントレ
64Par ライト (Par ライト)		20	イントレ
d&b max12 d&b max15		6	ステージ：4 個 船上：2 個

照明機材・音響機材の配置図は下記となる。

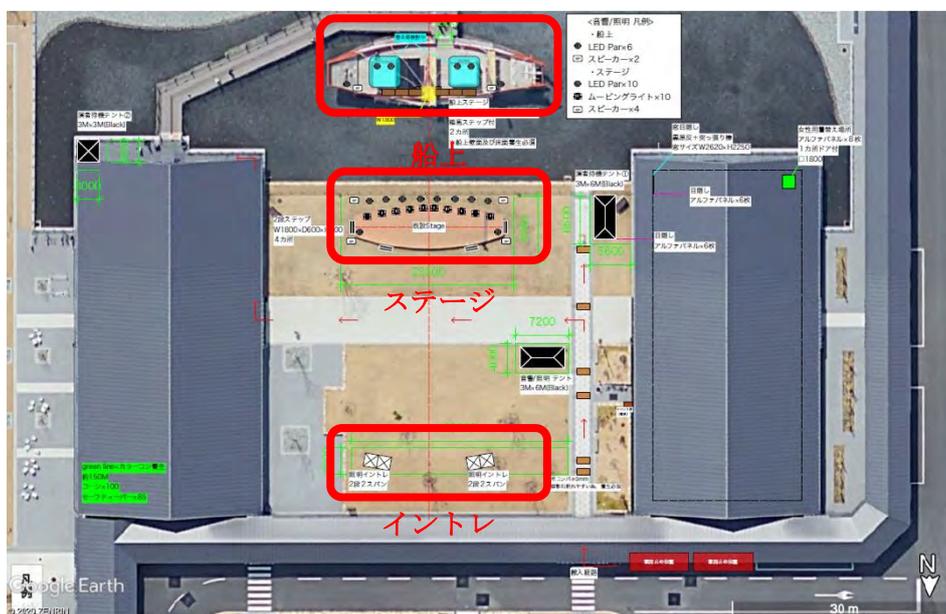


図 4.3.2-31 照明・音響配置図



図 4.3.2-32 広場の照明・音響設置の様子



図 4.3.2-33 船上の照明・音響



図 4.3.2-34 ステージ周りの照明・音響



図 4.3.2-35 広場の照明・音響制御室

照明を設置するイントレの詳細図は、図 4.3.2-36 の通りである。設営時は、下記の点を注意して作業を実施した。

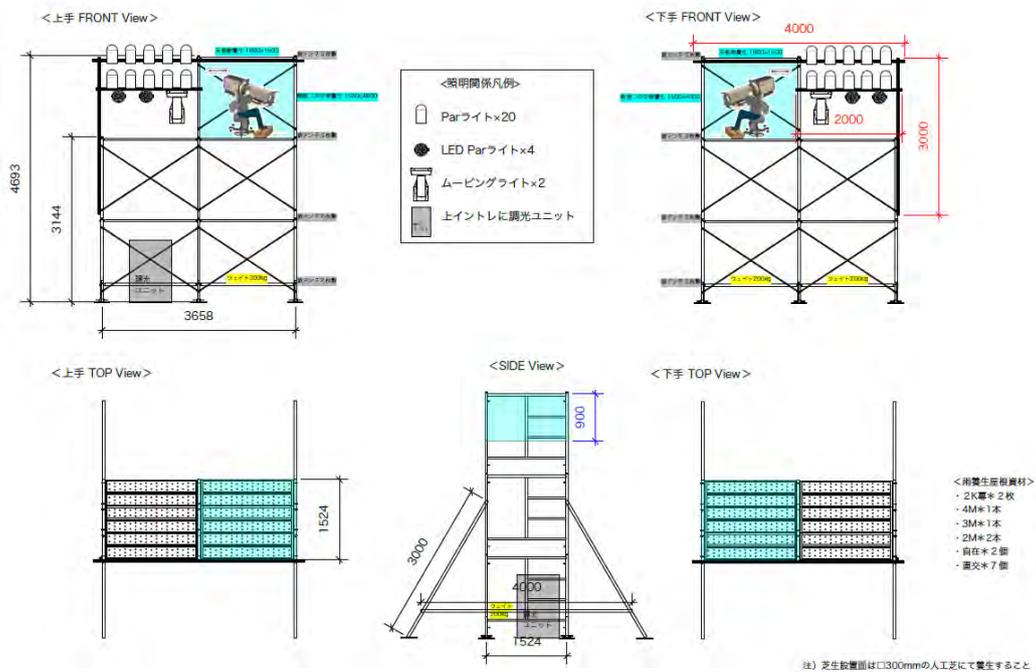


図 4.3.2-36 イントレ詳細図



図 4.3.2-37 イントレ設置の様子

【Visual SLAM 対策としての明かり作り】

Visual SLAM による位置推定を行うにあたり、カメラセンサーを使って周辺状況を認識させるため、暗闇や逆光、霧等の外部環境の影響を受けることがある。事前検証やリハーサルにおいて、日没後、地面が暗く特徴点がないため、MR グラスの Visual SLAM の挙動が不安定になる事象が起きた。そこで、本番時には、竹明かりや行灯を用いることで、カメラセンサーでとらえる特徴点を増やし、Visual SLAM の挙動も改善されるとともに、幻想的な空間となり、体験者の満足度が増した。



図 4.3.2-38 リハーサル時のステージ周りの明かりの様子



図 4.3.2-39 本番実証のステージ周りの明かりの様子

d) 舞台を構成する上での美術設営

演者が船上で踊る際、体験者から見やすくするため、甲板に箱馬を設置し、底上げを行った。また、体験者が安全にステージに移動できるように、ステージ前方、左右に 2 段ステップを配置した。

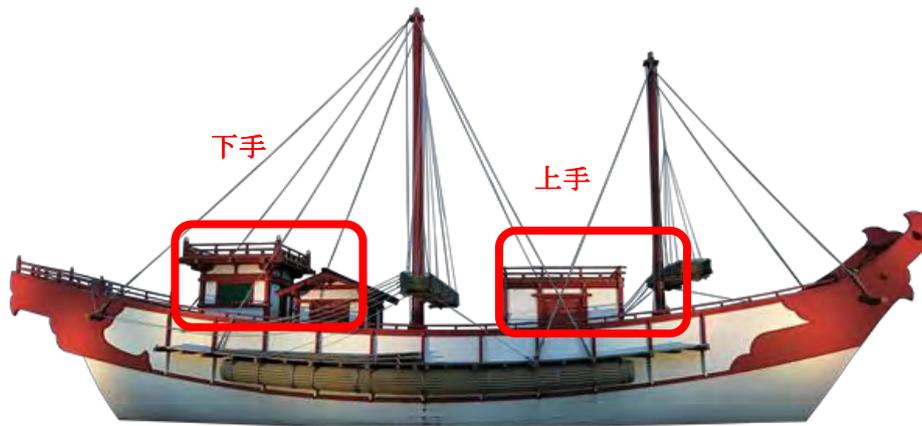


図 4.3.2-40 舞台美術設計図



図 4.3.2-41 船上箱馬設置の様子

演者が遣唐使船の屋上に上る際の注意事項として、上手は脚立（2m 以上）を後ろに立て、外から登る。下手は内側から、ハシゴをかけて登る。また、脚立を立てるところに養生を行い、塗装がはがれないように対策した。



下手

上手



上手 屋上



下手 屋上



下手 内側



上手 ハシゴ

図 4.3.2-42 船上設置の様子

(5) 本番実証報告

1) MR 歴史体験システムの稼働状況

MR 歴史体験システムの稼働状況は、同期管理サーバ、コンテンツ配信サーバ及び MR デバイスアプリケーションは、本番実証の全 12 回において正常に稼働した。初日と 2 日目に各 2 名の体験者で、体験中にハンドジェスチャー用のコントローラび接続不良が発生し、ハンドジェスチャーによる共有体験ができなかった。接続不良の原因として、気温低下によるコントローラの電圧低下による動作不安定であると推測し、対策として、3 日目より、屋外で行うキャリブレーション作業場所にヒーターを設置した。コントローラの低温化を防いだところ、3 日目、4 日目はコントローラの接続不良が発生しなかった。

本番実証実施の結果、4 名がコントローラ不良でハンドジェスチャーによる共有体験が行えなかったが、移動体験含む MR 体験は、72 名全ての体験者が体験することができた。

2) 実証実験場所

国営平城宮跡歴史公園、朱雀門広場内にある復原遣唐使船前の広場で実施した。また、実証参加者の受付、体験前オリエンテーションは、天平うまし館を利用した。



図 4.3.2-43 実証実験エリア全体



図 4.3.2-44 実証実験エリア（復原遣唐使船前広場）



図 4.3.2-45 天平うまし館内（受付とオリエンテーションエリア）

3) 実証実験での体験の流れ

本番実証当日の流れは、以下の通りである。

受付	予約確認、体調確認、検温、消毒、 荷物預かり、資料配布	5分
オリエン テーション	ご挨拶、実証目的やMR体験の概要説明、 MR体験のポイントや注意事項説明	10分
体験会場へ移動 機材装着	MR体験会場へ移動 MRグラス・コントローラーの装着、初期状態確認	10分
MR歴史体験	リアルとデジタルを融合したMR体験開始～終了	10分
機材回収 次の会場へ	機材の回収 移動体験（AIとの対話体験）会場へ誘導	5分

a) 受付について

体験者が受付に来ると検温・消毒を実施し、問題なければ名簿にて予約確認を行った。



図 4.3.2-46 受付会場の様子

b) 荷物預かりについて

受付終了後、荷物預かり担当者が体験者の荷物を受取り、籠に入れ、番号札を体験者に渡す。返却時にはその番号と引き換えに荷物を返却した。MR 体験は屋外で実施するため、防寒用のコートや手袋は、持参するように呼びかけを行い、また、新型コロナウイルス感染症対策として、荷物返却後、籠や番号札のアルコール消毒を実施した。



図 4.3.2-47 荷物預かり用台

c) オリエンテーションについて

約10分間という短い体験時間の中で、体験者がMR体験に没入できるように以下の3つのポイントで、オリエンテーションを実施した。

①チラシでストーリーを訴求

オリエンテーションが始まる前の待ち時間を利用して、チラシを配布し、MR歴史体験のショー構成やストーリーを体験者にインプットし、歴史に詳しくない人でもショーを理解して楽しめるツールを作成した。

FUTURE MR ENTERTAINMENT SHOW

TENPYO

新たな歴史文化体験

ローカル5GとMR技術によって生まれ出される
新たなエンターテインメント

最新テクノロジー

MRグラスで見る
リアルと連動したCG演出!

パフォーマンス

世界遺産を舞台に
ダイナミックなダンス!

インタラクティブ体験

みんなで物語に参加できる
共有体験!

日時

2/26 (金)、2/27 (土)、2/28 (日)、3/1 (月)

18時の回、19時の回、20時の回 / 各回定員6名 / 体験時間約15分
※受付は各回開始時刻の10分前までにお済ませください。

<p style="text-align: center;">受付場所</p> <p style="text-align: center;">天平うまし館</p>	<p style="text-align: center;">参加費</p> <p style="text-align: center;">無料</p>
---	--

※新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、内容が変更・中止になる場合があります。
 ※発熱や呼吸器症状がある方、その他体調が優れない方は、ご来場をお控えください。
 ※ご来場の際は、事前の検温及びマスク着用にご協力をお願いします。

平城宮跡歴史公園内の屋外の史跡「復原遣唐使船」を舞台に、ダンサーのパフォーマンスとMRグラスに表示させたCG演出を融合した、
 新たなエンターテインメントショー提供します。複数の体験者のMRグラスからの情報収集や映像コンテンツの配信に低遅延のローカル5Gを活用
 することで、体験者の位置や移動に合わせた映像表示や、手の動きなどのジェスチャーに合わせた演出映像の体験者全員の共有を楽しむこ
 とができます。これにより、通常の史跡見学では味わうことのできない、歴史空間に仲間と一緒に入り込む新たな歴史文化体験を実現します。

※MRとはMixed Realityの略。仮想空間(デジタル)の情報を現実空間(リアル)に重ね合わせて体験できる。仮想と現実を融合させる映像表現技術。今回はメガネ型のMRデバイス
 を使用し、メガネ越しに見える現実空間と、グラス部分に投影されたデジタル映像を重ねて表示します。

経産省 令和2年度「地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」

図 4.3.2-48 MR 歴史体験用チラシ (表)

THEME 【テーマ】

かつて、新たな日本の夜を切り開かんや命がけて唐へと渡った遣唐使たち。その中でも、阿倍仲麻呂は日本人でありながらも、長安で重臣となり、3代の皇帝へ仕えました。日本への帰国を試みるも失敗し、その夢はついに叶いませんでしたが、彼が日本と中国の文化交流に寄与し、また日本文化発展の礎となった功績は計り知れません。今回、阿倍仲麻呂をモチーフに、遣唐使としての旅立ちから、日本への帰国を夢見た望郷の想いをショーを通して表現します。世界情勢が著しく変動する昨今の日本において、遣唐使たちの想いや、活躍を知ること、新たな日本の未来を切り開く力を創造し、また、世界へおいては、日本の成り立ち、文化をより深く知るきっかけとなるでしょう。

CHARACTER 【登場人物】



遣唐使船 船員

当時の技術では、非常に危険な航海でしたが、命をかけて唐を目指しました。



月の女神と旅者

この和歌に登場する「月」の化身として登場。故郷・平城京の美しさを思い出させてくれます。

天の原

ふりさけ見れば春日なる

三笠の山に出でし月かも



阿倍仲麻呂

(698~770)

717年に遣唐使に任命され、入唐しました。唐の玄宗皇帝に仕え、高官として類まれなる活躍をし、生涯を唐で過ごしました。

阿倍仲麻呂が日本への帰路の出立前に詠んだとされる、古今和歌集に編纂されている有名な和歌のひとつです。唐から日本への航海前に、満月の目をわざわざ待ち、この歌を詠んだとされています。

はるか約1300年前、唐の都にて見た夜空に美しく輝く満月を見た阿倍仲麻呂は、さつと故郷である奈良への望郷の思いだけでなく、唐で過ごした約30年を振り返り、様々な思いを胸に抱いていたに違いありません。

ローカル5GとMR技術を活用した新たな歴史文化体験の特徴



体験者の位置や移動に合わせた映像変化

スペースが広く移動しやすい屋外にある歴史遺産において、体験者自らの行動により、シーンの場面転換を行います。体験者が鑑賞するだけでなく、移動することでMRグラスに映し出される風景が変わり、ストーリーが展開していきます。



ジェスチャーによる共有体験

体験者の手の動きなどのジェスチャーによって、MRグラスに蝶や花火などの演出映像が表示されます。さらに、その演出映像を友人や家族など体験者同士で共有でき、歴史体験を盛り上げます。

図 4.3.2-49 MR 歴史体験用チラシ（裏）

②パワーポイントで体験内容を説明

ローカル5Gを活用したMR体験の特徴である「ハンドジェスチャーによる共有体験」と「移動体験」の内容や、その体験における事象を説明した。



図 4.3.2-50 体験前オリエンテーション実施風景

③映像で新しい歴史体験の世界観を訴求

オリエンテーションで、近未来感のある映像を使って、ストーリーや舞台構成、さらに MR 体験の特徴である「ハンドジェスチャーによる共有体験」と「移動体験」を説明し、MR 体験の期待感を高めた。



図 4.3.2-51 オリエンテーションの映像素材

d) 器具装着について

オリエンテーションの最後に、スマートフォンを入れるためのリュックと、コントローラを入れるための器具を装着した。



図 4.3.2-52 MR デバイス機材装着サポート

ハンドジェスチャーによって表示させる蝶や花火が、体験者個々に色が割り当てられている。その色を体験者がハンドジェスチャーした際に、すぐ認識し、スムーズに体験できるようコントローラ装着器具に、色のついたシール貼り、視覚的に分かり易くした。



図 4.3.2-53 装着器具と機材を入れるための籠

オリエンテーションで説明した、ハンドジェスチャーのコツや、移動体験時の注意点を機材装着後にスタッフが再度、丁寧に説明した。その結果、体験者は、ショーの中で起こるイベントに対して、スムーズな行動ができていた。



図 4.3.2-54 ハンドジェスチャーの練習風景

e) スタート位置へ移動

器具装着後、スタート位置にいるスタッフからの合図を受けて、体験者をスタート位置に誘導した。



図 4.3.2-55 MR 体験スタート位置への移動の様子

f) 本番実証時の会場の様子

Visual SLAM 対策でのライトアップに加え、これから始まる新しい歴史文化体験の気分を盛り上げるための会場づくりを行った。体験者のコメントとして、体験前の段階から、看板や会場のライトアップが幻想的で、新しい体験をするワクワク感がこみ上げてきた等、高評価であった。







図 4.3.2-56 本番実証時の会場の様子

g) スタート位置での機材装着

スタート位置は気温が低いこともあり、体験者の待ち時間を少しでも減らすために運営スタッフ2人1組で機材を装着した。



図 4.3.2-57 MR 機材装着の様子

h) MR 歴史体験

MR デバイス装着完了後、スタッフの合図でコンテンツスタート。MR・照明・音響が連動し、これまでに体験したことのない MR の世界に没入していく演出を行った。







図 4.3.2-58 MR 歴史体験の様子（スタート位置からの観賞）

ハンドジェスチャーによる蝶を出す共有体験。オリエンテーションでの説明効果もあり、体験者がスムーズにハンドジェスチャーをすることができた。一緒に参加している体験者に向かって蝶を出す等、インタラクティブな共有体験を楽しんでいる様子があった。





図 4.3.2-59 MR 歴史体験の様子（ハンドジェスチャーによる蝶の共有体験）

スタート位置からステージ上に移動し、シーン転換される移動体験。MR グラスは VR ゴーグルと異なり外の様子が見えているものの、着用したまま移動することに注意する必要があると考えていたが、体験者はかなりスムーズに歩いて移動することができていた。一部の回で移動を躊躇している体験者がいたため、近くにいるスタッフが声掛けを行い誘導した。





図 4.3.2-60 MR 歴史体験の様子（スタート位置からステージへの移動体験）

体験者全員でバンザイを行い、流れ星を出す共有体験。MR グラスに映し出されるアイコンと演者の誘導によって、体験者はスムーズにバンザイのハンドジェスチャーを行うことができた。





図 4.3.2-61 MR 歴史体験風景の様子 (ハンドジェスチャーによる流れ星の共有体験)





図 4.3.2-62 MR 歴史体験の様子 (ステージ上での観賞)

ステージ上の左右を移動して、季節の移り変わりを感じる移動体験。万が一、体験者がステージ上から転落しないようにステージ下でスタッフがサポートを実施した。MR デバイスを通して外の様子が見えることもあり、体験者同士がぶつかることや、ステージから落ちそうになることはなかった。

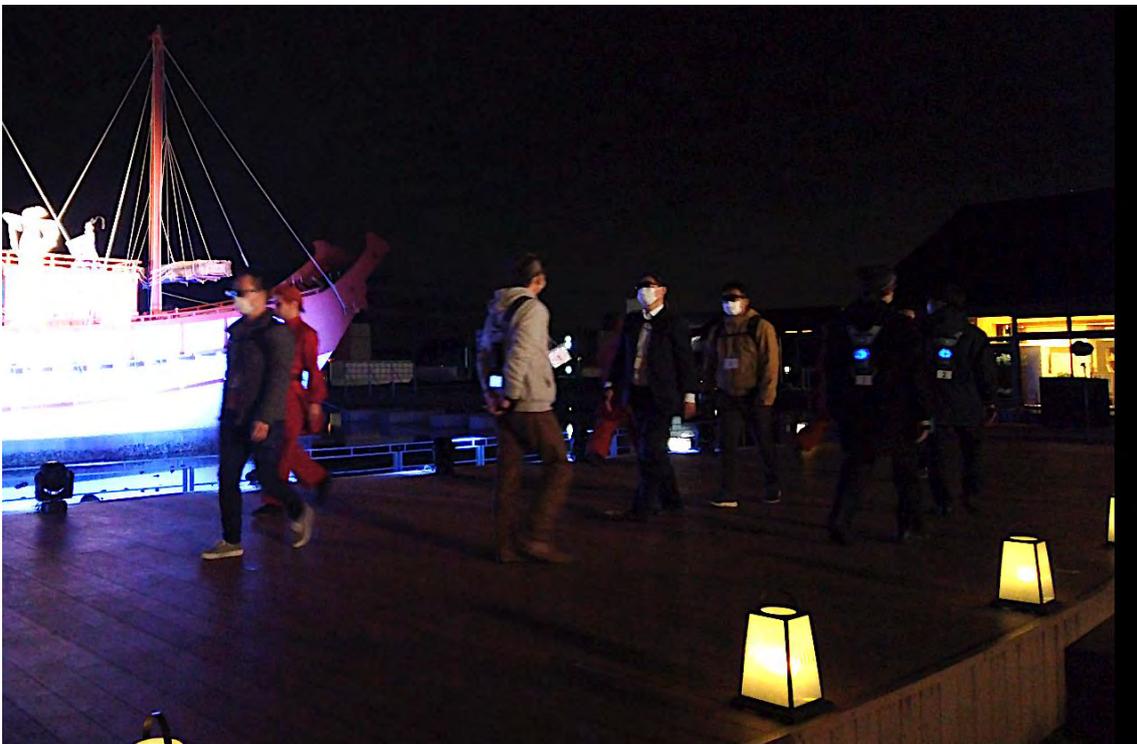




図 4.3.2-63 MR 歴史体験の様子（ステージ上の移動体験）

ハンドジェスチャーによる花火を出す共有体験。他の体験者と声をかけながら、花火を投げ合っている様子があった。正面の遣唐使船に向かってだけでなく、360度様々な方向に向かって花火を投げて楽しんでいる体験者もいた。



図 4.3.2-64 MR 歴史体験の様子（ハンドジェスチャーによる花火の共有体験）

i) 体験後の機材回収

MR 体験後、舞台上で MR グラスを外し、オリエンテーションの場所まで戻ってからその他の機材回収を行った。機材回収後、アルコール消毒を行い、次の新しい移動体験を案内したところで、MR 歴史体験は終了した。



図 4.3.2-65 機材回収の様子

同期管理サーバで記録した本番実証での体験者の場所移動の様子（一例）を図 4.3.2-66 に示す。スタート位置かステージへの移動、ステージ上での入れ替わり移動していることが確認できる。

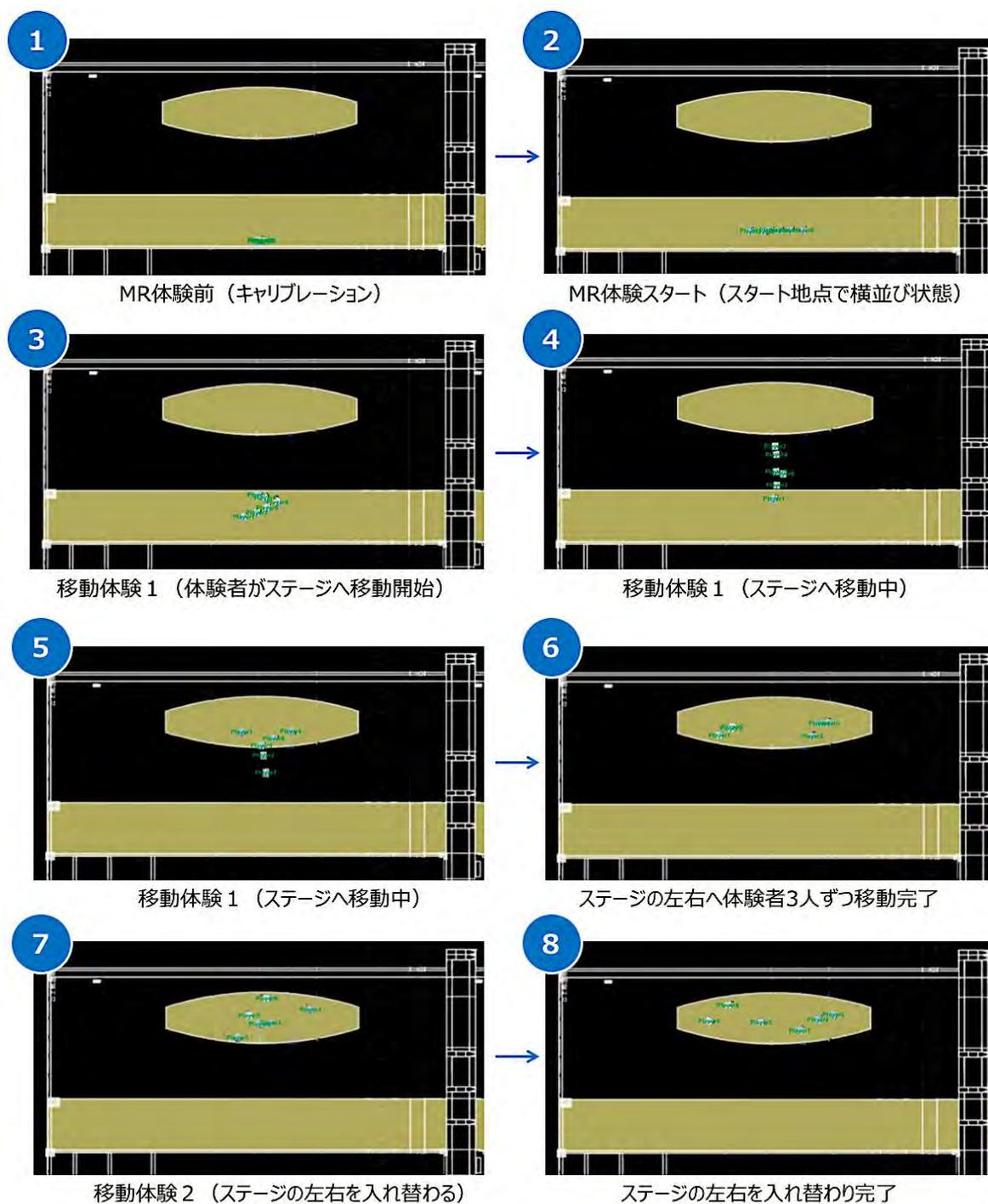


図 4.3.2-66 体験者位置をビジュアル化した画面（MR 体験の流れ）

(6) 評価・検証項目と評価・検証方法

課題解決システム実証の評価検証として、以下の評価・検証を実施した。

- ① 新しい観光体験の拡大施策における効果検証として、実証実験を4日間、72名に対して行い、体験者によるアンケートを通して、以下の視点を中心に評価を行う。
(詳細は「4.4 課題解決システムに関する効果検証」に記載)
 - ・無線環境下でのMR技術を用いた観光ソリューションのユーザーニーズや受容性
 - ・観光体験の向上(現実と仮想空間の融合体験、体験者間での共有体験等)
 - ・歴史文化等内容に関する理解度の変化
 - ・観光地としての訪問満足度や印象、再訪意欲の変化、集客・周遊性促進の効果
 - ・新型コロナウイルスに対する感染防止対策の効果
- ② 屋外かつローカル5Gネットワーク環境下において、体験者行動と連動した映像コンテンツ表示に関する機能評価を実施する。(詳細は「4.5 課題解決システムに関する機能検証」に記載)
- ③ 事前検証や本番実証を通じて、社会実装を行う上で、外部環境や体験者特性、運用オペレーション等、運用に関する課題について検証を行う。(詳細は「4.6 課題解決システムに関する運用検証」に記載)

4.3.3 新たな移動体験

(1) 実施概要

奈良県全体の観光ポイント間の周遊性を高めるという課題に対し、周辺施設や関連施設の具体的な施設情報提示や体験者の興味を喚起することで、訪問意欲の向上を促す。AI コンダクターを活用した新たな移動体験の機能は、平城宮跡歴史公園内の周遊時に留まらず、奈良公園エリアや西ノ京エリア等の別の観光地への移動の際の音声ガイダンスとしての活用も見込まれ、県全体の地域課題にも資するものとする。また、観光周遊に誘導する仕掛けとして、MR 体験の経験に沿った補足説明や周辺の観光情報を、AI コンダクターが提示することで観光客に周辺観光地の魅力を提示し、周辺観光地への誘導を促す。

平城宮跡では奈良県全体の課題同様に、広大なエリアに観光スポットが点在するため、来訪者は観光スポット間を移動する途中で興味が徐々に薄くなり、エリアの一部のみの周遊に留まるという課題がある。この課題を解消すべく、広大なエリア内を移動する際に、観光スポット間の移動時にも、歴史文化体験の世界観を分断しない・安心安全な移動案内を行う新たな移動体験の提供を目指す。観光用 AI コンダクターは、インタラクティブな観光ガイドを行うだけでなく、乗客の安全と快適のためにバスガイドのように乗客の挙動を見守り、状況に応じて乗客に注意を促す。また、車両状態を音声で乗客に案内する。AI コンダクターとの通信において 5G による低遅延な通信を活用することで、利用者が違和感を感じないスムーズな対話を実現する。

自動運転 FMS、STT (Speech-to-Text: google の自動音声認識) は既設計システムを流用、API 開発、対話エンジン、リアルタイム解析エンジン、メッセージ制御はカスタム改修である。

なお、本実証は「MR 技術を活用した新たな観光体験 (新たな歴史文化体験)」と連携して実施するものであり、新たな歴史文化体験実証の提示内容の補足情報等を乗客へ提示し、観光の持続性を高めることを目的とする。

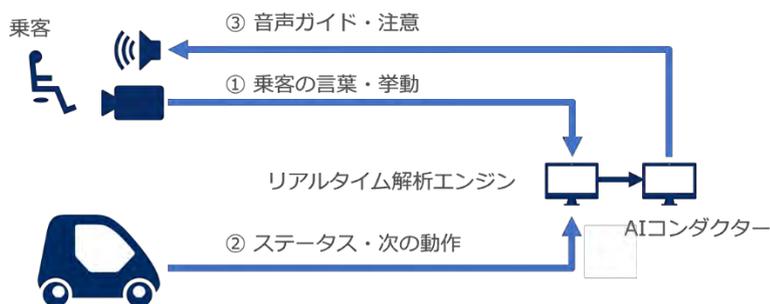


図 4.3.3-1 自動運転車と AI コンダクター

(2) 開発するシステムの内容

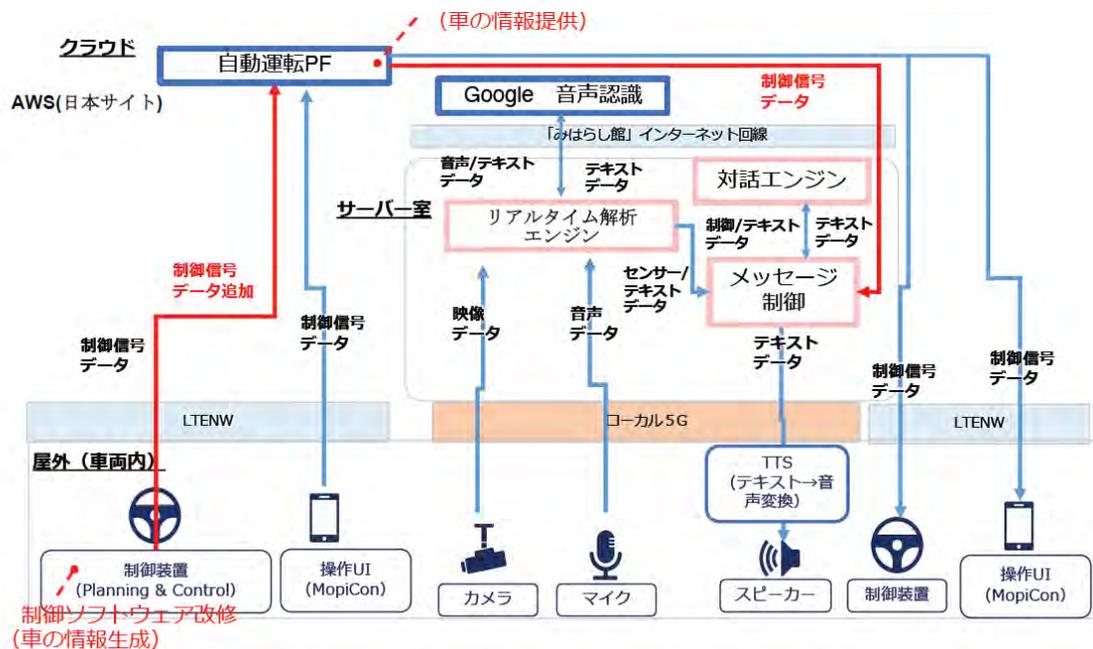


図 4.3.3-2 新たな移動体験システム構成

カスタム改修箇所：API 開発と対話エンジン改修を行う。

①制御ソフトウェア改修：

自動運転 PF に車両情報（制御信号データを追加）を送るため車載の制御装置の制御ソフトウェアを改修。

②API 開発（車の情報提供）：

自動運転 PF から AI コンダクターに車両情報（新規制御信号データ）を提供する API 開発。

③リアルタイム解析エンジン：

映像、音声から乗客の行動をリアルタイムに解析を行う。

④ 対話エンジン：

制御、テキストデータから発信内容のテキストを生成する。

⑤メッセージ制御：

リアルタイム解析エンジン情報、対話エンジン情報、自動運転 FMS 情報の情報制御及び乗客への案内掲示を指示する。

a) カメラ映像の主な仕様

- ストリーミングデータ形式：MotionJPEG
- 解像度：960×544 pixel
- ビットレート：最大 16.5Mbps
- フレームレート：25FPS



図 4.3.3-3 移動体験ルート

(3) 本番実証報告

当日の参加者の体験イベントの流れ（時間）は、以下の通りである。

移動	歴史体験からの移動	2分
オリエンテーション	挨拶、実証目的や移動体験の概要説明、ポイントや注意事項説明(自動運転/AI コンダクター)	5分
車両乗車	移動車両への乗車 シートベルトの装着、安全確認	2分
移動体験	移動体験(AI コンダクターとの対話体験) 開始から終了	5分
降車	降車 アンケート会場へ誘導	2分

図 4.3.3-4 体験イベントの流れ（移動体験）

1) 受付について

新たな歴史文化体験終了後、6名ずつ自動運転車乗車場へ移動する。
実証実験の内容については、乗車場到着後オリエンテーションを実施時に説明する。

新たな移動体験概要

自動運転実証車両



(車両寸法) 3,930x1,510x2,350mm
(重量) 920kg (センサ含む)
(乗車定員) 8名
(その他)
(自動運転を実現する為のセンサ構成)
 ・ソナー：x8 (前後左右：近距離物体認識)
 ・Radar (レーダー)：x8 (前後左右：中距離物体認識)
 ・ステレオカメラ：x1 (車体上部：物体認識+自己位置認識)
 ・GPSアンテナ：x2 (車体上部：自己位置認識)
 ・IMU：x1 (車体上部：自己位置認識)

走行ルート



安全管理スタッフ
にんじん様で先導
車両走行ルート
コーン+周知用看板

コトバデザイン様との協業

MACNICA
自動運転技術提供
実装までのトータルサポート

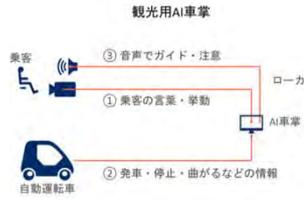
- ・ビジネス設計支援
- ・自動運転に必要なテクノロジインテグレーション (AI、監視化ツール、セキュリティ等)
- ・自動運転車両実装支援 (技術サポート)
- ・運用支援

COTOBA DESIGN
AI技術 (自然言語処理) 提供

- ・「AIコンタクト (対話処理技術AI)」の提供
- ・車内乗客モニタリングソリューションの提供

**モビリティに新たな価値追加
(新たな移動体験創出)**

観光用AI車掌



乗客
③ 音声でガイド・注意
ローカル5G
AI車掌
① 乗客の言葉・挙動
② 発車・停止・曲がるなどの情報
自動運転車

MACNICA

Confidential

© Macnica, Inc.

図 4.3.3-5 体験イベント説明用チラシ (移動体験)

2) オリエンテーションについて

車両を前に、自動運転車の説明、AI コンダクターの機能説明、乗車中の注意事項、安全運行のための注意事項などを説明した。

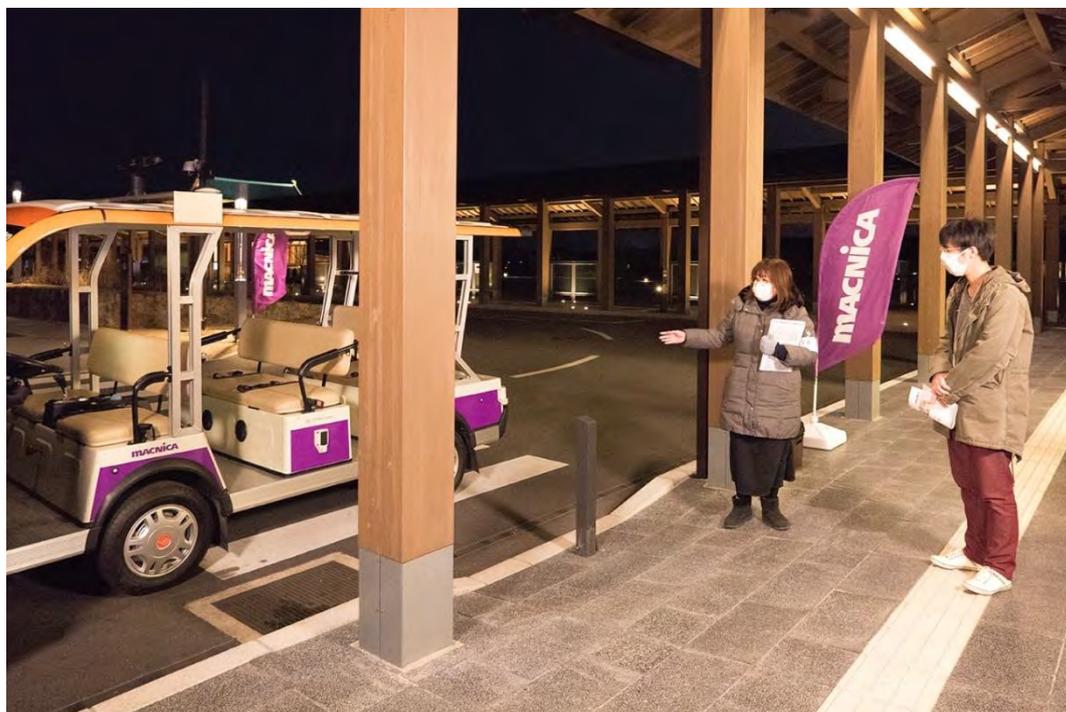


図 4.3.3-6 体験前オリエンテーション実施風景

a) オリエンテーション説明内容

- ・本日は本実証実験にご来場いただきまして有難うございます。
- ・「新たな移動体験」の提供をさせていただきます株式会社マクニカと株式会社コトバデザインです。マクニカは自動運転車、システムの提供、コトバデザインはAI コンダクターの提供をさせていただきます、今回の平城宮跡歴史公園のような観光地で新たな移動価値創出に取り組んでおります。
- ・本プログラムの所要時間は約3~4分間となっており、お客様には各列に2名ずつご乗車いただきまして、ドライバ無しの自動運転で駐車場内を時速5km程度で周回致します。
- ・車両前方にはコトバデザインが提供しているカメラとマイクが付いており、最前列の2名様に対してカメラを使用してマスクの未着用や車両から手を出す等の行為に対して注意喚起を行います。マイクはAI コンダクターが観光案内をするためにお客様と対話していただくために使用致します。
- ・本日、限られた時間内でAI コンダクターと対話していただくため、前列シートの2名の方にこの質問事例とキーワード集をお渡しいたします。AI コンダクターが話終わった後に「ピー」という音が聞こえましたら、これを見てマイクに話かけていただければと思います。
- ・今回の実験では、NEC様提供のローカル5Gを活用しており、この技術を使うことでAI コンダクターからの危険行為に対する注意喚起や対話時のやり取りが遅延なくスムーズに行えるということも特徴となっております。
- ・注意事項として、運転席に乗車頂く方はハンドル、アクセル、ブレーキに触れないようにお願いします。乗車後は速度は遅いですがお手数をお掛けしますがシートベルトの着用をお願いします。コート等のお召し物が車両の外に出ないようにご協力お願い致します。
- ・皆様の乗車が完了しましたら最前列の方はモニタ画面のスタートボタンを押していただければ出発致します
- ・それでは短い時間ではございますが、乗車頂きまして出発の準備をお願いします。

3) 車両乗車について

車両自体は最大8名乗りだが、コロナ対策で座席間隔を開けるため乗車数は6名とした。乗車を検知し、AI コンダクターがシートベルトの着用をアナウンスした。乗客全員の着席、安全を確認後出発した。



図 4.3.3-7 体験者が車両に乗車した状態

4) 移動体験について

自動運転車は、安全確認後乗客が操作することで出発する。



図 4.3.3-8 移動体験実施風景

- 運転者なしで移動体験ルートを一周し到着。



図 4.3.3-9 移動体験到着風景

- AI コンダクター機能
自動運転車状態アナウンス、乗客との対話、乗客の動作への注意喚起を行う。

a) 自動運転車状態アナウンス

自動運転車の状態アナウンスは、予定ルート周回中、乗車案内、発車案内、レーンチェンジ、右折4回、目的地接近、到着降車案内の合計9回を行う。

乗車案内は、図 4.3.3-10 のように映像から乗席が着座したことを AI コンダクターが判定し、シートベルトの着用、注意事項のアナウンス、自動運転車の発車方法のアナウンスを行う。この後、乗客が車両据付の操作用タブレットを操作し、自動運転車が動き出す。その後、自動運転車 FMS からの状態変化を受け、AI コンダクターが、タブレット操作後発車アナウンス、その後周回路に入るためレーンチェンジを行うためのアナウンス、周回路を右折する際にアナウンス（4回）、目的地に接近した旨のアナウンス、目的地に到着後、降車案内アナウンスを行う。

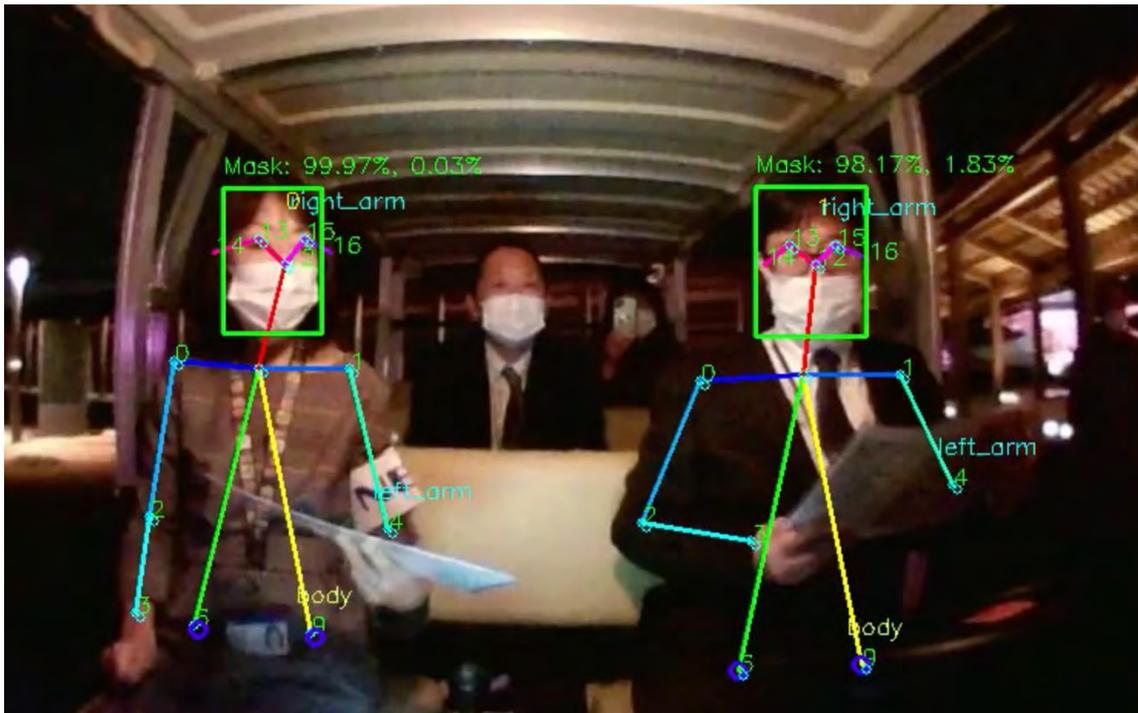


図 4.3.3-10 着座判定

b) 乗客との対話

音声対話は、歴史文化体験の世界観を分断しない・安心安全な移動案内を行う新たな移動体験の提供を目指すことを目的とし、観光案内、新たな歴史体験に対する案内を行う。

対話は音声で行い、ローカル 5 G を用い車両上のマイクから音声をアプリケーションサーバに送信、音声認識を行い乗客が発声した観光情報、新たな歴史体験に関する情報を提示する。

● 発話例:

乗客: 遣唐使はどのようなルートで行ったの？

AI コンダクター: 遣唐使船は大阪の難波津から唐に向かいましたが、その難波津へは、ここ朱雀門から出発し、斑鳩、龍田、信貴山麓を超えて、大阪に入る龍田道がメインルートだったようです。近年龍田古道として整備が進められています。

乗客: MR グラスって何？

AI コンダクター: メガネ越しに見える現実世界と、バーチャル映像を重ねあわせて表示して、現実とバーチャルを融合して表示できる装置です。実際にある「復原遣唐使船」の上に、リアルな演者のパフォーマンスと仮想空間で表現する CG 演出効果を重ね合わせた新しい MR ヒストリカルエンターテインメントショーを体験していただきました。

c) 乗客の動作への注意喚起

ローカル5Gを用い車両上のカメラからアプリケーションサーバに映像を送信する。アプリケーションサーバでは、乗客の姿勢推定、マスク着用検出を行い、異常を検知すると乗客にアナウンスを行う。

姿勢推定は、カメラからの映像を解析し手等を車外に出した場合注意を促す。図 4.3.3-11 は、手を車外に出したことを赤丸で示した図である。AI コンダクターは、この判定結果にもとづき乗客に注意喚起を行う。

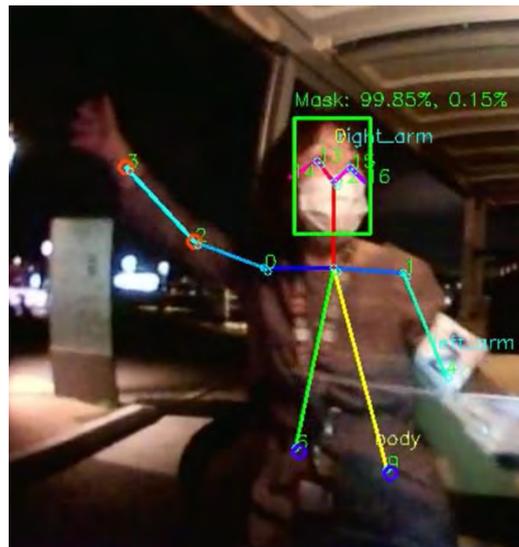


図 4.3.3-11 姿勢推定

マスク着用検知では、マスクを外している人を検知すると、乗客にアナウンスを行う。

AI コンダクターではカメラの映像を解析しマスクの着用を映像で判定する。図 4.3.3-12 はマスク非着用者を赤い四角、マスク着用者を緑の四角で示している。非着用と判定した場合、乗客にアナウンスを行う。



図 4.3.3-12 マスク着用検知

(4) 評価・検証項目

- ① 新しい移動体験について、体験者アンケートの段階評価を集計することにより体験者の満足度を数値化した。アナウンス、注意喚起された内容の妥当性をアンケート結果から妥当性を判定評価した(詳細は、「4.4 課題解決システムに関する効果検証」に記載)。
- ② 通信ログにより、体験者の状態変化から回答を再生するまでの時間を測定、評価した(詳細は、「4.5 課題解決システムに関する機能検証」に記載)。
- ③ 移動の際にも歴史文化体験の世界観を分断しない、安心安全な新たな移動体験の社会実装に向けて、安定性を中心とした課題について検証した(詳細は、「4.6 課題解決システムに関する運用検証」に記載)。

4.4 課題解決システムに関する効果検証

4.4.1 共通項目

(1) 実証参加者

実施計画どおり、4日間で12回の実証実験を行い、計72名の体験者にアンケート調査を実施した。調査票回収時に、一部の体験者に対して簡単な個別ヒアリングを実施した。

参加回	体験者番号	年代	性別	居住地	参加回	体験者番号	年代	性別	居住地	参加回	体験者番号	年代	性別	居住地
2/26①	1	30	男	奈良県内	2/26②	1	50	男	奈良県内	2/26③	1	50	男	奈良県内
	2	30	女	奈良県内		2	20	女	県外(大阪)		2	40	女	奈良県内
	3	40	男	奈良県内		3	40	男	奈良県内		3	20	男	奈良県内
	4	20	男	奈良県内		4	60	男	奈良県内		4	40	男	奈良県内
	5	50	男	県外(大阪)		5	50	男	奈良県内		5	50	男	奈良県内
	6	20	女	奈良県内		6	40	女	奈良県内		6	40	女	奈良県内
2/27①	1	20	男	奈良県内	2/27②	1	40	男	奈良県内	2/27③	1	50	男	奈良県内
	2	20	女	奈良県内		2	40	女	奈良県内		2	40	女	県外(東京)
	3	50	男	県外(大阪)		3	50	男	奈良県内		3	40	男	県外(東京)
	4	20	男	奈良県内		4	50	男	奈良県内		4	20	男	県外(東京)
	5	50	男	奈良県内		5	60	男	県外(神奈川)		5	50	男	奈良県内
	6	50	女	奈良県内		6	20	女	県外(埼玉)		6	50	女	奈良県内
2/28①	1	40	男	奈良県内	2/28②	1	50	男	奈良県内	2/28③	1	30	男	県外(埼玉)
	2	40	男	奈良県内		2	50	男	奈良県内		2	30	男	県外(東京)
	3	50	男	奈良県内		3	60	男	奈良県内		3	50	男	奈良県内
	4	50	男	奈良県内		4	10	男	奈良県内		4	30	男	県外
	5	50	女	奈良県内		5	30	女	県外(京都)		5	50	女	奈良県内
	6	20	女	奈良県内		6	30	女	奈良県内		6	50	女	奈良県内
3/1①	1	50	男	奈良県内	3/1②	1	40	男	県外(大阪)	3/1③	1	40	男	奈良県内
	2	50	男	奈良県内		2	60	男	県外(大阪)		2	30	男	奈良県内
	3	50	男	奈良県内		3	60	男	県外(大阪)		3	50	男	奈良県内
	4	50	男	奈良県内		4	40	男	県外		4	30	男	県外(滋賀)
	5	20	女	奈良県内		5	40	女	県外(大阪)		5	40	女	県外
	6	30	女	奈良県内		6	50	女	県外(大阪)		6	30	女	県外(兵庫)

図 4.4-1 実証参加者

1) 体験者属性

体験者は、新型コロナウイルス感染症への配慮を行い、コンソーシアム関係者を中心に募集した。コンソーシアム関係者の家族や観光事業者、学生等の参加により、性別・年代の平準化を試みたが、調整期間が短かったこと等から、男性及び 40～50 代が多い構成となった。

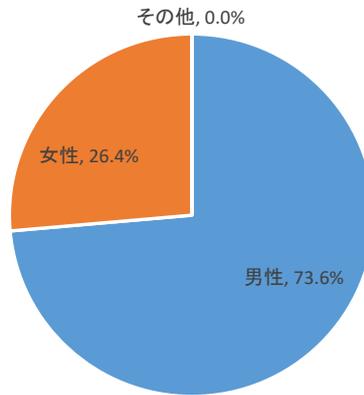


図 4.4-2 性別

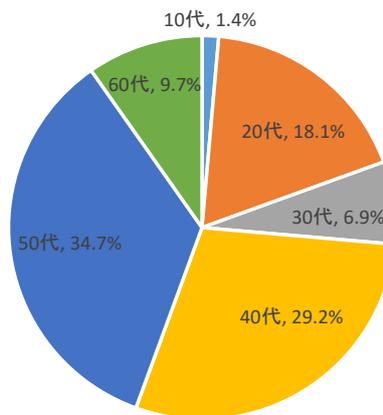


図 4.4-3 年代

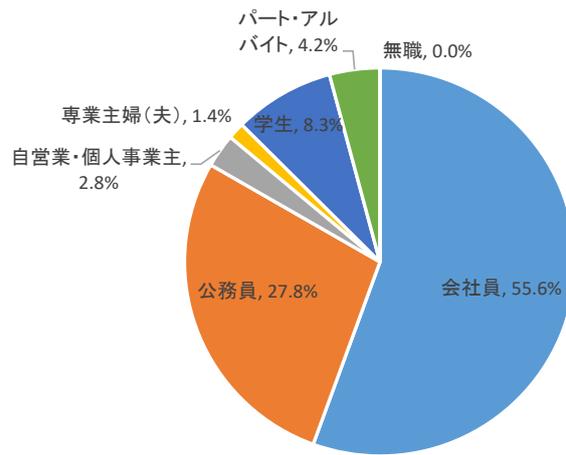


図 4.4-4 職業

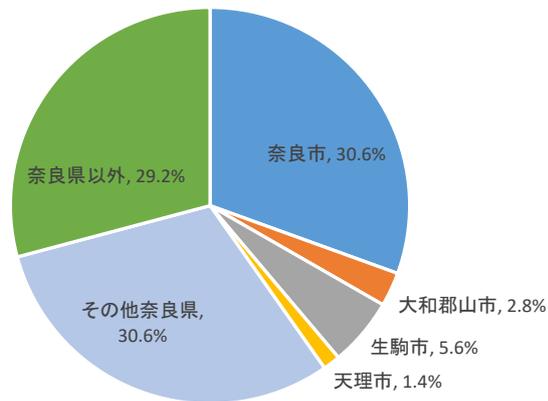


図 4.4-5 居住地

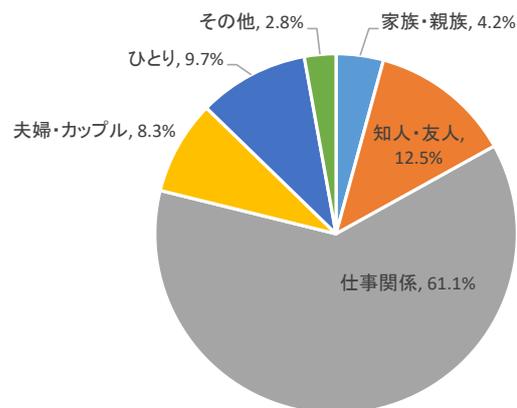


図 4.4-6 同行者

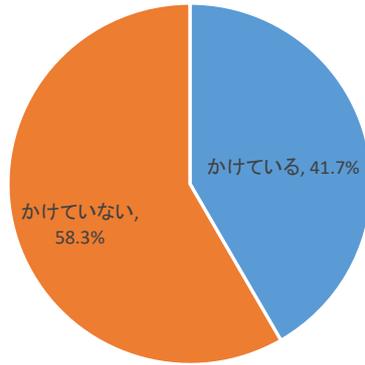


図 4.4-7 普段のメガネ着用

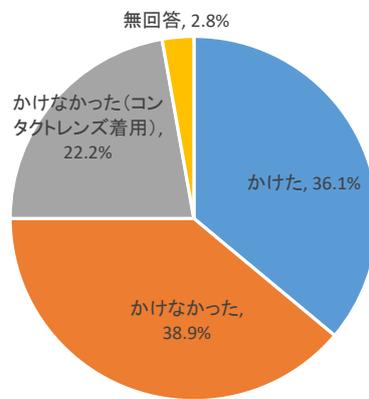


図 4.4-8 実証時のメガネ着用

4.4.2 新たな歴史文化体験

(1) 実施概要

新しい観光体験の拡大施策における効果検証として、実証実験を4日間、72名に対して行い、体験者によるアンケートを通して評価を実施した。

(2) 評価・検証項目

以下のような評価・検証項目及び取得データを設定し、アンケートの調査項目を設計した。

表 4.4.2-1 アンケート調査項目の設計

分析項目	アンケート調査詳細	アンケート
MR技術による観光体験の向上	現実の文化史跡や演者と映像コンテンツとの融合、移動やハンドジェスチャーなど体験者ごとのインタラクティブな体験、他体験者との共有体験、体験者の期待する仕組み・要望事項	Q1、Q2、Q6、Q7
歴史文化への理解度の変化	体験を通じた歴史への理解度・興味	Q2、Q10
訪問満足度や印象、再訪意欲の変化	来訪の満足度・再訪・再体験意欲、地域の印象変化	Q1、Q11、Q14
集客、周遊性促進の変化	周辺史跡や関連施設への興味・訪問意欲、具体的史跡情報	Q12、Q13
システムに関する評価	コンテンツ体感（映像の内容・品質・表示タイミング）、MRデバイスの装着感	Q3～Q8
サービス設計の評価	体験時間、体験フローや運用オペレーションの品質	Q15、Q16
新型コロナウイルス感染防止対策上の効果	実証における感染防止対策への安心感	Q17
費用対効果	有料の場合の適正サービス価格	Q18
体験者属性	性別、年代、職業、住まい、同行者、今回の体験理由、施設来訪回数、等	Q29～Q36
体験環境情報（運営側で記入）	体験人数、日付、時刻、天候、その他環境情報	事務局集計

No. _____

令和2年度地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

新しい歴史体験・新しい移動体験 体験者様アンケート

この度は「新しい歴史体験・新しい移動体験」に参加いただき、ありがとうございます。
最後に、アンケートにご回答いただけますと幸いです。

- アンケート前半は、先にご体験いただいた「MRグラスを使った歴史体験（遣唐使船）」
についての質問になりますので、MRグラスを用いた体験についてご回答ください。
- アンケート後半は、後にご体験いただいた「AIコンダクターと会話する移動体験」
についての質問となりますので、AIコンダクターとの会話体験についてご回答ください。
- 設問数は全部で36問、想定時間は10分程度となります。
- 複数選択可能と記載がある設問以外は、あてはまるものを1つだけ○をつけてください。

体験者様アンケート実施について

総務省では、令和2年度に、ローカル5G等を活用した地域課題解決を実現するため、全国で実証を行っております。

今回、その一環として、5GやMRといった最新技術を用いた観光体験にご参加いただきました。

このアンケート調査では、これらの新しい観光体験が観光地の魅力向上につながるか、観光客に受け入れられるかを把握することで、新しい観光体験の可能性を広げていくことを目的としております。

なお、本調査結果は本調査目的以外で利用することはありません。

スタッフ記入欄

-担当者：原、中川、江幡、染田、その他（ ）
-実施日：2/26、2/27、2/28、3/1、その他（ ）
-実施回：18時～、19時～、20時～、その他（ ）

-天候：晴、くもり、小雨
-気温：

このページでは **MRグラスを使った歴史体験（遣唐使船）** についてお答えください

Q1. 遣唐使船や出演者による舞台演出と、MRグラスを使った体験は楽しめましたか？

とても楽しかった 楽しかった どちらともいえない あまり楽しめなかった 楽しめなかった

Q2. MRグラスを使った歴史体験において、それぞれの項目の**魅力度を5段階で採点**してください

	とても良かった	良かった	普通	あまり良くなかった	良くなかった
現実の遣唐使船や出演者とデジタル映像が重なって見えたこと	<input type="checkbox"/>				
自分の手の動きで、蝶や花火が出るなどMRグラスの映像が動いたり、変化したこと	<input type="checkbox"/>				
自分が歩いて移動することで、MRグラスの映像が変わったこと	<input type="checkbox"/>				
一緒に参加している他のMR体験者と反応を共有できたこと	<input type="checkbox"/>				
MRグラスや出演者を通して、遣唐使船の歴史や文化を体感できたこと	<input type="checkbox"/>				
出演者の演技やダンスのパフォーマンス	<input type="checkbox"/>				

Q3. 遣唐使船や出演者と、MRグラスの映像はどちらも良く見えましたか？

どちらもはっきり見えた MRグラスの映像はよく見えたが、遣唐使船や出演者はあまり見えなかった
 遣唐使船や出演者はよく見えたが、MRグラスの映像はあまり見えなかった（ぼやけていた）
 遣唐使船や出演者はよく見えたが、MRグラスの映像はあまり見えなかった（映像が止まったりなど不自然なときがあった）

その他、お気づきのことをご記入ください（任意）

Q4. MRグラスの映像は、舞台の進行と合ったタイミングで表示されていましたか？

ぴったり合っていた 多少のズレはあるが、気にならなかった ズレがあり、多少違和感があった 大きくズれていた

Q5. MR体験中に、自分の手の動きで蝶が飛び出したり、花火を打ち上げる体験はできましたか？

手の動きと映像の位置やタイミングがぴったり合っていた 表示のタイミングがズれていた
 表示される位置がズれていた 上手くできなかった

Q6. 蝶や花火の映像について、他のMR体験者が出した蝶や花火の映像を見ることはできましたか？

よく見ることができた 少し見られた あまり見られなかった わからなかった



こちらを選択した方への質問です

蝶や花火が違和感なく見えた 蝶や花火の表示タイミングが遅れているように感じた
 蝶や花火の表示位置が人とズれているように感じた

このページでは MRグラスを使った歴史体験（遣唐使船）についてお答えください

Q7. MR体験を通して、他のMR体験者たちと一緒に舞台を見ている、体験に参加していると感じましたか？

 とても感じた 感じた あまり感じなかった 感じなかった

Q8. MR体験中に、歩いて進むことで、月や鳥が現れる、季節が変わるなど映像が切り替わる演出は楽しめましたか？

 とても楽しめた 楽しめた あまり楽しめなかった
 映像が切り替わって逆に混乱した 映像の切り替わりが分からなかった

Q9. MRグラスの装着感はいかがでしたか？

 とても快適 気にならずに装着できた 多少気になったが、大きな問題はない
 つけていることが気になった つけていることがとても気になった

その他、お気づきのことがあればご記入ください（任意）

Q10. MR体験をすることによって、体験前より、遣唐使船や平城京の歴史文化に興味・関心は増しましたか？

 とても増した 増した 体験前と変わらない

選択した理由をお聞かせください（必須）

Q11. 今後平城宮跡歴史公園で、新しいMR体験があれば、また利用したいと思いますか？

 ぜひ利用したい やや利用したい どちらでもない あまり利用したくない 利用したくない

Q12. 同じようなMR体験が他の史跡でもあったら、訪れて体験したいですか？

 MR体験を目的に訪れたい 訪問先でMR体験ができれば、体験したい 体験しに行こうとは思わない わからないQ13. Q12.で体験したいと答えた方へ質問です。
MR体験を奈良のどの史跡で体験したいですか？（複数選択可能） 平城宮跡公園（他エリア） 飛鳥歴史公園 奈良公園（春日大社、興福寺、東大寺等） 西ノ京（唐招提寺、薬師寺等）
 藤原宮跡 斑鳩 山の辺の道と古墳 馬見丘陵公園 吉野山 その他（ ）

コメントがあればお願いします（任意）

このページでは MRグラスを使った歴史体験（遣唐使船）についてお答えください

Q14. 今回のMR体験によって、奈良観光への印象は変わりましたか？

 とても良くなった 良くなった 変わらない

選択した理由をお聞かせください（必須）

Q15. MR体験の体験時間（約10分間）はいかがでしたか？

 短い・もっと見たい ちょうど良い 長い

選択した理由をお聞かせください（任意）

Q16. MR体験について質問です。受付～事前説明～MR体験までの流れ・スタッフの対応はいかがでしたか？

 とても良かった 良かった ふつう あまり良くなかった 全く良くなかった

選択した理由をお聞かせください（任意）

Q17. MR体験に、今後期待することはどんなことですか？（複数選択可能）

- 自分でできるエンタメ要素（自分で映像を操作できる、自由に歩いてシナリオが変化するなど）
 ショーとしての高いエンタメ要素（華やかなパフォーマンスと華やかなCG演出）
 歴史や文化を深く学べる学習要素
 当時にタイムトリップしたようなリアリティのある映像体験 歴史に関連した謎解きゲーム
 有名な歴史イベントを体験できるコンテンツストーリー 自分や同行者が過去の人物になりきれる体験

その他、ご自由にご意見ください（任意）

Q18. 有料サービスであれば、いくらまでなら体験しようと思えますか？ 上限の金額をお答えください。

 2,000円以上 2,000円 1,000円 500円以下（無料を含まない） 無料でないと利用したくない その他

選択した理由をお聞かせください（必須）

Q19. 今回のMR体験に対する、ご感想・ご要望・改善点などあればお聞かせください。

このページでは **自動運転車両による移動体験（AIとの対話体験）** についてお答えください。

Q20. AIコンダクタのアナウンスタイミング（安全に関するアナウンス、歴史体験ガイダンス）は適切でしたか？

タイミングは適切だった タイミングが少し遅かった タイミングが遅かった

「少し遅かった」「遅かった」と答えた方は、どこでそう感じられましたか（必須）

Q21. AIコンダクタとあなたとのやり取り（対話）は滑らかでしたか？

最前列にご乗車頂きました方への質問です。

最前列以外にご乗車の方は、最前列の方とAIコンダクタとの会話についてご回答ください

滑らかだった 少し途切れを感じた 途切れを感じた 最前列に座っていない（対象外）

「少し途切れを感じた」「途切れを感じた」と答えた方は、どこでそう感じられましたか（必須）

Q22. ドライバのいない自動運転車両には安心して乗っていただく事ができましたか？

安心だった 少し不安だった 不安だった

「少し不安だった」「不安だった」と答えた方は、どこでそう感じられましたか（必須）

Q23. AIとの会話を通して（AIとの会話を聞いていて）行ってみたいと思った史跡はありますか？（複数選択可能）

平城宮跡公園の他のエリア 奈良公園 飛鳥、藤原京 西ノ京（薬師寺、唐招提寺）
 その他（ _____ ）

Q24. 移動体験で楽しかった点は何ですか？

歴史体験の会話がAIとできたこと 知らないことをAIが教えてくれたこと 安全乗車の注意をAIがしてくれたこと
 自動運転車に乗車したこと その他

選択した理由をお聞かせください（任意）

**このページでは 自動運転車両による移動体験（AIとの対話体験）
についてお答えください。**

AIコンダクタと対話しながらの移動サービスの提供を検討しています。

Q25. 移動しながらAIコンダクタと対話してみたいのは、どんなときですか？（複数選択可能）

- フェスや大規模イベントで広い会場内を移動しているとき 平城宮跡歴史公園など、史跡や公園内を散策しているとき
 ツアーや観光バスに乗りしているとき その他

その他、ご自由にご意見ください（任意）

Q26. 移動中以外でAIコンダクタと対話してみたい場所はどこですか？（複数選択可能）

- 博物館や美術館 お寺や神社 古道や城跡 その他

その他、ご自由にご意見ください（任意）

Q27. AIコンダクタでどんなことを知りたいですか？（複数選択可能）

- 参加しているイベントの内容について いまいる史跡や公園について
 自分が興味があるものについて 食事場所やトイレ、駐車場、おすすめイベントについて
 県内の他の史跡や公園について 公共交通機関の時刻や乗り場について
 緊急時の避難場所など その他

その他、ご自由にご意見ください（任意）

Q28. どのくらいの価格までなら利用したいと思いますか？上限の金額をお答えください（複数選択可能）

利用シーン	2,000円 以上	2,000円	1,000円	500円	無料でな いと使 いた くない	その他
移動車両乗車+AIコンダクタ -フェスや大規模イベントで広い会場を移動 -史跡や公園の中を散策	<input type="checkbox"/>					
AIコンダクタのみ -ツアーや観光バスに乗車中 -観光スポット（美術館、寺社など）	<input type="checkbox"/>					

選択した理由をお聞かせください（任意）

あなたご自身についてお聞きします

Q29. あなたの性別を教えてください。

男性 女性 その他

Q30. あなたの年代を教えてください。

10代 20代 30代 40代 50代 60代 70以上

Q31. あなたの職業を教えてください。

会社員 公務員 自営業・個人事業主 専業主婦（夫） 学生 パート・アルバイト 無職

Q32. あなたのお住まいを教えてください。

奈良市 大和郡山市 生駒市 天理市 その他奈良県（ ） 奈良県以外（ ）

Q33. 一緒に来られた方を教えてください（人数は自分を含めた数、体験していない同行者は含めない）

家族・親族 人数（ ） 知人・友人 人数：（ ） 仕事関係 人数：（ ）
夫婦・カップル ひとり その他（ ）

Q34. メガネを日常的にかけられていますか？

かけている かけていない

Q35. 今回のMR体験時に、メガネをかけられていましたか？

かけた かけなかった（コンタクトレンズを着けていた）

Q36. コロナウイルス感染防止のため、検温、機器の消毒、マスク着用の徹底、対人間隔に配慮した運用などの対策をしております。感染対策への安心感はいかがでしたか？

とても安心 やや安心 変わらない 少し不安 かなり不安

以上で終了になります。
ご協力、ありがとうございました。

このアンケートシートは、係りの者へお渡してください。

図 4.4.2-1 体験者アンケート用紙

(3) 評価・検証方法

新しい歴史文化体験としての体験者へのアンケート評価を実施した。

- 実証実験の体験者は、実証地域の地方公共団体、及び文化施設等の観光エリア管理者とした。
- 体験者に対して、MR と文化史跡や演者を融合した新しい体験価値、地域の魅力・地域らしさの伝達、システム・サービス品質について、アンケート調査及び調査票回収時の簡単なヒアリング調査を実施した。
- 想定設問数：36 問程度（歴史体験 19 問、移動体験 9 問、体験者属性 8 問）
- 想定回答時間：10 分程度（歴史体験、移動体験、体験者属性全て）
- 回収サンプル数：72 名



図 4.4.2-2 アンケート実施の様子（アンケート前の説明）



図 4.4.2-3 アンケート実施の様子（アンケート記入）



図 4.4.2-4 アンケート実施の様子（回収時の個別ヒアリング）

(4) 評価・検証結果

1) 体験者アンケート結果

a) MR 歴史体験に関するアンケート

Q1 遣唐使船や出演者による舞台演出と、MR グラスを使った体験は楽しめましたか？

選択肢	n (72)	%
とても楽しかった	47	65.3%
楽しかった	21	29.2%
どちらともいえない	3	4.2%
あまり楽しめなかった	1	1.4%
楽しめなかった	0	0.0%

Q2 MR グラスを使った歴史体験において、それぞれの項目の魅力度を 5 段階で採点してください

	とても良かった	良かった	普通	あまり良くなかった	良くなかった
現実の遣唐使船や出演者とデジタル映像が重なって見えたこと	42 58.3%	24 33.3%	5 6.9%	1 1.4%	0 0.0%
自分の手の動きで、MRグラスの映像が動いたり、変化したこと	48 66.7%	16 22.2%	4 5.6%	2 2.8%	2 2.8%
自分が歩いて移動することで、MRグラスの映像が変わったこと	33 45.8%	27 37.5%	8 11.1%	3 4.2%	0 0.0%
一緒に参加している他のMR体験者と反応を共有できたこと	32 44.4%	25 34.7%	14 19.4%	0 0.0%	1 1.4%
遣唐使船の歴史や文化に興味を湧いたこと	35 48.6%	20 27.8%	16 22.2%	1 1.4%	0 0.0%
演者のパフォーマンスが見えあったこと	44 61.1%	23 31.9%	5 6.9%	0 0.0%	0 0.0%

Q3 遣唐使船出演者と、MR グラスの映像はどちらも良く見えましたか？

選択肢	n (72)	%
どちらもはっきり見えた	61	84.7%
MRグラスの映像はよく見えたが、遣唐使船や出演者はあまり見えなかった	2	2.8%
遣唐使船や出演者はよく見えたが、MRグラスの映像はぼやけていた	7	9.7%
遣唐使船や出演者はよく見えたが、MRグラスの映像は止まったり不自然なときがあった	2	2.8%

Q4 MR グラスの映像は、舞台の進行と合ったタイミングで表示されていましたか？

選択肢	n (72)	%
ぴったり合っていた	54	75.0%
多少のズレはあるが気にならなかった	16	22.2%
ズレがあり、多少違和感があった	2	2.8%
大きくズレていた	0	0.0%

Q5 MR 体験中に、自分の手の動きで蝶が飛び出たり、花火を打ち上げる体験はできましたか？

選択肢	n (72)	%
手の動きと映像の位置やタイミングがぴったり合っていた	45	63.4%
表示のタイミングがズレていた	10	14.1%
表示される位置がズレていた	6	8.5%
上手くできなかった	10	14.1%

Q6 蝶や花火の映像について、他の MR 体験者が出した蝶や花火の映像を見ることはできましたか？

選択肢	n (72)	%
よく見ることができた	49	68.1%
少し見られた	18	25.0%
あまり見られなかった	4	5.6%
わからなかった	1	1.4%

Q6-2 (よく見ることができた、少し見られた方への追加質問)

選択肢	n (67)	%
蝶や花火が違和感なく見えた	46	68.7%
映像の表示されるタイミングが遅れているように感じた	9	13.4%
映像の表示される位置が人とズレているように感じた	6	9.0%
無回答	6	9.0%

Q7 MR 体験を通して、他の MR 体験者たちと一緒に舞台を見ている、体験に参加していると感じましたか？

選択肢	n (72)	%
とても感じた	20	27.8%
感じた	34	47.2%
あまり感じなかった	18	25.0%
感じなかった	0	0.0%

Q8 MR 体験中に、歩いて進むことで、月や鳥が現れる、季節が変わるなど映像が切り替わる演出は楽しめましたか？

選択肢	n (72)	%
とても楽しめた	15	20.8%
楽しめた	47	65.3%
あまり楽しめなかった	7	9.7%
映像が切り替わって逆に混乱した	1	1.4%
映像の切り替わりがわからなかった	2	2.8%

Q9 MR グラスの装着感はいかがでしたか？

選択肢	n (72)	%
とても快適	6	8.3%
気にならず装着できた	31	43.1%
多少気になったが大きな問題はない	29	40.3%
つけていることが気になった	5	6.9%
つけていることがとても気になった	1	1.4%

Q10 MR 体験をすることによって、体験前より、遣唐使船や平城京の歴史文化に興味・関心は増しましたか？

選択肢	n (72)	%
とても増した	19	26.4%
増した	32	44.4%
体験前と変わらない	21	29.2%

Q11 今後平城宮跡歴史公園で、新しい MR 体験があれば、また利用したいと思いますか？

選択肢	n (72)	%
ぜひ利用したい	56	77.8%
やや利用したい	13	18.1%
どちらでもない	3	4.2%
あまり利用したくない	0	0.0%
利用したくない	0	0.0%

Q12 同じような MR 体験が他の史跡でもあるとしたら、訪れて体験したいですか？

選択肢	n (72)	%
MR体験を目的に訪れたい	20	27.8%
訪問先でMR体験ができれば、体験したい	50	69.4%
体験しに行こうとは思わない	1	1.4%
わからない	1	1.4%

Q13 MR 体験を奈良のどの史跡で体験したいですか？

選択肢	n (70)	%
平城宮跡公園(他エリア)	18	25.7%
飛鳥歴史公園	34	48.6%
奈良公園(春日大社、興福寺、東大寺等)	43	61.4%
西ノ京(唐招提寺、薬師寺等)	20	28.6%
藤原宮跡	28	40.0%
斑鳩	13	18.6%
山の辺の道と古墳	17	24.3%
馬見丘陵公園	13	18.6%
吉野山	11	15.7%

Q14 今回の MR 体験によって、奈良観光への印象は変わりましたか？

選択肢	n (72)	%
とても良くなった	21	29.2%
良くなった	37	51.4%
変わらない	14	19.4%

Q15 MR 体験の体験時間（約 10 分間）はいかがでしたか？

選択肢	n (72)	%
短い、もっと見たい	22	30.6%
ちょうど良い	49	68.1%
長い	1	1.4%

Q16 受付～事前説明～MR 体験までの流れ・スタッフの対応はいかがでしたか？

選択肢	n (72)	%
とても良かった	43	59.7%
良かった	27	37.5%
普通	1	1.4%
あまり良くなかった	1	1.4%
全く良くなかった	0	0.0%

Q17 MR 体験に、今後期待することはどんなことですか？

選択肢	回答数	%
自分でできるエンタメ要素	33	45.8%
ショーとしての高いエンタメ要素	41	56.9%
歴史や文化を深く学べる学習要素	28	38.9%
当時にタイムスリップしたようなリアリティのある映像体験	50	69.4%
歴史に関連した謎解きゲーム	15	20.8%
有名な歴史イベントを体験できるコンテンツストーリー	18	25.0%
自分や同行者が過去の人物になりきれ体験	21	29.2%

Q18 有料サービスであれば、いくらまでなら体験しようと思いますか？
上限の金額をお答えください。

選択肢	n (72)	%
2000円以上	6	8.3%
2000円	14	19.4%
1000円	36	50.0%
500円以下	13	18.1%
無料でないと利用したくない	2	2.8%
その他	1	1.4%

b) 体験者自身についてのアンケート

Q29 あなたの性別を教えてください。

選択肢	n (72)	%
男性	53	73.6%
女性	19	26.4%
その他	0	0.0%

Q30 あなたの年代を教えてください。

選択肢	n (72)	%
10代	1	1.4%
20代	13	18.1%
30代	5	6.9%
40代	21	29.2%
50代	25	34.7%
60代	7	9.7%
70代以上	0	0.0%

Q31 あなたの職業を教えてください。

選択肢	n (72)	%
会社員	40	55.6%
公務員	20	27.8%
自営業・個人事業主	2	2.8%
専業主婦(夫)	1	1.4%
学生	6	8.3%
パート・アルバイト	3	4.2%
無職	0	0.0%

Q32 あなたのお住まいを教えてください。

選択肢	n (72)	%
奈良市	22	30.6%
大和郡山市	2	2.8%
生駒市	4	5.6%
天理市	1	1.4%
その他奈良県	22	30.6%
奈良県以外	21	29.2%

Q33 一緒に来られた方を教えてください。

選択肢	n (72)	%
家族・親族	3	4.2%
知人・友人	9	12.5%
仕事関係	44	61.1%
夫婦・カップル	6	8.3%
ひとり	7	9.7%
その他	2	2.8%

Q34 メガネを日常的にかけられていますか？

選択肢	n (72)	%
かけている	30	41.7%
かけていない	42	58.3%

Q35 今回の MR 体験時に、メガネをかけられていましたか？

選択肢	n (72)	%
かけた	26	36.1%
かけなかった	28	38.9%
かけなかった(コンタクトレンズ着用)	16	22.2%
無回答	2	2.8%

Q36 コロナウイルス感染対策のため、検温、機器の消毒、マスク着用の徹底、対人間隔に配慮した運用などの対策をしております。感染対策への安心感はいかがでしたか？

選択肢	n (72)	%
とても安心	59	81.9%
やや安心	10	13.9%
変わらない	3	4.2%
少し不安	0	0.0%
かなり不安	0	0.0%

(5) 分析・評価

1) MR 技術による観光体験の向上についての評価

「Q1 遣唐使船や出演者による舞台演出と MR グラスを使った体験は楽しめましたか」という設問について、「とても楽しかった (65.3%)」「楽しかった (29.2%)」を合わせて 94.5%の参加者が楽しかったと回答し、非常に好評であった。

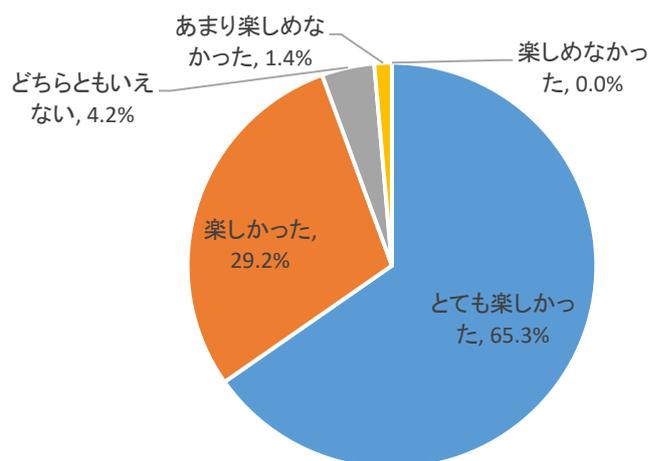


図 4.4.2-5 Q1 の回答

「Q2 MR グラスを使った歴史体験において、それぞれの項目の魅力度を 5 段階で採点してください」という設問について、全ての項目において 7 割以上 (四分の三以上) の参加者が「とても良かった」もしくは「良かった」と評価した。

「現実の遣唐使船や出演者とデジタル映像が重なって見えたこと」については、体験者の 9 割 (91.6%) が良かったと評価しており、MR 映像と演者、史跡の融合による演出が有効であることが検証できた。

また、「自分の手の動きで、MR グラスの映像が動いたり、変化したこと (88.9%)」「自分が歩いて移動することで、MR グラスの映像が変わったこと (83.3%)」についても体験者の 8 割以上が良かったと評価しており、「Q8 MR 体験中に、歩いて進むことで、映像が切り替わる演出は楽しめましたか」という設問についても参加者の 8 割以上 (86.1%) が楽しめたと回答している。移動やハンドジェスチャー等、体験者毎のインタラクティブな体験についても有効であると検証できた。

特に手の動きで映像が変化することに対しては 7 割近く (66.7%) が「とても良かった」と評価しており、映像を見るだけでなく、自らの動作で反応を起こせる仕掛けは好評であった。

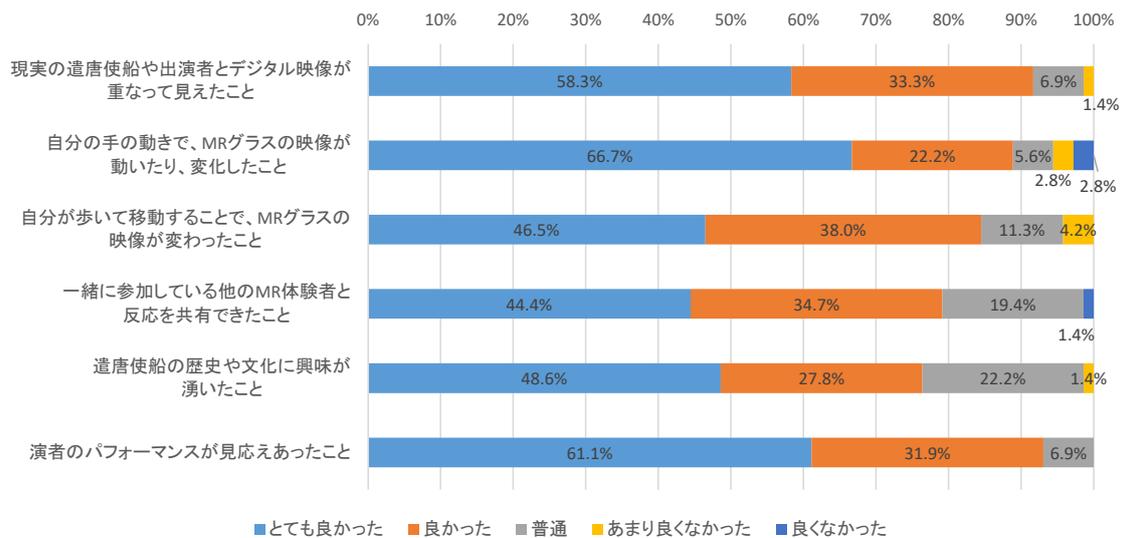


図 4.4.2-6 Q2 の回答

Q2で「一緒に参加している他のMR体験者と反応を共有できたこと」については、参加者の約8割(79.1%)が良かったと評価している。また、「Q7 MR体験を通して、他のMR体験者たちと一緒に舞台を見ている、体験に参加していると感じましたか」という設問について、参加者の四分之三が感じたと回答している。他の参加者との共有体験の有効性が検証できたと言える。

「Q17 MR体験に、今後期待することはどんなことですか?」という設問について、最も多く選ばれたのは「当時にタイムスリップしたようなリアリティのある映像体験(69.4%)」であった。次に多かったのが「ショーとしての高いエンタメ要素」であり、Q2で演者のパフォーマンスが高く評価されていることから、歴史的要素だけでなく、エンタメの要素も期待されている。

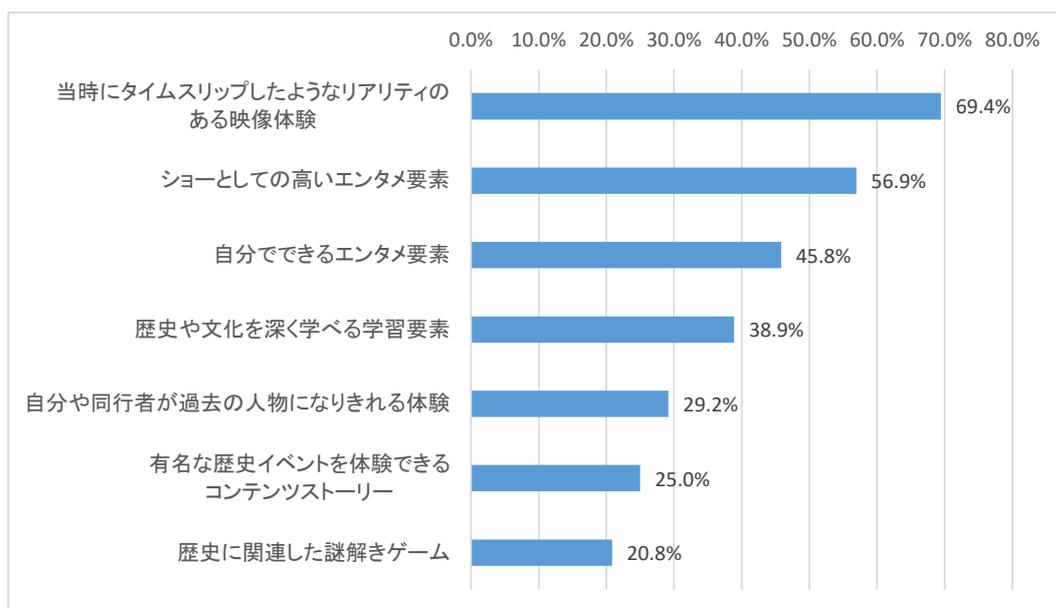


図 4.4.2-7 Q17 の回答

2) 歴史文化等内容に関する理解度の変化についての評価

「Q10 MR 体験をすることによって、体験前より、遣唐使船や平城京の歴史文化に興味・関心は増しましたか」という設問について、体験者の7割が「とても増した(26.4%)」もしくは「増した(44.4%)」と回答している。

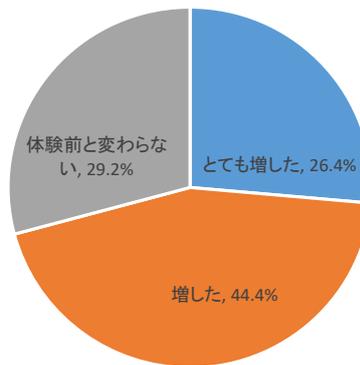


図 4.4.2-8 Q10 の回答

また、Q2 の選択肢のうち「遣唐使船の歴史や文化に興味をわいたこと」についても、体験者の7割以上(76.4%)が良かったと評価している。

Q10で「とても増した」と回答した体験者の自由記述回答では、「MR グラスを用いてリアルな追体験をすることでより興味が出た」「近未来と歴史文化の融合が魅力的だった」「最新技術を用いて史実を復興する取り組みはすばらしい」「こういった先進的な取り組みをしている場所は、自分が観光で行く先を選ぶ時に順位が高くなると思う」等のコメントがあり、MR 映像と文化史跡の融合が、歴史文化への興味や理解度向上に有効であることが確認できたと言える。

なお、「体験前と変わらない」と回答した体験者の自由記述回答では、元から歴史に興味があったため、または、パフォーマンスとして楽しめたが、歴史文化への興味が増すとまでは感じなかった、といったコメントが多かった。

奈良県民と県外在住者でクロス集計したところ、県外在住者の方が「とても増した」「増した」という回答が多かった。MR 体験を通じて、県外在住者に奈良県の歴史や文化により興味を持ってもらえることが確認できた。

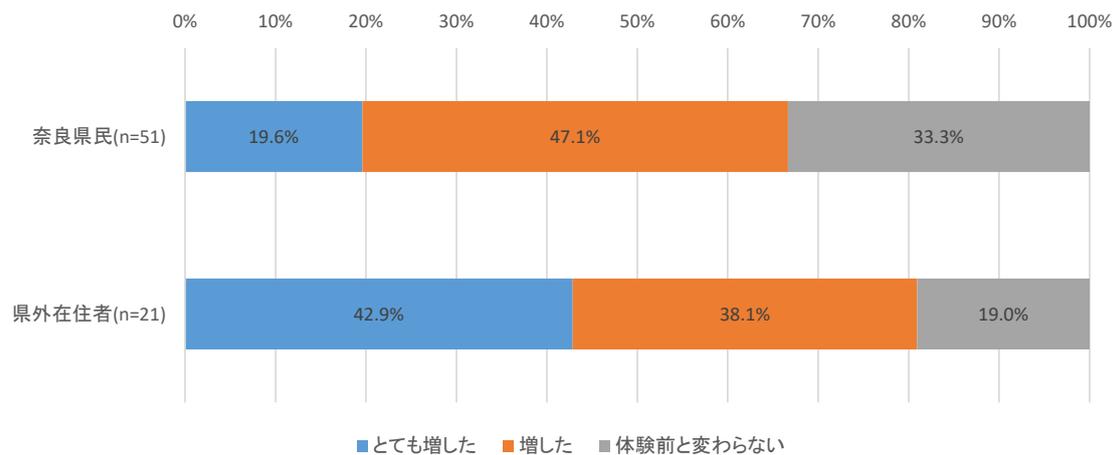


図 4.4.2-9 Q10 の回答（居住地別）

3) 観光地としての訪問満足度や印象、再訪意等の変化についての評価

Q1 で体験者のほとんどが楽しかったと回答しており、「Q14 今回の MR 体験によって、奈良観光への印象は変わりましたか」という設問について、体験者の約 8 割が「とても良くなった (29.2%)」もしくは「良くなった (51.4%)」と回答していることから、MR を用いた歴史体験が来訪時の満足度向上に繋がるのが期待できる。

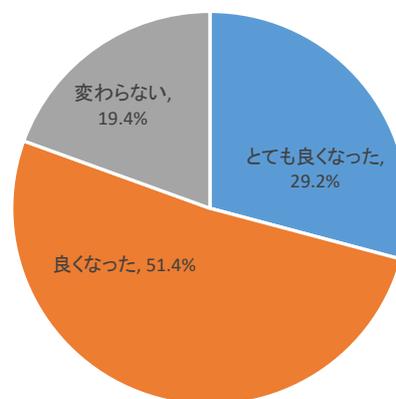


図 4.4.2-10 Q14 の回答

Q14 の自由記述回答では、「新しい観光の可能性を感じた」「歴史のある奈良で先端技術を生かした体験ができるのがよい」「体験型の観光ができてよかった」といったコメントが多かった。

「Q11 今後平城宮跡歴史公園で、新しい MR 体験があれば、また利用したいと思いますか」という設問について、体験者の 8 割近く (77.8%) が「ぜひ利用したい」と回答しており、「やや利用したい (18.1%)」と合わせると 9 割以上がまた利用したいと評価している。

MR を用いた歴史体験は、再訪意欲の向上にも寄与すると言える。

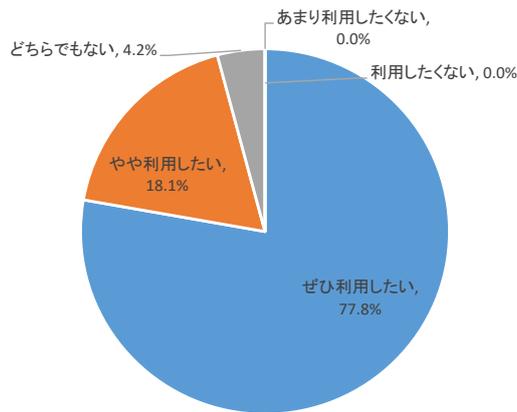


図 4.4.2-11 Q11 の回答

奈良県民と県外在住者でクロス集計を行ったところ、「とても良くなった」という回答は県外在住者の方が多かった一方で、「変わらない」という回答も県外在住者の方が多く、「良くなった」と評価した人の割合は奈良県民の方が高かった。

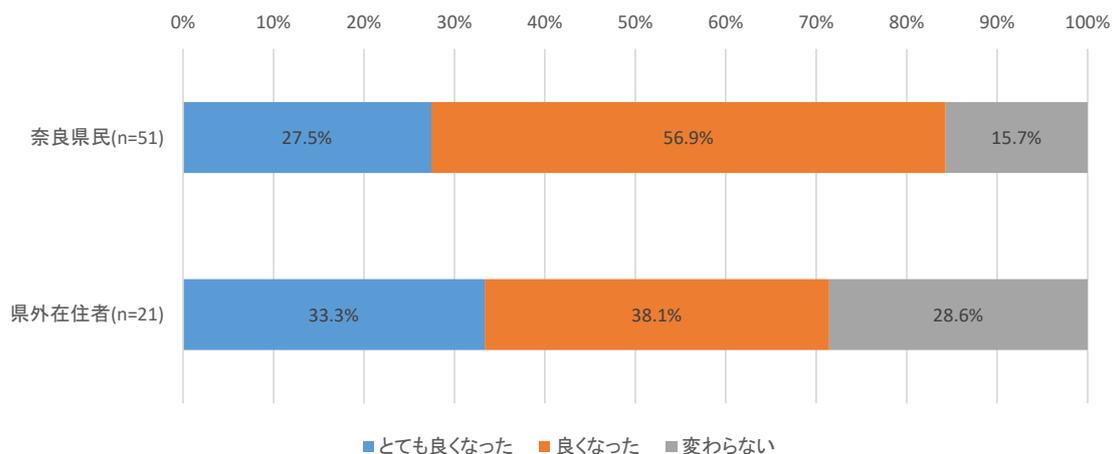


図 4.4.2-12 Q14 の回答 (居住地別)

4) 集客及び周遊性促進等の効果についての評価

「Q12 同じような MR 体験が他の史跡でもあったら、訪れて体験したいですか」という設問について、体験者の約 3 割が「MR 体験を目的に訪れたい (27.8%)」と回答し、「訪問先で MR 体験ができれば体験したい (69.4%)」と合わせると、ほとんどの体験者が他の施設での MR 体験に興味を示した。MR を用いた歴史体験が、近隣の観光施設への周遊性促進に繋がるのが期待できる。

また「他県でも体験したい」というコメントも複数あり、奈良以外の観光地への展開可能性も確認できた。

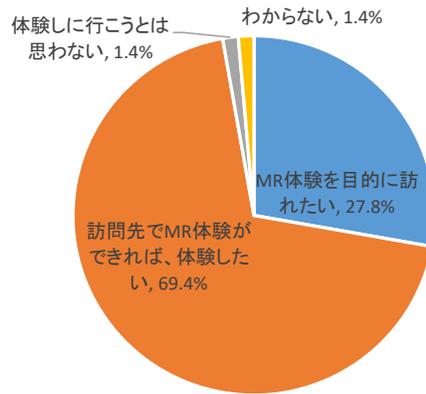


図 4.4.2-13 Q12 の回答

奈良県民と県外在住者でクロス集計したところ、「体験しにいこうとは思わない」「わからない」と回答した 2 名は県外在住者であったが、県民と県外在住者で回答傾向に大きな違いはなかった。

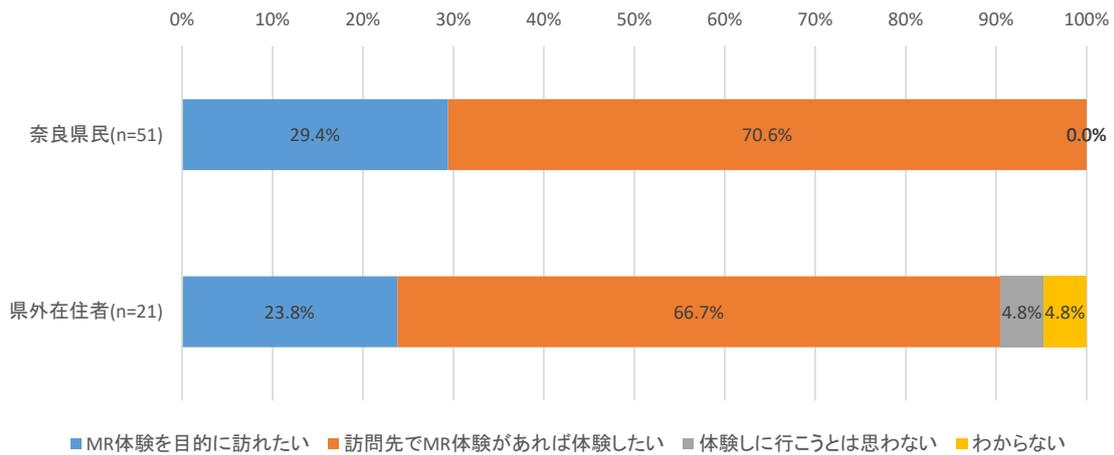


図 4.4.2-14 Q12 の回答 (居住地別)

Q12 で体験したいと回答した 70 名に「Q13 MR 体験を奈良のどの史跡で体験したいですか」と尋ねたところ、最も多く挙げたのは奈良公園 (61.4%)、次いで飛鳥歴史公園 (48.6%) であった。

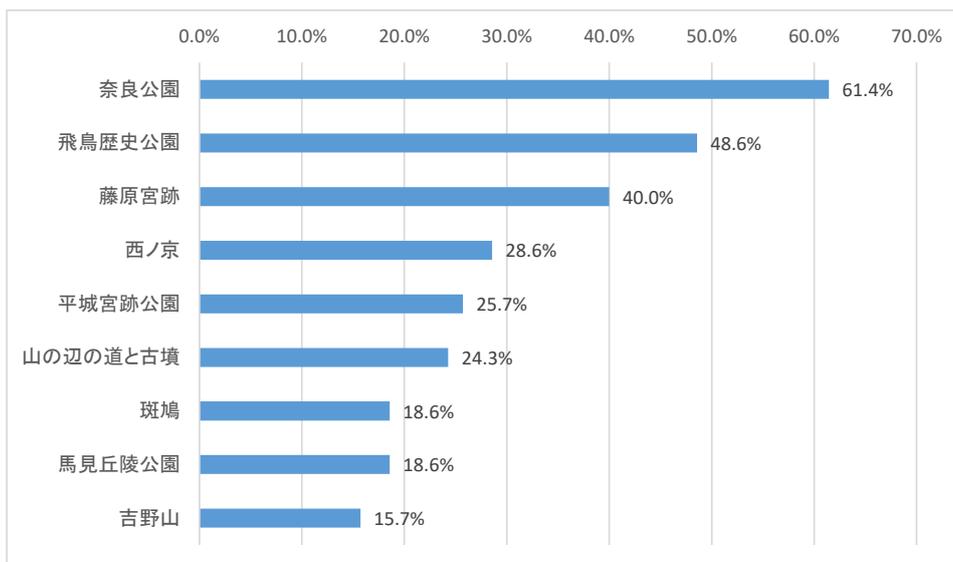


図 4.4.2-15 Q13 の回答

5) システムに関する評価

「Q3 遣唐使船や演者と、MR グラスの映像はどちらも良く見えましたか」という設問について、回答者の 8 割以上 (84.7%) が「どちらもはっきり見えた」と回答した。

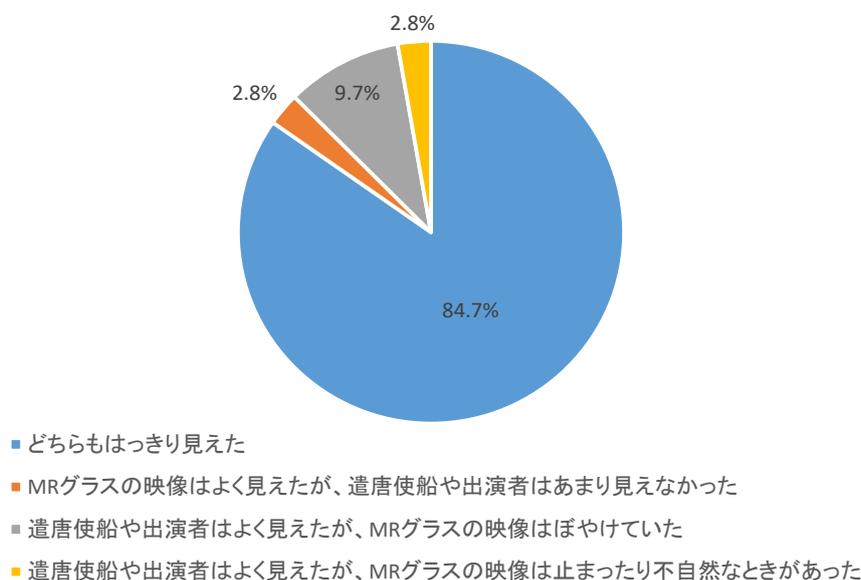


図 4.4.2-16 Q3 の回答

オリエンテーション時に MR 映像の視野角が狭いことを説明したが、自由記述部分で、視野の狭さを指摘するコメントが 14 件あった。視野角が広がることで没入感が増し、利用者の満足度がより上がるが、現時点での技術では解決し難い部分である。

「Q4 MR グラスの映像は、舞台の進行と合ったタイミングで表示されていましたか」と

いう設問については、回答者の四分の三が「ぴったり合っていた (75.0%)」と回答し、「大きくズれていた」という回答は 0 件、「ズレがあり、多少違和感があった」という回答は 2 件に留まった。

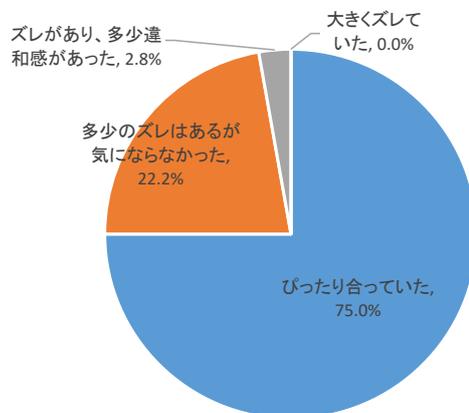


図 4.4.2-17 Q4 の回答

自らのハンドジェスチャーによって映像が変化する演出に関する「Q5 MR 体験中に、自分の手の動きで蝶や花火を表示させる演出は体験できましたか」という設問について、体験者の約 6 割 (63.4%) が「手の動きと映像の位置やタイミングがぴったり合っていた」と回答した一方で、体験者の約 2 割 (22.6%) が表示の位置やタイミングがズれていたと回答した。

「上手くできなかった」という回答が 10 件あったが、うち 4 件はコントローラの不具合でハンドジェスチャー体験そのものができなかったケースであった。なお、上手くできなかったと回答した体験者のうち 8 名は Q1 で「とても楽しかった」もしくは「楽しかった」と回答しており、コントローラの不具合が体験全体の満足度に与える影響は小さかったと考えられる。

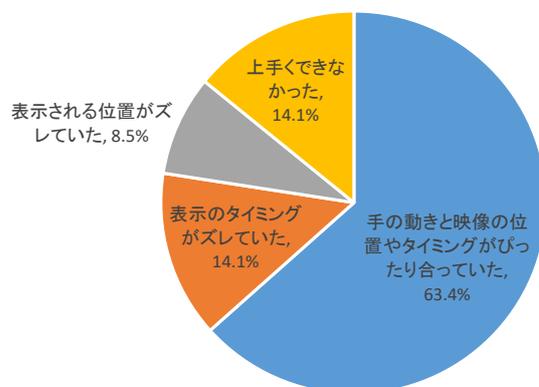


図 4.4.2-18 Q5 の回答

「Q6 蝶や花火の映像について、他の体験者が出した映像を見ることはできましたか？」という設問について、体験者の約7割（68.1%）が「よく見ることができた」と回答し「わからなかった」という回答は1件に留まった。また、「よく見ることができた」「少し見られた」と回答した67名に表示の位置やタイミングについて尋ねたところ、約7割（68.1%）が「蝶や花火が違和感なく見えた」と回答した。

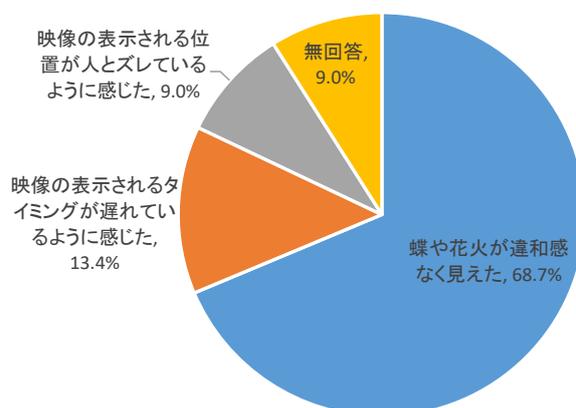


図 4.4.2-19 Q6 の回答

「Q9 MR グラスの装着感はいかがでしたか？」という設問について、体験者の過半数が「とても快適（8.3%）」もしくは「気にならず装着できた（43.1%）」と回答した。「多少気になったが大きな問題はない（40.3%）」を合わせると、体験者の9割以上が装着感に問題はなかったと評価した。

自由記述では、メガネの上から装着するとズレや重さが気になるというコメントが複数件あった。

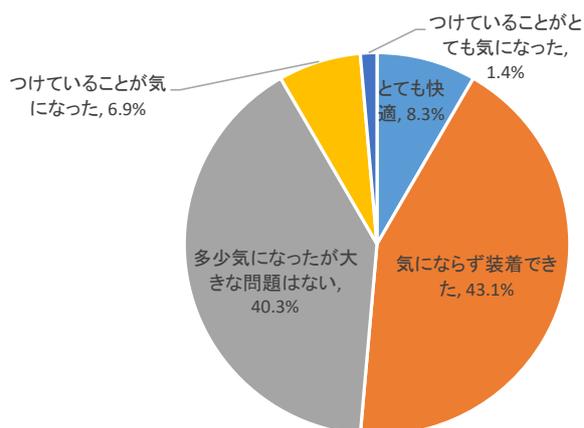


図 4.4.2-20 Q9 の回答

日常的にメガネをかけている人、かけていない人でクロス集計を行ったところ、回答傾向に大きな差はなかった。メガネをかけていることが、MR グラスの装着感に大きな影

響を与える可能性は少ないと考えられる。

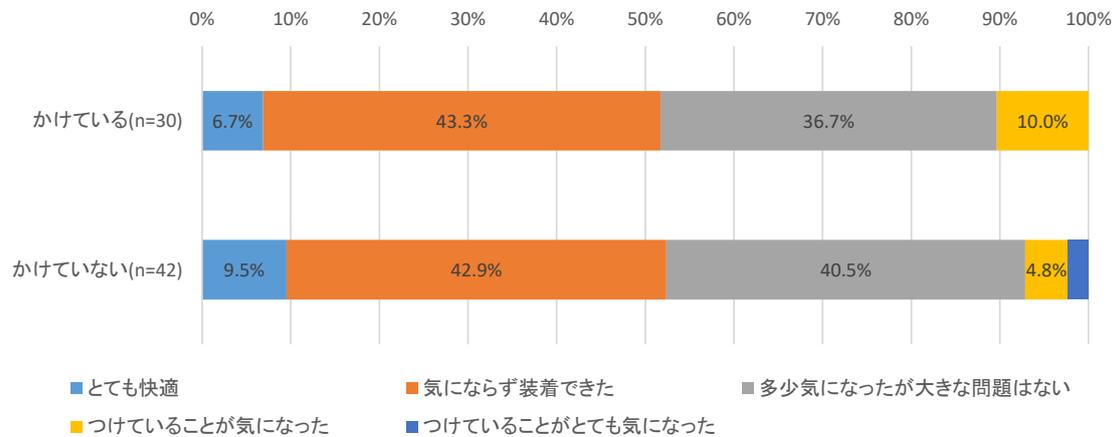


図 4.4.2-21 Q9 の回答（メガネの利用有無別）

6) サービス設計に関する評価

「Q15 MR 体験の体験時間（約 10 分間）はいかがでしたか」という設問について、体験者の 7 割（68.1%）が「ちょうど良い」と評価した。

自由記述回答では「ある程度短い方が感動が強い」「もっと見たいぐらいがちょうどよい」というコメントがあった一方で、「動きや体験のバリエーションがあれば 20-30 分あってもよい」「なかなか体験できないのもっと見たい」とのコメントもあった。

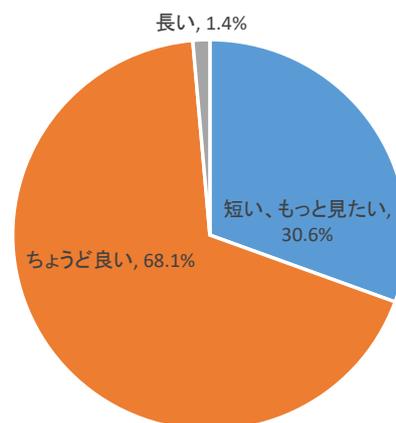


図 4.4.2-22 Q15 の回答

「Q16 受付～事前説明～MR 体験までの流れ・スタッフの対応はいかがでしたか」という設問について、体験者のほとんど（97.3%）が「とても良かった（59.7%）」「良かった（37.5%）」と回答した。

自由記述回答では「とてもいいだった」「説明がわかりやすかった」というコメント

が多かった。なお、良くなかったと回答した体験者は自由記述で「スタッフにももっと楽しそうにしてもらった方がよいかと」とコメントしており、対応の不備を感じたわけではないようである。

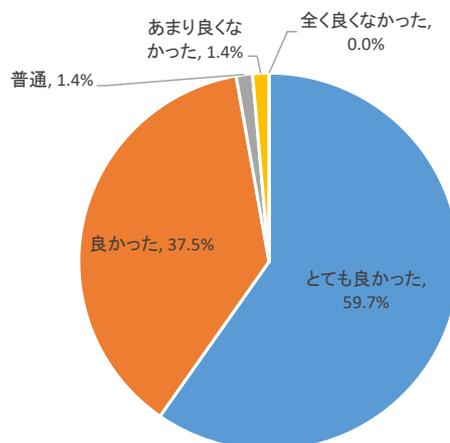


図 4.4.2-23 Q16 の回答

また、「Q36 コロナウィルス感染対策への安心感はいかがでしたか」という設問について、体験者の8割以上(81.9%)が「とても安心」と回答し、少し不安、かなり不安という回答はなかった。実証実験におけるコロナウィルス感染症対策は十分であり、体験者に安心感を与えることができたと言える。

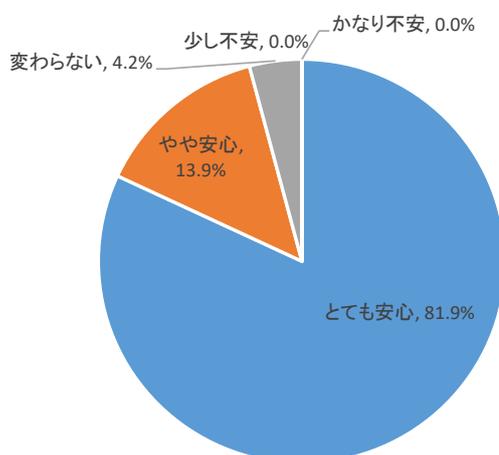


図 4.4.2-24 Q36 の回答

7) 費用に関する評価

「Q18 有料サービスであれば、いくらまでなら体験しようと思いますか？ 上限の金額をお答えください」という設問については、体験者の半数が1000円との回答であった。

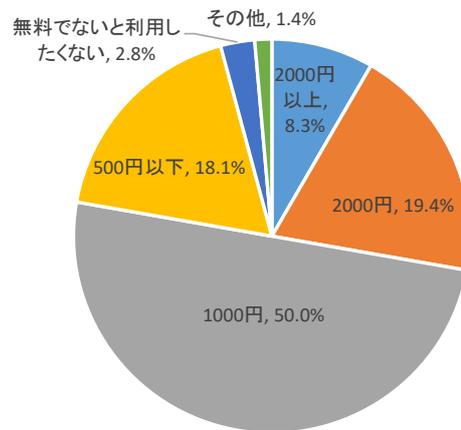


図 4.4.2-25 Q18 の回答

自由記述で理由を訪ねたところ、「今回体験した内容が有料だとしたら」という前提で答えた人と、「前の間で答えたような内容のコンテンツであったら」「もう少し時間が長かったら」等、別な前提条件で答えた人がいることがわかった。

2000 円以上を選んだ体験者は、より充実した内容であれば、という前提で回答している場合が多いが、2000 円を選んだ体験者の多くは今回の体験内容を前提としており、理由としては、ライブパフォーマンスの要素や、美術館・博物館の（企画展の）入場料との比較を上げている。

体験者の半数は 1000 円と回答しており、理由として「1000 円程度であれば出しやすい」「家族全員で体験するにはこれ以上だと高い」「入館料や拝観料との比較」を挙げている。

1000 円と回答した体験者の中にも、コンテンツの内容や時間によってはもう少し高くてもよいとコメントした人が複数おり、1000 円以上の有料コンテンツとして提供できる可能性が確認できたと言える。

Q1 で「とても楽しかった」と回答した人とそれ以外でクロス集計を行ったところ、「とても楽しかった」と回答したグループの方が高い値付けをしており、4 割近く（38.3%）が 2000 円、またはそれ以上と回答した。満足行く体験ができれば、2000 円以上払っても良いと考える人が多いと考えられる。

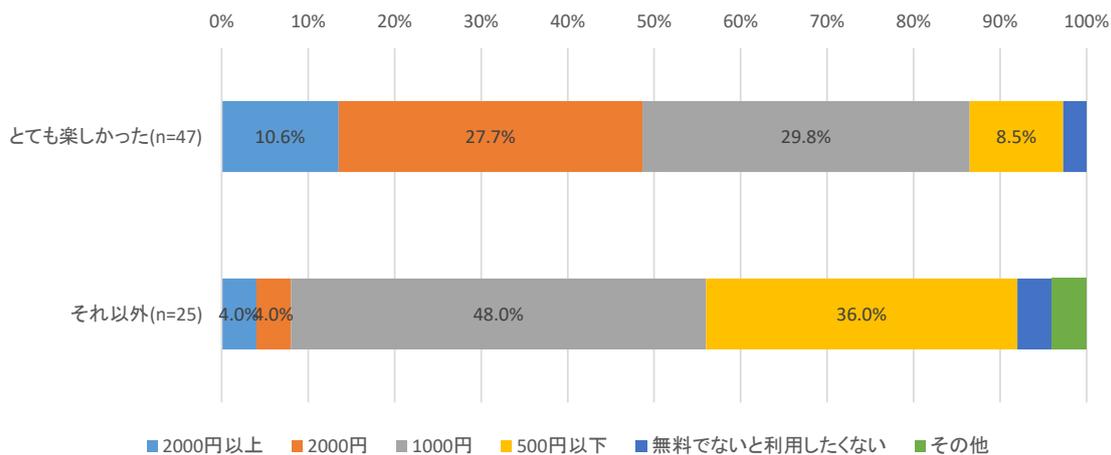


図 4.4.2-26 Q18 の回答 (MR 体験満足度別)

(6) 考察 (今後の課題等)

実証実験の結果、体験者の約 95%が MR 体験は楽しかったと回答し、自由記述のコメントからも、現実の文化史跡や演者による歴史体験の演出と映像コンテンツの融合が高く評価されたことが確認できた。

特に、移動しながらの映像変化体験においては、8 割以上が高い評価をしている。有線環境で構築した場合、MR 体験者が動く際にケーブルへ意識が向き、体験に集中ができないことや、ケーブルに足を取られ人災につながる可能性があることから、無線環境によるシステムの有効性が確認できたと言える。また、自らのハンドジェスチャーによるインタラクティブな体験、他の体験者との共有体験についても 8 割の体験者が良かったと評価しており、低遅延なローカル 5 Gによって映像コンテンツをリアルタイムに共有する歴史体験の有効性が確認できたと言える。

このことから、MR 技術による現実と仮想空間の融合体験、ローカル 5 Gを活用した体験者個々のインタラクティブ体験及び体験者全員で楽しめる体験が実現できることが観光地における観光体験の価値向上として有効であったと言える。

その中で、ハンドジェスチャーによる共有体験において、他の MR 体験者の蝶や花火の表示の位置やタイミングがずれていたとする回答が約 2 割 (22.4%) あった。その要因の 1 つとして、Visual SLAM による位置推定の場所に誤差が発生したと考えられる。位置のズレを回答した体験者の位置情報履歴を確認したが、この体験者のワールド (仮想空間 (MR) 上の世界) 内の位置が、実際に体験者が立っていたと思われる位置より少しずれていたことを確認できた。位置のずれを感じた体験者は、Visual SLAM の位置推定に必要な特徴点として認識しづらい方向 (夜空や明かりの少ない後方等) を一定時間見続けたことにより、Visual SLAM の位置推定に誤差が生じたものと考えられる。

体験者の 7 割以上が歴史文化への興味や理解度が増したと回答したこと、自由記述回答にて「MR グラスを用いてリアルな追体験をすることでより興味が出た」「近未来と歴

史文化の融合が魅力的だった」といったコメントがあったことから、MR 映像と文化史跡の融合が、歴史文化への興味や理解度向上に有効であることが確認できたと言える。

奈良県民と県外在住者でクロス集計したところ、県外在住者の方が「とても増した」「増した」という回答が多かった。MR 体験を通じて、県外在住者に対して奈良の歴史や文化により興味を与えることができることが確認できた。一方、奈良県民からも「奈良に住んでいるので奈良観光に対して興味はなかったが、この体験でより奈良の歴史や文化に興味が出た」というコメントがあり、このことから、これまで歴史文化に関心が薄かった層へのアプローチ策としても有効と考えられる。

自由記述回答で「ガイドンス会場にあった遣唐使の説明文を読んだことで興味関心が増した」「MR 体験を通じて歴史を深く知ることは難しかったが、事前の説明があったことでより楽しめた」「(ストーリーの)事前知識が必要と思う」「今回の体験で少し歴史について調べてみたいと思った」「音楽だけでなく、ストーリーがわかるナレーションがあってもよいのではないか」といったコメントがあったことから、体験前のガイドンス、待機場所の案内板やパンフレット等で歴史や文化に関する補足情報を伝えることによって、より歴史文化への興味や理解度向上の効果が期待できると考えられる。

体験者の9割以上が今回の実験場所であった平城宮跡歴史公園で新しいMR体験があればまた利用したいと回答しており、MR技術を用いた歴史文化体験が観光客の再訪意欲の向上に寄与することが確認できた。映像コンテンツの内容や、公園内で体験できる場所を複数設ける等してMR体験のバリエーションを増やすことにより、リピーターの獲得にも繋がると考えられる。また、桜の時期以外の吉野山で満開の桜が体験できるコンテンツ等、オフシーズンの集客につながるコンテンツの提供も考えられる。

同じく体験者の9割以上が他の史跡でもMR体験ができるとしたら体験してみたいと回答しており、複数の史跡や観光スポットでMR体験を提供し、それらを一連の歴史文化体験として繋ぐことにより、観光客の滞在時間の長期化や周遊性促進の効果も期待できる。

自由記述回答では「歴史的背景を強く持つ場所で体験してみたい」「元の形が残っていないほど価値が出ると思う」「山の辺の道等で歩きながら往時を体験できれば魅力向上に繋がる」といったコメントがあった。建造物が残っていない史跡で当時の建造物等をMR映像で再現すること、より広範囲での移動を伴う体験コースを提供すること、同じ場所でも時間帯によって体験できるコンテンツを変えること等により、更に滞在時間の延長や周遊性の向上が図れると考えられる。

また、奈良県内の文化史跡の多くは、開館・開園時間が日中に限られるため、本実証のように夜間に体験できるコンテンツが増えることで、宿泊客の増加に繋がることも期待できる。

費用対効果については、6章で詳細を記載するが、MR歴史体験としての収益を検討する上で、顧客一人当たりのサービス単価を上げることが必要となる。今回のアンケートでは、体験者の半数が1000円と回答しているが、コンテンツの内容や時間によっては1000円以上でも良いとコメントした人が複数いる。2000円以上及び2000円を選んだ体験者が3割近くいること、MR体験について「とても楽しかった」と回答した人に限ると4割が

2000 円、またはそれ以上払っても良いと回答していることから、満足度の高い内容を提供することにより、顧客単価を上げることが可能と考えられる。

自由記述回答のコメント等から、体験時間を長めに設定すること、MR グラスの視野角を大きくすること、旅行商品に組み込むこと、パンフレットや施設内の案内等で体験できる内容を PR すること等が有効な手段として考えられる。

今後の課題の 1 つ目として、複数の体験者から指摘があった、MR グラスの視野が狭いことが挙げられる。この点は現状商品化されている MR グラスは全て同様な視野角であり、直ぐには解決し難い課題であるが、現在の主流である光学透過型ディスプレイの進化や、網膜照射等新しい表示技術を使った製品の登場によって、MR 映像の視野が広がることでより没入感が増し、利用者の満足度向上に繋がるのが期待できる。

2 つ目として、現状、屋外での MR 体験が可能なのは外部環境光の影響より、日没から夜間に限られることである。前述の通り、夜間に体験できることは宿泊客の増加に繋がる効果が期待できるが、奈良県を訪れる観光客の多くは日帰り客であることを考えると、日中も体験できることが望ましい。

3 つ目として、同時体験者人数の拡大がある。本実証では、家族旅行等個人旅行での体験を考慮して、6 名と設定したが、アンケートの自由記述回答には、修学旅行や団体バスの受け入れを考える場合には同時体験者数を 20～30 名程度にする必要があるとコメントがあった。開発システムは 20～30 名の同時利用は可能と考えられるが、MR デバイス等機材手配・管理面、ネットワーク帯域面、運用人員面等で大人数対応用に検討が必要である。

4.4.3 新たな移動体験

(1) 実施概要

持続可能な観光の実現に資する実証（新たな移動体験）の効果を検証した。

(2) 評価・検証項目

施設間の移動の際にも歴史文化体験を提供し、世界観を分断しないような移動案内を提供した。体験者へのアンケートを通じて、定量調査、定性調査を実施した。

アンケートについては、新たな歴史文化体験と合わせて実施し、体験者属性や環境情報等の質問事項は共通化した。

- 設問数 9 問
- 想定回答時間：10 分程度（移動体験、体験者属性含む）
- 単一選択／複数選択／理由要望など自由入力を併用
- サンプル数：18 人×4 日＝72 名

また、安定性や応答までの時間などについては、ログ解析を行い定量的に評価した。

(3) 評価・検証方法

表 4.4.3-1 評価・検証項目

分析項目	概要	アンケート
新たな移動体験の効果	施設間の移動の際にも歴史文化体験を提供し、世界観を分断しないような移動案内を行うことによる効果を検証する。	Q20~28
安心、安全の評価	乗客の動作に対する、アナウンス、注意喚起提示までの時間で、乗客の安心、安全の評価を行う。	Q20
安定性の評価	ローカル 5 G のネットワークが安定しており、通信が途切れず処理ができたかで安定性の評価を行う。	Q21
低遅延の評価	乗客の発話完了から、応答までの時間の評価を行う。	Q21
無人自動運転の効果	乗降時やドライバのいない状況下における乗車中の体験（不安感はないか）の評価を行う。	Q22
感染防止への効果	6 人乗りの乗合（バス）自動運転カーを活用した移動サービスのコロナ対策に関する安心感の評価を行う。	Q36

※車両状態の注意喚起については、検知後 3 秒以内を目標とした。

※特に以下の視点を盛り込んだ体験者の満足度・理解度等アンケート調査を実証実験の体験者一人ひとりに対して段階評価で答えられるアンケートを用意し、評価結果を集計することで体験者の満足度を数値化し客観的かつ詳細に分析・評価した。

- 無線化によるシステムの設定や運営の効率化
- 歴史文化等内容に関する理解度の変化
- 観光客の再訪意欲、年齢層、観光客の来訪時期、満足度・印象の変化
- 観光施設等への集客及び滞在の長時間化、周遊性促進等の効果
- 新型コロナウイルスに対する感染防止上の効果
- 上記を踏まえた費用対効果

(4) 評価・検証結果

1) 参加者アンケート結果

以下にアンケートの集計結果をまとめる。

記述回答は手書きであったので判読不明文字は“?”で記載している。

Q20.AI コンダクターのアナウンスタイミング（安全に関するアナウンス、歴史体験ガイドダンス）は適切でしたか?

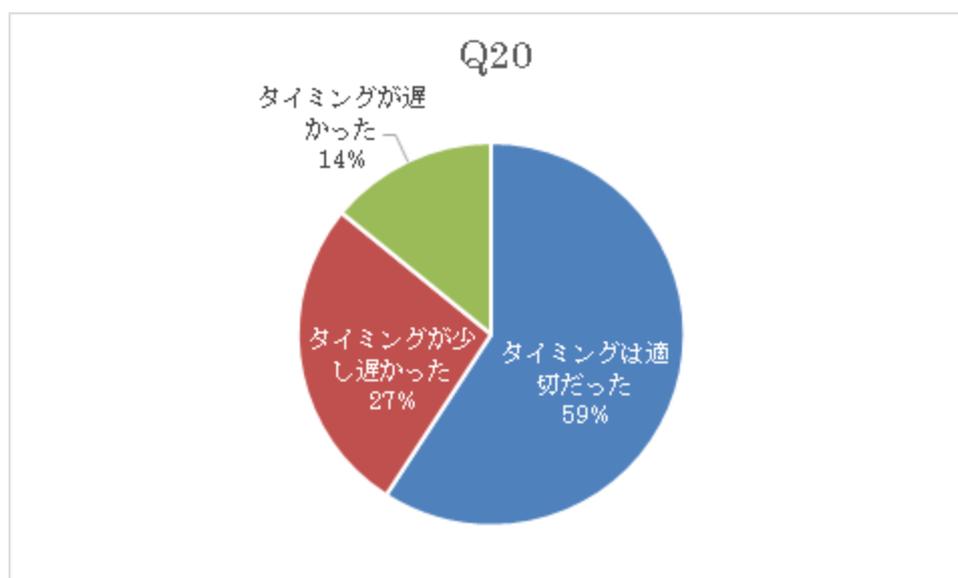


図 4.4.3-1 Q20 アンケート結果

表 4.4.3-2 Q20 記述回答

No	記述回答
1	対話という感じではなかった
2	しゃべりすぎ…マスクの認識がおかしかった
3	どのタイミングが適切だったのかがよく分からなかった。
4	質問をした際
5	会話のキャッチボールのタイミングがつかみにくかった
6	マスクや車外に手を出したらすぐに注意されたので
7	全体に
8	問答のとき
9	様々な場所ずれを感じた
10	音声の認識がもうひとつだった
11	答えるタイミングが少しおそかった
12	対話とのズレが生じていた

No	記述回答
13	体験時間が短いので簡潔な方が良い
14	手を車両から出しても、だいぶ経ってから注意アナウンスが出たので
15	アナウンスと車の動きの注意喚起が重複するのはカイゼン必要。例えば声を男女で分けるとか。
16	走行注意と歴史ガイダンスが重なったとき
17	質問者の問いかけの仕方によって違う返答になったところ
18	特に問題ないと思う
19	ガイダンスに安全に関するアナウンスがはさまってくるので、途中で途切れ感がある。ガイダンスと安全アナウンスは別にするとか並行してながれる方が良いかと思った
20	マスク外した際の反応は良かったが、手を出したりした際の反応は悪かった、遅い
21	反応が遅れるケースがあった（さらにAIの学習して行って下さい）
22	音声対応が入り混じっていた
23	少しズレはあるが、質問への回答は早かった
24	正常に動作しなかったので評価できなかった
25	うまく反応していなかった
26	認識に時間的なズレがあったと感じました
27	反応が遅かった
28	アナウンスがワンテンポ遅く感じた
29	調子が悪くアナウンスがあまり機能しなかった
30	マスク非着用に対する注意
31	適切だったと思う。右に曲がるタイミングは確実にアナウンスされていた（話の途中でも）
32	安全に関するアナウンスが反応しない時があった
33	全体的に人間よりは少し受け応えが遅いように感じられました。手を出した時、1回目は警告されませんでした

Q21.AI コンダクターとあなたとのやり取り（対話）は滑らかでしたか？

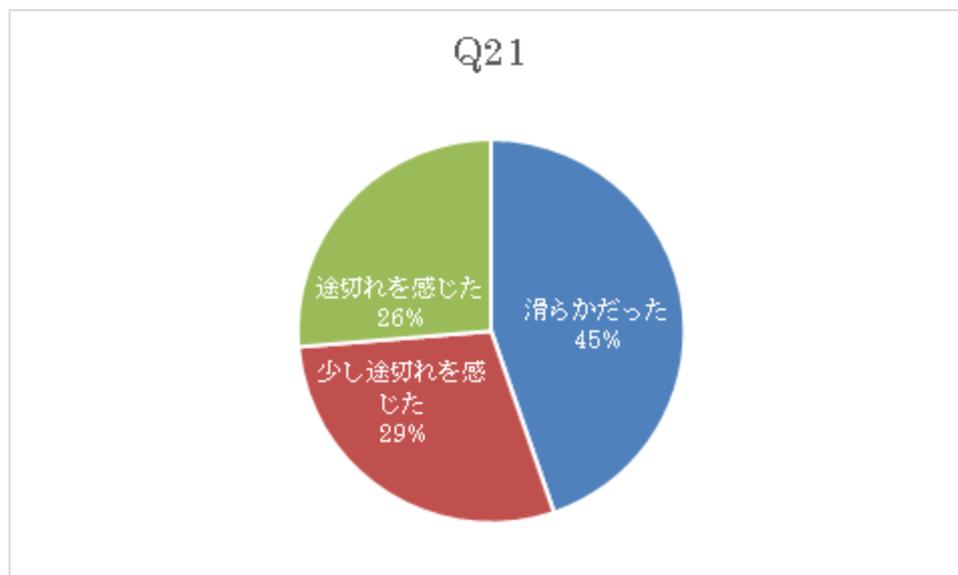


図 4.4.3-2 Q21 アンケート結果

表 4.4.3-3 Q21 記述回答

No	記述回答
1	会話のテンポは技術的に難しいだろうが噛み合っていないところもあった
2	対話中にマスクの指摘が多かった
3	うまくかみあっていなかった。マスクエラー？
4	質問のタイミングが難しかった
5	話している内容が答えなのか、別の案内なのかわかりづらかった
6	天平文化について詳しくなかったなので、説明は分かりやすく面白かったです
7	質問表の通り質問をしたが無視された
8	質問に対しての答えがなかった。（ある質問に答えず、次の質問には答えていた）
9	たんちょうなので…OkGoogle とか Siri みたいに話して欲しい。
10	通じなかったことが多々あった
11	（会話が噛み合っていなかった時がある）
12	感じなかった
13	話しかけるタイミング
14	（右に曲がるという案内途中で、手を出さないでくださいという注意が流れた）
15	人の発生のムラ。声の大きさ等 AI が認識し切れていないのでは？
16	円滑な対話が難しかった
17	何度かあった。Q20 の回答のとき

No	記述回答
18	説明とまがるアナウンスがかぶってしまった
19	安全系のアナウンス割り込み
20	問いかけについての反応で感じた
21	不自然な会話があった
22	回答までの反応は早かった
23	マスクの色で認識がうまくできていなかったのではないかと思った。
24	質問と回答の時間差がありました
25	アナウンスが重複していて聞き取りづらかった
26	おおむね反応は良かったと思うが、少し話しての内容を聞き取れてなかった時があった
27	質問と回答を適切に認識できれば、会話自体はスムーズと感じました。（早口だと苦手かも）

Q22. ドライバのいない自動運転車には安心して乗っていただくことができましたか？

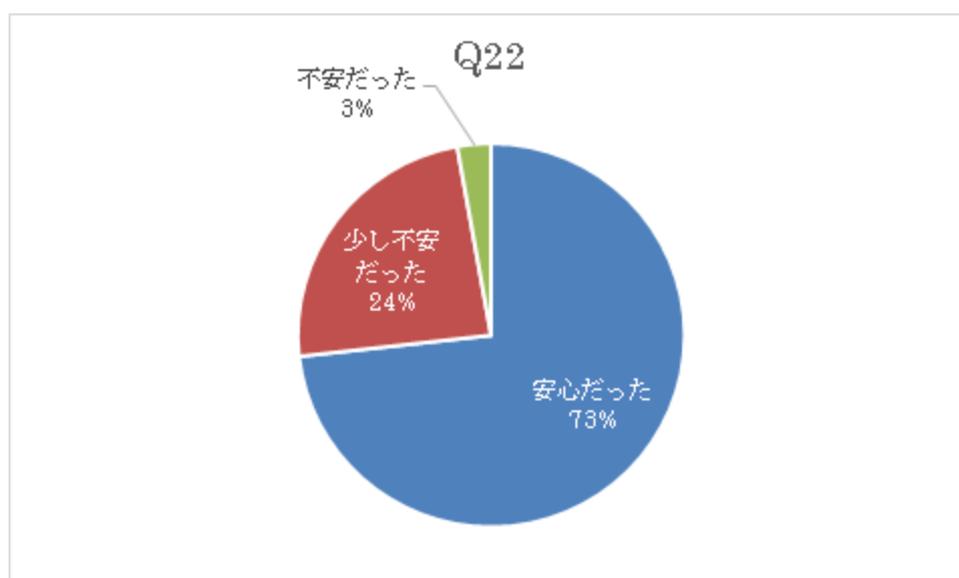


図 4.4.3-3 Q 22 アンケート結果

表 4.4.3-4 Q23 記述回答

No	記述回答
1	急に止まったりしていたので不安になりました
2	カーブ等がうまく動作できていなかった
3	ブレーキがガタンとなるので少し不安だった
4	ブレーキがたまに突然踏まれることがあったため。
5	初めて乗ったため

No	記述回答
6	自分で運転するのでコワイ
7	横断歩道でブレーキがかかったが案内がないため不安を感じた
8	低速だったので安心だった
9	特に気にならなかった
10	慣れていないので
11	右折時にガクンガクンした
12	バッテリー切れか?と思えるところが数回あった。(急に停車した)
13	理由不明で停車してしまったとき
14	最初は順調だったけど途中で止まったりしたから
15	最初にまっすぐ行くと思ったら右に行ったとき、あれ?と思いました
16	停止する時が少し急な感じがした
17	この速度なら安心
18	少し動いて止まるが繰り返されるので、降車タイミングが分からない。付き添いの方の指示がなければ分からなかった。
19	安全だと感じられるスピードだったため
20	前方の人で一旦止まったが、再スタートした時、すぐに止まると思えなかった
21	技術的な確証がないまま乗ったため
22	単に初めてだったので
23	動きが若干滑らかになっていないところがあった。
24	遅いので安心だった

Q23.AI との会話を通して (AI との会話を聞いていて) 行ってみたいと思った史跡はありますか? (複数選択可能)

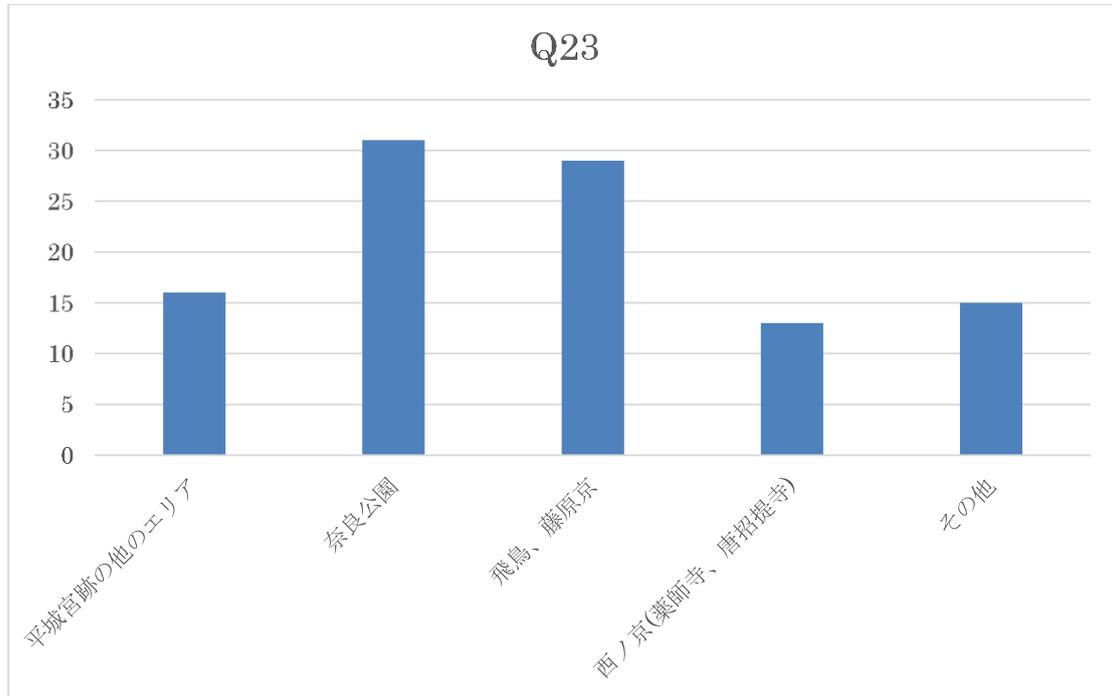


図 4.4.3-4 Q23 アンケート結果

表 4.4.3-5 Q23 記述回答

No	記述回答
1	残念ながらマスク着用 warning のアナウンスが多発しており会話にならなかった
2	広いエリアのため
3	他の地域の遺跡など
4	ちゃんと聞いてないゴメン
5	特になし
6	ない
7	ここを楽しんだ
8	なかった
9	安倍文殊院
10	山
11	斑鳩
12	なし
13	若草山
14	特に感じるものがなかった
15	興味わかせる会話案内がなかった

Q24.移動体験で楽しかった点は何ですか？

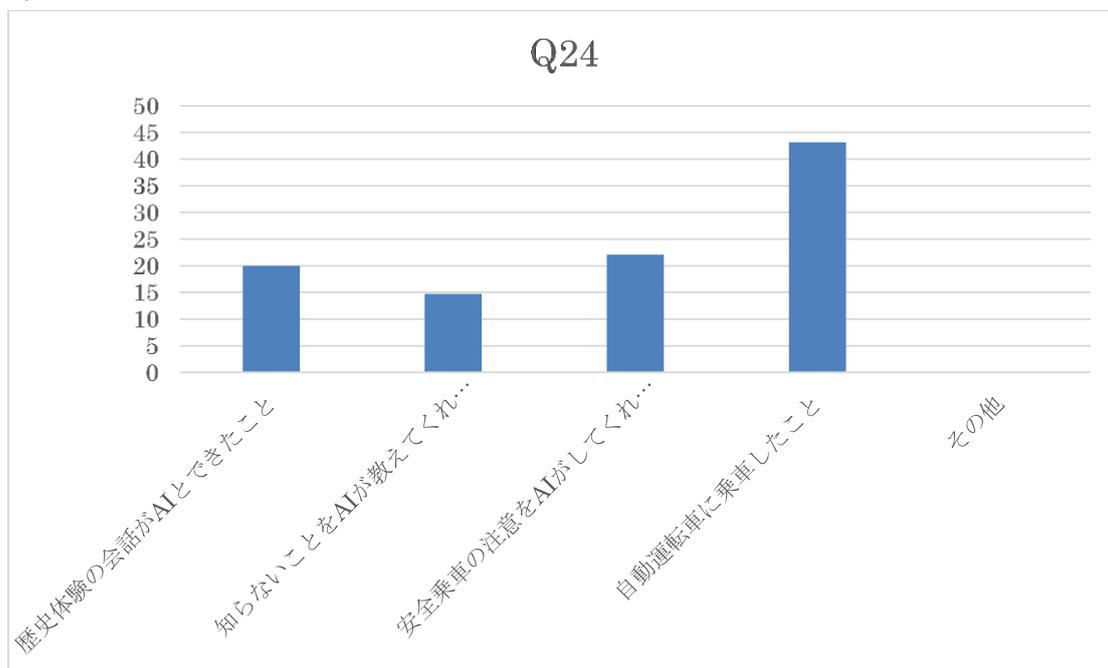


図 4.4.3-5 Q24 アンケート結果

表 4.4.3-6 Q24 記述回答

No	記述回答
1	質問したらすぐに答えてくれて、とても面白かったです
2	初めての体験なので
3	安全対応に良いと思いました
4	うまく認識しないことがあり、やりとりがこっけいだった
5	自動運転が一般的になればとてもうれしい
6	(無関係な質問をした時会話に工夫が必要)
7	今日のルートでは周遊する意味がわからなかった
8	アナウンスに関しては必要ないと感じた。今のクオリティでは(違う言い方したら答えてくれなかった)
9	無人車に乗りながら周りの景色を観れるのは楽しかったです。AI との会話は機械的なのであまり好みではないです。
10	今日は駐車場(安全な所)でしたが、人がいるような所でも走ってみたいかった
11	(AI が「春日山は入れない」と答えたが入れます。奈良県は春日山を観光PRの強化予定)
12	マスク着用の判定を色や明るさで行っているのか、暗色のマスク着用者を非着用と判定した
13	自動運転のスピードが上がるとよい。歴史体験の度合いももっと濃くするとよい。
14	エリアが広がれば、もっと楽しいかも。実証エリアが狭いので

No	記述回答
15	ハンドルやブレーキも自動でスムーズでした。安心して乗車することができました
16	自動運転でここまでできるということを体験できたため

Q25.移動しながら AI コンダクターと対話してみたいのは、どんなときですか? (複数選択可能)

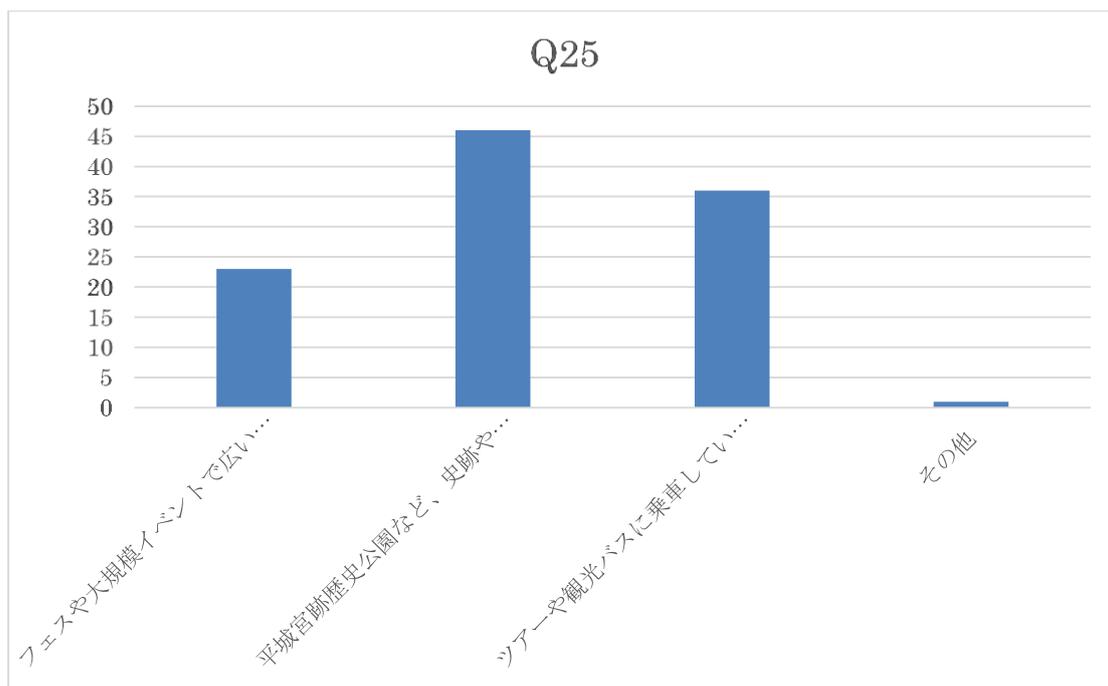


図 4.4.3-6 Q25 アンケート結果

表 4.4.3-7 Q25 記述回答

No	記述回答
1	こちらに聞いたことに答えて欲しい
2	次の拠点の説明と見どころ等
3	多勢いると話しくそう
4	ぼっち旅行が楽しくなる
5	道に迷ったり、分からないことがあれば会話したいけど特に話したいとは思わない
6	決まった会話だけでなく、普通の会話ができるとよい

Q26.移動中以外でAIコンダクターと対話してみたい場所はどこですか?(複数選択可能)

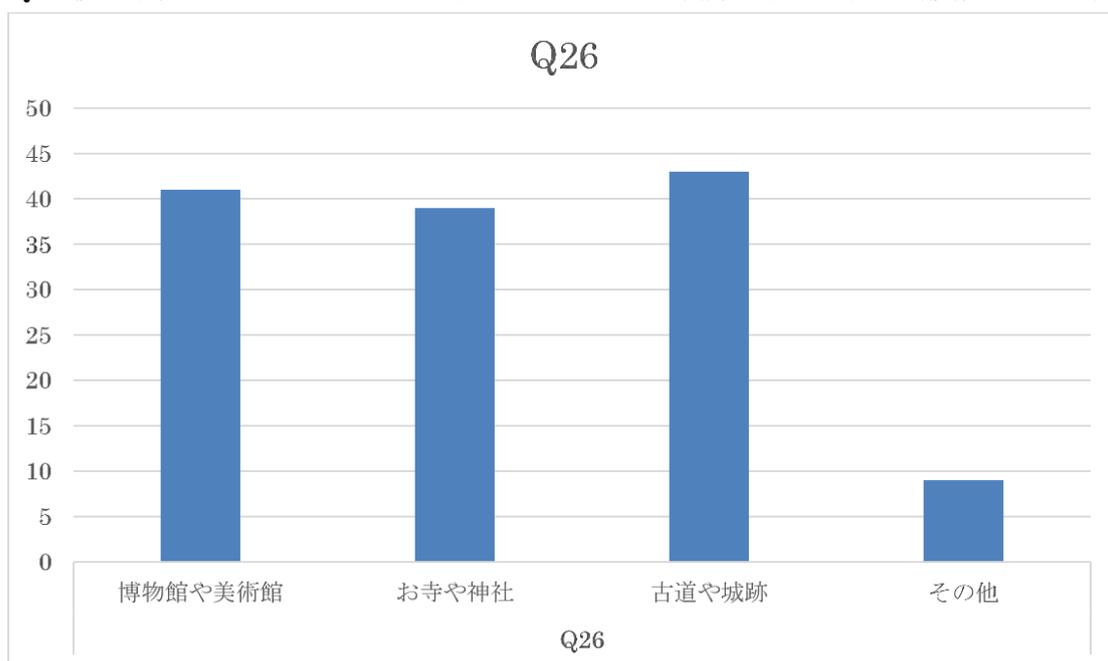


図 4.4.3-7 Q26 アンケート結果

表 4.4.3-8 Q26 記述回答

No	記述回答
1	詳しい内容を教えて欲しい
2	旧跡は、そのいわれをガイドにしてもらうことで理解できるため
3	お寺や神社は少し違う気がします。
4	グーグルの役目をAIコンダクターがやってくれるなら便利
5	テーマパークや商業施設
6	(他県も)
7	ない
8	何か知らないことを案内してくれたらうれしい。会話じゃなくて説明して欲しい。知らないと質問が出てこないから。
9	歴史施設の開設をもっと充実させるとよいと思う。AIが事前学習して、そのAIと普通の会話をしたい。

Q27.AI コンダクターでどんなことを知りたいですか？（複数選択可能）

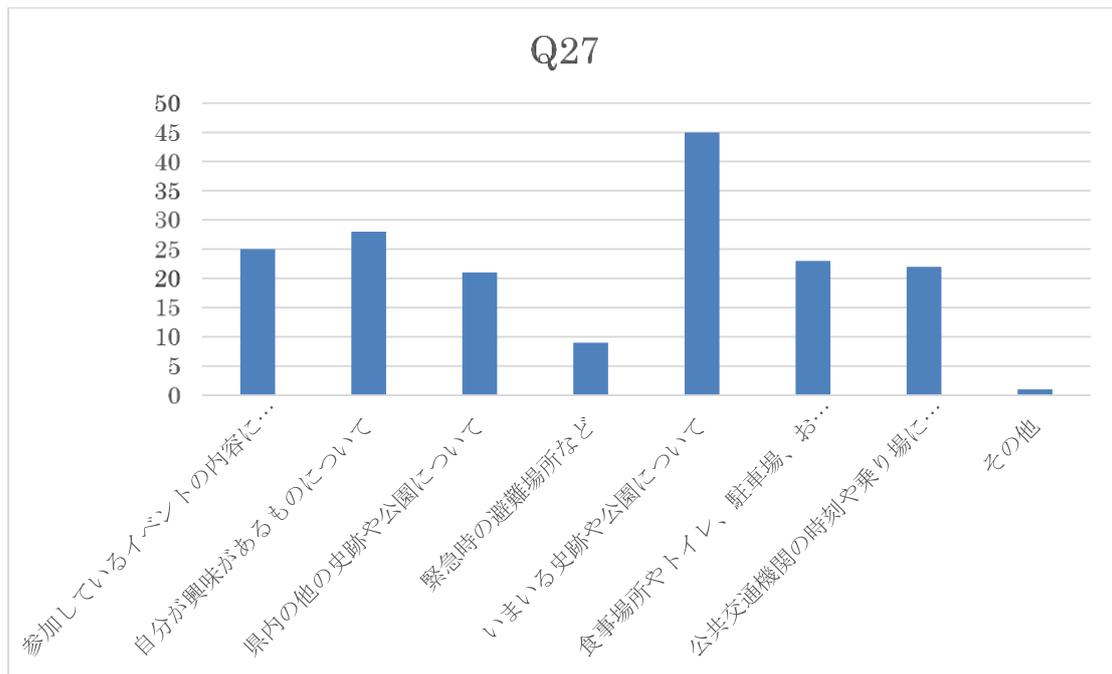


図 4.4.3-8 Q27 アンケート結果

表 4.4.3-9 Q27 記述回答

No	記述回答
1	MAAS 等連携できたら素晴らしい
2	会話したい
3	自分で調べようと思えばできることなら、高額は払うのを迷う
4	対話だと質問できる人が限られる。また精度の問題もある。
5	歴史、公園のほか、周辺の公共交通も含めてコンダクトしてもらおうとよい

Q28.どのくらいの価格までなら利用したいと思いますか?上限の金額をお答えください
(複数選択可能)

自動運転車+AI コンダクター

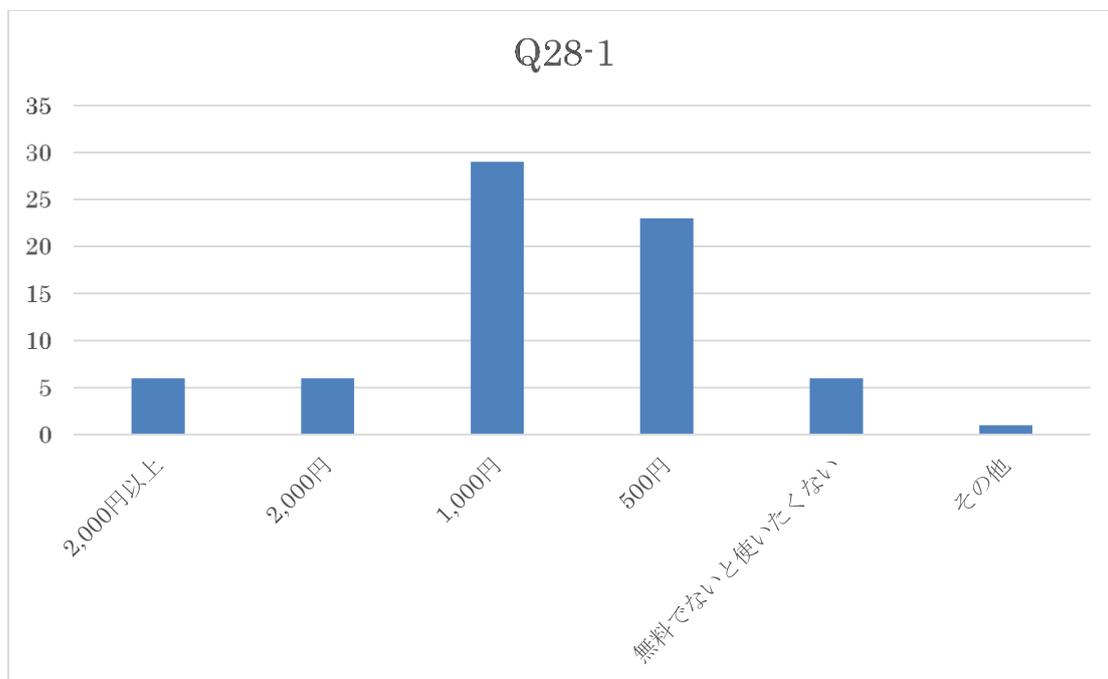


図 4.4.3-9 Q28 自動運転車+AI コンダクターアンケート結果

AI コンダクターのみ

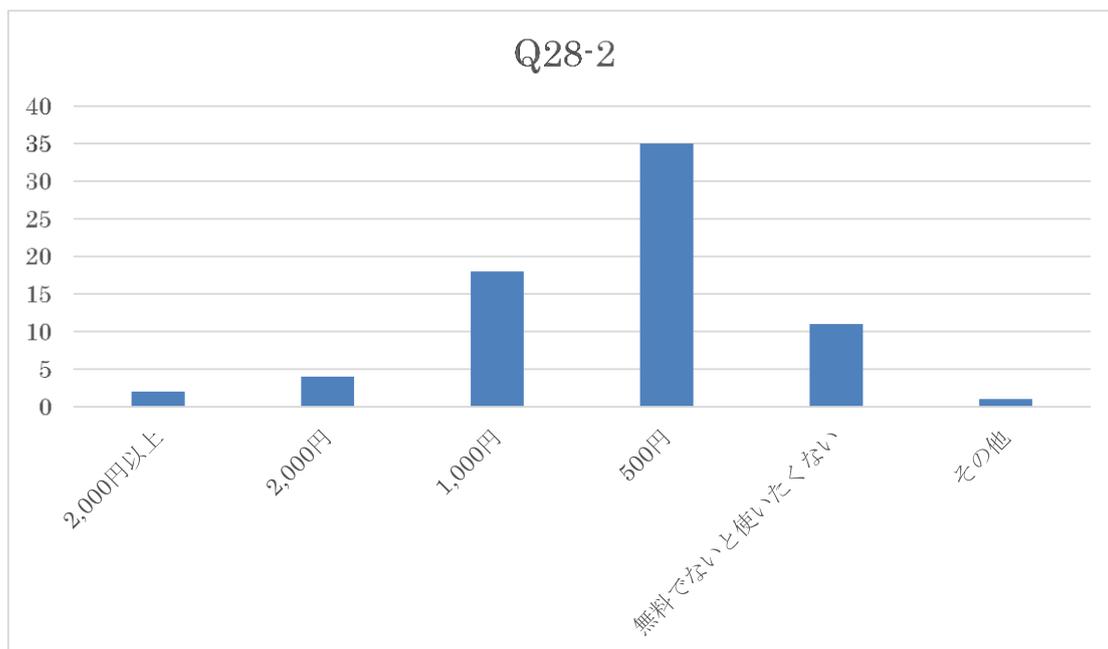


図 4.4.3-10 Q28 AI コンダクターのみアンケート結果

表 4.4.3-10 Q29 記述回答

No	記述回答
1	AI コンダクターのみだとちょっと不足かも.Siri などが無料なので
2	(広いところ案内してもらおうサービス、???ニーズある。のりおり自由、止めたいところで止まってもらおう(??))
3	歩くことが好きなのでよほどの長距離でなければあえて乗ろうとは思わない
4	旅行商品、アクティビティ(拡張性利便性上がる、JTBとかより小さい地元の旅行会社の方が良い、よくわかっててコアなところ??する堀井さんとこ(や?とびと)これ以降のコメントコピー切れ)
5	AI コンダクターはおまけという認識
6	博物館の音声サービスと同じ程度
7	移動手段として広い場所で使えると思う。遊園地内巡航バス等に良いのでは。一日乗り放題とかの使い方にする方が良い
8	楽になるのであれば、500円はおしくないと思います
9	AI コンダクターでお金を払うのは難しいと思います。ネットで調べられるので。
10	入場料金レベルであれば良いと思う
11	移動車両乗車は移動距離にもよるが、今回よりも移動する場合は1000円払っても良いかもしれない。美術館や博物館での音声ガイド貸出相場を考えるとAI コンダクターのみは500程度が妥当だと思う。
12	スピードがもっと速いと金額が上がる。自動運転の面白さ、?さが体験できるとよい。(通常の車に乗ってる感覚もあり、何か自動運転だと感じるものがあるともっとよい)

(5) 分析・評価

1) 分析

a) アナウンス内容分析

本項では、自動運転車状態アナウンス、乗客との対話、乗客の動作への注意喚起(姿勢推定、マスク着用)の内容を、映像及び音声进行分析した結果を示す。

・自動運転車状態アナウンス分析

自動運転車状態アナウンス回数を、表 4.4.3-11 に示す。

周回路を走行する場合の標準的なアナウンス回数は乗車時着座検知、発車、周回路へのレーンチェンジ、右折(4回)、目的地付近、到着降車の9回アナウンスを行う。

実証実験としては全日で12周走行を行った。12周中総アナウンス回数110回実施。内108回が正常アナウンスできており、98%が正しく動作したという結果になっている。

正しくアナウンスできなかった1周は自動運転FMSとのネットワーク回線不調のためか、発車状態の通知をAIコンダクターが受け取れず、状態不一致となり走行中にもかかわらずAIコンダクターは停車している状態となった。そのため、アナウンス及び対話、注意喚起が途中まで行うことができない状態となっていた。保安員による自動運転車の停止、再発車

及び AI コンダクターの手動での自動運転 FMS との再結合を行い、1/3 周走行後から正しくアナウンスを行った。このため、発車アナウンス、レーンチェンジアナウンスの 2 回正しくアナウンスができていない。自動運転 FMS と AI コンダクター間のインターネットの状態による一時的な切断が要因で、ローカル 5 G としては問題なく、映像、音声は正しく送信し続けていた。インターネット回線異常時の再接続処理も実装は行っていたが、自動再接続ができなかった。外部的な要因もありログだけの解析は困難で再発防止については今後の課題となる。

表 4.4.3-11 自動運転アナウンス分析

項目	実施日	2021/2/26			2021/2/27			2021/2/28			2021/3/1			合計
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
自動運転	正常アナウンス数	9	9	9	9	9	11	9	9	9	9	7	9	108
	回数	9	9	9	9	9	11	9	9	9	9	9	9	110
	正解率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	78%	100%	98%

なお、実証実験時の 2 月 27 日 3 回目は、周回中に一般車両が駐車場から出てきたため保安員の判断でリモートコントロールにより自動運転を停止することがあった。これに伴い停車、再発車のアナウンスを行ったため、所定アナウンス数が 2 回多い。この時、自動運転から手動運転に切り替えた場合も正しく乗客へのアナウンスは行われた。

・乗客との対話内容分析

乗客の発話内容と AI コンダクターの応答内容を音声から分析を行った。分析結果を表 4.4.3-12 及び図 4.4.3-11 に示す。

AI コンダクターの 4 日間の総アナウンス数は 124 回であった。合計 12 周周回しているので、一周の平均発話数 10.3 回の AI コンダクターから乗客への説明を行っていた。AI コンダクターのアナウンス文の平均発話長が 16.0 秒。乗客は平均して $16.0 \times 10.3 = 165.0$ 秒 AI コンダクターのアナウンスを聞いていたことになる。

一周平均 4 分 39 秒(約 280 秒)で走行していたので、全体の割合的には $165.0 / 280 = 59.0\%$ となり、おおむね半周程度は乗客との対話を行っていたことになる。

また、乗客が発声した内容を音声認識結果と応答文から分析し、乗客の発話に対し正しい応答を行っているかどうかを判断し適切な応答を行っているものを正常応答数として正解率を計算した。

その結果、乗客の質問に対する正解率は表 4.4.3-12 の通り 82%となっていた。

表 4.4.3-12 乗客との対話分析

項目	実施日	2021/2/26			2021/2/27			2021/2/28			2021/3/1			合計
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
対話	正常応答数	7	0	3	3	5	6	3	7	8	6	1	5	54
	想定質問数	7	0	3	4	6	9	5	9	8	9	1	5	66
	正解率	100%	0%	100%	75%	83%	67%	60%	78%	100%	67%	100%	100%	82%

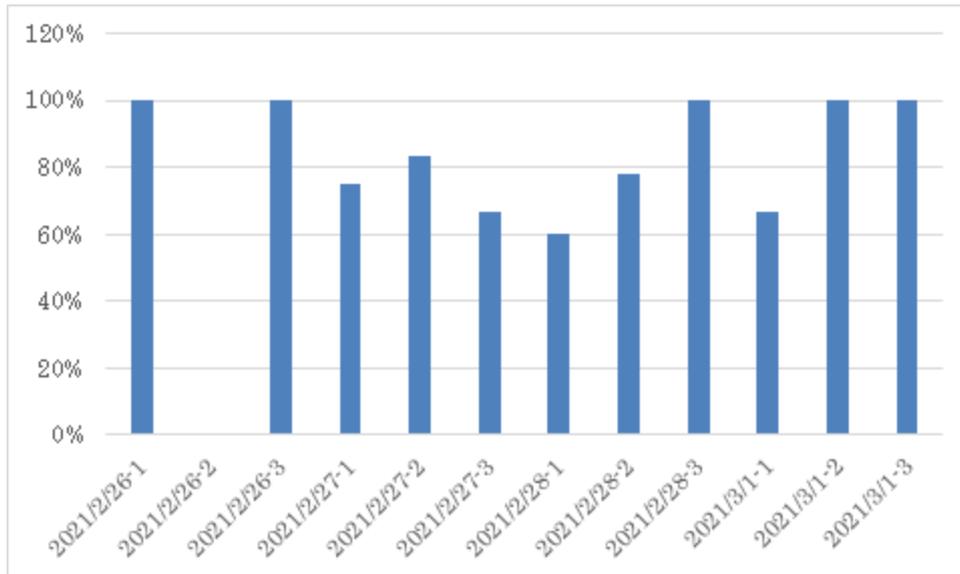


図 4.4.3-11 乗客との対話分析

2月26日2回目の正解率は0%となっている。これは、“アレクサ”、“ちゃんとつけています”、“いっぱいあります”など、歴史体験とは無関係な発話のみで歴史体験に関する質問がなく回答ができなかった。

それ以外に乗客が正しく発話しているにも関わらず、応答が返っていない発話を分析すると、“マスクが早い”とマスク非着用検知に対する感想を発話した部分を音声認識し結果として音声認識後応答とカウント、“100%電気”と自動運転車の保安員に確認している発話など、AIコンダクターへの質問以外も応答していた。

また、音声認識誤りが多く見受けられ“三笠山”を“みか様”、“グルメはどこで堪能できるの”が“船はどこで堪能できるの”といった音声認識誤りがあった。一部は複数人同時に発話する、あるいは発話時に言い淀み、人間が聞いても判別不能な発話、マスクをしているため摩擦音（サ行の発音等）の誤認識もあった。

言頭の認識誤りも多く発話誘導用のピンという誘導音を鳴動しているが、鳴動と同時にまたは鳴る前に話し始めることがあったようである。これは、Q21の“質問のタミングが難しかった”といった記述回答にも上がっていた。

これらの内容から、雑談にも対応できるコンテンツの充実、乗客同士の会話とAIコンダクターへの発話との切り分け、音声対話ユーザインタフェースとしての発話タイミングをどう提示方法など、今後の改善していくべき課題を抽出できた。

・姿勢推定分析

姿勢推定による乗客への注意喚起タイミングについて映像から分析を行った。分析結果を表 4.4.3-13 に示す。

乗車中に乗客が手や顔を車外に出している際の注意喚起を発生した割合を行った割合は78%でおおむね姿勢推定による注意喚起を行ったといえる。

表 4.4.3-13 姿勢推定分析

項目	実施日	2021/2/26			2021/2/27			2021/2/28			2021/3/1			合計
	実施回	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
姿勢推定	検知数	1	0	2	1	1	2	2	2	3	0	2	2	18
	試行数	1	0	2	1	1	3	2	3	3	0	5	2	23
	正解率	100%	0%	100%	100%	100%	67%	100%	67%	100%	0%	40%	100%	78%

注意喚起できなかった映像を分析すると、要因が複数あることがわかった。

要因分析した画像を図 4.4.3-12、図 4.4.3-13 に示す。

図 4.4.3-12 の通り要因の 1 つとして、夜間での走行となったため車外に手を出した場合照明が当たらず腕があまり見えない。目視では難しい輝度であっても検知できるよう AI コンダクター内で輝度調整を行っているが、手を高速でふられた場合、カメラ自体の露光が足りず、腕がぼやけた映像しか録画できなかった。そのため腕と推定できず、車外に腕が出ているにも関わらず注意喚起アナウンスができなかった。

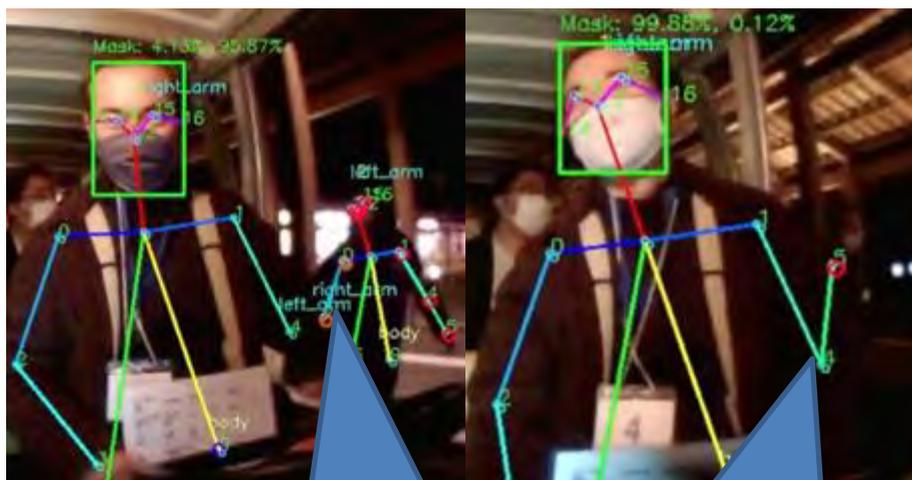
また、図 4.4.3-13 のように、事前確認では歩行していなかった自動運転車保安員が実証実験時には併走する形で歩行している。歩行する場所によっては、姿勢推定時に手を出した場所に重なり腕を検知できず、注意喚起ができない場合があった。また、逆に保安員を乗客の腕の一部と誤推定し車外に腕を出していないにも関わらず注意喚起を行うことがあった。

図 4.4.3-12 の現象は、街灯のある場所では正しく動作していることもあったが街灯のない走行区間では車外の姿勢推定が難しい状態であった。照明を車外に向けるとおそらく問題なく検知できたと思われる。

図 4.4.3-13 の保安員については実証実験時にのみ並走していたため、事前検証では問題が発生せず要因の分析が事後となってしまった。人員配置も含め事前に実証実験同等の環境での事前確認の重要性を考えさせられる結果となり、今後の運用に生かしていきたい。



図 4.4.3-12 手振りと照明不足



腕を出しているが、保安員と重なり腕が保安員かの推定を誤り腕と検知できない。

腕を出していないが、保安員の腕と重り腕が車外に出ていると誤検知。

図 4.4.3-13 保安員との検知部位の重なり

・マスク着用分析

マスク着用分析による乗客への注意喚起タイミングについて映像から分析を行った。分析結果を表 4.4.3-14 に示す。乗車中にマスクを外した非着用時に注意喚起を行った割合は 100%であった。

新型コロナウイルスが流行している中での本実証実施にあたっての安心感の向上に寄与できたと考えられる。

表 4.4.3-14 マスク着用検知分析

項目	実施日	2021/2/26			2021/2/27			2021/2/28			2021/3/1		
	実施回	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
マスク着用検知	検知数	1	0	2	1	0	2	0	0	2	1	2	1
	非着用回数	1	0	2	1	0	2	0	0	2	1	2	1
	正解率	100%	0%	100%	100%	0%	100%	0%	0%	100%	100%	100%	100%

2月26日の2回目、2月27日の2回目、2月28日の1回目、2回目とマスクを外す行為自体が行われなかったため0%となっている。

ただ、映像を解析すると着用しているにも関わらず、注意喚起を行ったことがあった。要因分析した画像を図 4.4.3-14、図 4.4.3-15、図 4.4.3-16 に示す。

図 4.4.3-14 は髪型が影響し誤検知となっている。前髪が地肌を隠したため誤検知による注意喚起が発せられる条件となってしまった。

図 4.4.3-15 は手で口を覆ったため、地肌と口周辺が同色となりマスク非着用と判断してしまった。

図 4.4.3-16 では、事前実証環境と実証実験環境との環境光の違いにより地肌とマスクの境目が判断しづらくなり、誤検知が発生した。事前検証時は実証実験実施時刻と同時刻で予定周回路を周回し、映像の確認調整を実施していた。実証実験環境では、平城宮跡施設の照明が灯されていた。事前検証では環境光がない状態で調整を行っていたため、実証実験環境では環境光が明るすぎ着用しているマスクの色がベージュやライトグレイの場合のみ誤検知するという現象が見られた。

環境光による影響は、姿勢推定と同様、実証実験同等の環境での事前確認の重要性を考えさせられる結果となり今後の運用に生かしていきたい。

髪型による誤検知については、マスク判定用モデルの学習データ不足によるもので、今後学習データを増やし検知率を上げてゆく必要がある。

手によるマスク隠しによる誤検知については、現状顔周辺の映像データのみで推論しているが、今後は体全体の姿勢推定も含め学習、推論する必要がある。



図 4.4.3-14 長髪の影響



図 4.4.3-15 手でのマスク隠し

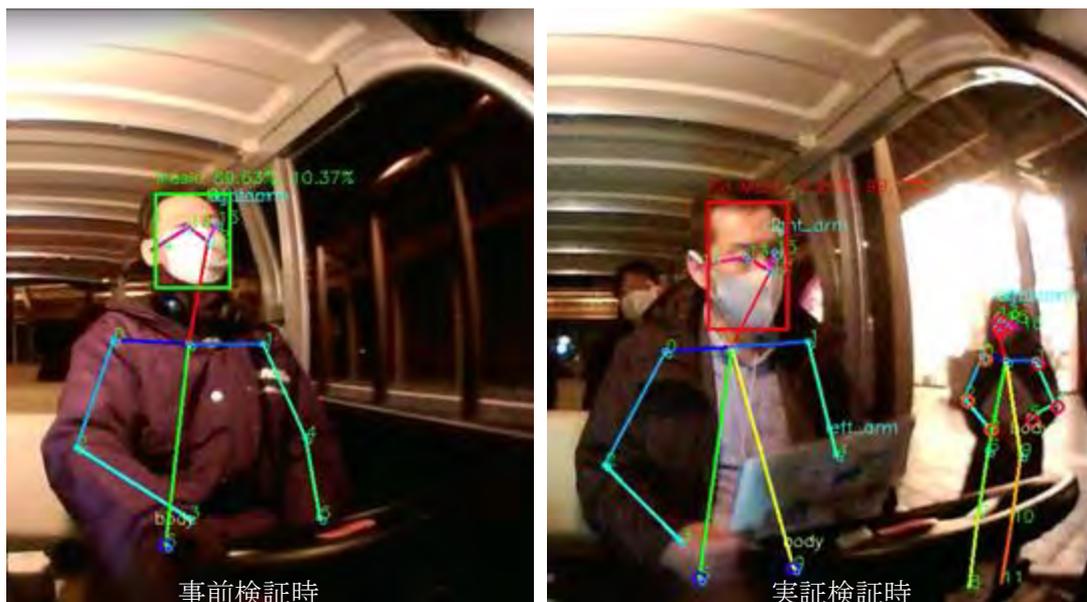


図 4.4.3-16 環境光の差異

b) アナウンスタイミング分析

自動運転車状態アナウンス、乗客との対話、乗客の動作への注意喚起（姿勢推定、マスク着用）の通知タイミングについて分析した結果を示す。

遅延の測定は、図 4.4.3-17 に記載のタイミングを測定した。

- 自動運転車の状態変化を受けてから、乗客に対するアナウンスを行うまでのタイミング。
- 乗客発話の音声認識結果を受けてから、乗客に対するアナウンスを行うまでのタイミング。
- 乗客がマスクを外した、あるいは車外へ手を出したと検知してから、乗客に対するアナウンスを行うまでのタイミング。

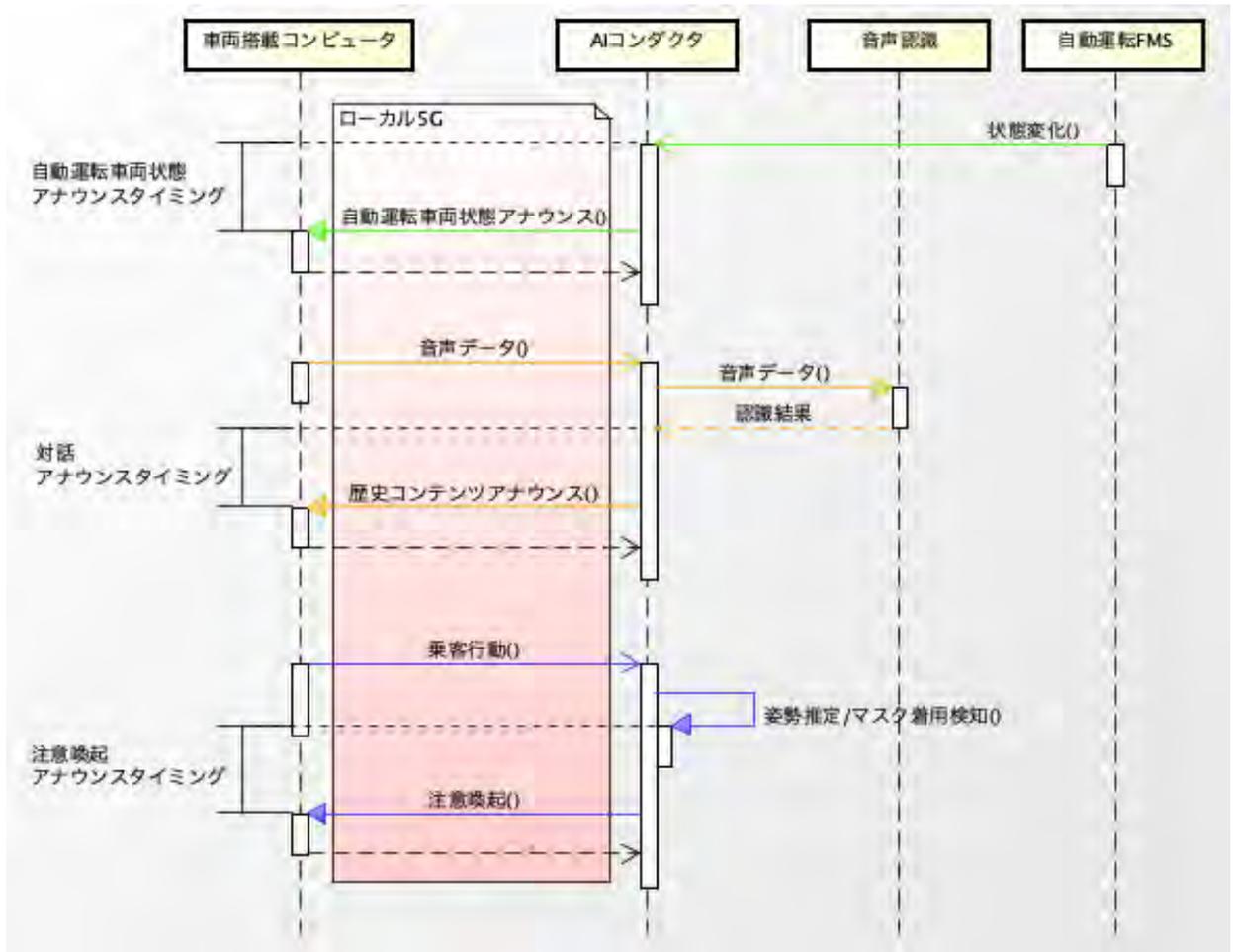


図 4.4.3-17 遅延の測定方法

・自動運転車状態アナウンスタイミング分析

図 4.4.3-18 に、自動運転車状態のアナウンスタイミングを示す。

測定の結果自動運転車状態のアナウンスは、車両状態変化から平均 427ms、最短 35ms、最長 880ms でアナウンスを行っていた。

最短の 35ms 時のアナウンスでは、コンテンツアナウンスを行っていない状態であったため最短で鳴動していた。

最長の 880ms 時のアナウンスでは、コンテンツの再生が行われており、割り込む形で鳴動するため、再生中コンテンツの一時停止、継続鳴動位置の保持などを行った後、車両状態のアナウンスを行うため、アプリケーションとしての処理で時間がかかっていた。

割り込み再生処理という処理として一番時間のかかる状態であっても 1 秒未満でのアナウンスを行っており、当初目標として上げていた 3 秒未満での動作ができていることが確認できた。

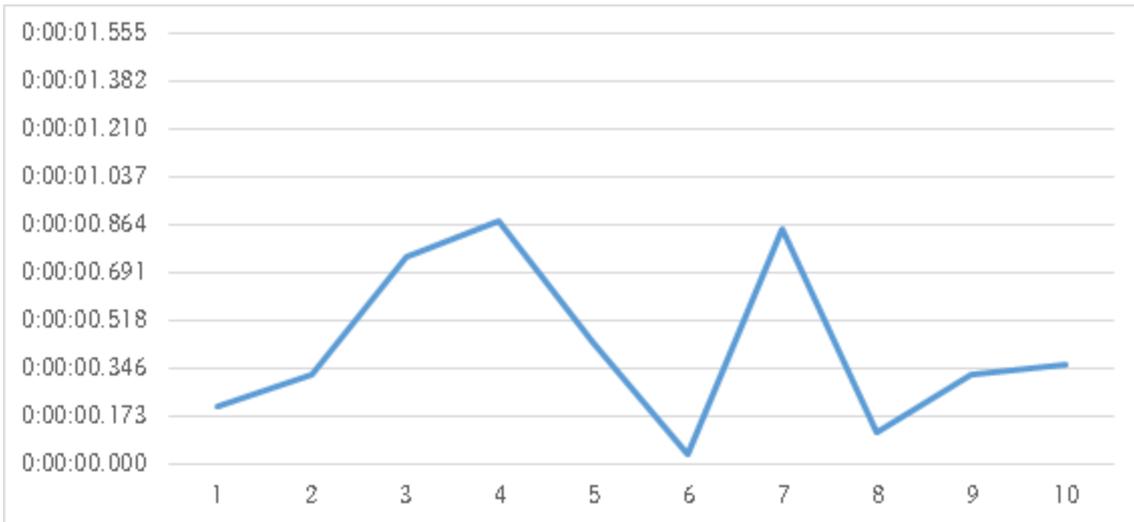


図 4.4.3-18 自動運転車状態アナウンスタイミング

・乗客との対話タイミング分析

図 4.4.3-19 に、乗客との対話によるコンテンツ提示のタイミング測定結果を示す。

コンテンツの鳴動は、自動運転車状態アナウンス、注意喚起アナウンスが行われていない内容を選び測定している。これは、対話コンテンツの鳴動プライオリティが最も低く、その他の鳴動要求があった場合、再生を一時停止する処理となっている。鳴動プライオリティの高い鳴動処理が行われている状態で計測を行うと、プライオリティの高い鳴動処理の鳴動完了を待っての計測となり、対話コンテンツとしての測定とならないためである。

準備している対話コンテンツの鳴動長は、1.1 秒～35.6 秒と乗客による発話内容に応じ変化があり、その都度鳴動準備を行うためある程度ばらつきが発生する。

測定の結果対話コンテンツのアナウンスは、音声認識結果取得から平均 348ms、最短 135ms、最長 856ms でアナウンスを行っていた。

今回の実証実験時の最大鳴動長コンテンツは 25.7 秒のコンテンツであった。鳴動長が長いデータの準備も含め、1 秒未満でのアナウンスを行っており、当初目標として上げていた 3 秒未満での動作ができていることが確認できた。

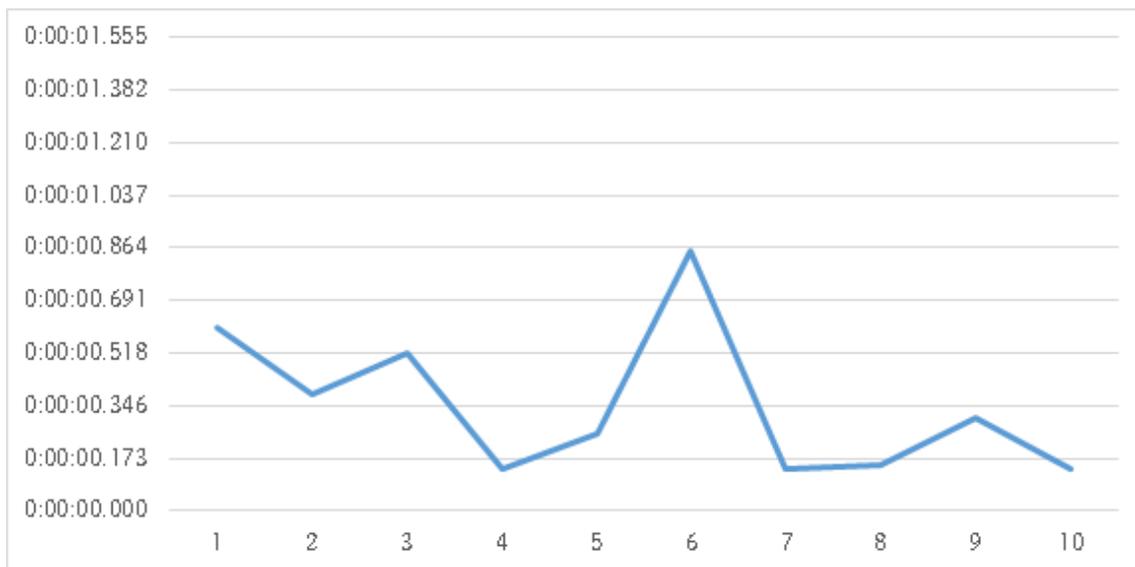


図 4.4.3-19 対話コンテンツアナウンスタイミング

・注意喚起タイミング分析

図 4.4.3-20 に姿勢推定による注意喚起タイミングの測定結果を示す。

姿勢推定からの注意喚起は、平均 647ms、最短 97ms、最長 1395ms でアナウンスを行っていた。

図 4.4.3-21 にマスク非着用による注意喚起タイミングの測定結果を示す。

マスク着用検知からの注意喚起は、平均 537ms、最短 241ms、最長 777ms でアナウンスを行っていた。

各々自動運転車状態アナウンス、対話コンテンツアナウンスに比べ、平均アナウンス時間が 100ms～200ms 長い。これは対話コンテンツアナウンス分析でも述べたように、注意喚起は対話コンテンツ鳴動時に割り込み鳴動するため、割り込み処理に時間がかかり、平均処理時間が多めになる。

割り込み鳴動を行った場合でも、当初目標として上げていた 3 秒未満での動作ができていることが確認できた。

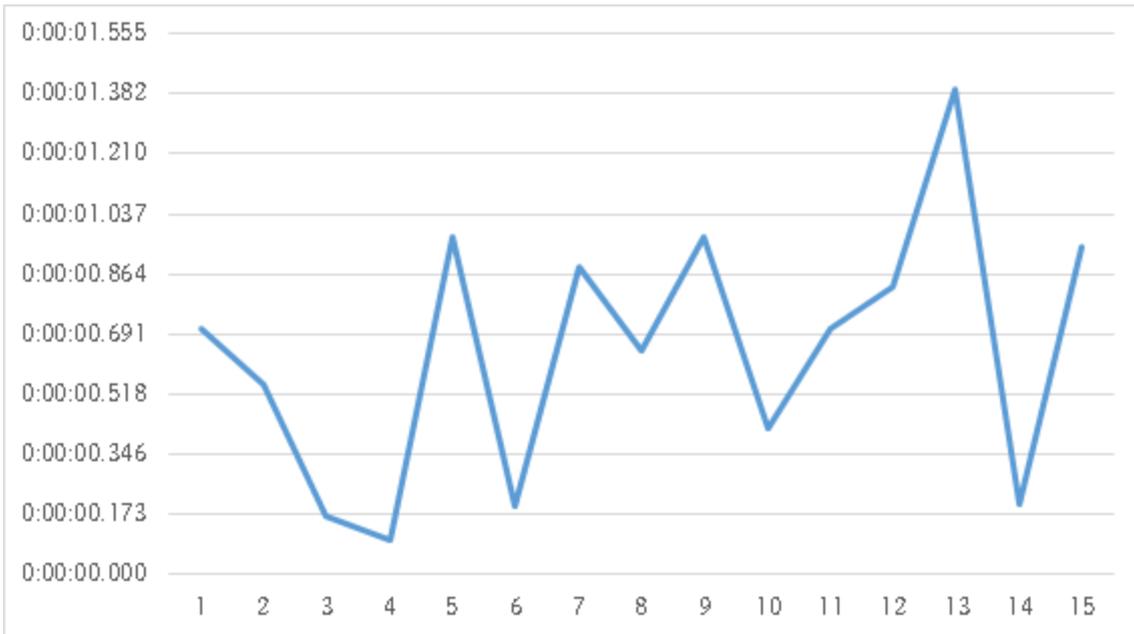


図 4.4.3-20 姿勢推定注意喚起アナウンスタイミング

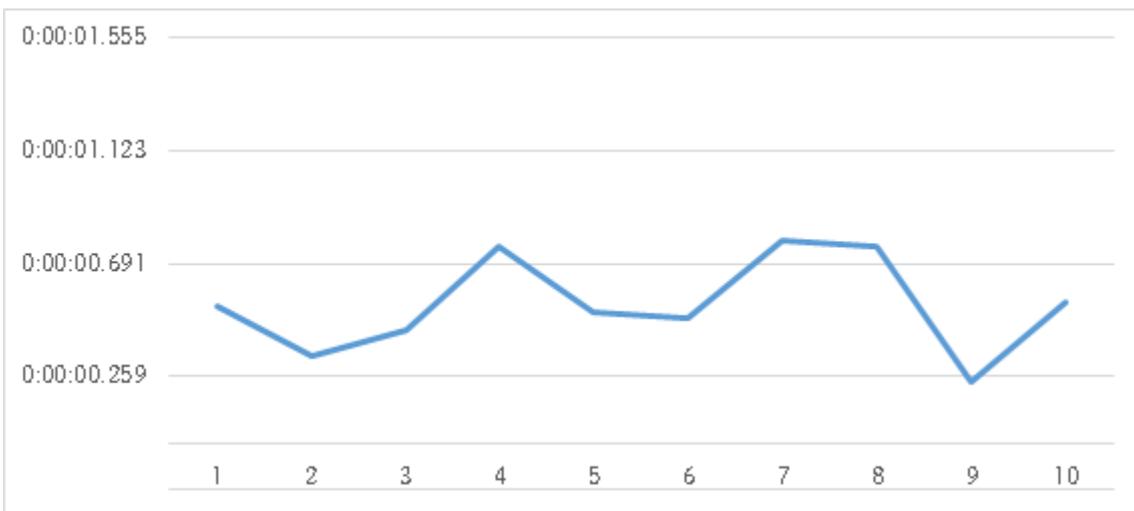


図 4.4.3-21 マスク非着用注意喚起アナウンスタイミング

2) 評価

a) 新たな移動体験の効果

・ Q20～28 の回答から、施設間の移動の際にも歴史文化体験を提供し、世界観を分断しないような移動案内を行うことによる効果を検証する。

AI コンダクターのアナウンスについては、“質問したらすぐに答えてくれて、とても面白かったです”、“安全対応に良いと思いました”、“ぼっち旅行が楽しくなる”という感想もあり、自動運転車という無人での移動手段であっても、満足度の向上、観光地の周遊性を高めるための有用な手段であるという結果を得られた。

一方で、“話しかけるタイミング”、“しゃべりすぎ”等 UI 的な改善ポイントや、“詳しい内容を教えて欲しい”といったコンテンツに対する改善ポイント等多くの意見も多かった。

また、Q24 の結果からみられるように、自動運転車に試乗することが楽しいという意見も多く寄せられており、今回のような観光地において自動運転車両に AI コンダクターのようなコンテンツを掛け合わせるにより、本来の役割である観光地の魅力を伝えることだけでなく、顧客の移動体験価値を高めながら周遊性の向上が得られる可能性のある取り組みであることが伺える。

b) 安心、安全の評価

・ Q20 の回答から乗客の動作に対する、アナウンス、注意喚起提示までの時間に関する分析を行った。

アナウンスタイミングについては、図 4.4.3-1 の通り 58.33%が適切、26.38%が少し遅れ、合計 84.71%という回答であった。ローカル 5 G ネットワークが安定し、高速通信であったことで、映像及び音声进行分析し応答が十分な時間で対応できたことが読み取れる。

また、機能検証 4.5.2 章に記載の通り、Wi-Fi に比べても通信速度が早く、従来のシステムでは実現し得なかった構成、速度でアナウンス、注意喚起が行えたことが伺える。

c) 安定性の評価

・ Q21 回答から、ローカル 5 G ネットワークが安定しており、通信が途切れず処理ができたかで安定性の評価を行う。

図 4.4.3-22 に Q21 の記述回答の分析結果を示す。回答数 27 の内容を 6 つに分類を行った。評価は分散しているが、ネットワークの遅延に関する指摘については見受けられず、ネットワークとしては安定していたことが伺える。また、機能検証 4.5.2 章に記載の通り、既存の Wi-Fi に比べても通信が安定していることが伺える。

・ タイミング

3) の分析でも記載した通り、AI コンダクターとの対話を行うタイミングが取りづらいという指摘がある。“質問のタイミングが難しかった”、“質問表の通り質問をしたが無視された”、“話しかけるタイミング”といった記述が見受けられ、音声 UI としての改善点が今後の課題となる。

・ 音声認識、コンテンツ

“通じなかったことが多々あった”、“不自然な会話があった”、“おおむね反応は良かったと思うが、少し話しての内容を聞き取れてなかった時があった”という回答があった。これらは音声認識誤りもあったが意図を解釈し対応するコンテンツに結び付けるなどのコンテンツとしての改善は今後実施すべき内容であった。質問中には好きなアニメや彼氏の存在など歴史体験コンテンツとしては準備していない質問等があり用意したコンテンツからの返答となり発話と一致しない対話があった。乗客の満足度を上げるためには今後はキャラクタ付けなどを行い、こういっ

た雑談的な対話にも対応していくことが必要である。

- 誤検知

姿勢推定、マスク着用検知による注意喚起の誤検知の指摘があった。3)の分析でも述べた環境の事前確認、学習による頑健な判定モデルの構築で今後検知精度を高めたい。

- アナウンス割り込み

自動運転車の運行アナウンスと歴史解説コンテンツの重複の指摘があった。この内容については、コンテンツ再生中に運行アナウンスを多重再生するか、コンテンツを一旦中断して運行情報のアナウンスを行うかなどの選択肢があるが、実証実験前に関係者によるロールプレイを実施した際、重複再生だと運行アナウンスをしているかどうかは把握できないという意見があり、運行アナウンスを割り込む形を採用した。しかし、実証実験対象者からは逆の意見で歴史解説コンテンツを聞きたいので分断して欲しくない、アンケートには現れていないが映像では運行アナウンスが割り込んだ際に笑いが起こるなどという状態見受けられ、運行情報より歴史解説コンテンツを優先したいという印象を受けた。これらの意見を今後活かしたい。

- 良い

“天平文化について詳しくなかったもので、説明は分かりやすく面白かったです”、“問いかけについての反応で感じた”、“回答までの反応は早かった”といった肯定的な意見もあった。

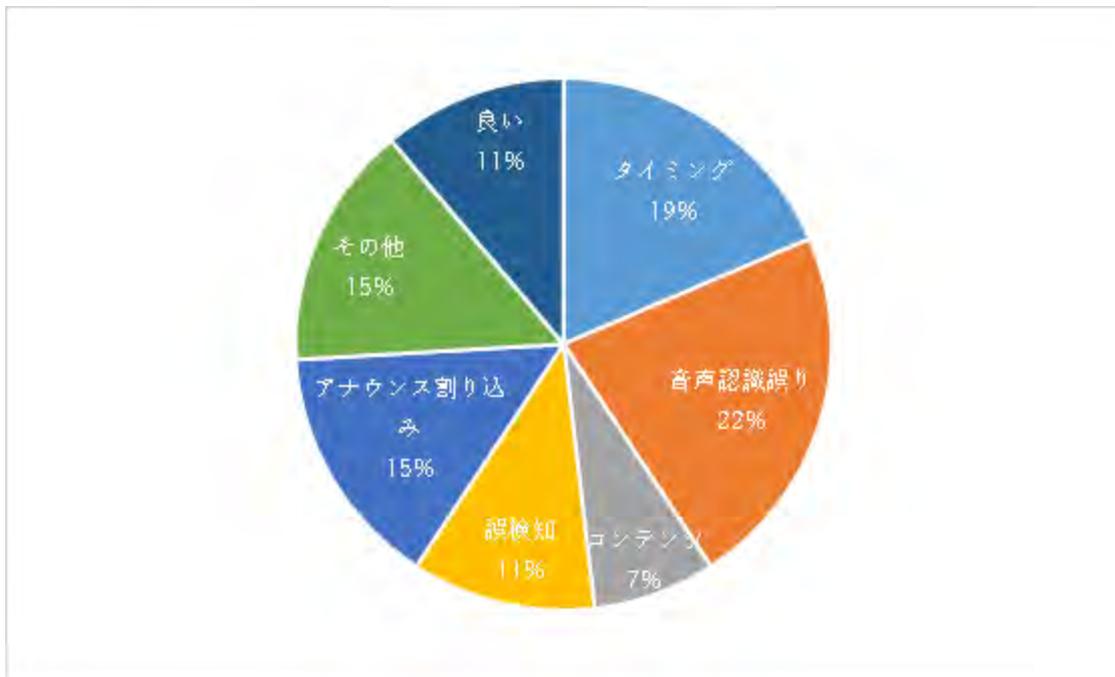


図 4.4.3-22 AI コンダクターとの対話 記述回答 Q21 内訳

d) 低遅延の評価

・ Q21 回答から、乗客の発話完了から、応答までの時間の評価を行う。

b) アナウンスタイミング分析の遅延要因の分析の結果、当初目標としていた 3 秒未満という目標は達成できた。音声対話においてシステムからの応答時間は短いほど良い。人間の場合発話中に返答内容を用意し話者が言い終わると同時に発話を行うが、現状の対話システムでは音声認識結果を待って、応答内容を生成、音声データに変換、鳴動という手順が必要になっており、特に今回のような自動運転車とサーバ間に分離されているシステムではネットワークが低遅延であることが求められる。

目標としていた 3 秒は少し前の記事¹にはなるが音声認識のみで 2~3 秒で遅いと言われていることから、対話全体を 3 秒に目標としシステム構築を行った。また、音声対話としての最適な応答時間は 0.4 秒 (400ms) と同記事に記載されており、b) アナウンスタイミング分析での分析結果は、自動運転車状態アナウンス 427ms、音声対話アナウンス 348ms、注意喚起 647ms 及び 537ms と、分散型システムにも関わらずおおむね最適な応答時間で動作したと言える。

e) 無人自動運転の効果

・ Q22 乗降時やドライバのいない状況下における乗車中の体験（不安感はないか）の評価を行う。

自動運転車の安心については、72.2%とが安心だという回答。不安に感じたという回答の中には、“技術的な確証がないまま乗ったため”、“横断歩道でブレーキがかかったがアナウンスがなかった”など、自動運転自体に対する不安、AI コンダクターとの連携不足による状態通知不足も指摘があり、自動運転に対する社会受容性、AI コンダクターとの連携方法などの今後の課題を抽出できた。

反面、今回の移動体験で楽しかった点では、“自動運転車に乗れたこと”が 43%と最も高く、自動運転車に対する興味や今後の期待が伺われる結果でもあった

f) 感染防止への効果

・ Q36 回答から、6 人乗りの乗合（バス）自動運転カートを活用した移動サービスのコロナ対策に関する安心感の評価を行う。

アンケート Q36 の結果により、安心・やや安心と回答した方が 95%以上になっており、「ドアの無いカートタイプ車両」、「AI コンダクターによるマスク着用注意喚起」が機能した結果になっている。

¹ 日経エレクトロニクス 8 月号 P.33、P.43

https://www.kecl.ntt.co.jp/people/kameoka.hirokazu/pressrelease/20160819_%E6%97%A5%E7%B5%8C%E3%82%A8%E3%83%AC%E3%82%AF%E3%83%88%E3%83%AD%E3%83%8B%E3%82%AF%E3%82%B9%E6%9C%88%E5%8F%B7.pdf

g) 費用に関する評価

・ Q28 の回答から、利用者側の考える適正価格について記載

自動運転車+AI コンダクターで 1000 円を選択した方が最も多く、AI コンダクターのみの場合には 500 円を選択した方が最も多い結果となっている。自動運転車を活用した単なる移動サービスの場合には、本地域における別実証実験で 100～200 円という結果が過去に存在しており、AI コンダクターのみの場合には、Web で調べられる、Siri を活用する等の意見もあり、AI コンダクターと自動運転車を組み合わせることによって、顧客への体験価値の向上が大きくなることが本アンケートの結果から得られている。

(6) 考察（今後の課題等）

本件では自動運転車とローカル 5 G を利用した対話システムを構築した。これまでの考察の通りローカル 5 G という超高速、超低遅延のネットワークを用いたことにより、カメラ映像での映像をリアルタイムで解析し、解析結果を用い注意喚起を行うという、従来のネットワークでは実現困難な構成で、安定した性能を得ることができたと考えられる。

ネットワークというインフラの充実度は満足な結果を得られたため、利用者の観点としてコンテンツとしての充実が求められる結果となっていた。また、夜間の実証実験ということもあり、カメラ映像が不鮮明になったことによる解析結果誤りが多かった。今後は今回得られたデータを学習し、環境光による問題、マスク検知のさらなる向上、また光量が変わることに対し動的に輝度調整を行うなど、今後改善すべき課題が明確になった。

今後は、高速、低遅延でのネットワークがある前提で、コンテンツとしての充実を図りさらなる UX (User eXperience) の向上を目指す必要があると考えられる。

本地域のような史跡や施設においては、自動運転車による移動サービスに AI コンダクターのようなサービスを組み合わせることにより、顧客の体験価値を向上させて収益の向上に結び付けることが可能となり、事業化に向けた検討がしやすくなると考えられる。

しかしながら課題として本実証実験では準備、運行含めて人によるサポートで運用する部分が多く、人件費がかかっているため、実運用面に向けて人件費を抑えていかにして運用を実施できるかが課題となってくるのが想定できる。

あわせて AI コンダクターのようなサービスを提供する際には、「コンテンツ」も重要な要素となっており、リピート顧客を継続して獲得していくためには定期的にコンテンツのアップデートを行っていき、顧客に飽きさせない仕組み作りをしていくことも必要であると考えられる。

4.5 課題解決システムに関する機能検証

4.5.1 新たな歴史文化体験

(1) 実施概要

屋外、かつ、ローカル5Gネットワークを使用した場合の、MR技術による新たな歴史文化体験を実現する上で必要となる以下機能を検証する。

- 体験者の位置を推定し、位置情報に合わせた映像コンテンツの配信・表示
- 体験者の手の動きを判別、適切な映像コンテンツを体験者同士でズレなく配信・表示
- 複数のMRグラスへ、同一コンテンツを同時に配信・表示

(2) 評価・検証項目

以下の評価・検証項目において、ローカル5Gネットワーク経由で処理したときの挙動及び表示までの処理にかかる時間を計測し妥当性を評価する。

システム機能評価：複合動作①・応答速度①

個人の位置情報把握とコンテンツ表示までの動作確認と応答速度測定

システム機能評価：複合動作②

個人のハンドジェスチャー判定と映像コンテンツ表示までの動作確認

システム機能評価：応答速度②

全員のハンドジェスチャー判定から映像コンテンツ表示までの動作確認と応答速度測定

システム機能評価：応答速度③

同一コンテンツの一斉配信から映像コンテンツ表示までの動作確認と応答速度測定

(3) 評価・検証方法

MRデバイスに映像コンテンツが正しく表示されること、体験者が加えた映像コンテンツが共有されること及びシステムログを確認する。

システム機能評価：複合動作①・応答速度①

- | | |
|--------|--|
| 【検証内容】 | MRデバイスを使ったVisual SLAMによる位置情報把握と、位置情報に合わせたコンテンツ配信 |
| 【詳細内容】 | MRデバイスのカメラセンサーで取得した位置情報を、ローカル5Gネットワークを通して送信し、サーバにて位置情報に合わせた映像コンテンツを配信、MRデバイスに映像が正しく表示されることを確認する。また、位置判定から表示までに要する時間を平均1.7秒以内とする。 |
| 【検証方法】 | 6人の体験者がMRデバイス体験の中、異なる映像が表示される場所へ移動した際に、映像が切り替わることを確認する。また、映像が切り替わるまでの時間を測定する。 |
| 【確認方法】 | MRデバイスを装着した体験者による目視確認及びシステム内のログ計 |

測（サーバと MR デバイスの時刻を合わせて、両者のログの差分より算出）。

試験数：10 回

システム機能評価：複合動作②

- 【検証内容】 ハンドジェスチャー判定によるコンテンツ配信とリアルタイム共有
- 【詳細内容】 2人以上の体験者がいる状況において、MR デバイスを通じて検知した体験者同士の手の動き（ハンドジェスチャー）情報を、ローカル 5 G ネットワークを通して送信し、サーバにて各体験者のハンドジェスチャー情報を同期させ、MR デバイスへ映像表示を指示。お互いの MR デバイスに共有の映像が正しく表示されることを確認する。
- 【検証方法】 6人の体験者が MR デバイス体験の中、システムの指示する手の動きを個々のタイミングで行い、お互いの MR デバイス上に自分と相手の映像が表示されることを確認する。
- 【確認方法】 MR デバイスを装着した体験者による目視確認。
試験数：10 回

システム機能評価：応答速度②

- 【検証内容】 体験者アクション判定～映像表示までの応答速度
- 【詳細内容】 体験者全員でのハンドジェスチャーにおいて、ローカル 5 G ネットワークを通して、同期管理サーバで全員のハンドジェスチャー判定後から、サーバから MR デバイスへ映像が表示されるまでに要する時間を平均 1.7 秒以内とする。
- 【検証方法】 6人の体験者が MR デバイス体験の中、システムの指示する手の動きを行い、全員のハンドジェスチャーが判定されてから映像が表示されるまでの時間を測定する。
- 【確認方法】 MR デバイスを装着した体験者による目視確認及びシステム内のログ計測（サーバと MR デバイスの時刻を合わせて、両者のログの差分より算出）。
試験数：10 回

システム機能評価：応答速度③

- 【検証内容】 映像ストリーミング配信の表示までの応答速度
- 【詳細内容】 サーバから MR デバイスへ、ローカル 5 G ネットワークを通して配信される映像の表示遅延時間を平均 0.7 秒以内とする。
- 【検証方法】 6人の体験者が MR デバイス体験の中、サーバより MR デバイスへ映像配信を指示した際の表示までの時間を測定する。
- 【確認方法】 MR デバイスを装着した体験者による目視確認及びシステム内のログ計測（サーバと MR デバイスの時刻を合わせて、両者のログの差分より算出）。
試験数：10 回

(4) 評価・検証結果

本番実証環境で測定したスループット、レイテンシは表 4.5.1-1 の通りである。

表 4.5.1-1 ローカル5G環境のネットワーク測定状況

下りスループット	210Mbps	コンテンツ配信サーバから MR デバイスへ iPerf 計測値
レイテンシ	20ms	同期管理サーバと MR デバイス間の Ping 値

システム機能評価：複合動作①・応答速度①

複合動作①と応答速度①は、検証作業は同一内容となるため、まとめて記載する。体験者の6人が、B地点からC地点へ（または、C地点からB地点へ）移動した際に、サーバからのストリーミング映像が切り替わることを目視で確認。試行回数を10回行い、各体験者の移動に合わせてストリーミング映像が切り替わることを確認した。実証環境、測定範囲は図 4.5.1-1 の通りである。

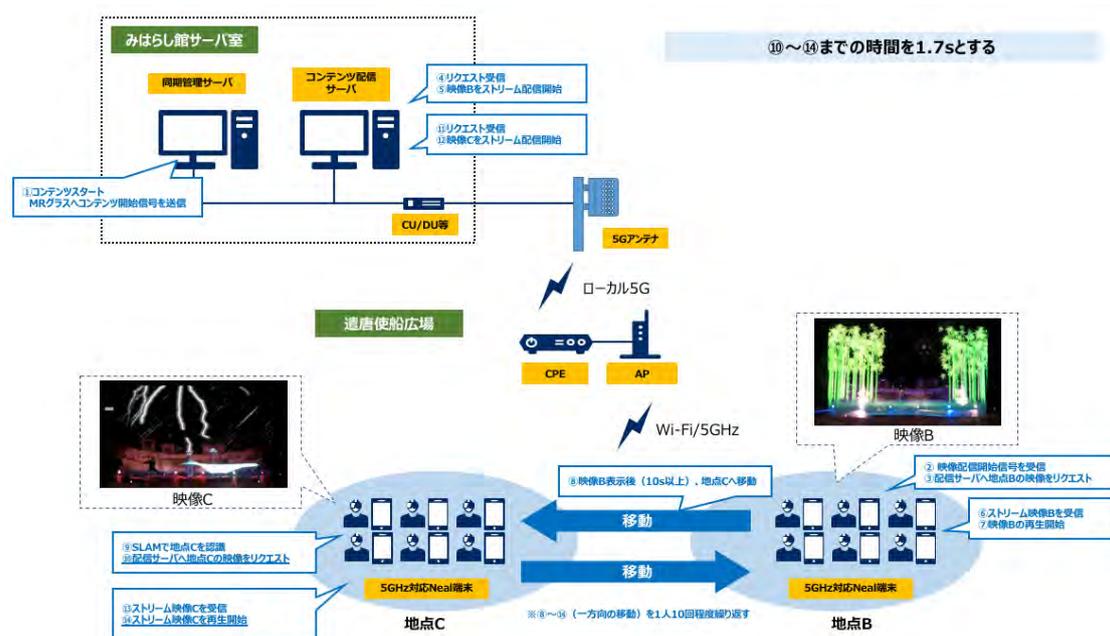


図 4.5.1-1 複合動作①・応答速度①の実証環境

6人の体験者の場所移動によって映像が切り替わるまでの時間の測定結果を表 4.5.1-2 に示す。映像の切り替わりまでの時間は平均で、1.276 秒となり、目標値である 1.7 秒を満たしていることを確認した。

表 4.5.1-2 場所移動判定から映像が表示されるまでの時間 (単位：秒)

検証デバイス	時間 (10回の平均)
MR デバイス 1	1.018
MR デバイス 2	1.234
MR デバイス 3	1.410
MR デバイス 4	1.248
MR デバイス 5	1.468
MR デバイス 6	1.277
MR デバイス 6 台の平均	1.276

位置判定後、次の映像を受信時間は 1.276 秒 (MR デバイス 6 台平均) となったが、体験者コメントとして、映像が切り替わる際、前の映像が一瞬消え、直ぐに映像が切り替わった、違和感なく切り替わったという意見がほとんどであった。体験者の体感として支障のない範囲であることが確認できた。

システム機能評価：複合動作②

本実証と同様に、MR デバイスごとに異なる蝶の映像は、立体的な 3D 映像として、かつ、インタラクティブ処理を高速に表示させるために、MR デバイス内にデータを置き、サーバ経由で各 MR デバイスのハンドジェスチャー情報を送受信して表示させた。また、6 人の体験者の MR デバイスごとに異なる蝶の色を設定しているため、体験者は自分の映像が正常に表示されているか、他の体験者の映像が正しく表示されているかを判別することが容易にできる。体験者から表示される蝶の色は、以下の通りである。

体験者 1：黄、体験者 2：赤、体験者 3：ピンク

体験者 4：水色、体験者 5：緑、体験者 6：紫

体験者 6 人が試行回数 10 回実施し、各体験者の目視で表示内容を確認。各体験者のハンドジェスチャーに合わせて蝶が表示されることを確認できた。実証環境は図 4.5.1-2 の通りである。

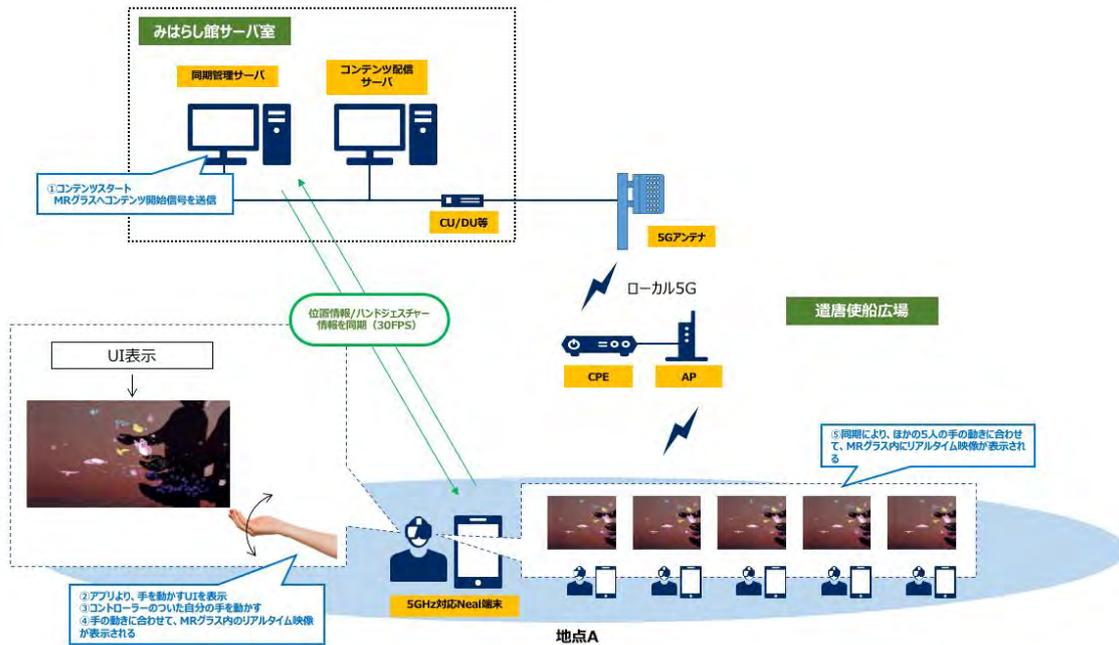


図 4.5.1-2 複合動作②の実証環境

体験者コメントとして、手の動きより遅く映像が表示されることによる違和感はなく、ハンドジェスチャーに合わせてリアルタイムに映像が表示されることが確認できた。システムログより、自分の MR グラスに他の体験者が出した蝶が表示されるまでの時間は、0.1 秒以内となっており、瞬時に同期処理が行われていることが確認できた。この要因として、同期管理サーバと MR グラス間のレイテンシ（通信の遅延時間）が約 20ms であったこと、同期管理サーバと MR グラスが 30FPS という高速で同期処理されていることが考えられる。

システム機能評価：応答速度②

体験者 6 人がシステムの指示する手の動きを行い、同期管理サーバで全員のハンドジェスチャーを判定してから、MR デバイス上で映像が表示されるまでを目視で確認。試行回数 10 回行い、体験者間で映像が遅れることなく、止まることなく表示されることを確認した。実証環境及び測定範囲は図 4.5.1-3 の通りである。

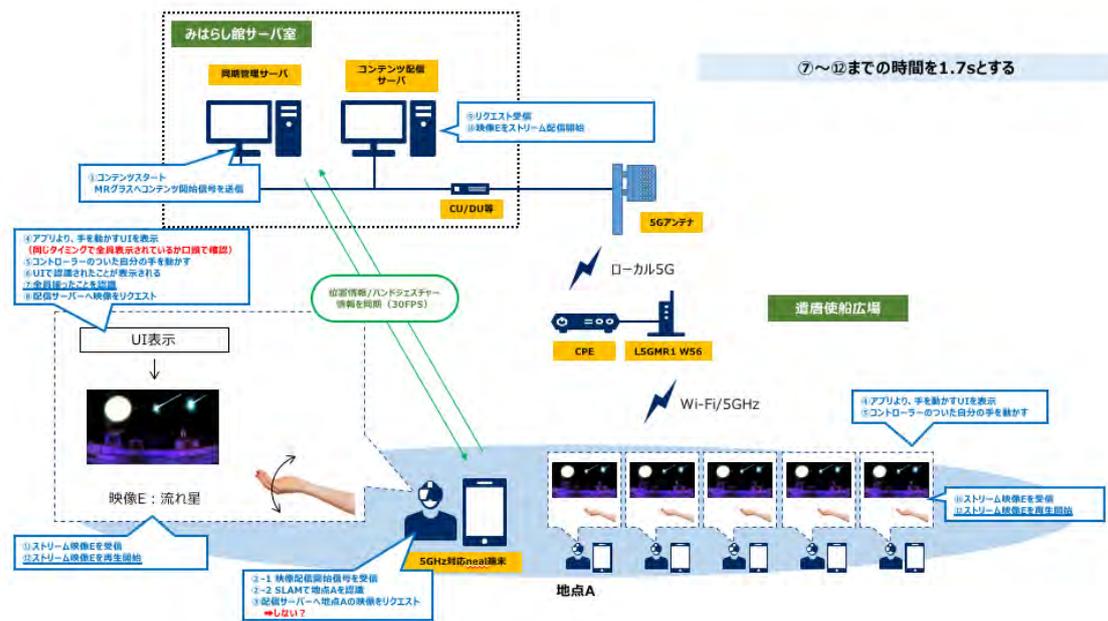


図 4.5.1-3 応答速度②の実証環境

同期管理サーバで全員のハンドジェスチャーを判定してから、MR デバイス上で映像が表示されるまでの時間の測定結果を表 4.5.1-3 に示す。試行回数 10 回の平均が、0.112 秒となり、目標値である 1.7 秒を満たしていることを確認した。

表 4.5.1-3 ハンドジェスチャー判定から映像が表示されるまでの時間 (単位：秒)

検証デバイス	時間 (10 回の平均)
MR デバイス 1	0.122
MR デバイス 2	0.129
MR デバイス 3	0.122
MR デバイス 4	0.102
MR デバイス 5	0.113
MR デバイス 6	0.084
MR デバイス 6 台の平均	0.112

MR デバイス 6 台の結果に大きなズレは発生しておらず、安定した結果が得られ、機能として正常に動作していることが確認できた。また、体験者の体感コメントとして、MR デバイス内の UI で全員のハンドジェスチャーが揃ったことを確認してから、映像が表示されるまで遅延はほぼないという意見がほとんどであった。

設計段階では、ハンドジェスチャー判定から表示までの遅延時間を 1.7 秒以下としたが、大幅に短縮する結果となった。要因としては、まずは、同期管理サーバ及びコンテンツ配信サーバと MR デバイスが 30FPS という短い周期で同期がされていること、同期管理サーバと MR デバイス間で同期するハンドジェスチャーの判定信号やストリーミング映像リクエスト

ト信号のデータ容量が非常に小さいこと、該当するストリーミング映像のビットレートが約 3Mbps と想定最大転送データ容量 30Mbps よりも比較的小さいことによるものと考えられる。

システム機能評価：応答速度③

体験者 6 人に対して、同期管理サーバより映像コンテンツ配信を指示してから、映像が表示されるまでを目視で確認。試行回数 10 回行い、体験者間で映像が遅れることなく、止まることなく映像が表示されることを確認した。実証環境、測定範囲は図 4.5.1-4 の通りである。

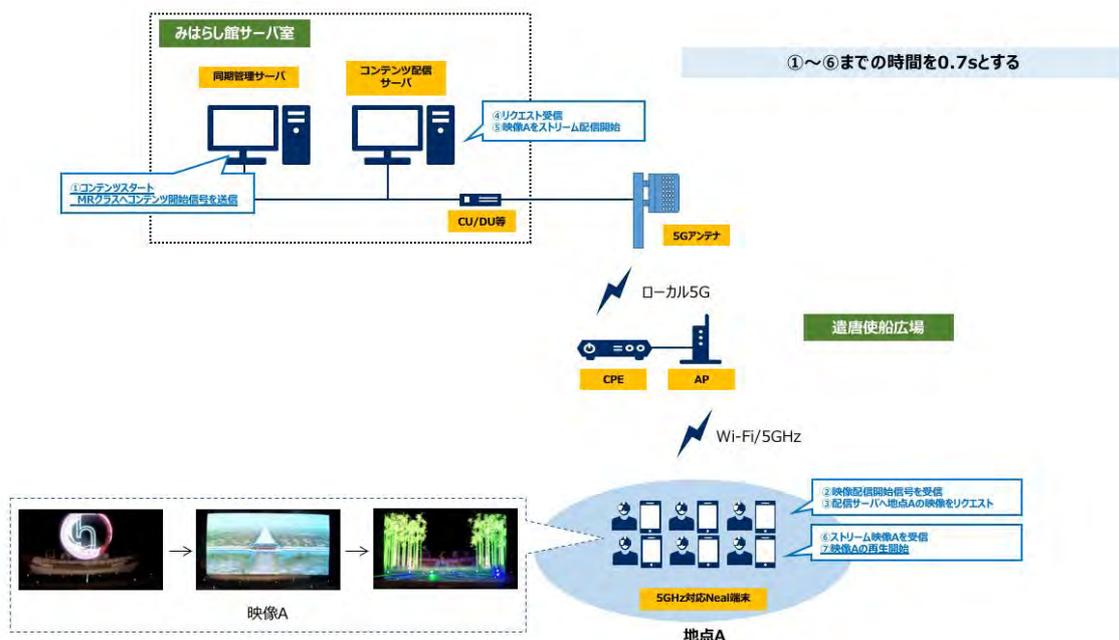


図 4.5.1-4 応答速度③の実証環境

同期管理サーバより映像コンテンツ配信を指示してから、映像が表示されるまでの時間の測定結果を表 4.5.1-4 に示す。試行回数 10 回の平均が、0.228 秒となり、目標値である 0.7 秒を満たしていることを確認した。

表 4.5.1-4 配信指示から映像が表示されるまでの時間（単位：秒）

検証デバイス	時間（10回の平均）
MR デバイス 1	0.259
MR デバイス 2	0.184
MR デバイス 3	0.120
MR デバイス 4	0.293
MR デバイス 5	0.309
MR デバイス 6	0.201
MR デバイス 6 台の平均	0.228

体験者コメントとして、コンテンツスタートの合図から、映像が表示されるまで遅延はほぼなく、また 6 人の視聴映像はずれることなく始まり、途中で止まることもなく表示されることを確認できた。

本システムの機能評価として、開発環境にて、同期管理サーバ、コンテンツ配信サーバの評価・分析を行った。

同期管理サーバの主な機能として、(A)MR デバイスの同期処理、(B)MR デバイスの位置情報管理、(C)コンテンツ再生管理、(D)MR デバイスのモニタリングがある。

(A)MR デバイスの同期処理については、機能検証の複合動作②（蝶の共有体験）のシステムログより、遅延の評価・分析を行った。結果として、自分の MR グラスに他の体験者が出した蝶が表示されるまでの時間は 0.05 秒以下の遅延性能であることを確認しており、同期処理が正常に稼働していることを確認した。

(B)MR デバイスの位置情報管理については、ワールド上のマップへリアルタイムにプロットし、位置情報のビジュアル化を行い、機能の正常稼働確認として、実際の現地にて、現実の体験者位置とビジュアル化したワールド上のマップの体験者位置を確認、おおむね正常な位置管理ができていることを確認した。

(C)コンテンツ再生管理、(D)MR デバイスのモニタリングについては、システム及びコンテンツ検証を通して、再生・停止機能の正常稼働、MR デバイスのステータスデータが安定して取得できることを確認した。

コンテンツ配信サーバの主な機能としては、映像データ配信処理がある。ストリーミング処理は、ネットワークのスループットが低いと想定通りのストリーミング処理ができなくなる等考えられるため、MR デバイスへの配信以外は有線（ローカル 5 G ネットワーク部分は有線の CAT6a を使用）とした開発環境にて動作確認を行った。MR デバイス 6 台でのストリーミングが安定して処理されることを確認した。

開発環境のシステム構成は、図 4.5.1-5、測定したスループット、レイテンシは表 4.5.1-5 の通りである。

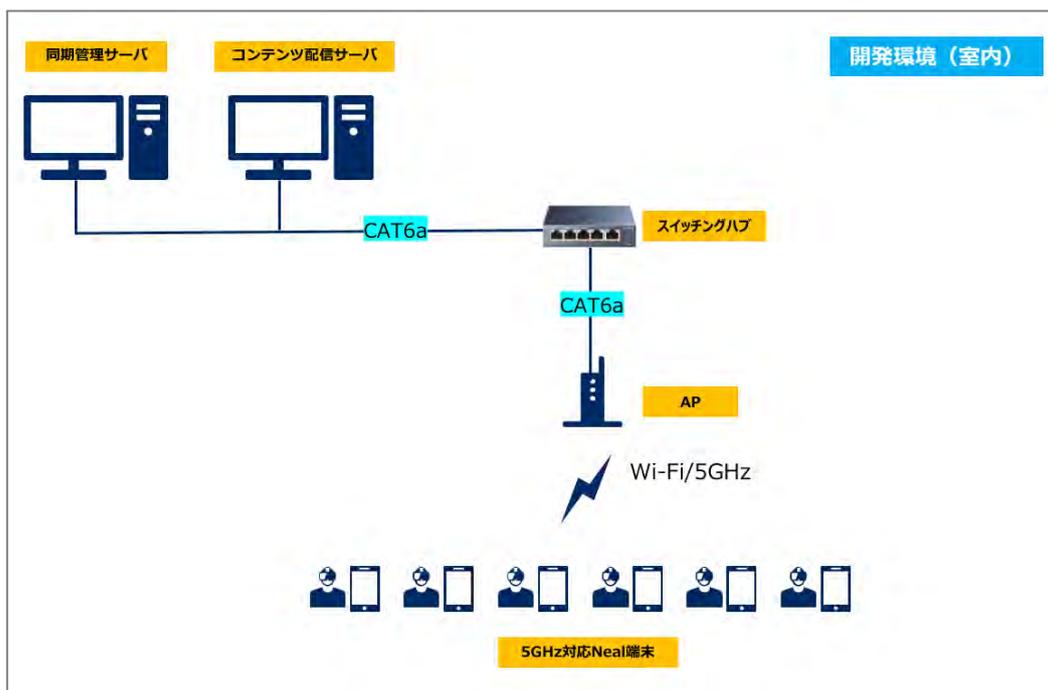


図 4.5.1-5 開発環境のシステム構成

表 4.5.1-5 開発環境のネットワーク測定状況

下りスループット	810Mbps	コンテンツ配信サーバから MR デバイスへ iPerf 計測値
レイテンシ	9ms	同期管理サーバと MR デバイス間の Ping 値

また、開発環境での機能検証項目の数値計測を実施した。計測結果は、いずれもの検証において、ローカル 5 G を用いた実証環境よりも優れた数値となった。ローカル 5 G ネットワーク部分を有線の CAT6a を使用していることによるものと考えられる。

表 4.5.1-6 ローカル 5 G 環境と有線環境の比較 (単位: 秒)

機能検証項目	ローカル 5 G の実証環境	有線の開発環境
複合動作①・応答速度①	1.276	0.907
応答速度②	0.112	0.033
応答速度③	0.228	0.151
複合動作②	0.10	0.05

(5) 考察（今後の課題等）

機能検証の結果より、位置情報に合わせたコンテンツ配信、ハンドジェスチャーに合わせたコンテンツ共有、ストリーミングの映像配信は、目標値を満たすことができ、また、体験者の体感としても違和感のない体験ができたとのコメントより、MR 歴史体験において必要機能を実装できていると言える。実証環境よりもネットワーク条件の良い開発環境と比較した場合、計測数値は下回る結果となったが、いずれの計測結果も問題ないと考えられる。

応答速度においては、ストリーミング映像のビットレートによって異なる。映像品質を高めるためにビットレートを高く設定することになるが、可変ビットレートの場合は映像内の区間によってビットレートが異なるため、要求応答速度を満たすためには、ネットワークのスループット、クライアントデバイスの接続台数と合わせて映像設計を行う必要がある。

今後の課題として、MR デバイスのようなクライアントデバイスに安定した大容量かつ低遅延な通信を提供するには、無線 LAN 通信は電波干渉の影響を受けやすく、通信パフォーマンスの低下が避けられないため、可能な限り無線 LAN 通信を利用する数を少なくすべきである。今回のシステムにおいて、AP を介さずに MR デバイスが直接ローカル 5 Gを受信できるようになることが望ましい。検証期間中、周辺の Wi-Fi による電波干渉と思われるネットワークのパフォーマンス低下や不安定な現象が発生した。ローカル 5 Gの受信環境は現状 CPE に限られているが、今後はローカル 5 Gに対応した MR デバイス等の登場により安定した無線通信環境が期待される。

4.5.2 新たな移動体験

(1) 実施概要

持続可能な観光の実現に資する実証（新たな移動体験）の機能評価

● 低遅延、安心、安全

カメラ映像、音声を収録するデバイスと、解析を実施するサーバをローカル5Gネットワーク上に構築し、遅延を感じることなく行動に対する通知、注意喚起を行う。乗客の状態を車両に設置したカメラにより検知し、車両からのアナウンス、注意喚起された内容の妥当性、及び適切なタイミングであることを検証する。

システムの機能評価

【検証内容】 低遅延

【詳細内容】 ローカル5Gでの動作時に、遅延を感じることなく、行動に対する通知、注意喚起が行えていることを確認できる方法を検討する。なお、カメラからの映像、マイクからの音声を収録するデバイスと、解析を実施するサーバをローカル5G上に構築する。サーバで体験者の状態検知を行い、車両上のデバイスに注意喚起を行う。

【検証方法】 図 4.5.2-1 及び図 4.5.2-2 に示す2種類の環境を用意し、実証環境で評価を実施。

ローカル5Gを使用した環境と、ローカル5G部分を無線LANに置き換えた構成で計測を実施。各々の計測結果からローカル5Gが既存技術に対しどの程度遅延が少ないかを確認する。

以下の方法で遅延の確認を行った。

(1) 車両搭載コンピュータからカメラ映像をアプリケーションサーバに送信。

(2) アプリケーションサーバでは映像受信後、受信完了レスポンスを車両搭載コンピュータに返す。

(3) 車両搭載コンピュータ側で、カメラ映像送信時の時刻とレスポンス受信時の時刻から時間差から転送時間を測定する。

計測は図 4.3.3-3 に示す平城宮跡内駐車場の実証実験時に走行を行うルートで計測を実施する。

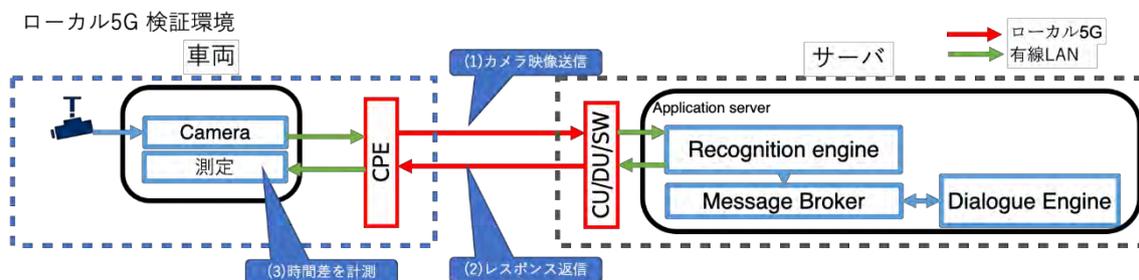


図 4.5.2-1 ローカル5G実証環境

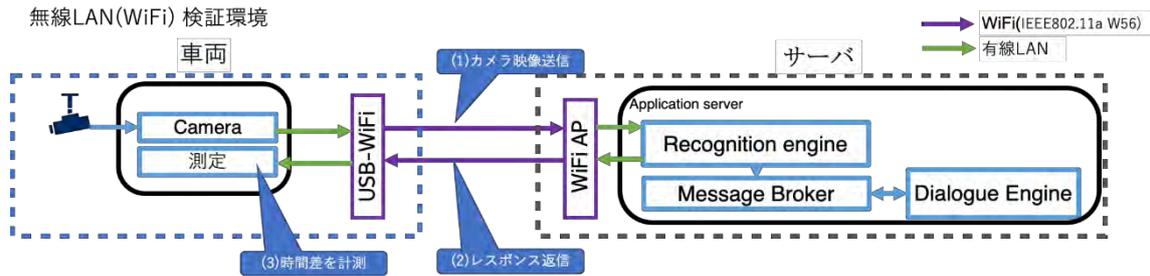


図 4.5.2-2 無線 LAN 実証環境

【確認方法】 システム内のログ計測の結果を考察。

(2) 実施概要

6人乗り自動運転カートを活用した敷地内自動走行の機能を評価した。

● 安心、安全

想定ルートに対して車両が途中で止まることなく設定した速度（5 km/h 前後）で走行できるかどうか、また出発時、停車時における急加速、急ブレーキをすることなく乗客を安全に輸送できることを検証した。

また、コロナ禍環境における感染症対策として運用面で感染防止を実施することでお客様の安心を検証した。

システムの機能評価

【検証内容】 自動運転機能評価

【詳細内容】

- 設定ルートに対して正しくルートを走行しているかどうかを確認
- 設定した速度で走行できていること確認
- 出発地点、到着地点で正しく停車できているかどうか確認
- 出発、到着時における急加速、急減速が無いかどうかの確認

【検証方法】

- 目視による確認（車線内走行確認、出発地点、到着地点、急加減速）
- 時間計測（設定した速度で走行できているかどうか；誤差は±5%）

【確認方法】

- 上記検証結果とアンケート Q22 の結果で考察
- 目視、時間計測検証回数は5回程度を想定

(3) 評価・検証結果

1) 低遅延

計測結果の平均値、最大値、最小値は表 4.5.2-1 の通り、ローカル 5 G が安定して低遅延であることが確認できた。

表 4.5.2-1 遅延計測結果

項目	ローカル 5 G	無線 LAN
平均転送時間	88.75ms	170.56ms
最大転送時間	146.49ms	470.08ms
最小転送時間	23.59ms	78.44ms

計測データを図 4.5.2-3、図 4.5.2-4 及び図 4.5.2-5、図 4.5.2-6 に示す。

図 4.5.2-3 は L5G を用いた実証システムで図 4.3.3-3 移動体験ルートを 1 周した際の計測結果である。

転送時間は約 20ms～140ms 程度の一定の遅延で映像を転送できていたことが確認できる。

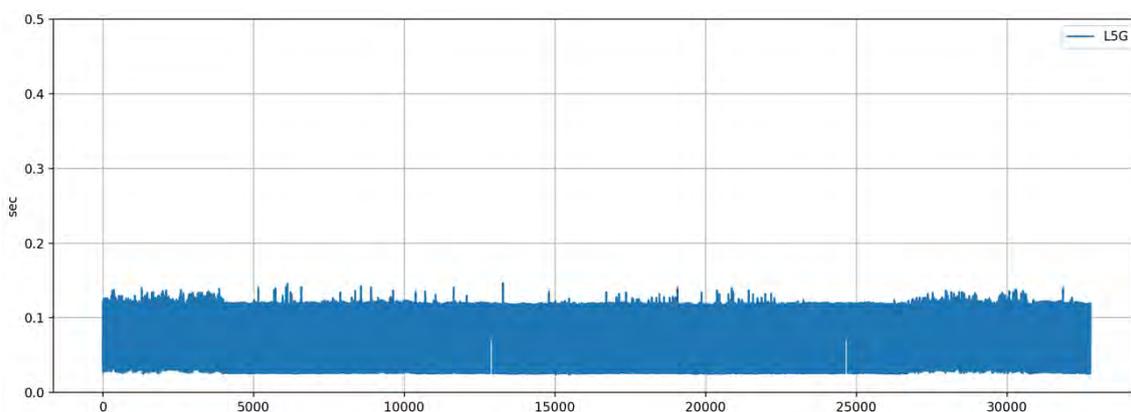


図 4.5.2-3 L5G 移動体験ルート 1 周時の転送時間

図 4.5.2-4 は WiFi を用いた実証システムで図 4.3.3-3 移動体験ルートを 1 周した際の計測結果。

約 80～470ms の間での遅延となり、L5G に比べ遅く、また遅延量が安定しない。

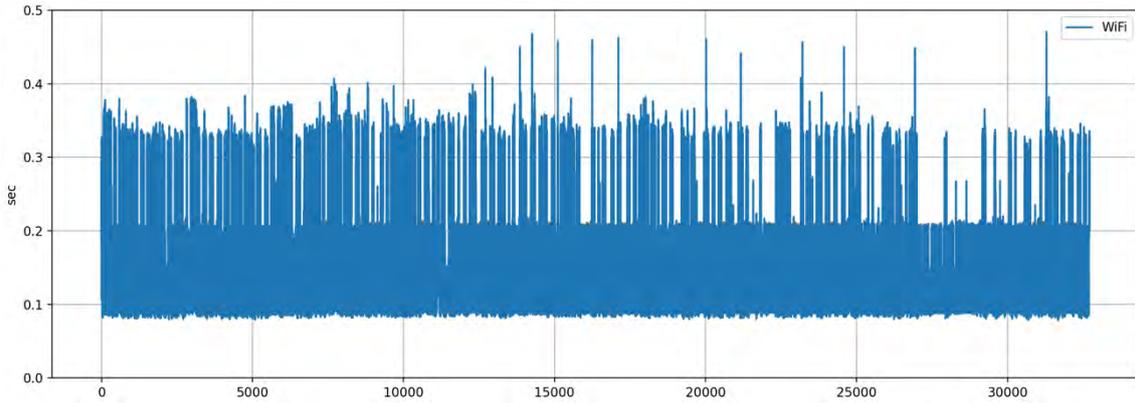


図 4.5.2-4 WiFi 移動体験ルート 1 周時の転送時間

図 4.5.2-5 に、L5G の計測結果 1000 サンプル分に拡大した結果を示す。

図 4.5.2-3 同様、低遅延で安定していることがわかる。

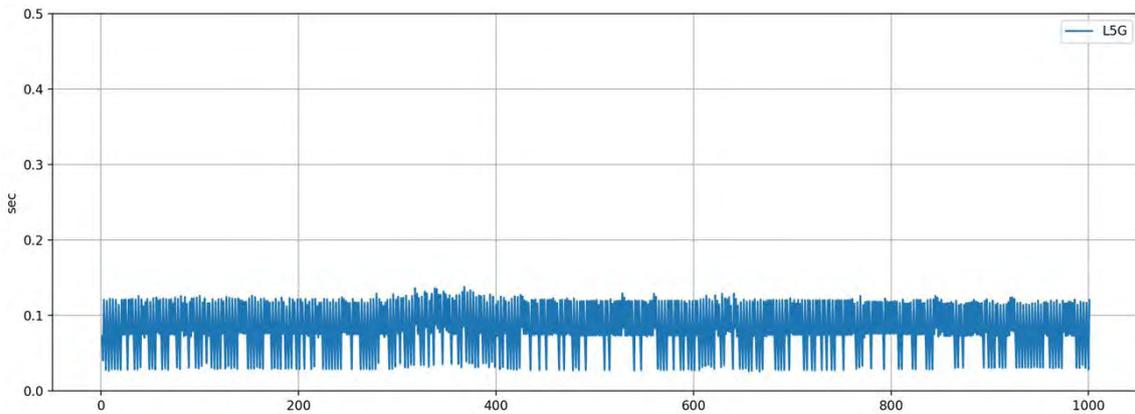


図 4.5.2-5 L5G 1000 サンプルの転送時間

図 4.5.2-6 に、WiFi 利用時の計測結果 1000 サンプル分に拡大した結果を示す。

L5G には見られない、周期的な遅延があることがわかる。

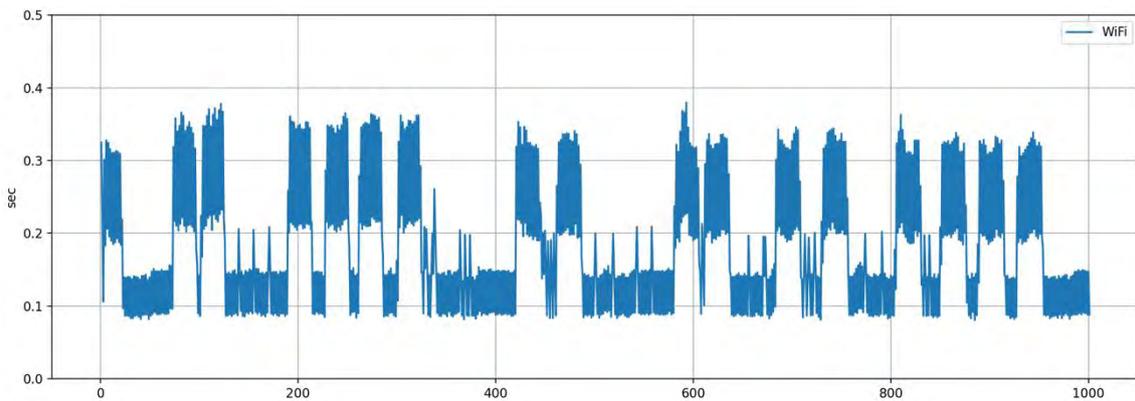


図 4.5.2-6 WiFi1000 サンプルの転送時間

本システムでの利用条件下では、L5G は 1 画像フレームあたり平均転送時間が 88.75ms と WiFi 環境に比べ平均で約 80ms 速いことがわかる。

WiFi に比べ十分速い転送が可能であるため、ローカル 5 Gを使用したことで従来のシステムでは不可能であった安定した映像転送が可能になったと言える。

また、図 4.5.2-5 の測定結果の通り、Wi-Fi 利用時の図 4.5.2-6 の様な転送時間の揺らぎもなく、安定した通信速度で通信ができていることも読み取れる。

2) 6人乗り自動運転カートを活用した敷地内自動走行の機能評価

目視による確認に関して、車線内走行確認、出発地点、到着地点、急加減速で大きな問題は見受けられず、スムーズに運行を行うことができていた。

走行ルートにおける計測時間結果に関しては、図 4.5.2-7 の通り、平均 4 分 39 秒 (約 280 秒) であった。この値に対して設定した速度で正しく走行できていたかを評価するために誤差±5%を設定しており、走行結果の平均秒数に変換すると平均値に対して±14 秒となる。標準偏差を求めると約 11.1 となっていることから、平均値に対して±11 秒で走行できおり、自動運転によって大きな所要時間のバラつきが無く安定走行できていたことが確認できる結果となっている。

2月26日の18時、2月28日の19時の回に関してのみ平均よりも若干長い所要時間となったが、走行中における物体認識で「ライト反射」「外灯」を検知して速度低下につながったものであり、夜間走行における物体検知の新たな課題として認識できた。

	実施時刻	タイム(分)	秒数 (秒)
2月26日	18:00～	05:00.0	300
	19:00～	04:35.9	276
	20:00～	04:30.5	271
2月27日	18:00～	04:46.1	286
	19:00～	04:35.0	275
	20:00～	04:31.3	271
2月28日	18:00～	04:39.5	280
	19:00～	05:01.7	301
	20:00～	04:31.3	271
3月1日	18:00～	04:35.4	275
	19:00～	04:37.5	278
	20:00～	04:26.7	267
平均(中央値)		4:39	279
標準偏差			11.1

図 4.5.2-7 走行ルートにおける各回に要した所要走行時間

(4) 考察（今後の課題等）

これまでに述べた検証結果から、今回のシステムでのローカル5Gの性能は十分な性能であることがわかった。

本実証実験では1台の自動運転であったが、今後は大規模な観光施設、広域な観光名所などでの利用を考えると、複数台の車両が同時に運行されることが想定される。複数台同時に運行した場合も同様の安定性が得られるか今後の課題になると思われる。

本地域のような史跡や施設においては、自動運転車による移動サービスにAIコンダクターのようなサービスを組み合わせることにより顧客の体験価値を向上させて収益の向上に結び付けることが可能となり、事業化に向けた検討がしやすくなると考えられる。

しかしながら課題として本実証実験では準備、運行含めて人によるサポートで運用する部分が多く、人件費がかかっているため、実運用面に向けて人件費を抑えていかにして運用を実施できるかが課題となってくるのが想定できる。

併せてAIコンダクターのようなサービスを提供する際には、「コンテンツ」も重要な要素となっており、リピート顧客を継続して獲得していくためには定期的にコンテンツのアップデートを行っていき、顧客に飽きさせない仕組み作りをしていくことも必要であると考えている。

4.6 課題解決システムに関する運用検証

4.6.1 新たな歴史文化体験

(1) 実施概要

本システムの社会実装に向けて、屋外の新たな歴史文化体験としての、外部環境条件、体験者特性、体験デバイス特性、運用オペレーションで発生する課題について検証を行った。

(2) 評価・検証項目

1) 外部環境条件による運用課題

MR デバイスによる体験は、MR グラス内の映像コンテンツと外部を同時に見るため、外部が明るいほどコンテンツが見えにくい。特に屋外での体験では、外部の照度がコンテンツの見映に影響すると言える。体験時の外部環境情報として、気候や時間帯によって変化する照度の違いによる、MR デバイスの表示状態におこる影響を調査、対策を考察する。

2) 体験者特性による運用課題

体験者特性として、年齢・性別・身長により MR デバイス装着感、装着体験における疲労感、また、眼鏡の有無や視力によってコンテンツ視認性がどの程度影響出るか、数パターンのモニターで調査を行い、体型や身体機能との関係を考察する。実用化の際に、体験者を限定することなく多くの方に利用してもらうことを想定して、特性による依存度がなにかを確認する。

3) 体験デバイス特性による運用課題

スマートフォンのような小型精密機械では、3D グラフィックスのゲームや 4K 等高精細映像を長時間処理すると、デバイス本体が高熱となり、アプリケーションの動作が不安定になることがある。本実証で使用する MR デバイスでは、映像表示処理等をスマートフォンで行うが、負荷の高い映像処理を行うため、連続安定稼働時間（バッテリー消費、熱暴走）を計測し、機材面、及び運用オペレーションでの回避策を検討するとともに、MR 歴史体験の適正時間を検討する。

4) 運用オペレーション課題

運用オペレーション特性は、工程ごと（体験前、体験中、体験後）で発生する運用オペレーションの課題、また、演者活用に関する課題を検証する。

(3) 評価・検証方法

1) 外部環境条件による運用課題

a) 検証内容

気候や時間帯によって変化する照度の違いによるMRデバイスの表示状態の影響を調査、対策を考察する。

b) 検証方法

事前検証時、以下の外部環境条件（照度）において、各最低1回、複数人の体験者（NECと凸版印刷より裸眼視力の良い3人程度）を選定、実際にMRデバイスを装着し、見え方に関する評価を行う。

- MRグラス内のコンテンツの見え方と外部（舞台・演者）の見え方を評価項目とし、それぞれ5段階で評価する。

表 4.6.1-1 外部環境条件（照度）と照度のめやす

条件	照度（ルクス）	照度のめやす（ルクス）
晴天日中	50,000以上	晴天昼太陽光：100,000 晴天午前10時太陽光：65,000
曇天日中	10,000-35,000	曇天昼太陽光：35,000 曇天午前10時太陽光：25,000
夕方	1,000-5,000	曇天日出1時間後太陽光：1,000 晴天時日入1時間前太陽光：1,000
日没直後	200-600	日出入時：300 夜のアーケード：150-200
夜間	100以下	街頭下：50-100 月明り：0.5-1

表 4.6.1-2 外部環境条件の評価項目

項目	質問
コンテンツの見え方	映像がどの程度見えるか 5段階評価（0%, 25%, 50%, 75%, 100%）
外部（舞台・演者）の見え方の見え方	外部（舞台・演者）がどの程度見えるか 5段階評価（0%, 25%, 50%, 75%, 100%）



図 4.6.1-1 照度測定方法

2) 体験者特性による運用課題

a) 検証内容

年齢・性別・身長によりMRデバイス装着感、装着体験における疲労感、また、体験者の眼鏡の有無、目の特性によってコンテンツ視認性がどの程度影響出るか、数パターンのモニターで調査を行い、身長や視力など体型や身体機能との関係を考察する。

b) 検証方法

事前検証時、年齢・性別・身長、眼鏡の有無・目の特性が異なる複数人の体験者（NECと凸版印刷より20人程度）を選定、実際にMRデバイスを装着し、装着感と視認性に関するアンケート調査を行う。なお、装着感については、効果検証のアンケートで調査内容も考慮する。

- 眼鏡利用者は、眼鏡の上からMRグラスを装着する。
- 体験環境は、本番同等にMRグラス内のコンテンツ、及び外部が見える環境とする。

表 4.6.1-3 アンケート内容 体験者属性

項目	質問
年齢	20代、30代、40代、50代、60代以上
性別	男性、女性
身長	低身長（～155cm）、平均的（155～175cm）、高身長（175cm～）
眼鏡の有無	眼鏡あり、眼鏡なし（裸眼、コンタクト）
目の特性	老眼、近視、遠視、乱視、その他

表 4.6.1-4 アンケート内容 評価項目

項目	質問
装着感	<ul style="list-style-type: none"> ・装着時、耳や鼻等に痛みや違和感があったか ・体験中、MR グラスがずれる、落ちそうになることがあったか ・体験中、MR グラスが曇ることがあったか
疲労感	<ul style="list-style-type: none"> ・体験後、目の疲れがあったか ・体験後、耳や鼻等に痛みや疲れがあったか
視認性	<ul style="list-style-type: none"> ・MR グラスから見えるコンテンツにピントが合わない、見えにくいことがあったか ・現実（遣唐使船、演者）にピントが合わない、見えにくいことがあったか

体験者属性 評価シート 記入表		会社名・氏名 ()				
No. 属性		回答				
1	日時	月 日 ()		時 分		
2	天候	晴れ	くもり	雨	その他 ()	
4	身長	{ } cm				
5	年齢	20代	30代	40代	50代 60代	
6	眼鏡の有無	あり	なし	その他 ()		
7	目の特性	老眼	近視	遠視	その他 ()	
No. アンケート		回答				
1	装着時、耳が痛かった	当てはまらない	当てはまる	※当てはまった場合、どのように? ()		
2	装着時、鼻が痛かった	当てはまらない	当てはまる	※当てはまった場合、どのように? ()		
3	体験中、MRグラスがずれたり、落ちそうなるなどの違和感があった	当てはまらない	当てはまる	※当てはまった場合、どのように? ()		
4	その他、装着感に関してコメント					
5	10分間の体験後、体験前より目が疲れた	当てはまらない	当てはまる	※当てはまった場合、どのように? ()		
6	10分間の体験後、体験前より耳が痛くなった	当てはまらない	当てはまる	※当てはまった場合、どのように? ()		
7	体験後、体験前より鼻が痛くなった	当てはまらない	当てはまる	※当てはまった場合、どのように? ()		
8	その他、疲労感に関してコメント					
9	MRグラスから見えるCGにピントが合わない、見えずらいことがありましたか?	当てはまらない	当てはまる	※当てはまった場合、どのように? ()		
10	現実（遣唐使船、パフォーマー）にピントが合わない、見えずらいことがありましたか?	当てはまらない	当てはまる	※当てはまった場合、どのように? ()		
11	その他、コンテンツの視認性についてコメント					
12	その他コメント					

図 4.6.1-2 アンケートシート



図 4.6.1-3 MR グラス装着方法 (左：眼鏡あり 右：眼鏡なし)

3) 体験デバイス特性による運用課題

a) 検証内容

充電式であるMRデバイスの連続安定稼働時間(バッテリー消費、熱暴走)を計測し、機材面、及び運用オペレーションでの回避策を検討する。また、MR 歴史体験の適正時間を検討する。

b) 検証方法

MRデバイスにおいて、熱暴走対策なし/熱暴走対策あり(冷却ファン装着を想定)の環境を用意。本システムを連続して稼働させ、安定稼働時間の測定を10回ずつ行う。障害が起きた際にバッテリー消費量を記録する。



図 4.6.1-4 冷却ファン



図 4.6.1-5 冷却ファン装着した様子

4) 運用オペレーションによる運用課題

a) 検証内容

工程ごと（体験前、体験中、・体験後）の運用オペレーション課題、演者活用に関する課題を検証する。

b) 検証方法

運用オペレーション課題は、事前検証及び本番実証時における課題を抽出する。

演者活用に関する課題は、本番実証時における課題を抽出する。

表 4.6.1-5 運用オペレーション 概要

	1. 体験者対応	2. システム管理	3. 舞台演出
体験前	1.1 受付 1.2 荷物預かり 1.3 オリエンテーション	2.1 機材セットアップ 2.2 疎通確認 2.3 キャリブレーション	3.1 音響、照明設置 3.2 舞台造作設置 3.3 演者スタンバイ
体験中	1.4 MR デバイス装着補助 1.5 体験補助	2.4 スタート/ストップ管理 2.5 本番挙動モニタリング	3.4 本番
体験後	1.6 MR デバイス回収 1.7 荷物返却	2.6 MR デバイス充電 2.7 機材チェック	3.5 演者休憩 3.6 音響、照明確認

			受付	クロック	キャリブレーション・機材担当		体験サポート担当			システム担当	音響 照明担当	舞台担当	全体進行	総合対応
			受付場所(A)		体験場所(C)・機材置き場(A)		基本的に体験者と行動をとにする			機械室		舞台付近	フリー	フリー
開始	終了	体験者の動き	スタッフA	スタッフB	スタッフC スタッフD	スタッフE ☆インカム	スタッフF ☆インカム	スタッフG スタッフH	スタッフI	スタッフJ ☆インカム	スタッフK	スタッフL ☆インカム	スタッフM ☆インカム	スタッフN ☆インカム
17:50	18:00	①受付 ②クロックにて荷物を預ける ③同意書に署名 ④オリエン場所へ移動	・消毒、検温 ・予約リストを確認 ・番号札を配布 ・ クロックを案内	・ クロック対応 籠に荷物を入れてもらい、 タグを渡す ・ 体験者を同意書記入台へ誘導	・機材充電確認 ・消毒 ・端末移動	A→B	・ 体験者を同意書記入台からオリエン場所へ誘導 ・受付、クロックサポート ・体験者誘導サポート	・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	スタンバイ					
18:00	18:10	オリエンテーション	・クロック見張り ・遅刻者受付対応		・機材キャリブレーション準備	B→C	・ オリエン場所にてオリエンテーション ★オリエン終了連絡(スタッフF→スタッフE)							
18:10	18:20	リュック、バンドを装着 体験場所(広場)へ移動 スタート位置で機材装着	・クロック見張り ・前回グループのクロック返却対応	・ オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応	☆オリエン終了連絡を受ける(スタッフF→スタッフE) ・ 機材キャリブレーション ★キャリブレーション完了連絡(スタッフE→スタッフF)	C	・ オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ☆キャリブレーション完了連絡を受ける(スタッフE→スタッフF)							
18:10	18:20	リュック、バンドを装着 体験場所(広場)へ移動 スタート位置で機材装着	・クロック見張り ・前回グループのクロック返却対応	A	・ MRグラス、コントローラーを装着 ※スタッフ2名1組で体験者1名を対応 ①MRグラスを装着し、表示確認をおこなう ②MRグラスのバンドを締め、背中にスマホを装着する ③コントローラーを装着し、表示確認をおこなう	C	・ 体験者と外へ移動、スタート位置を案内 6番を先頭に順番に並んで広場へ移動する スタート位置の椅子に順番に着席してもらう	・ MRグラス、コントローラーを装着 ※スタッフ2名1組で体験者1名を対応 ①MRグラスを装着し、表示確認をおこなう ②MRグラスのバンドを締め、背中にスマホを装着する ③コントローラーを装着し、表示確認をおこなう	・スタンバイ キュー	・スタンバイ キュー	・スタンバイ キュー	・開始キュー 出し		
18:20	18:35	体験時間	・次の受付リストの準備 ・クロック見張り	C	・バックアップ機材の監視	C	・体験者サポート	・システムスタート ・カウントコール ・PAスタート						
18:35	18:45	待機エリアへ移動して機材返却 AI自動運転へ移動	・リュック、グローブ回収サポート	C→A	・リュック、グローブ回収サポート ・回収されたスマホ、コントローラーの充電	C→A	・ 終了後、ステージ上でMRグラスのみ回収 ※スタッフ4名で体験者6名を対応 ①背中からグラスだけ抜く ②紐を緩める ③グラスを外してもらう ・ 体験者と待機エリアへ移動 待機エリアのバミリの位置に立ってもらう ・ リュックとグローブを回収する スマホ、コントローラーは入れたままリュックとグローブを回収 番号ごとに籠に入れる ・ 終了の案内、AI自動運転へ誘導する	次回分準備						

図 4.6.1-6 運用オペレーション詳細(18時回のみ記載、以降繰り返し)

(4) 評価・検証結果

1) 外部環境条件による運用課題

外部環境条件（照度）におけるコンテンツの見え、外部（舞台・演者）の見えるの評価結果を、表 4.6.1-6 に示す。評価においては、裸眼視力の良い 3 名によって、表 4.6.1-7 の基準のもと 5 段階で評価を決定した。

表 4.6.1-6 外部環境条件ごとの評価結果

No	時間	条件		評価	
		天気	照度（ルクス）	CGの見え	外部の見え
1	11:25	直射日光	57700	0%	100%
2	12:02	直射日光	65100	0%	100%
3	13:34	陰り	22200	25%	75%
4	14:06	陰り	20400	25%	75%
5	15:14	陰り	17000	25%	75%
6	16:02	直射日光	33700	25%	75%
7	16:37	晴れ	7271	25%	75%
8	16:54	晴れ	4462	25%	74%
9	17:29	晴れ	430	50%	50%
10	17:37	晴れ ※日没時間	379.6	50%	50%
11	17:42	-	50.6	75%	25%
12	17:45	-	34.3	100%	25%
13	17:48	-	14.5	100%	25%
14	17:52	-	10.2	100%	25%
15	18:40	-	7.8	100%	0%

表 4.6.1-7 評価基準

	CG の見え (イメージ)	外部の見え (イメージ)
100% はっきりと見える		
75% よく見える		
50% 問題なく見える		
25% ほとんど見えない		
0% 全く見えない		

午前中から日没の 30 分前までの照度 1,000 ルクス以上の時間帯は、時間帯や太陽の位置によって多少違いはあるものの、いずれも照度が高く、コンテンツはほとんど見えなかった。一方、日没後 15 分後以降の照度 50 ルクス以下の時間帯は、コンテンツははっきりと見えたが、外部の暗さにより演者や舞台がほとんど見えなかった。

今回対象とした外部環境の中で、最もコンテンツと外部の見えのバランスが良かったのが、日没時間頃の照度 430 ルクスならびに 379 ルクスの環境だった。しかし日没前後の時間帯は照度が急激に落ち、同一の照度を保っていられる時間が 10 分以下である。10 分間の体験を複数回実施する想定では、この時間帯での体験実施は現実的でない。

本実証では、照度 50 ルクス以下の夜間において、舞台と演者に照明を当て外部が見えるように調整の上実施した。舞台と演者側に照度 350 ルクス程度の照明を当てることで、コンテンツと演者がバランスよく見えることを確認した。



図 4.6.1-7 350 ルクスに舞台と演者に照明を当てた場合の見え

本実証のような屋外での MR 体験においては、照度はコンテンツ、及び外部の見えに大きく影響し、照明を入れるなどして照度を最適化、かつ、一定に保つ環境構築を行う対策が必要であると言える。

2) 体験者特性による運用課題

事前検証時、NEC、凸版印刷、奈良県関係者 20 人に MR デバイスを装着の上コンテンツを体験のうえ、装着感・疲労感、視認性に関するアンケート調査を行った。アンケートの設問内容を表 4.6.1-8 に示し、対応する結果を表 4.6.1-9 に示す。

眼鏡利用者は、眼鏡の上から MR デバイスを装着した。本番実証同等にコンテンツ、及び外部が見える明るさの環境で体験を実施した。

表 4.6.1-8 アンケート設問内容

項目	設問番号	内容	回答	
装着感	1	装着時、耳が痛かった	0:当てはまる	1:当てはまらない
	2	装着時、鼻が痛かった	0:当てはまる	1:当てはまらない
	3	体験中、MRグラスがずれたり、 落ちそうになるなどの違和感があった	0:当てはまる	1:当てはまらない
疲労感	4	その他、装着感に関してコメント	自由回答	
	5	10分間の体験後、体験前より目が疲れた	0:当てはまる	1:当てはまらない
	6	10分間の体験後、体験前より耳が痛くなった	0:当てはまる	1:当てはまらない
	7	10分間の体験後、体験前より鼻が痛くなった	0:当てはまる	1:当てはまらない
視認性	8	その他、疲労感に関してコメント	自由回答	
	9	MRグラスから見えるCGIに ピントが合わない、見えづらいことがあった	0:当てはまる	1:当てはまらない
	10	現実(遺唐使船、パフォーマー)に ピントが合わない、見えづらいことがあった	0:当てはまる	1:当てはまらない
総合	11	その他、コンテンツの視認性についてコメント	自由回答	
	12	その他コメント	自由回答	

表 4.6.1-9 アンケート結果一覧

属性				装着感				疲労感				視認性		総合			
番号	性別	身長 (cm)	年齢	眼鏡	目の特性	設問1	設問2	設問3	設問4	設問5	設問6	設問7	設問8	設問9	設問10	設問11	設問12
1	男性	175	30代	眼鏡	近視(矯正済)	0	0	0		0	0	0		0	0		
2	男性	162	20代	コンタクト	近視(矯正済)	0	0	0		0	0	0		0	0		
3	男性	160	50代	眼鏡	近視(矯正済)	0	0	0		0	0	0		0	0		
4	男性	168	20代	裸眼	なし	0	0	0	グラスが曇る	0	0	0		0	0		
5	男性	175	40代	裸眼	なし	0	0	0		0	0	0		0	0		
6	女性	155	20代	コンタクト	近視(矯正済)	0	0	1	鼻が低く、下にずれてくる	0	0	0		0	0		
7	男性	173	30代	裸眼	なし	0	0	0	グラスが曇る	0	0	0		0	0		
8	女性	165	50代	コンタクト	近視(矯正済)	0	0	0		0	0	0		0	0		
9	男性	162	50代	眼鏡	近視(矯正済)	0	0	0		0	0	0		0	0		
10	女性	160	30代	コンタクト	近視(矯正済)	0	0	0	グラスが曇る	1	0	0	目が疲れた	0	0		
11	男性	168	50代	眼鏡	近視(矯正済)	0	0	0		0	0	0		0	0		
12	男性	178	50代	コンタクト	近視(矯正済) 乱視(未矯正)	0	0	1	鼻の高さが合わず見えない →手で押さえて体験した	0	0	0	腕が疲れた →手で押さえていたため	0	0		
13	女性	155	50代	裸眼	近視	0	0	0		0	0	0		0	0		
14	男性	168	50代	裸眼	老眼	0	0	0		0	0	0		0	0		
15	男性	158	20代	裸眼	なし	0	0	0	グラスが曇る	0	0	0		0	0		
16	男性	178	40代	眼鏡	老眼	0	0	0		0	0	0		0	0		
17	男性	169	60代	裸眼	老眼	0	0	0		0	0	0		0	0		
18	男性	162	60代	眼鏡	近視	0	0	0		0	0	0		0	0		
19	女性	158	20代	眼鏡	なし	0	0	0	グラスが曇る	0	0	0		0	0		
20	女性	155	40代	裸眼	なし	0	0	0		0	0	0		0	0		

装着感について、耳・鼻が痛くなると答えた人はゼロであった。その他の違和感について、20人中2人が「違和感があった」と回答、2人とも「鼻が低いため高さが合わない」という理由だった。また、20人中5人から、「レンズが曇った」という意見があった。

疲労感について、20人中19人が「疲れを感じなかった」と答えた。20人中1人が、「目が疲れた」と答えた。

視認性について、20人中20人が「違和感なく見えた」と答えた。

20代～60代までの各年代、及び性別での結果の差異はなかった。

身長による差異はなかったが、鼻の高さという顔の形状の違いで装着感に違和感のある体験者がいた。

眼鏡の場合は眼鏡のうえからMRグラスを装着することから、眼鏡の有無で装着感・疲労感に差が出ると仮定したが、眼鏡の有無による結果の差異はなかった。

裸眼だけでなく、老眼・近視・乱視の体験者に対して検証を行った。これらは、MRグ

ラスに映る映像が目近く、その奥に現実が見えるという体験の特長から、老眼等の場合には、ピントが合わない等の違和感が出るという懸念があったためである。しかし、老眼や近視の体験者も、視認性について違和感がなかったと答え、これらに結果の差異はなかった。

検証の結果、本体験における、装着感・疲労感・視認性の体験者特性の違いによる差異はなかった。特性による依存度がないため、体験者を限定することなく幅広い体験者に利用してもらえる設計ができたと言える。

また、MR グラスに対して図 4.6.1-8 のように眼鏡バンドを装着した。これにより、体験中にグラスがずれる・グラスが落ちる等の不具合を防ぐことができたと考えられる。



図 4.6.1-8 眼鏡バンドを装着した MR グラス

「レンズが曇る」「鼻が低く高さが合わない」という体験者属性を問わない課題を抽出する結果となった。これらは運用でのカバー方法を検討する必要がある。「レンズが曇る」という課題については、マスク着用であることと、冬の屋外で気温が低かったことが原因と考えられる。レンズに曇り止めを塗る、眼鏡が曇りにくいマスクを配布・使用してもらうなどの対策が考えられる。「鼻が低く高さが合わない」という課題については、本実証で使用した MR デバイスはノーズクリップを取り換えることができる。装着時に鼻の高さが合わずコンテンツが見えない場合には、ノーズクリップの高さが高いデバイスに変更するなどの運用オペレーション内で対応することが対策として考えられる。

3) 体験デバイス特性による運用課題

熱暴走対策なし／熱暴走対策あり（冷却ファン装着）の MR デバイスを用意し、システムを稼働させ、安定稼働時間の測定を 10 回ずつ行った。

本番用の製品版スマートフォン（Xperia 5 II）及び製品版 MR グラス（NrealLight）を使用し、約 10 分間の本番用システムを連続して稼働させ、MR グラスの表示状態を確認した。開始時、終了時の時間と電池残量を記録した。

熱暴走対策なし／熱暴走対策あり（冷却ファン装着）それぞれでの測定結果を表 4.6.1-10、表 4.6.1-11 に示す。

表 4.6.1-10 熱暴走対策あり 測定結果

試行回数	再生回数	開始時間	終了時間	開始電池	終了電池	消費充電	状態	最小FPS(シーン2)
1	1	13:10	13:22	100%	91%	9%	安定	
	2	13:22	13:34	91%	80%	11%	安定	
	3	13:34	13:46	80%	69%	11%	安定	
	4	13:46	13:58	69%	59%	10%	安定	
	5	13:58	14:10	59%	50%	9%	安定	
	6	14:10	14:22	50%	40%	10%	安定	
	7	14:22	14:34	40%	29%	11%	安定	
	8	14:34	14:46	29%	18%	11%	カクつきあり	47
	9	14:46	14:58	18%	6%	12%	カクつきあり	37
	10	14:58	15:06	6%	0%	6%	途中でシャットダウン	
2	1	13:10	13:22	100%	91%	9%	安定	
	2	13:22	13:34	91%	81%	10%	安定	
	3	13:34	13:46	81%	72%	9%	安定	
	4	13:46	13:58	72%	63%	9%	安定	
	5	13:58	14:10	63%	53%	10%	安定	
	6	14:10	14:22	53%	44%	9%	安定	
	7	14:22	14:34	44%	34%	10%	安定	
	8	14:34	14:46	34%	23%	11%	安定	
	9	14:46	14:58	23%	11%	12%	カクつきあり	37
	10	14:58	15:10	11%	1%	10%	カクつきあり	35
	11	15:10	15:13	1%	0%	1%	途中でシャットダウン	
3	1	13:10	13:22	99%	90%	9%	安定	
	2	13:22	13:34	90%	81%	9%	安定	
	3	13:34	13:46	81%	73%	8%	安定	
	4	13:46	13:58	73%	64%	9%	安定	
	5	13:58	14:10	64%	55%	9%	安定	
	6	14:10	14:22	55%	46%	9%	安定	
	7	14:22	14:34	46%	36%	10%	安定	
	8	14:34	14:46	36%	26%	10%	安定	
	9	14:46	14:58	25%	13%	12%	カクつきあり	40
	10	14:58	15:10	13%	1%	12%	カクつきあり	35
	11	15:10	15:11	1%	0%	1%	途中でシャットダウン	
4	1	15:40	15:52	100%	89%	11%	安定	
	2	15:52	16:04	89%	81%	8%	安定	
	3	16:04	16:16	81%	73%	8%	安定	
	4	16:16	16:28	73%	63%	10%	安定	
	5	16:28	16:40	63%	55%	8%	安定	
	6	16:40	16:52	55%	44%	11%	安定	
	7	16:52	17:04	44%	33%	11%	安定	
	8	17:04	17:16	33%	23%	10%	安定	
	9	17:16	17:28	23%	11%	12%	安定	
	10	17:28	17:40	11%	1%	10%	一部カクつきあり	45
	11	17:40	17:41	1%	0%	1%	起動すぐにシャットダウン	
5	1	15:40	15:52	100%	90%	10%	安定	
	2	15:52	16:04	90%	81%	9%	安定	
	3	16:04	16:16	81%	73%	8%	安定	
	4	16:16	16:28	73%	64%	9%	安定	
	5	16:28	16:40	64%	56%	8%	安定	
	6	16:40	16:52	56%	47%	9%	安定	
	7	16:52	17:04	47%	37%	10%	安定	
	8	17:04	17:16	37%	26%	11%	安定	
	9	17:16	17:28	26%	14%	12%	カクつきあり	45
	10	17:28	17:40	14%	2%	12%	カクつきあり	40
	11	17:40	17:45	2%	0%	2%	開始後3分後にシャットダウン	
6	1	15:40	15:52	98%	89%	9%	安定	
	2	15:52	16:04	89%	80%	9%	安定	
	3	16:04	16:16	80%	69%	11%	安定	
	4	16:16	16:28	69%	60%	9%	安定	
	5	16:28	16:40	60%	51%	9%	安定	
	6	16:40	16:52	51%	41%	10%	安定	
	7	16:52	17:04	41%	30%	11%	安定	
	8	17:04	17:16	30%	19%	11%	安定	
	9	17:16	17:28	19%	8%	11%	カクつきあり	48
	10	17:28	17:40	8%	1%	7%	カクつきあり	37
	11	17:40	17:41	1%	0%	1%	起動すぐにシャットダウン	

7	1	19:04	19:16	96%	89%	7%	安定	
	2	19:16	19:28	88%	81%	7%	安定	
	3	19:28	19:40	81%	73%	8%	安定	
	4	19:40	19:52	73%	64%	9%	安定	
	5	19:52	20:04	64%	56%	8%	安定	
	6	20:04	20:16	56%	46%	10%	安定	
	7	20:16	20:28	46%	36%	10%	安定	
	8	20:28	20:40	36%	25%	11%	映像は安定(FPS低下あり)	47
	9	20:40	20:52	25%	14%	11%	カクつきあり	35
	10	20:52	21:04	14%	3%	11%	カクつきあり	30
	11	21:04	21:10	3%	0%	3%	途中でシャットダウン	
8	1	19:04	19:16	98%	89%	9%	安定	
	2	19:16	19:28	89%	80%	9%	安定	
	3	19:28	19:40	80%	70%	10%	安定	
	4	19:40	19:52	70%	60%	10%	安定	
	5	19:52	20:04	60%	49%	11%	安定	
	6	20:04	20:16	49%	39%	10%	安定	
	7	20:16	20:28	39%	28%	11%	安定	
	8	20:28	20:40	28%	18%	10%	カクつきあり	40
	9	20:40	20:52	18%	5%	13%	カクつきあり	35
	10	20:52	20:54	5%	0%	5%	途中でシャットダウン	
	11							
9	1	19:04	19:16	97%	89%	8%	安定	
	2	19:16	19:28	89%	81%	8%	安定	
	3	19:28	19:40	81%	73%	8%	安定	
	4	19:40	19:52	73%	64%	9%	安定	
	5	19:52	20:04	64%	56%	8%	安定	
	6	20:04	20:16	56%	46%	10%	安定	
	7	20:16	20:28	46%	36%	10%	安定	
	8	20:28	20:40	36%	25%	11%	安定	
	9	20:40	20:52	25%	14%	11%	カクつきあり	37
	10	20:52	21:04	14%	1%	13%	カクつき	35
	11	21:04	21:05	1%	0%	1%	途中でシャットダウン	
10	1	19:04	19:16	96%	85%	11%	安定	
	2	19:16	19:28	85%	75%	10%	安定	
	3	19:28	19:40	75%	64%	11%	安定	
	4	19:40	19:52	64%	54%	10%	安定	
	5	19:52	20:04	54%	44%	10%	安定	
	6	20:04	20:16	44%	33%	11%	安定	
	7	20:16	20:28	33%	22%	11%	安定	
	8	20:28	20:40	22%	10%	12%	カクつきあり	45
	9	20:40	20:52	10%	1%	9%	カクつきあり	37
	10	20:52	20:56	1%	0%	1%	途中でシャットダウン	
	11					0%		

表 4.6.1-11 熱暴走対策なし 測定結果

試行回数	再生回数	開始時間	終了時間	開始電池	終了電池	消費充電	状態	最小FPS(シーン2)
1	1	13:10	13:22	100%	90%	10%	安定	
	2	13:22	13:34	90%	80%	10%	安定	
	3	13:34	13:46	80%	69%	11%	安定	
	4	13:46	13:58	69%	57%	12%	安定	
	5	13:58	14:10	57%	46%	11%	カクつきあり	35
	6	14:10	14:22	46%	36%	10%	カクつきあり	35
	7	14:22	14:34	36%	26%	10%	カクつきあり	25
	8	14:34	14:46	26%	15%	11%	カクつきあり	24
	9	14:46	14:58	15%	3%	12%	カクつきあり	24
	10	14:58	15:03	3%	0%	3%	途中でシャットダウン	
	11					0%		
2	1	13:10	13:22	100%	90%	10%	安定	
	2	13:22	13:34	90%	80%	10%	安定	
	3	13:34	13:46	80%	69%	11%	安定	
	4	13:46	13:58	69%	59%	10%	安定	
	5	13:58	14:10	59%	49%	10%	カクつきあり	39
	6	14:10	14:22	49%	38%	11%	カクつきあり	24
	7	14:22	14:34	38%	28%	10%	カクつきあり	25
	8	14:34	14:46	28%	16%	12%	カクつきあり	21
	9	14:46	14:58	16%	5%	11%	カクつきあり	21
	10	14:58	15:06	5%	0%	5%	途中でシャットダウン	
	11							
3	1	13:10	13:22	100%	92%	8%	安定	
	2	13:22	13:34	92%	82%	10%	安定	
	3	13:34	13:46	82%	73%	9%	安定	
	4	13:46	13:58	73%	63%	10%	安定	
	5	13:58	14:10	63%	54%	9%	カクつきあり	39
	6	14:10	14:22	54%	43%	11%	カクつきあり	30
	7	14:22	14:34	43%	33%	10%	カクつきあり	25
	8	14:34	14:46	33%	23%	10%	カクつきあり	24
	9	14:46	14:58	23%	12%	11%	カクつきあり	23
	10	14:58	15:10	12%	1%	11%	カクつきあり	21
	11	15:10	15:10	1%	0%	1%	途中でシャットダウン	
4	1	15:40	15:52	100%	89%	11%	安定	
	2	15:52	16:04	89%	81%	8%	安定	
	3	16:04	16:16	81%	73%	8%	安定	
	4	16:16	16:28	73%	64%	9%	安定	
	5	16:28	16:40	64%	56%	8%	安定	
	6	16:40	16:52	56%	47%	9%	カクつきあり	40
	7	16:52	17:04	47%	37%	10%	カクつきあり	37
	8	17:04	17:16	37%	28%	9%	カクつきあり	32
	9	17:16	17:28	28%	18%	10%	カクつきあり	25
	10	17:28	17:40	18%	9%	9%	カクつきあり	23
	11	17:40	17:43	9%	0%	9%	途中でシャットダウン	
5	1	15:40	15:52	100%	90%	10%	安定	
	2	15:52	16:04	90%	81%	9%	安定	
	3	16:04	16:16	81%	72%	9%	安定	
	4	16:16	16:28	72%	63%	9%	安定	
	5	16:28	16:40	63%	53%	10%	安定	
	6	16:40	16:52	53%	43%	10%	カクつきあり	37
	7	16:52	17:04	43%	33%	10%	カクつきあり	35
	8	17:04	17:16	33%	24%	9%	カクつきあり	25
	9	17:16	17:28	24%	14%	10%	カクつきあり	21
	10	17:28	17:40	14%	3%	11%	カクつきあり	21
	11	17:40	17:42	3%	0%	3%	途中でシャットダウン	
6	1	15:40	15:52	100%	90%	10%	安定	
	2	15:52	16:04	90%	81%	9%	安定	
	3	16:04	16:16	81%	72%	9%	安定	
	4	16:16	16:28	72%	62%	10%	安定	
	5	16:28	16:40	62%	52%	10%	カクつきあり	40
	6	16:40	16:52	52%	42%	10%	カクつきあり	35
	7	16:52	17:04	42%	32%	10%	カクつきあり	28
	8	17:04	17:16	32%	21%	11%	カクつきあり	25
	9	17:16	17:28	21%	10%	11%	カクつきあり	24
	10	17:28	17:40	10%	1%	9%	カクつきあり	21
	11	17:40	17:41	1%	0%	1%	途中でシャットダウン	

7	1	19:04	19:16	96%	88%	8%	安定	
	2	19:16	19:28	88%	81%	7%	安定	
	3	19:28	19:40	81%	74%	7%	安定	
	4	19:40	19:52	74%	67%	7%	映像は安定しているがFPS低下	34
	5	19:52	20:04	67%	60%	7%	カクつきあり	21
	6	20:04	20:16	60%	51%	9%	カクつきあり	22
	7	20:16	20:28	51%	43%	8%	カクつきあり	23
	8	20:28	20:40	43%	34%	9%	カクつきあり	31
	9	20:40	20:52	34%	23%	11%	カクつきあり	27
	10	20:52	21:04	23%	11%	12%	カクつきあり	22
	11	21:04	21:10	11%	0%	11%	途中でシャットダウン	
8	1	19:04	19:16	98%	88%	8%	安定	
	2	19:16	19:28	88%	80%	8%	安定	
	3	19:28	19:40	80%	72%	8%	安定	
	4	19:40	19:52	72%	62%	10%	カクつきあり	36
	5	19:52	20:04	62%	52%	10%	カクつきあり	35
	6	20:04	20:16	52%	43%	9%	カクつきあり	28
	7	20:16	20:28	43%	33%	10%	カクつきあり	23
	8	20:28	20:40	33%	24%	9%	カクつきあり	24
	9	20:40	20:52	24%	14%	10%	カクつきあり	24
	10	20:52	21:04	14%	2%	12%	カクつきあり	20
	11	21:04	21:05	2%	0%	2%	途中でシャットダウン	
9	1	19:04	19:16	98%	90%	8%	安定	
	2	19:16	19:28	90%	82%	8%	安定	
	3	19:28	19:40	82%	74%	8%	安定	
	4	19:40	19:52	74%	65%	9%	カクつきあり	24
	5	19:52	20:04	65%	56%	9%	カクつきあり	21
	6	20:04	20:16	56%	48%	8%	カクつきあり	22
	7	20:16	20:28	48%	40%	8%	カクつきあり	23
	8	20:28	20:40	40%	29%	11%	カクつきあり	31
	9	20:40	20:52	29%	17%	12%	カクつきあり	27
	10	20:52	21:04	17%	5%	12%	カクつきあり	22
	11	21:04	21:10	5%	0%		途中でシャットダウン	
10	1	19:04	19:16	100%	89%	11%	安定	
	2	19:16	19:28	89%	81%	8%	安定	
	3	19:28	19:40	81%	72%	9%	安定	
	4	19:40	19:52	72%	64%	8%	安定	
	5	19:52	20:04	64%	55%	9%	カクつきあり	31
	6	20:04	20:16	55%	44%	11%	カクつきあり	30
	7	20:16	20:28	44%	34%	10%	カクつきあり	25
	8	20:28	20:40	34%	23%	11%	カクつきあり	25
	9	20:40	20:52	23%	11%	12%	カクつきあり	23
	10	20:52	21:04	11%	1%	10%	カクつきあり	22
	11	21:04	21:05	1%	0%	1%	途中でシャットダウン	

次に、表 4.6.1-10、表 4.6.1-11 の結果から、連続稼働時間とそのうちの連続安定稼働時間、安定が損なわれたときの電池残量を表 4.6.1-12、表 4.6.1-13 に示す。

安定稼働時間の定義は、映像にカクつきがなく映像がスムーズに再生されていることとし、映像のカクつきを確認した以前までの時間を安定稼働時間とした。映像のカクつきは、FPS の低下により起こる現象であり、FPS の低下は、熱暴走や電池残量の低下により起こる現象である。安定性の確認は、特に FPS が変動しやすく、映像のカクつきが起りやすい【シーン 2 (航海)】で実施した。

表 4.6.1-12 熱暴走対策なし 連続安定稼働時間計測結果

熱暴走対策なし				
試行回数	連続稼働時間	連続安定稼働時間	安定が損なわれたときの 電池残量	
1	1:53	0:48	57%	
2	1:56	0:48	59%	
3	2:00	0:48	63%	
4	2:03	1:00	56%	
5	2:02	1:00	53%	
6	2:01	0:48	62%	
7	2:00	0:36	74%	
8	2:01	0:36	72%	
9	2:06	0:36	74%	
10	2:01	0:48	64%	
平均	2:00	0:46	63%	

表 4.6.1-13 熱暴走対策あり 連続安定稼働時間計測結果

熱暴走対策あり				
試行回数	連続稼働時間	連続安定稼働時間	安定が損なわれたときの 電池残量	
1	1:56	1:24	29%	
2	2:03	1:36	23%	
3	2:01	1:36	25%	
4	2:01	1:48	11%	
5	2:05	1:36	26%	
6	2:01	1:36	19%	
7	2:06	1:24	25%	
8	1:50	1:24	28%	
9	2:01	1:36	25%	
10	1:52	1:36	22%	
平均	1:59	1:33	23%	

本実証の全試行において、端末の電池残量が 0%になりシャットダウンした。電池残量が十分なかでの強制終了やシャットダウンは起こらなかった。つまり、連続稼働時間は、電池がなくなるまでの時間となっている。

この連続稼働時間、及びその際の電池の消費スピードについては、熱暴走対策あり／なしによる差が出なかった。よって、今回の冷却ファンによる熱暴走対策は、電池消費量と稼働時間には影響を与えなかったと言える。本対策は、電池消費量を抑える効果はなかった。

一方、連続安定稼働時間については、熱暴走対策なしで平均 46 分間・最小 36 分間、熱暴走対策ありで平均 1 時間 33 分間・最小 1 時間 24 分間となり、熱暴走対策ありの方が、大幅に連続安定稼働時間が長いという結果だった。

安定稼働の定義に用いた FPS の低下による映像のカクつきは、熱暴走や、電池残量の低下により発生する現象である。熱暴走対策ありでは、一様に電池残量が 30%を下回った時点から FPS が低下したが、熱暴走対策なしでは、電池残量が 70%を上回っていても FPS が急激に低下した。つまり、熱暴走対策ありでは、電池残量の低下の影響で FPS が低下し、熱暴走対策なしでは熱暴走発生の影響により、FPS が低下したと言える。

冷却ファン装着による熱暴走対策の実施によって、熱暴走を軽減し、安定稼働時間を延ばすことができた。

本実証は屋内で気温 20 度の環境で実施した。本番実証では屋外で気温 10 度以下の環境であることから、より熱暴走は軽減されると考えられる。

また、熱暴走対策ありでの連続安定稼働時間の最小値は 1 時間 24 分間であった。つまり、デバイスの特性としては、冷却ファンによる熱暴走対策を実施し、100%充電から開始するという条件のもと、本番同様のコンテンツを 1 時間 24 分間連続して再生することができるということになる。

実用化に向けて、起動～端末の設定～装着という時間にも電池を消費するため、その前後の時間も含めて、1 時間程度の体験を設計することが可能であると言える。

4) 運用オペレーションによる運用課題

本番実証時、図 4.6.1-9 の運用を実施した。運用オペレーションに関するアンケート結果を表 4.6.1-14 に示す。2 名を除き、良かった・とても良かったと回答した。体験者にとっても満足のいく運用オペレーションを実施することができた。

開始	終了	体験者の動き	受付		クローク		キャリアレシジョン・機材担当		体験サポート担当			システム担当	音響担当	舞台担当	全体進行	観客対応	
			スタッフA	スタッフB	スタッフC スタッフD	スタッフE スタッフF	スタッフG スタッフH	スタッフI	スタッフJ スタッフK	スタッフL スタッフM	スタッフN スタッフO	スタッフP	スタッフQ	スタッフR	スタッフS	スタッフT	スタッフU
17:50	18:00	受付 受付クロークにて荷物を受け取る 説明書に署名 オリエン場所へ移動	・消音、保護 ・予約リストを確認 ・番号札を配布 ・クロークを案内	・クローク対応 ・荷物を入れたら、タグを渡す ・体験者番号を同着書記入台へ記入	・機材充電確認 ・消音 ・端末移動	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にてオリエンテーション ★オリエン終了連絡(スタッフF→スタッフE)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にてオリエンテーション ★オリエン終了連絡(スタッフF→スタッフE)	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・システムスタート ・PAスタート ・コール	・音響	・舞台	・全体進行	・観客対応
18:00	18:10	オリエンテーション	・クローク見張り ・連絡者受付対応	・機材キャリアレシジョン準備	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にてオリエンテーション ★オリエン終了連絡(スタッフF→スタッフE)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・システムスタート ・PAスタート ・コール	・音響	・舞台	・全体進行	・観客対応	
18:10	18:20	リュック、バンドを装着 体験場所(広場)へ移動 スタート位置で機材装着	・クローク見張り ・前回グループのクローク見張り対応	・機材キャリアレシジョン準備	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にてオリエンテーション ★オリエン終了連絡(スタッフF→スタッフE)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・システムスタート ・PAスタート ・コール	・音響	・舞台	・全体進行	・観客対応	
18:20	18:30	体験時間	・次の受付リストの準備 ・クローク見張り	・機材キャリアレシジョン準備	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にてオリエンテーション ★オリエン終了連絡(スタッフF→スタッフE)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・システムスタート ・PAスタート ・コール	・音響	・舞台	・全体進行	・観客対応	
18:35	18:45	体験エリアへ移動して機材回収 自動運転へ移動	・リュック、グローブ回収サポート	・機材キャリアレシジョン準備	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にてオリエンテーション ★オリエン終了連絡(スタッフF→スタッフE)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・体験者番号を同着書記入台からオリエン場所へ運送 ・受付、クロークサポート ・オリエン準備 ・早く来た体験者にちらしを配布	・オリエン場所にて体験者にリュックとグローブを装着 ※体験者1名に対してスタッフ1名で対応 ★キャリアレシジョン完了連絡(スタッフE→スタッフF)	・システムスタート ・PAスタート ・コール	・音響	・舞台	・全体進行	・観客対応	

図 4.6.1-9 運用オペレーション詳細(18時回のみ記載、以降繰り返し) ※再掲

表 4.6.1-14 運用オペレーション アンケート結果

選択肢	n (72)	%
とても良かった	43	59.7%
良かった	27	37.5%
普通	1	1.4%
あまり良くなかった	1	1.4%
全く良くなかった	0	0.0%

運用オペレーションの課題として、スタッフ人数が多い点があげられる。

MR グラスは日常的なデバイスでないために、体験者自らの装着が難しく、装着補助が必要である。また、MR グラスのような眼鏡・ゴーグル型の精密機器を伴うウェアラブル端末の場合、外から体験者の見えを確認することができないため、装着後の体験者に対して表示を確認する必要がある。そのため、ひとりへの対応時間が長くなり、スタッフの人手も必要となる。

本実証では、効率化のために、MR デバイスの装着については、スタッフが2人1組で行った。表示確認と同時に装着を進めることで、スムーズに装着することができたが、スタッフの人数を要した。

装着に人手がかかる MR デバイスの運用において、効率的かつ省人数で対応する方法を検討することが今後の課題である。

工程ごとに本番実証で実施した工夫点を以下に示す。

● 体験前

受付では、非接触体温計で検温を行うスタッフと、予約確認を行うスタッフを分けることでスムーズに受付を行うことができた。

リハーサルでの事前検証時、ハンドジェスチャーと移動について、体験者が動作に迷う部分があった。よって、本番実証時には、オリエンテーションの中でハンドジェスチャーと移動についての説明を重点的に行った。ハンドジェスチャーの方法や移動する場所など丁寧に説明することで、本番中に体験者が迷うことなく動作することができた。

● 体験中

以下の流れで MR デバイス装着を実施した。スタッフ 2 名で体験者 1 名を対応することで、スムーズな装着を行うことができたと同時に、体験中に体験者が端末を落とす、端末のコードが抜けるなどの人的エラーを防ぐことができた。

- ・スタッフ 2 名（以下「スタッフ A」「スタッフ B」という）で体験者 1 名に器具を装着する
- ・スタッフ A が MR グラスを持ち、スタッフ B がスマートフォンとコントローラを持つ
- ・スタッフ A が体験者に MR グラス等を装着し、表示を確認してから、スタッフ B がスマートフォンをリュックに装着、スタッフ A がコントローラをグローブに装着する

● 体験後

以下の流れで MR デバイス回収を実施した。MR グラス以外を屋内に移動後に回収することで、暗い屋外で端末を落とすなどの人的エラーを防ぐことができた。

- ・体験終了直後に MR グラスのみ回収する。
- ・スマートフォン、コントローラを装着したまま屋内へ移動する。
- ・屋内でリュック、スマートフォン、及びコントローラを一緒に回収する。

以下のように体験者を番号で管理した。番号管理によって、案内を効率化することができた。

- ・受付で番号札を配布、アンケート終了まで首からさげてもらう。
- ・リュック背面下に番号札を装着する。
- ・コントローラに番号と色を意味するシールを貼付する。
- ・オリエン場所の椅子に番号札を貼付する。



図 4.6.1-10 番号管理例 (左:リュック 右:グローブ)



図 4.6.1-11 オリエン場所の椅子に番号札を貼付

(5) 考察（今後の課題等）

屋外における外部環境光の影響について、環境光を一定に保つ環境が必要であり、日中は太陽光の明るさで MR グラス内のコンテンツが非常に見えづらい、また日没前後の時間帯は MR グラスの視聴照度として適しているが、安定した照度継続時間が短いために運用としては適さない。本実証環境のように夜間で照明を入れる等行い照度を最適化かつ一定に保つ環境構築が必要である。

観光体験コンテンツとして実用化を行う上では、より多くの観光客に利用してもらうことを考える必要があり、夜間のみならず日中に実施できる方法を検討したい。日中の照度が高い環境での実施においては、MR グラスに遮光フィルタを装着して MR グラスに表示されるコンテンツの視認性を確保する手段が考えられる。例えば、一般的にカメラレンズで使用される ND フィルタを使うことにより、色彩に影響を与えることなく光の量だけを低下させることが可能である。濃度（光量を減少させる割合）によって種類があり、用途に合わせて使い分けが可能である。

今回の検証時、MR グラスに ND フィルタを貼り付けて試した。使用したのは、サンテック社「PC-925/ポリカラーNo.925」で、照度 30,000 ルクスの環境で、ND フィルタなしの照度 10,000 ルクス程度のコンテンツの見えを確認することができた。一方、ND フィルタを付けると MR グラス越しに見るもの全てが暗くなるため、外部の見えも暗くなる。環境と実施時間によって、適切な遮光フィルタを選択する等し、時間や天候に合わせた屋外体験を実施できるよう検討する必要がある。



図 4.6.1-12 検証で使用した ND フィルタ

体験者特性に関する検証においては、20 代～60 代までを対象に装着感・疲労感・視認性について調査した結果、体験者の年代や性別、体格等に依存することなく、全員が同様な体験できることが確認できた。本実証の体験者アンケートの中でも、一部眼鏡着用の体験者において、ズレそうであったため手で調整した等のコメントはあったが、大きな問題がないことを確認できた。

実用化に向けては、幅広い客層が体験できるようにするべきであり、家族全員での体験、特に子供が体験できるようにしたい。しかし、MR デバイスにはメーカーが定める推奨年齢があり、今回使用した「NrealLight」は、7歳以上が対象、13歳までは保護者の同意が必要となっている。そのため、対象年齢以下の子供には、タブレット等年齢に依存せずに体験できるデバイスを用意する等の対策が必要となる。また、頭の小さい子供に対してはサイズ調整が可能なバンドの装着、ヘルメット型の機器に装着する等、運用による対策を行い、参加者が全員体験できるような体験環境を検討する必要がある。

運用人員については、本実証では安定した運用を行うことを優先し、運用スタッフを適宜配置調整や増員した結果、トラブルなくスムーズな運営ができた。本実証の体験者アンケートでも、体験の流れやスタッフ対応の点で高い評価を得た。

実用化に向けた課題としては、運用人員は運営コストとなるため、最小人数での運営をする必要がある。特に MR デバイス装着時に人手がかかったため、体験者自ら装着ができるようにデバイス装着方法を簡易化する等、効率的かつ少人数で対応する方法を検討する必要がある。装着が簡単な MR デバイスの選定やキャリブレーションを体験者側で行えるための仕組みづくり等によって運用人員を削減することを検討する必要がある。

また、本実証の体験者アンケートでは、演者のパフォーマンスと MR デバイスとの融合体験は高く評価されており、MR 歴史体験において演者活用は、体験者の満足度を高められたと言える。ただし、演者活用において、イベント等一時的利用においては運用コストやスケジュールの調整が必要となり、長期的・常設利用においては、運用コストと体制を含めての検討する必要がある。

4.6.2 新たな移動体験

(1) 実施概要

持続可能な観光の実現に資する実証（新たな移動体験）の機能を評価する。

(2) 評価・検証項目

移動の際にも歴史文化体験の世界観を分断しない・安心安全な新たな移動体験の社会実装に向けて、安定性を中心とした課題について検証する。

(3) 評価・検証方法

1) 安心、安全に関する運用課題

a) 検証内容

乗客が提示された内容が、理解のできる内容、タイミングであったかを確認する方法を検討する。

b) 検証方法

走行時のログを解析し乗客の動作に対する、アナウンス、注意喚起提示までの時間を計測する。アンケート等による乗客へのヒアリングを行い、乗客の動作とアナウンス、注意喚起内容が妥当だったかを確認する。

2) 安定性に関する運用課題

a) 検証内容

映像、音声、制御コマンドの送受信時に、ネットワークが切断されることなく、動作し続けていることが確認できる方を検討する。

b) 検証方法

車両とアプリケーションサーバ間の通信確立をロギングできるようにしておく。体験中のログから通信の切断が起きなかったことを確認する。

3) 無人自動運転に関する運用課題

a) 検証内容

乗降時や乗車中の体験を評価する。

b) 検証方法

アンケート調査、乗降時のスタッフ観察を行い体験者に不安がないかを確認、判定する。

4) 新型コロナウイルス、感染防止への効果

a) 検証内容

6人乗りの乗合（バス）自動運転カートを活用した移動サービスのコロナ対策に関する安心感を確認する。

b) 検証方法

アンケート調査により感染症対策に対する安心感を確認する。

(4) 評価・検証結果

1) 安心、安全に関する運用課題

アナウンスタイミングについては、図 4.4.3-1 のアンケート結果の通り、58.33%が適切、26.38%が少し遅れ、合計 84.71%という回答であった。ローカル 5G ネットワークが安定し、高速通信であったことで、映像及び音声进行分析し応答が十分な時間で対応できたことが読み取れる。

また、機能検証 4.5.2 項に記載の通り、既存の Wi-Fi に比べても通信速度が早く、従来のシステムでは実現し得なかった構成、速度でアナウンス、注意喚起が行えたことが伺える。

2) 安定性に関する運用課題

図 4.4.3-22 に Q21 の記述回答の分析結果を示す。回答数 27 の内容を 6 つに分類を行った。評価は分散しているが、ネットワークの遅延に関する指摘については見受けられず、ネットワークとしては安定していたことが伺える。また、機能検証 4.5.2 項に記載の通り、既存の Wi-Fi に比べても通信が安定していることが伺える。

一方で、“質問のタイミングが難しかった”、“質問表の通り質問をしたが無視された”、“話しかけるタイミング”、“通じなかったことが多々あった”、“不自然な会話があった”、といった、コンテンツやアプリケーション的な指摘もあった。今後はこれらの意見

を踏まえ、対話コンテンツの充実や音声認識が誤認識した場合のアプリケーション的な質問のバリエーションの充実し UX の向上が今後の課題となる。

3) 無人運転自動車に関する運用課題

実証実験走行においては、運転席にドライバは乗車しておりませんが、保安要員として 2 名のスタッフが車両に帯同をしていました。実運用を想定した場合には、人件費は採算性を考える上において大きな要素となるため、「遠隔監視システム」を導入した上で、複数の車両を遠隔で監視するオペレーションスタッフ以外には無人で運用できる仕組み作りが今後必要になってくると考えている。

4) 新型コロナウイルス、感染防止への効果

アンケート Q36 の結果により、安心・やや安心と回答した方が 95%以上になっており、「ドアの無いカートタイプ車両」、「AI コンダクターによるマスク着用注意喚起」が機能した結果になっていると考えられる。「変わらない」と回答している方が全体の中で 3 名のみ該当したが、AI コンダクターによる注意喚起が画像認識の問題で上手く機能しないケースがあったため、それが影響していると考えられる。しかしながら試行回数を繰り返していき、AI に対する学習を重ねていくことで本課題は改善していくと認識している。

(5) 考察（今後の課題等）

ローカル 5G を利用した際の高速、低遅延なネットワークを用いることで、従来のネットワークでは実現できなかった、安心、安全、安定性については、本実証実験の結果から利用者にとってはおおむね満足する結果を得られたと考えられる。

ネットワークといったインフラの充実度は満足な結果を得られたため、利用者の観点としてコンテンツとしての充実が求められる結果となっていた。今後は、高速、低遅延でのネットワークがある前提で、コンテンツとしての充実を図りさらなる UX の向上を目指す必要があると考えられる。

自動運転に関しては無人才オペレーションを想定した運用プロセスの構築、複数台の自動運転車両を活用した場合における監視＋コントロールシステムといった機能を追加した上で無人才オペレーションでの運用を実施していく必要があると考えられる。

検証項目：運用オペレーションによる運用課題

検証方法：車両の管理、説明等に要する人員配置や車両までの誘導など、実運用を想定した車両の運行中以外での運用オペレーションにおける課題を検証する。

運用オペレーションにおける課題として、実運用を想定した場合に以下のことが考えられる。

- 「電子案内板」のようなものを活用して、実証実験では人が実施していたような説明を機械が実施し、自動運転車両と連携をして走行開始、終了が実施できるようなシステムを通して運用を実施する。
- 車両に安全に正しく乗降車頂くために、社内に音声・映像でガイドのようなものを配信する。
- 自動運転では乗車前後だけではなく、運行中も車両にオペレーションスタッフが同乗していない状況であるため、「遠隔監視システム」を活用して何か発生した場合に対応できる仕組みを構築しておくことが必要である。
- 車両トラブル時に現場に駆けつけて代車準備やトラブル対応を実施することが必要であると考えられるため、オペレーションセンターは実施場所の近くで遠隔監視、トラブル対応ができることが望ましい（ただし一人のスタッフが監視、オペレーション、トラブル対応が実施できるといった形で、人件費を極力抑えて運用できることが理想である）。

4.7 まとめ

平城宮跡歴史公園において、ローカル5Gの大容量・低遅延通信を活用した「新たな歴史文化体験」と「新たな移動体験」の2つの課題実証を実施した。ローカル5Gで無線ネットワークを構築することで、文化財保護の観点から有線ネットワークの敷設工事を行わずに低遅延で高精細な映像を配信できるネットワークが構築できた。

新たな歴史文化体験では、広大な公園内の歴史遺構をグループで同時に体験でき、個々の楽しみ方もできるMRによる歴史文化体験を提供した。この地ならではの文化史跡を活用した歴史文化体験の充実により、「楽しい」「行きたい」と思える観光価値を高め、観光客の入込客数を向上させる可能性があることを、アンケート調査により確認した。

新たな移動体験では、公園内の移動中もAIによる自然な会話で園内を案内するAIコンダクターを提供した。観光スポット間の移動時にも、歴史文化体験の世界観を分断しない・安心安全な移動案内を行う新たな移動体験、また、園内さらには県内観光地での周遊性向上が見込めることをアンケート調査により確認した。

今後、新たな歴史文化体験、新たな移動体験を地域実装していくことで、観光地としての奈良県内の各地域の魅力を向上し、県内での周遊性向上を実現を目指していく。

5. ローカル5Gの性能評価の技術実証

5.1 前提条件

4.7GHz帯における電波伝搬特性の解明及び端末（MR等）への高精細映像伝送等を想定したローカル5Gの性能評価等を実施した。また、観光施設における最適なローカル5Gエリア構築等について検証を行った。技術実証の実施にあたって、以下の点に留意した。

- ITU及び3GPPにおける5Gの標準化に関する検討状況ならびに情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会におけるローカル5Gに関する検討状況を踏まえて検討を行った。
- キャリア5Gや地域BWAとの必要な調整を行い、既存の無線システムに影響を与えないよう、検証を行った。1.5.4で示した各通信事業者との干渉調整に加え、実証場所において2.5GHz帯でサービス提供を行っているKCN社にて、ローカル5Gの電波発射によるKCN社ユーザ様への影響を調査し、影響を与えていないことを確認した。
- 事前にフィールド測定の実施方法を十分に具体化して必要な測定機材を手配し、測定機材を設置した。作業台等を含めて、測定機器類、測定環境等については請負者で準備した。

ローカル5Gの基地局相当装置諸元と移動相当局諸元について表5.1-1～4.6.2-4に示す。なお、本システムはNSA構成でDL：UL=4：1の同期モードでの運用である。

略語 BS：Base Station（基地局） MS：Mobile Station（移動局）

表 5.1-1 基地局相当装置諸元（BS1）

項目	実験試験局（基地局相当）諸元
変調方式（1次変調）	QPSK、16QAM、64QAM
変調方式	OFDMA
複信方式	TDD
帯域幅	10MHz
中心周波数	2.585GHz
送信電力	0.1W（+20dBm）×2（1局合計0.2W）
最大EIRP	+24.0dBm（1局合計+27.0dBm）
アンテナ構成	無指向性アンテナ×2
アンテナ利得	4dBi
アンテナ高	4m
申請希望局数	1局

表 4.6.2-2 基地局相当装置諸元 (BS2)

項目	実験試験局 (基地局相当) 諸元
変調方式 (1次変調)	QPSK、16QAM、64QAM
変調方式	DL:OFDM UL:OFDM/DFT-s-OFDM
複信方式	TDD
帯域幅	100MHz (100MHz×1CC)
中心周波数	4.75GHz
送信電力	2.77W (+34.4dBm) ×2 (1局合計 5.54W)
最大 EIRP	+48.4dBm (1局合計+51.4dBm)
アンテナ構成	指向性アンテナ×2
アンテナ利得	17dBi
アンテナ高	5m
同期方式	同期 TDD
申請希望局数	1局

表 4.6.2-3 移動局相当装置諸元 (MS1)

項目	実験試験局 (移動局相当) 諸元
変調方式 (1次変調)	QPSK、16QAM、64QAM、256QAM
変調方式	DFT-Spread OFDM
複信方式	TDD
帯域幅	10MHz
中心周波数	2.585GHz
送信電力	200mW (+23dBm)
最大 EIRP	+23dBm
アンテナ構成	無指向性アンテナ×4
アンテナ利得	1dBi
アンテナ高	1.5m
申請希望局数	4局

表 4.6.2-4 移動局相当装置諸元 (MS2)

項目	実験試験局 (移動局相当)
変調方式 (1次変調)	QPSK、16QAM、64QAM、256QAM
変調方式	OFDM
複信方式	TDD
帯域幅	100MHz (100MHz×1CC)
中心周波数	4.75GHz
送信電力	200mW (+23dBm)
最大 EIRP	+23.4dBm
アンテナ構成	無指向性アンテナ×4
アンテナ利得	2.4dBi
アンテナ高	1.5m
同期方式	同期 TDD
申請希望局数	4局

5.1.1 前提条件の詳細事項

1) 実証地域以外の地域での利用においても有益な成果を得るために、前提条件として留意した点

観光分野において、実証地域と類似する他の多くの地域で活用可能なローカル5Gエリア構築手法を確立することに留意した。

典型的な観光施設のエリアにおけるローカル5Gの利用環境を以下のように考えた。

- 屋外で建造物や展示品等の遮蔽物が点在し、ローカル5G基地局の見通し内になる場所が比較的多い。
- エリア全体が平坦であることが多いが、エリア内に起伏がありローカル5G基地局から見通し外になるエリアを含むこともある。
- 多くの人を訪れるが、広いエリア内で人が密集する場所は限られている。
- ローカル5G基地局のアンテナは、目立たないように設置できることが望まれる。
- ローカル5Gの端末は、MRを利用する際など、人が身に着けることが多い。

今回の実証環境は、多くの点で、このような典型的な観光施設のエリアと共通しているが、その中で異なる点としては、エリア内に起伏がない点及び人が密集する場所がない点が挙げられる。

そこで、今回の実証環境と典型的な観光施設のエリアとの共通点を踏まえて、有益な成果を得るため、以下の点に留意した。

- ローカル5G基地局のアンテナ高は、観光施設等では目立たないように設置できることが望まれることから一般的と考えられる5mとした。
- 端末を人が身に着けることを想定して、人体損失の測定を行うこととし、その測定時のアンテナ高は、端末を身に着けて利用する際に想定される1mとした。

また、今回の実証環境では、典型的な観光施設のエリアと異なり、エリア内に起伏がなく見通し外の場所が少ない点を踏まえて、以下の点に留意した。

- 今回の実証環境では起伏がなく見通し外の場所が少なかったが、低速フェージングの測定を、見通し内だけでなく、見通し外となる測定地点も選んで実施し、起伏によって見通し外のエリアがある観光施設においても有益な成果を得られるようにした。
- 人体損失の測定においても、見通し内のみならず見通し外の測定地点を選んで実施し、見通し内と見通し外の比較分析を行うことで、起伏によって見通し外のエリアがある観光施設においても有益な成果を得られるようにした。

今回の実証環境は、人が密集する場所がなかった点で、典型的な観光施設のエリアと異なるが、新型コロナウイルス感染症の状況を考慮すると人が密集する状況を作り出すことは困難であり、この点については、残された課題として整理することとした。

2) 情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会におけるローカル5Gに関する検討状況を踏まえての検討

情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会におけるローカル5G検討作業班において、カバーエリア及び調整対象区域の算出法が検討されており、その算出に用いる電波伝搬モデルが定められている。そして、2020年12月に制度改正が行われて、対象周波数帯の追加が行われたところであるが、今後、さらに様々な分野でのローカル5Gの利用拡大に向けて、電波伝搬モデルの精緻化が期待されているところである。このような状況を鑑み、本技術実証では、電波伝搬モデルの精緻化に資する検討（具体的には、人体損失に関する検討）を行った。

3) 技術実証の対象とするユースケース

観光施設における新たな歴史文化体験を技術実証の対象とした。

4) ユースケースに基づく性能要件の基本的な考え方

MRグラスへの映像伝送を想定し、下りリンクで1台あたり30Mbps、1つの業務区域で最大6台の同時利用が見込まれることから、下りリンクのスループットとして、180Mbps（30Mbps×最大6台）を性能要件とした。また、遅延時間は、音声通信で違和感がない遅延が200msecとされていることを考慮し、100～200msecとすることを性能要件とした。

5.2 実証目標

4.7GHz 帯のフィールド測定により、ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価、ローカル 5 G のエリア構築やシステム構成の検証、その他ローカル 5 G に関する技術実証を目標とした。

具体的には、以下のようにフィールド測定を行い、観光施設等におけるエリア構築に役立つ知見を得た。

- 観光施設に構築するローカル 5 G 実証環境で、エリア内受信電力や高精細映像伝送を想定した伝送スループットを測定し、技術的課題を検証した。
- 観光施設において高精細映像伝送を伴う MR のリアルタイム通信等を可能とするローカル 5 G エリア構築の手法を検証した。
- 4.7GHz 帯を用いたローカル 5 G の端末を利用者が携帯して使用することを想定し、電波伝搬における人体損失の影響を定量化した。

5.2.1 技術的課題

5.2.1.1 技術実証の背景となる技術的な課題

観光分野においてローカル 5 G を広く普及させるためには、観光施設等において、ローカル 5 G で高精細映像伝送を伴う MR のリアルタイム通信等を行うことを想定し、所望エリアで所望通信品質が確保可能なローカル 5 G エリア構築を行う手法を確立することが課題である。

また、ローカル 5 G の無線局免許審査において、申請者が審査基準に従って算出するカバーエリアが実際よりも広くなる場合には、申請者が希望する基地局設置条件での免許取得が難しくなる可能性がある。このため免許取得が必要以上に難しくなることがないように、カバーエリア計算をより精緻に行えるようにすることが課題である。

特に観光分野においては、伝送される高精細映像を現実世界と重ね合わせる MR の活用が求められており、MR には、高精細映像を遅延なくリアルタイムに伝送する必要がある。また、エンターテインメント性も期待されるため、観光分野におけるローカル 5 G では、広帯域性のみならず安定性があるリアルタイム通信を提供できることが望まれる。しかし、MR の利用者がローカル 5 G の端末を装着する場合には、端末がほとんど動かず低速フェージングの影響により伝送スループットが低下する可能性がある。そのためにエリア構築においては、短区間中央値変動(シャドウイング)のみならず、低速フェージングに対するマージンも見込んで受信電力の所要値を定める必要があり、そのマージンによる所要値の増分によってカバーエリアが狭くなると考えられる。また、さらに端末を装着する場合には、人体損失の影響も考慮する必要がある。このような観点より、観光施設等の環境におけるカバーエリア算出法の精緻化を行うことが課題となる。

5.2.1.2 課題に対するアプローチ、検証仮説等

ローカル5Gで高精細映像伝送を伴うMRのリアルタイム通信等を行うことを想定し、所望エリアで所望通信品質が確保可能なローカル5Gエリア構築を行う手法の確立に向けて、以下を実施した。

- 観光施設における電波伝搬特性に関して、短区間中央値変動や低速フェージング変動などの検討に必要なデータを取得した。観光施設のように開放地に近い電波伝搬環境では、地面による反射波の影響で、基地局アンテナの垂直面指向性利得を用いた計算によるエリア予測では誤差が大きくなる可能性があるため、その影響を把握するため、基地局アンテナのチルト角を変更した場合の受信電力データの取得も行った。
- 取得した電波伝搬特性データを用いて、短区間中央値変動や低速フェージングの標準偏差などについて評価し、短区間中央値変動と低速フェージングに対するマージンを含み、基地局アンテナのチルト角の影響も加味したエリア構築の手法を整理した。
- 観光施設において、端末を身に付けて利用することを想定し、人体損失の評価も行い、その結果を反映したエリア構築の手法も検討した。

また、カバーエリア算出法の精緻化に向けて、既存の電波伝搬モデルにおける人体損失に応じた新たな係数・補正項を検討するため、基地局アンテナの見通しの有無や遮蔽物となる人の向きを変えて人体損失の測定を行い、その結果の活用方法について考察した。

5.2.2 技術基準の見直し等に資する新たな知見

観光施設等において、ローカル5Gで高精細映像伝送を伴うMRのリアルタイム通信等を行うことを想定し、所望エリアで所望通信品質が確保可能なローカル5Gエリア構築を行う手法を確立することを目標とした。

また、ローカル5Gの無線局免許審査基準に記載されているカバーエリア算出法の精緻化について検討・考察した。具体的には、既存の電波伝搬モデルにおける人体損失に応じた新たな係数・補正項に関して、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性・課題を整理することを目標とした。

この中で、技術基準の見直し等に資する新たな知見として、5.2.1.1に説明した安定したリアルタイム通信を実現できるカバーエリア算出のために、考慮すべき低速フェージングに対するマージンを明らかにすることとした。また、5.2.1.2に説明した基地局アンテナのチルト角を変更した際の反射波の影響について考察することとした。

5.2.3 実施事項

今回実施する評価検証事項について以下に記載する。

- ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等
 - 観光施設のエリアに構築したローカル5Gの実証環境において、電波伝搬特性の測定を行った。
その中で、リアルタイム通信等に係る検証で低速フェージングの影響を調べるた

め、一部の測定地点において、僅かな場所の違いによる受信電力の変化を測定した。また、ローカル5G基地局のアンテナチルトを変更した条件での受信電力の測定も行った。

- ローカル5Gエリア構築やシステム構成の検証等
 - 既存の電波伝搬モデルによる計算値と測定値の比較等により、遮蔽損失による短区間中央値変動及び低速フェージング変動の標準偏差を求めた。
 - 通信品質と受信電力の関係（受信電力対伝送スループット特性）を求めた。
 - 短区間中央値変動及び低速フェージング変動の標準偏差を用いて、エリア構築の際に確保すべきマージンを求め、受信電力対伝送スループット特性を用い、さらにローカル5G基地局のアンテナチルトの調整も加味したエリア構築の手法を提示した。

- その他ローカル5Gに関する技術実証
 - 4カ所の測定地点において、測定者が受信アンテナを持った状態で受信電力を測定し、人体損失の影響を定量化した。
 - 算出した人体損失の値を用いて、CPEを利用者が携帯して利用できるエリアを予測する手法を提示した。

また、既存の電波伝搬モデルにおける人体損失に応じた新たな係数・補正項に関して、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性・課題を整理した。

1) 測定環境及び各測定の共通事項

a) 測定場所、測定地点及び使用端末

測定場所及び測定地点を図 5.2.3-1 に示す。この測定場所において、屋外の 28 カ所の測定地点を選定した。

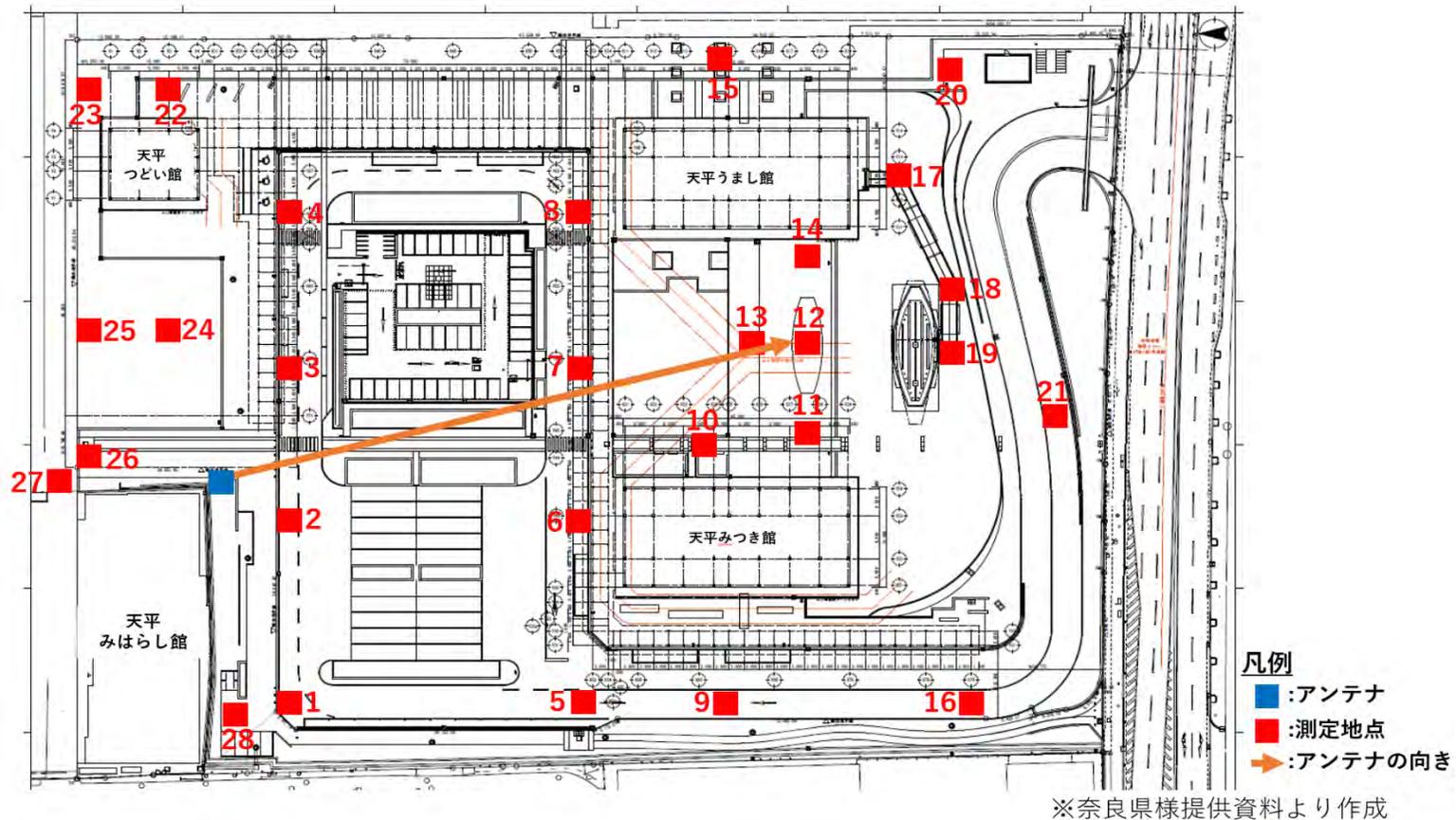


図 5.2.3-1 基地局及び測定地点

測定地点からアンテナまでの見通しの特徴に関して表 5.2.3-1、図 5.2.3-2~図 5.2.3-16 に示す。

表 5.2.3-1 測定地点からアンテナまでの見通し

測定地点	測定地点からアンテナまでの距離 (m)	水平角 (-180~180) (度) ※1	LOS/NLOS ※2	備考欄
1	46.8	86.8	LOS	
2	14.7	43.1	LOS	
3	27.9	-50.4	NLOS	一部柱の影響有り
4	57.1	-64.6	NLOS	柱の影響有り
5	83.1	45.3	LOS	
6	70.1	18.7	LOS	
7	74.2	-7.0	NLOS	一部木の影響有り
8	89.3	-26.0	NLOS	一部標識の影響有り
9	109.4	36.8	LOS	
10	99.9	8.9	NLOS	一部柱と木の影響有り
11	115.4	9.0	NLOS	一部柱と木の影響有り
12	118.0	0.0	NLOS	一部柱と木の影響有り
13	108.5	-1.1	NLOS	一部柱と木の影響有り
14	123.6	-8.7	NLOS	一部柱と木の影響有り
15	128.2	-26.4	NLOS	天平うまし館と柱の影響有り
16	154.8	29.4	NLOS	柱の影響有り
17	148.1	4.5	NLOS	天平うまし館と柱の影響有り
18	151.0	-1.3	NLOS	復原遣唐使船と柱の影響有り
19	146.2	-10.7	NLOS	復原遣唐使船と柱の影響有り
20	168.7	-16.0	NLOS	天平うまし館と柱の影響有り
21	170.3	11.0	NLOS	復原遣唐使船と柱の影響有り
22	84.3	-85.2	NLOS	天平つどい館の影響有り
23	86.9	-93.6	NLOS	天平つどい館の影響有り
24	39.1	-82.4	LOS	
25	45.9	-109.3	LOS	
26	24.6	-157.1	LOS	
27	34.6	-167.4	LOS	
28	51.7	96.4	LOS	

※1.測定地点 12 を基準の 0 度としている。

課題実証にて、大容量 DL の必要な地点がステージ上の測定地点 12 と想定されたため。

※2. LOS : 完全に見通しが取れている。

NLOS : 完全に見通しが取れていない。また木や柱が少しでも重なっていた場合も見通しが取れていないと定義した。



図 5.2.3-2 (左) アンテナ及び基地局 (右) アンテナ設置位置からの見通し



図 5.2.3-3 (左) 測定地点 1 の見通し (LOS) (右) 測定地点 2 の見通し (LOS)



図 5.2.3-4 (左) 測定地点 3 の見通し (NLOS) (右) 測定地点 4 の見通し (NLOS)



図 5.2.3-5 (左) 測定地点 5 の見通し (LOS) (右) 測定地点 6 の見通し (LOS)



図 5.2.3-6 (左) 測定地点 7 の見通し (NLOS) (右) 測定地点 8 の見通し (NLOS)



図 5.2.3-7 (左) 測定地点 9 の見通し (LOS) (右) 測定地点 10 の見通し (NLOS)



図 5.2.3-8 (左) 測定地点 11 の見通し (NLOS) (右) 測定地点 12 の見通し (NLOS)



図 5.2.3-9 (左) 測定地点 13 の見通し (NLOS) (右) 測定地点 14 の見通し (NLOS)



図 5.2.3-10 (左) 測定地点 15 の見通し (NLOS) (右) 測定地点 16 の見通し (NLOS)



図 5.2.3-11 (左) 測定地点 17 の見通し (NLOS) (右) 測定地点 18 の見通し (NLOS)



図 5.2.3-12 (左) 測定地点 19 の見通し (NLOS) (右) 測定地点 20 の見通し (NLOS)



図 5.2.3-13 (左) 測定地点 21 の見通し (NLOS) (右) 測定地点 22 の見通し (NLOS)



図 5.2.3-14 (左) 測定地点 23 の見通し (NLOS) (右) 測定地点 24 の見通し (LOS)



図 5.2.3-15 (左) 測定地点 25 の見通し (LOS) (右) 測定地点 26 の見通し (LOS)



図 5.2.3-16 (左) 測定地点 27 の見通し (LOS) (右) 測定地点 28 の見通し (LOS)

b) 基地局アンテナ仕様、RF ケーブル仕様

奈良の基地局で使用したアンテナ及び RF ケーブルは表 5.2.3-2 に示す仕様である。また、図 5.2.3-17 にアンテナの外観図、図 5.2.3-18 に放射パターンを示す。

表 5.2.3-2 アンテナ、RF ケーブルの仕様

名称	型名	仕様
基地局アンテナ	VH65A-3545RTD	17.5dBi (公称値)
RF ケーブル (ケーブル長 3m)	LMR-240	0.66dB/m

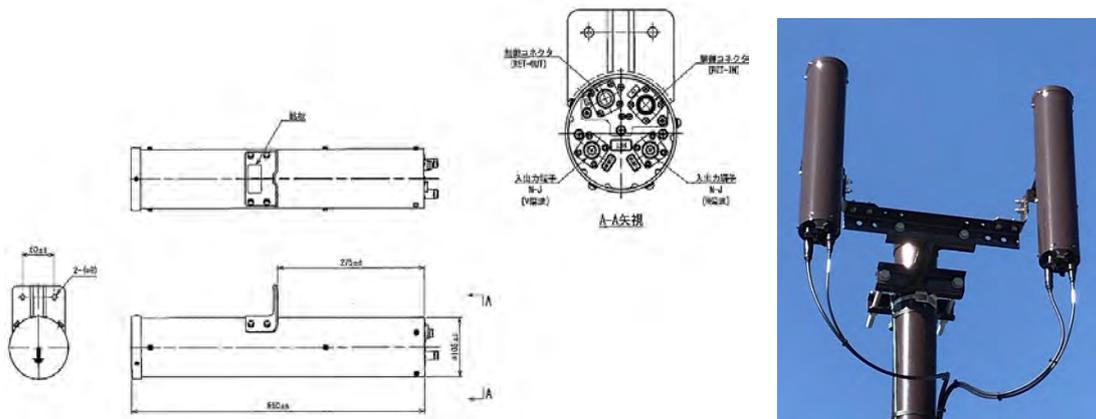


図 5.2.3-17 アンテナの外観図 (VH65A-3545RTD)

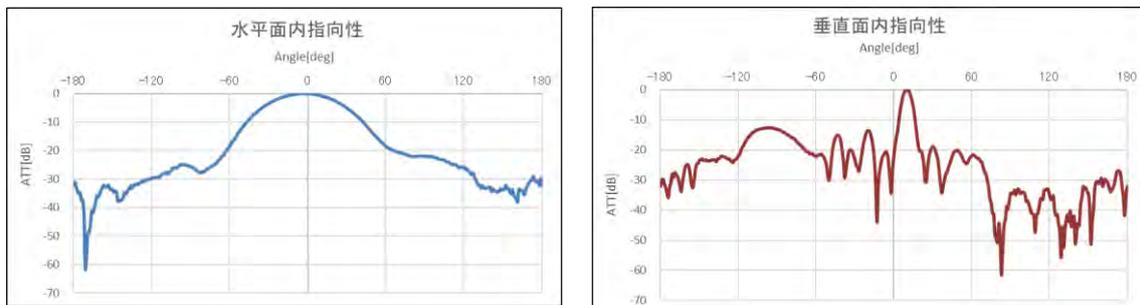


図 5.2.3-18 放射パターン

c) 比較対象とした類似調査のサーベイ結果、比較の視点等

<類似の調査結果のサーベイ結果>

2018年度のG1「屋外において平均4-8Gbpsの超高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討」には、観光地（福島県会津若松市の鶴ヶ城周辺）におけるスループット測定結果や和歌山県日高郡日高川町におけるLOS環境及びNLOS環境における伝搬損失の測定結果が報告された。

この調査結果を踏まえて、以下のように技術的課題の整理と解決方策の検討を行った。この解決方策の検討のために、本技術実証における取得データを利用したが、測定地点等は既に計画した通りとして追加・変更は行わない。

<比較の視点>

- 80～500mのLOS環境や250～800mのNLOS環境の伝搬損失データが得られたが、200m以内の比較的狭い範囲の伝搬損失データが少なく、屋外で建造物や展示品等の遮蔽物が点在している観光施設等において、エリア構築の手法を検討するためには十分なデータがない。
- ローカル5Gは、キャリア5G（通信事業者による5Gサービス）と異なり、半径200m程度の比較的狭い範囲で用いられることが多く、屋外で建造物や展示品等の遮蔽物が点在している観光施設等においては、電波伝搬距離が200m以内の電波伝搬データを取得し、エリア設計手法を確立することが課題となった。

<本実証の対応>

- LOS環境、NLOS環境を含む電波伝搬データの取得
- 取得した電波伝搬データを用いたエリア設計手法の整理

d) 気象情報

データ測定実施日の天候は表 5.2.3-3 に示す通りである。

表 5.2.3-3 測定日の天候

日付	曜日	天気概況		降水量(mm)	測定概要等
		昼(06:00-18:00)	夜(18:00-翌日06:00)		
1月26日	火	晴後曇一時雨	雨後一時曇	6.5	2度RSRP、TP、遅延測定
1月27日	水	曇一時雨後時々晴	晴時々曇	7.5	2度RSRP、TP、遅延測定 10度RSRP測定 低速フェージングRSRP、TP、遅延測定 3台同時接続試験
1月28日	木	曇時々晴	晴後曇一時雨	0	2度RSRP、TP、遅延測定 低速フェージングRSRP、TP、遅延測定 人体損失RSRP測定
1月29日 ～2月16日	測定作業無し				
2月17日	水	曇一時雪	晴時々曇	1	低速フェージングTP、遅延測定
2月18日	木	晴後曇一時雪	曇時々晴	0	2度RSRP、TP、遅延測定 低速フェージングRSRP、TP、遅延測定

e) RSRP の測定機材と測定方法

RSRP の測定に使用した機材は以下の図 5.2.3-19、5.2.3-20 に示す。

- アンリツ（株）エリアテスタ ML8780A
アンテナ Z-1911B
測定用 RF ケーブル及びアンテナ台座
- タンスのゲン（株）昇降式デスク 幅 70cm
- アイリスオーヤマ（株）チェストウッドトップチェスト 3 段



図 5.2.3-19 RSRP 測定機材（エリアテスタ ML8780A、アンテナ Z-1911B）



図 5.2.3-20 RSRP 測定機材（昇降式デスク、チェストウッド トップチェスト 3 段）

RSRP の測定条件を以下の表 5.2.3-4 に示す。

表 5.2.3-4 RSRP 測定条件

測定対象	SSS (Secondary Synchronization Signal)
測定項目	SS-RSRP
チャンネル帯域幅	100MHz
sub-6GHz 測定ユニット	MU878070A※1
測定周波数	SSB 周波数 4712.16MHz

※1：設定は、アンテナ及びケーブル損を補正し計測した。

測定周期、測定時間、測定サンプル数について以下に示す。

測定周期：

詳細な電波状態を解析したため、アンリツ ML-8780A の測定周期を最短に設定した。

本実証システムの無線信号は、PCI=1、SS 周期 20msec である。

アンリツ ML-8780A の設定を本システムの PCI や SS 周期に設定した場合、最短で 40msec 毎のデータが取得可能である。

測定時間と測定サンプル数：

1 回の測定時間を 20 秒とし、連続した 500 サンプルのデータを得ることとした。

1 測定地点での測定時間を 120 秒 (2 分) 以上とし、別に説明した、6 ポイント試験を採用したことで、各ポイントを 20 秒ずつ 6 ポイントとし、合計 120 秒間で 3000 個の RSRP のサンプルを 1 つの測定地点で取得した。

f) アンテナの方向調整 (チルト角 2 度)

本実証で使用したアンテナチルト角は 10 度時の測定を除き、全て 2 度で行った。

以下の表 5.2.3-5 に、アンテナチルト角 2 度時の電気チルト角と機械チルト角を示す。またアンテナチルト角 2 度の算出方法 (電気チルト角)、使用したアンテナの仕様、AISG チルト角制御装置の仕様、アンテナチルト角 2 度 (電気チルト角と機械チルト角) の設定を示す。

表 5.2.3-5 アンテナチルト角 2 度時の電気チルト値と機械チルト値

チルト	角度	備考
アンテナチルト角	2 度	電気チルト角+機械チルト角
電気チルト	6 度	AISG チルト角制御装置で制御する値。アンテナを取り付けた後も制御可能。
機械チルト	-4 度	アンテナを取り付け金具に取付ける際に指定する値。アンテナを取り付け後は制御不可能

● アンテナチルト角 2 度の算出方法 (電気チルト角)

本実証では、復原遣唐使船前のステージ (測定地点 12) にて受信電力値を高くしたいと考え算出した。アンテナチルト角 2 度の算出方法を以下の図 5.2.3-21 に示す。

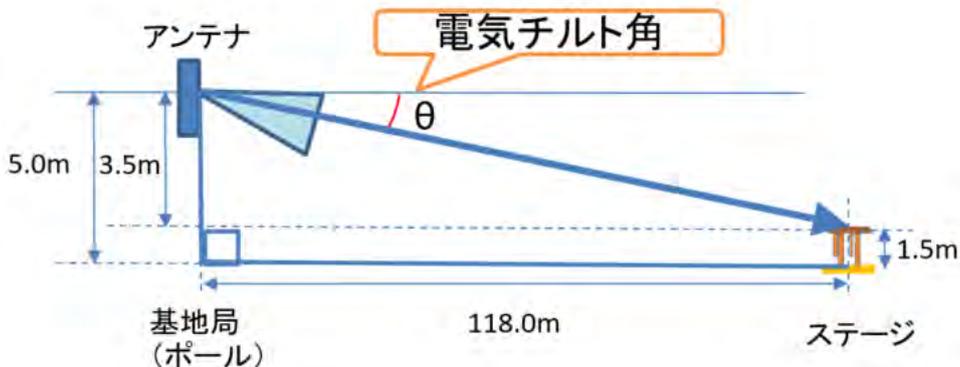


図 5.2.3-21 アンテナチルト角 2 度の算出方法①

$$\begin{aligned} \theta &= \text{Tan}^{-1}(5.0\text{m}-1.5\text{m})/118.0\text{m} \\ &= 1.69895 \\ &\approx 1.70 \end{aligned}$$

※アンテナステップ単位が 0.5 度ステップのため、本実証で使用した 2 度より 1.5 度の値の方が計算結果は近いが、2 度の方を採用した。理由は、復原遣唐使船のステージ (測定地点 12) より遠い測定範囲 (測定地点 17 や測定地点 21 など) をカバーするより、近い測定範囲 (測定地点 2 や測定地点 7、測定地点 13 など) をカバーするべきと考えたためである。

● アンテナと AISG チルト角制御装置

アンテナ (VH65A-3545RTD) の初期チルト、可動範囲、AISG チルト角制御装置 (PATC-DK4) を以下の表 5.2.3-6 に示す。

表 5.2.3-6 アンテナと AISG チルト角制御装置の仕様

アンテナ (VH65A-3545RTD)	初期チルト	10 度
	可動範囲	0.5 度ステップで±5 度※1
AISG チルト角制御装置 (PATC-DK4)	電気チルト設定単位	0.1 度ステップ※2 (実際の駆動単位は接続するアンテナのステップ単位による)

※1:取り付け後は、初期チルトから±5 度の値しか設定できない。(機械チルト 0 度、初期チルトが 10 度の場合、設定できるのは 5 度から 15 度)

※2:アンテナステップ単位に依存するため、本実証では 0.5 度ステップとなる。

以下の図 5.2.3-22～図 5.2.3-25 にアンテナの外観図と AISG チルト角制御装置の外観図を示す。

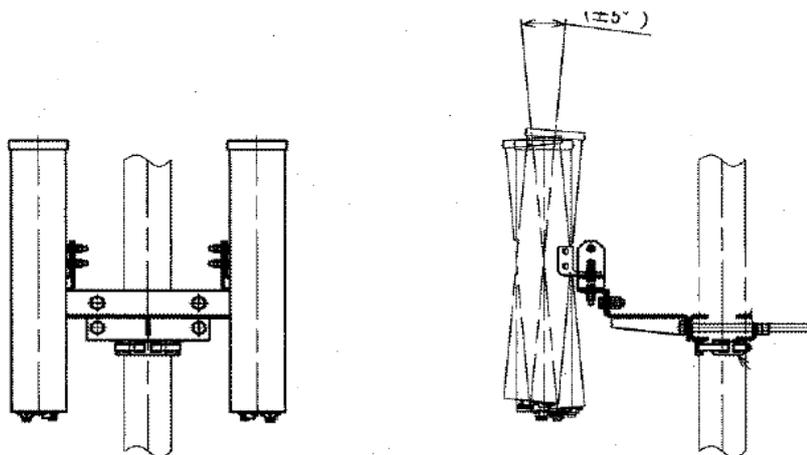


図 5.2.3-22 アンテナの外観図



図 5.2.3-23 アンテナの外観

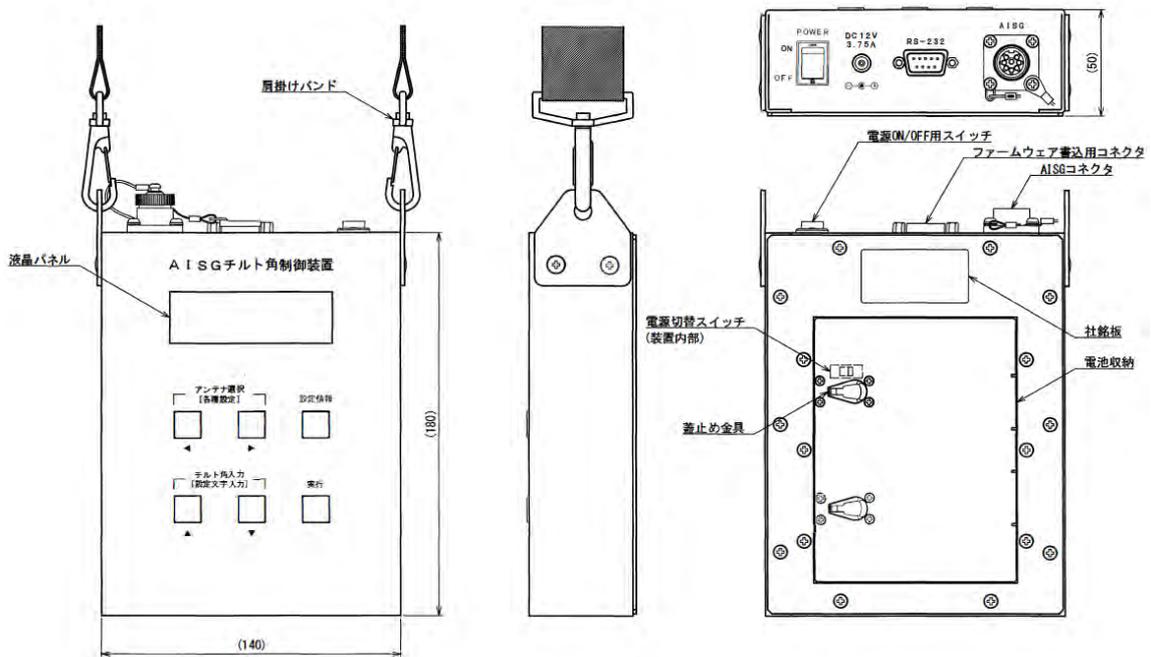


図 5.2.3-24 AISG チルト角制御装置の外観図

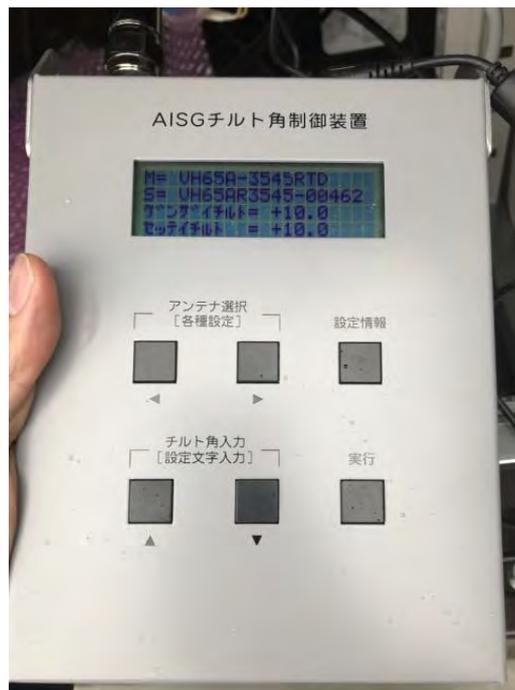


図 5.2.3-25 AISG チルト角制御装置の外観 (初期チルト 10 度)

- アンテナチルト角 2 度の算出方法（電気チルト角、機械チルト角）

前述のようにアンテナチルト角を 2 度にした。しかしアンテナの初期値が 10 度で、アンテナの設定範囲は±5 度のため、電気チルト角だけでは 5 度から 15 度の範囲しか設定できず、アンテナチルト角 2 度を達成できない。そのため、機械チルト角を設定した。以下の図 5.2.3-26 に機械チルト角を踏まえたアンテナチルト角 2 度の算出方法を示す。

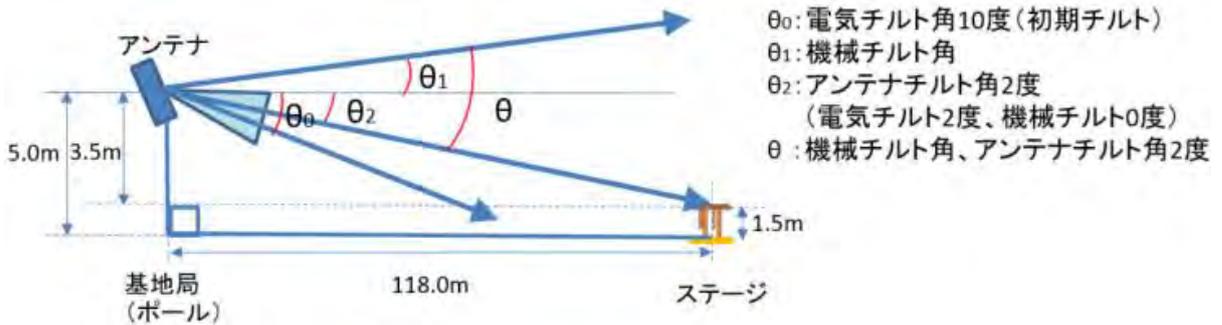


図 5.2.3-26 アンテナチルト角 2 度の算出方法②

アンテナ取付け後は±5 度しか動かさないため、アンテナチルト角 2 度を達成するために、少なくとも機械チルト角を-3 度にしないといけない ($\theta_1 \leq -3$ 度)。

また、後述ではあるがアンテナチルト角 10 度の試験も実施するため、大きく動かしても機械チルト角-5 度で止めておかないといけない ($\theta_1 \geq -5$ 度)。

よって機械チルト角の範囲は-5 度から-3 度となる ($-5 \text{ 度} \leq \theta_1 \leq -3 \text{ 度}$)。

本実証では、機械チルト角を-4 度とした ($\theta_1 = -4$ 度)。

以上より制御できるアンテナチルト角の範囲は、1 度から 11 度となる ($1 \text{ 度} \leq \theta \leq 11 \text{ 度}$)。

5.3 ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等

5.3.1 実施概要

ローカル5Gの受信電力、伝送スループット等の各種データを取りまとめローカル5Gの性能評価を行い、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行った。

5.3.2 評価・検証項目

構築したローカル5Gの実証環境において、課題解決システムを用いて、基地局から半径200m以内にある28カ所の測定地点におけるローカル5Gの受信電力、伝送スループットや伝送遅延時間等の各種データを取りまとめローカル5Gの性能評価を行い、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行った。

特に、測定した伝送スループットや伝送遅延時間等が、課題解決システムに求められる要求値を実現しない場合、それを解決するために必要な帯域幅及び送信電力等を導出した。

なお、ローカル5Gの受信電力、伝送スループット及び伝送遅延時間の測定を行った理由は、以下の通りである。

- エリア構築を行うためには、エリア内の伝搬損失の分布を把握することが必要であるが、基地局アンテナから測定地点までの伝搬損失を計算するために受信電力データが必要となるため、受信電力の測定を行った。
- 伝送スループットは、受信電力と密接な関係があり、両者の関係を明らかにすることで、エリア構築において、伝送スループットの要求値の実現に必要な受信電力の基準値を導くことができるようになるため、受信電力を測定した地点で伝送スループットを測定した。
- 伝送遅延時間は、低遅延が求められるローカル5Gにおいて重要な性能評価指標であり、伝送スループットの要求値を満足するカバーエリア内で、伝送遅延時間の要求値も達成できることを確認するために測定した。

以上のように、ローカル5Gのエリア構築の手法を検討できるため、測定項目としては、受信電力、伝送スループット及び伝送遅延時間で十分であると考えられる。

5.3.3 評価・検証方法

ローカル5G基地局を設置した観光施設のエリアにおいて、基地局から半径200m以内で、ローカル5G基地局の見通し内の地点や遮蔽物（復原遣唐使船）に電波が遮られる地点を含めて、28カ所の測定地点を選定した。

全28カ所の測定地点は、6～8カ所を復原遣唐使船の近くや裏側とし、残りをカバーエリア内でほぼ均等とした。理由は伝搬モデルを導く上で、遮蔽損失の有無や距離の遠近を含んだデータを取得するためである。

そして、選定した測定地点において、エリアテストなどの測定機材を使用して、受信電

力（RSRP：Reference Signal Received Power）の測定を行った。また、端末（CPE）（または端末を模擬した試験装置）に接続したPCの測定アプリ等を用いて、伝送スループットの測定を20秒間※1行うとともに、端末に接続したPCでPING(Packet INternet Groper)を用いて、PCとサーバ間の伝送遅延時間の測定も20秒間※2行った。

※1：新たな歴史文化体験においては、映像が途切れることなく常時利用できることが望まれるため、伝送スループット測定は、安定性を確認することとし、20秒間の時間変動も評価した。

※2：遅延時間測定についても、同様に安定性を確認するため、100m秒間隔で200回の測定を繰り返し、その時間変動を評価した。

(1) 評価・検証方法

- 観光施設のエリアに構築したローカル5Gの実証環境において電波伝搬特性の測定を行った。
- その中で、リアルタイム通信等に係る検証で低速フェージングの影響を調べるため、一部の測定地点において、僅かな場所の違いによる受信電力の変化を測定する。また、ローカル5G基地局のアンテナチルトを変更した条件での受信電力の測定も行った。

詳細な評価・検証方法を1)から7)に示す。

1) 受信電力測定（6ポイント試験）

受信電力測定はアンテナを静止した状態で実施し、定在波の影響を避けるために測定台の上で1波長に満たない距離5cmずつ右回りで移動させ、合計6つのポイントで測定した。また、チルト角は2度、測定は28地点で行った。

図 5.3.3-1～図 5.3.3-5 にて、6ポイント試験の測定方法、6ポイント試験用台紙を示す。

項目	型式	備考
エリアテスター	ML8780A + MU878070A	アンテナZ1911B
チルト角	アンテナ VH65A-35445RTD AISGチルト角制御装置(PATC-DK4)	チルト角2度

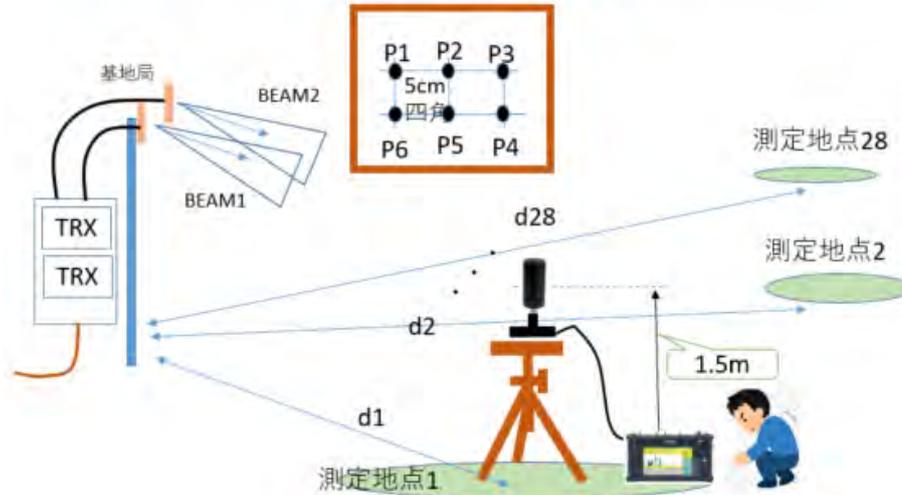


図 5.3.3-1 受信電力の測定方法 (6ポイント試験)

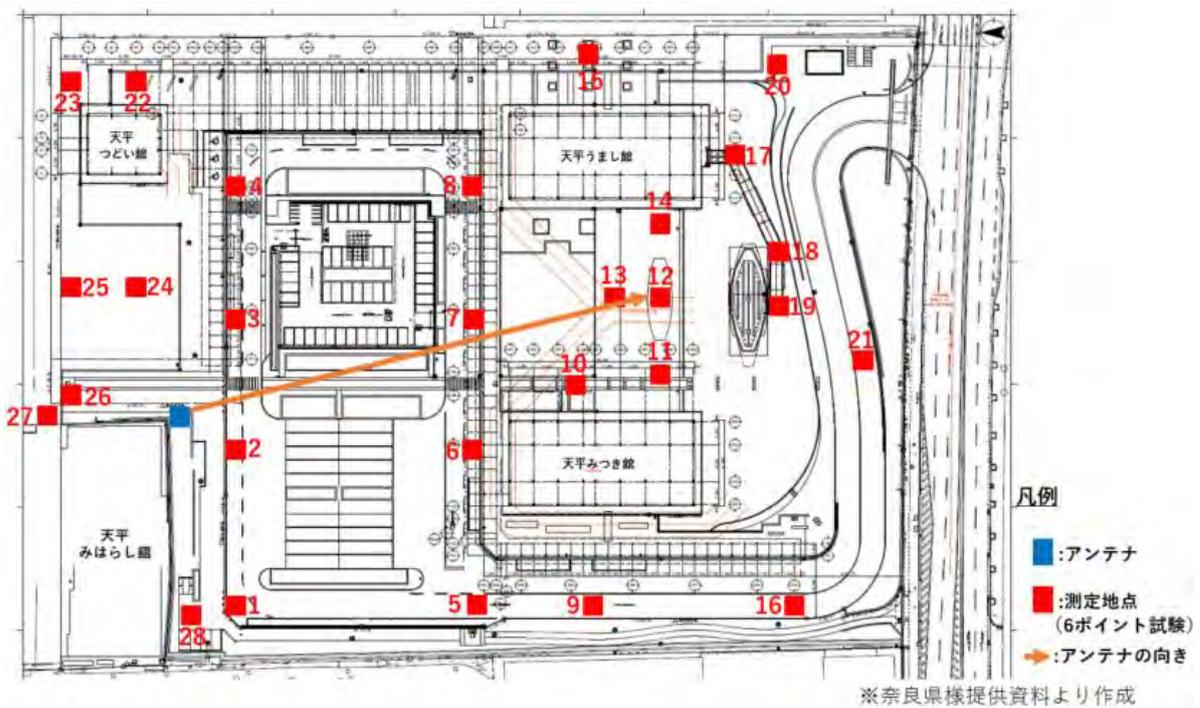


図 5.3.3-2 受信電力 (6ポイント試験) の測定地点1 から測定地点28



1.5m

高さ 1.5m の位置に、アンテナ(Z-1911B)を
設置し測定する。
そのため、昇降式デスクの上にチェスト
ウッドトップチェスト 3 段を乗せ、その
上にアンテナを設置した。
高さは、巻き尺を使用して調整した。

図 5.3.3-3 受信電力の測定 (アンテナの設置方法)

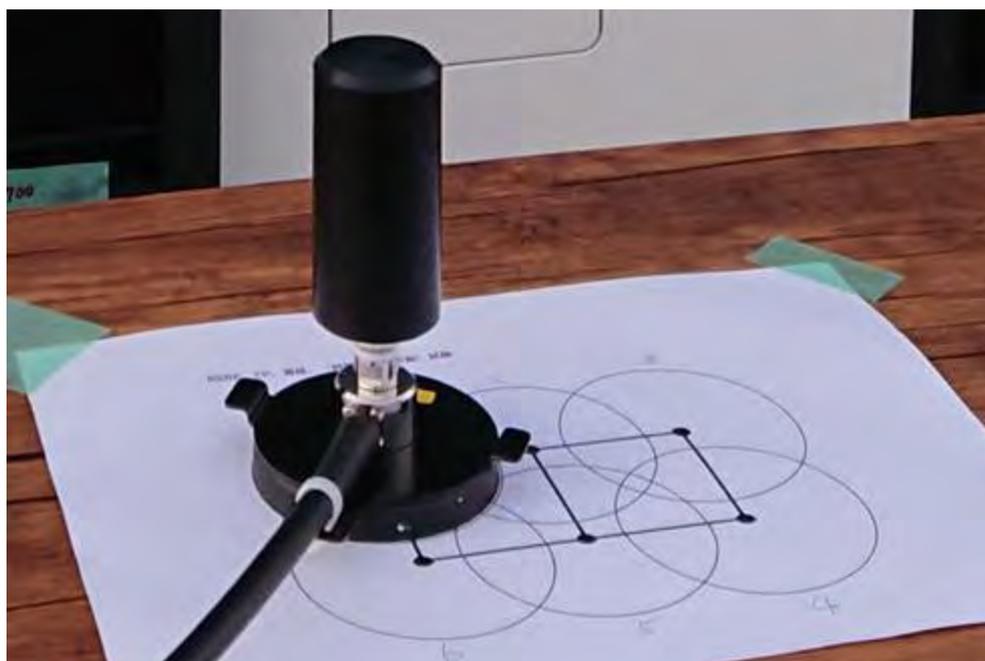


図 5.3.3-4 アンテナ台座と 6 ポイント試験用台紙

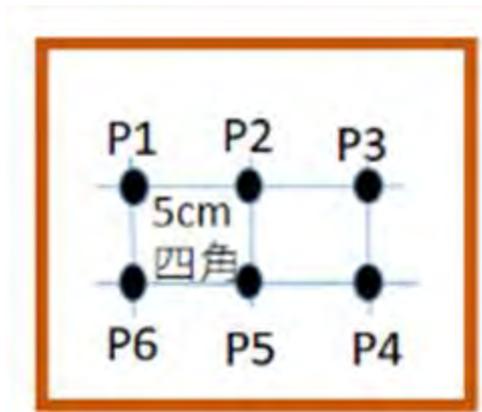


図 5.3.3-5 6ポイント台紙イメージ



図 5.3.3-6 AISG チルト角制御装置 (アンテナチルト角 2 度 (電気チルト 6 度))

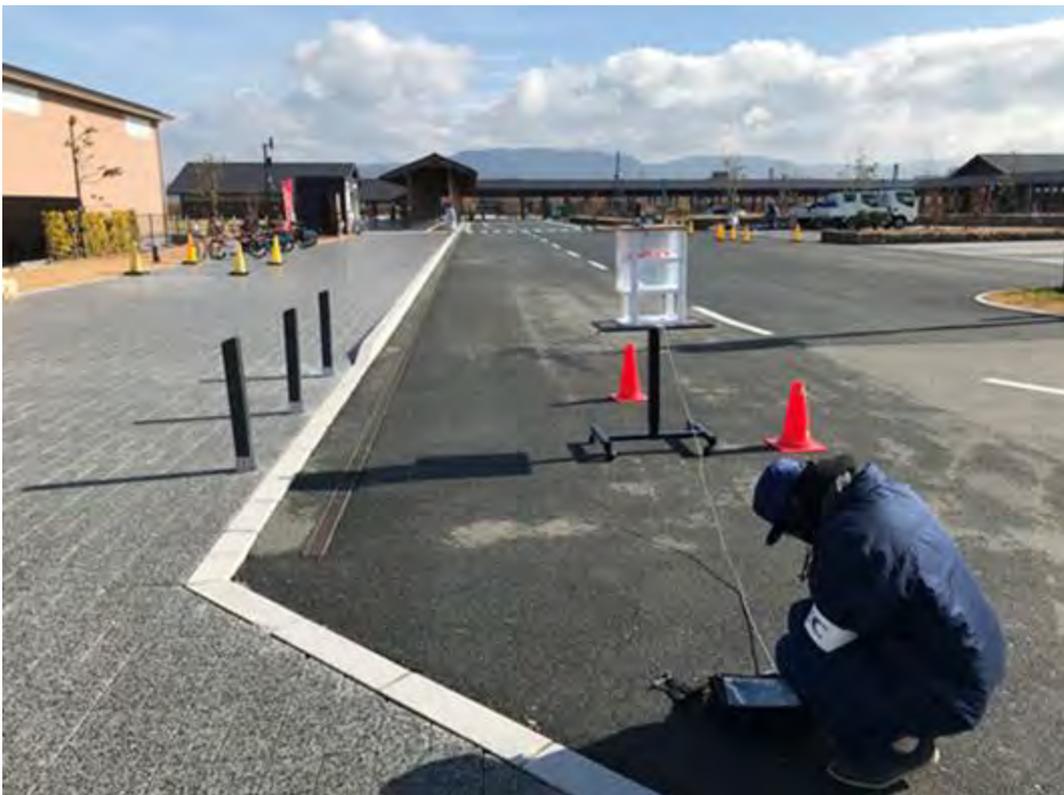


図 5.3.3-7 測定地点 1 での受信電力測定



図 5.3.3-8 測定地点3での受信電力測定



図 5.3.3-9 測定地点5での受信電力測定



図 5.3.3-10 測定地点 7 での受信電力測定



図 5.3.3-11 測定地点 14 での受信電力測定



図 5.3.3-12 測定地点 20 での受信電力測定

2) スループット測定、遅延測定

スループット測定と遅延測定は、測定用の PC と測定台の上に設置した CPE を LAN ケーブルでつなぎ、スループット測定は iperf (30Mbps)、遅延測定は ping を使用し 20 秒間測定した。また PC は CPE から 3m 離れた位置で操作し、測定は 28 地点で行った (測定地点 8 地点にて CPE が Non Service 状態※1 となったため測定ができなかった)。

※1 : CPE の Non Service 状態とは、通信ができない状態のこと。

CPE の正常な動きは、4G 回線で制御信号の通信が行われ、セッションが取れた後に 5G 回線でデータ通信が行われる。図 5.3.3-13 に CPE の状態遷移を示す。

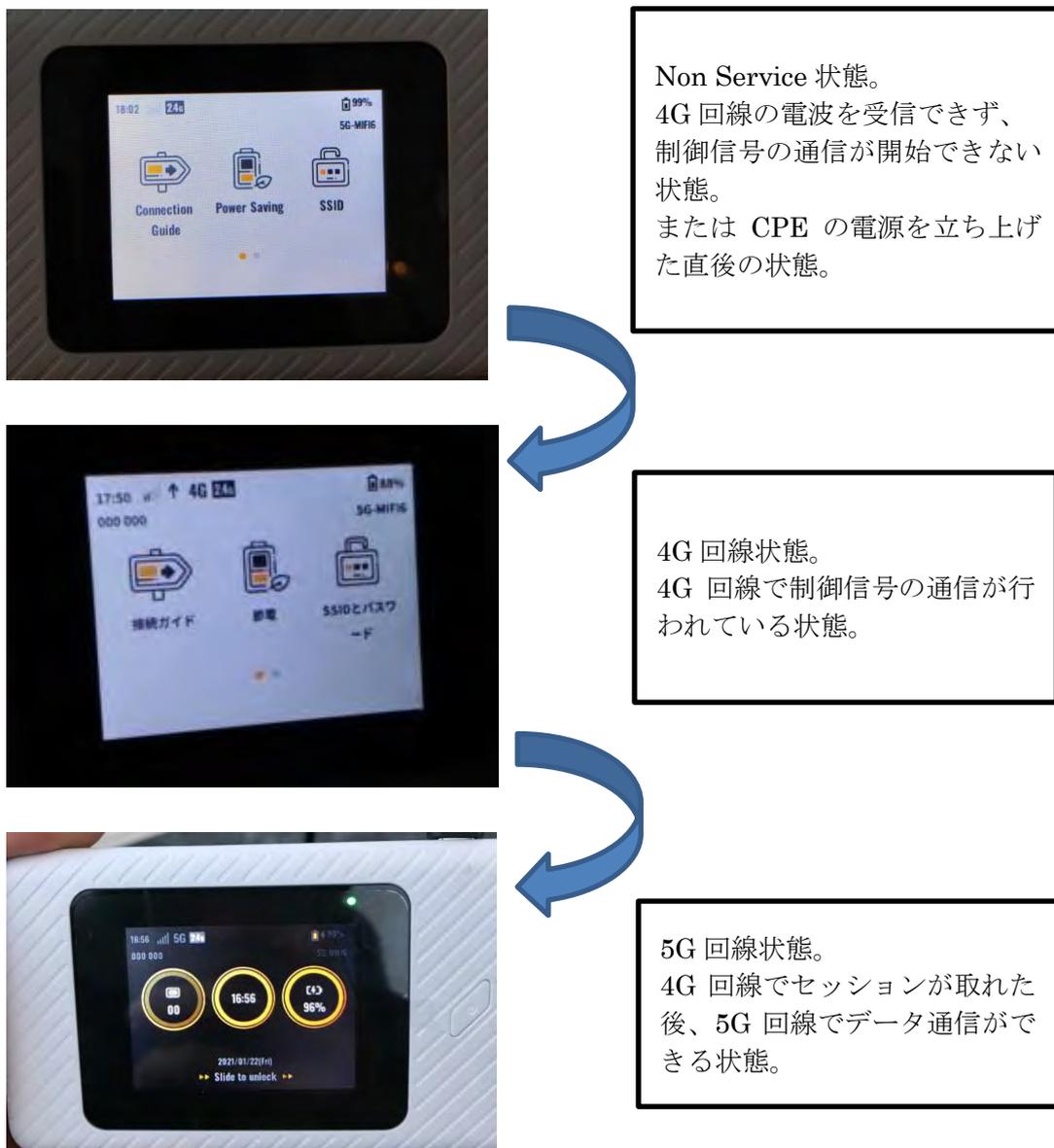


図 5.3.3-13 CPE の状態遷移 (Non Service 状態、4G 回線状態、5G 回線状態)

図 5.3.3-14～図 5.3.3-23 にて、スループット、遅延測定の測定方法を示す。

項目	測定内容	備考
CPE(RAKU+)とIPERFでTP測定	映像伝送を想定したスループット（MRグラス1台あたり30MbpsのDL）を測定した。	
AISGチルト角制御装置 (PATC-DK4)	—	チルト角2度

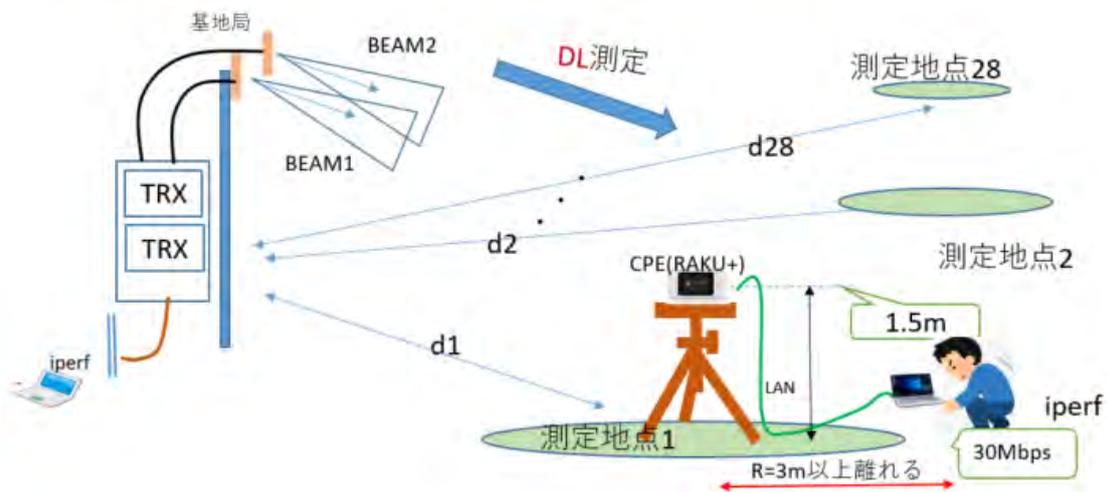


図 5.3.3-14 スループットの測定方法

項目	測定内容	備考
CPE(RAKU+)とPINGでの遅延測定	無負荷時と負荷時（MRグラス1台あたり30MbpsのDL）に遅延測定を行った。	—
AISGチルト角制御装置 (PATC-DK4)	—	チルト角2度

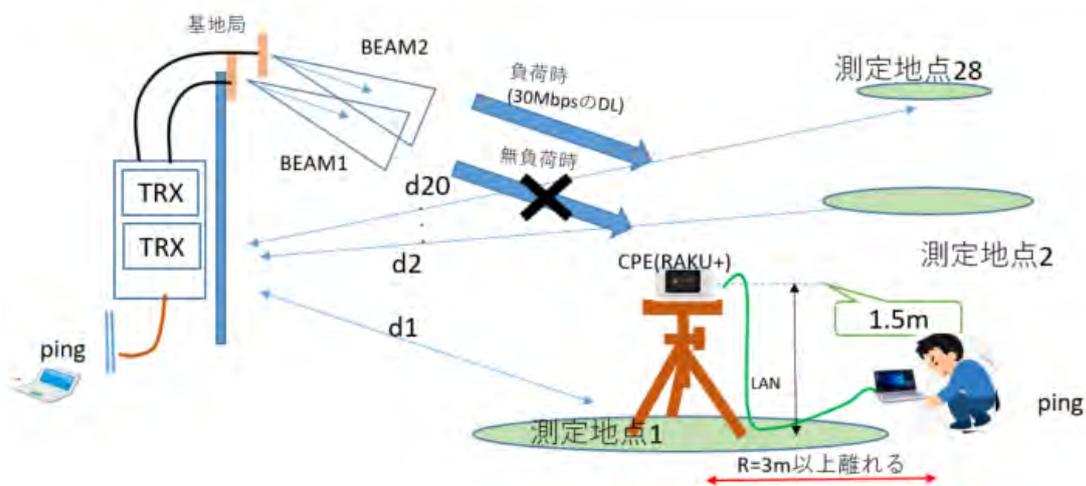


図 5.3.3-15 遅延の測定方法

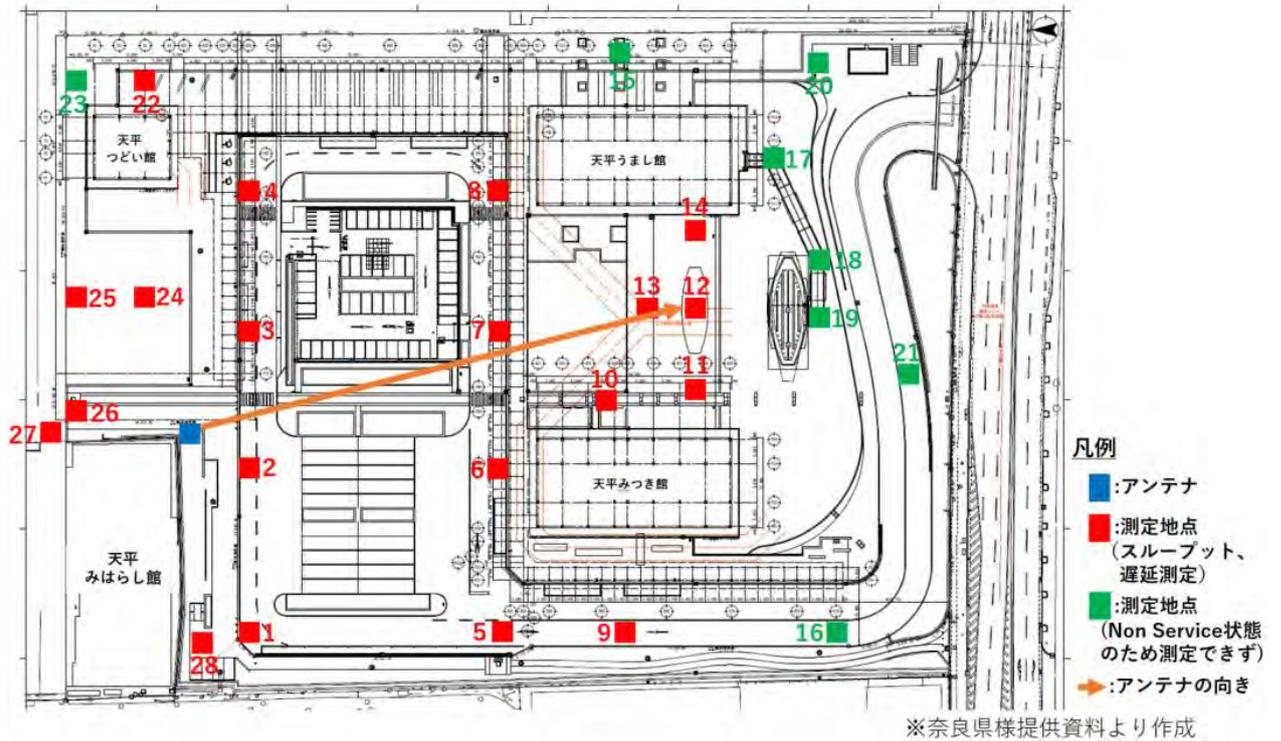
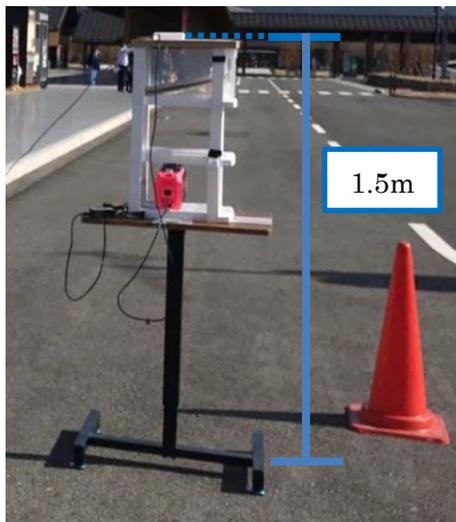


図 5.3.3-16 スループット測定、遅延測定の測定地点 1 から測定地点 28



高さ 1.5m の位置に、CPE(RAKU+) を設置し測定する。
 そのため、昇降式デスクの上にチェストウッドトップチェスト 3 段を乗せ、その上に設置した。
 高さは、巻き尺を使用して調整した。

図 5.3.3-17 スループット測定、遅延測定の方法 (CPE の設置方法)



図 5.3.3-18 測定地点 1 でのスループット測定、遅延測定



図 5.3.3-19 測定地点 2 でのスループット測定、遅延測定



図 5.3.3-20 測定地点 4 でのスループット測定、遅延測定



図 5.3.3-21 測定地点 15 でのスループット測定、遅延測定



図 5.3.3-22 測定地点 25 でのスループット測定、遅延測定



図 5.3.3-23 測定地点 28 でのスループット測定、遅延測定

3) 受信電力測定 (チルト角 10度)

受信電力測定はアンテナを静止した状態で実施し、定在波の影響を避けるために測定台の上で1波長に満たない距離5cmずつ右回りで移動させ、合計6つのポイントで測定した。また、測定は11地点で行った。アンテナ設置方法と台紙は受信電力測定(6ポイント試験)と同じものを使用した。

図 5.3.3-24～図 5.3.3-31にて、チルト角10度での受信電力測定方法を示す。

項目	型式	備考
エリアテスター	ML8780A + MU878070A	アンテナZ1911B
チルト角	アンテナ VH65A-35445RTD AISGチルト角制御装置(PATC-DK4)	チルト角10度

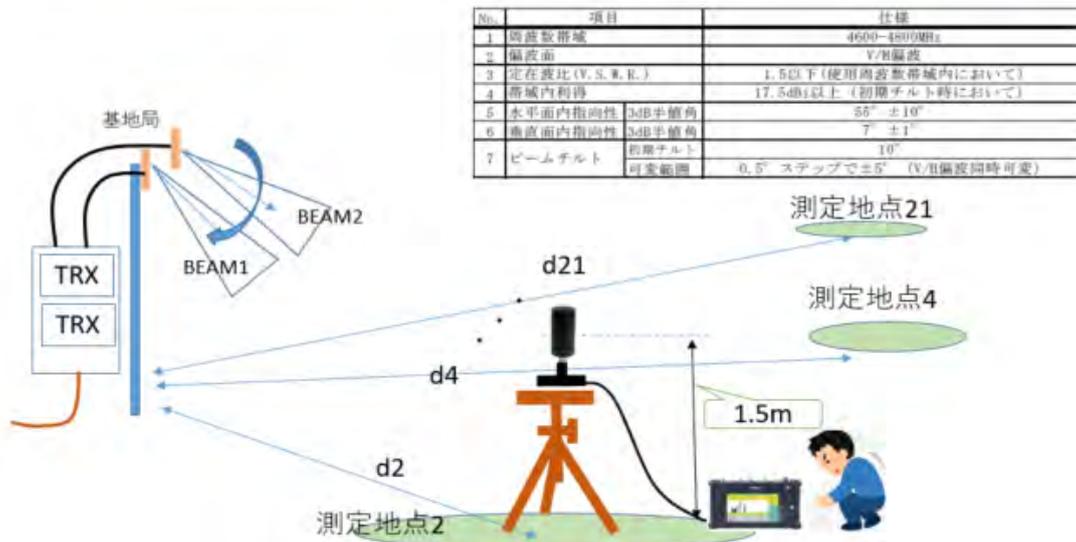


図 5.3.3-24 受信電力の測定方法 (チルト角 10度) (6ポイント試験)

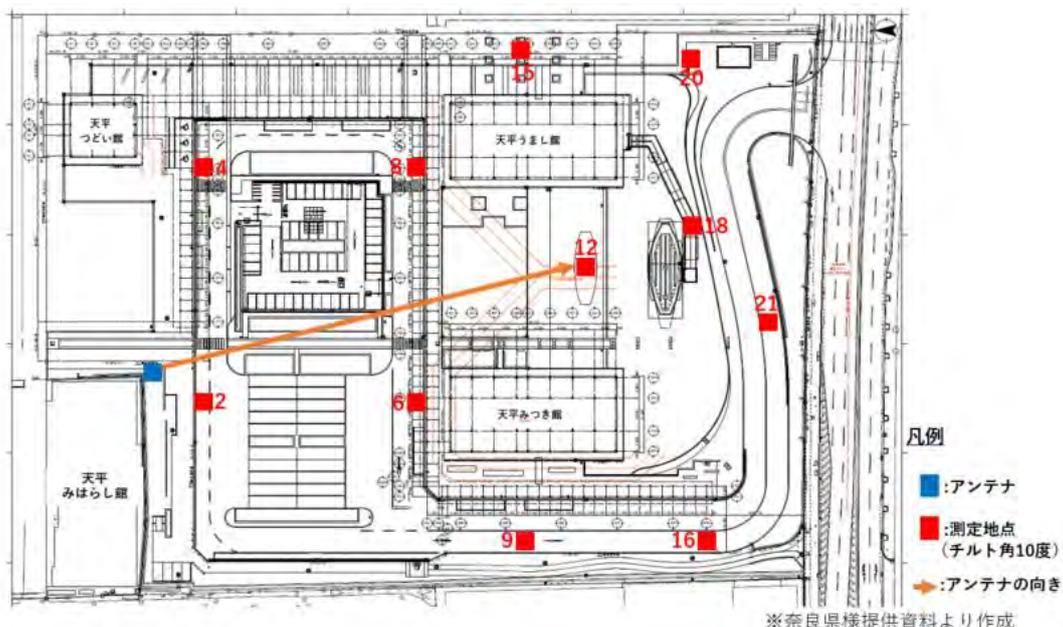


図 5.3.3-25 受信電力 (チルト角 10度) (6ポイント試験) の測定地点 11 地点



図 5.3.3-26 AISG チルト角制御装置 (アンテナチルト角 10 度 (電気チルト 14 度))



図 5.3.3-27 測定地点 2 での受信電力測定 (チルト角 10 度)



図 5.3.3-28 測定地点 6 での受信電力測定 (チルト角 10 度)



図 5.3.3-29 測定地点 8 での受信電力測定 (チルト角 10 度)



図 5.3.3-30 測定地点 15 での受信電力測定 (チルト角 10 度)



図 5.3.3-31 測定地点 21 での受信電力測定 (チルト角 10 度)

4) スループット測定、遅延測定（同時接続試験）

MR グラスを 1 台 30Mbps と想定し、MR グラス合計 6 台 180Mbps の想定でスループット測定と遅延測定を行った。3 台の CPE に対して各 MR グラスを 2 台ずつ接続する想定で同時に接続試験を行った。

同時接続試験のスループット測定や遅延測定は、測定用の PC3 台と測定台上に設置した CPE3 台を LAN ケーブルでつなぎ、スループット測定は各 CPE に対して iperf(60Mbps)、遅延測定は各 CPE に対して ping を使用し 20 秒間同時に測定した。また PC は CPE から 3m 離れた位置で操作し、測定は 3 地点で行った。

図 5.3.3-32～図 5.3.3-35 にて、スループット、遅延測定の測定方法を示す。

項目	測定内容 (DL)	備考
CPE(RAKU+)とIPERFでTP測定	映像伝送を想定したスループット (MRグラス6台を想定した30Mbps×6=180MbpsのDL) を測定した。	—
AISGチルト角制御装置 (PATC-DK4)	—	チルト角2度

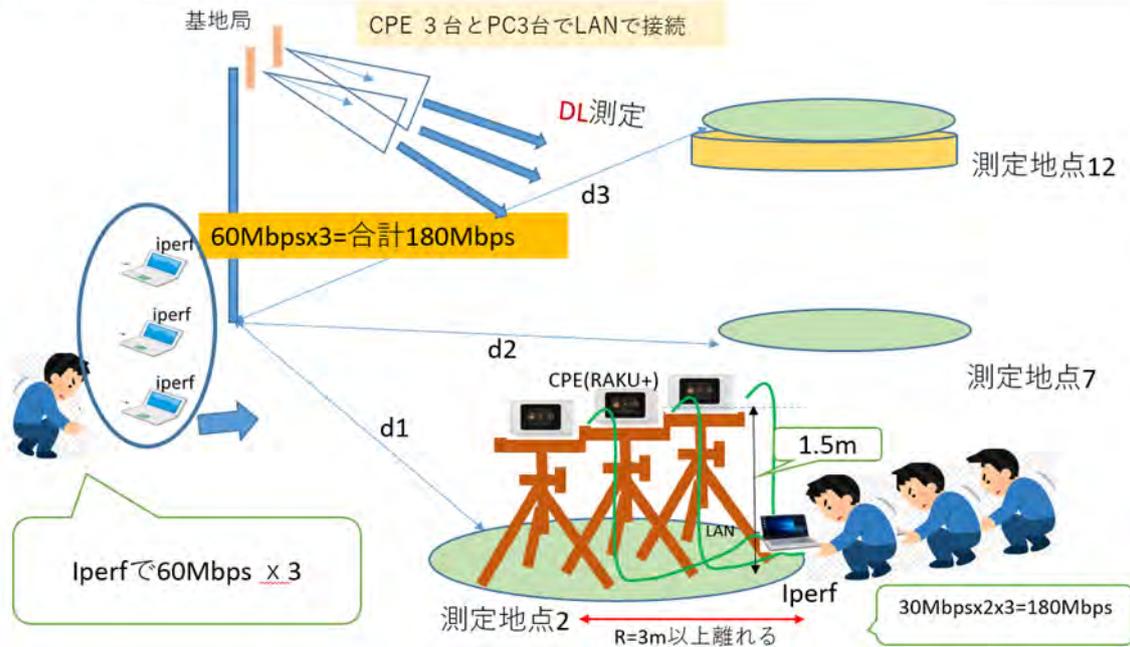


図 5.3.3-32 スループットの測定方法（同時接続試験）

項目	測定内容 (DL)	備考
CPE(RAKU+)とPINGでの遅延測定	無負荷時と負荷時 (MRグラス6台を想定した $30\text{Mbps} \times 6 = 180\text{Mbps}$ のDL) に遅延測定を行った。	—
AISGチルト角制御装置 (PATC-DK4)	—	チルト角2度

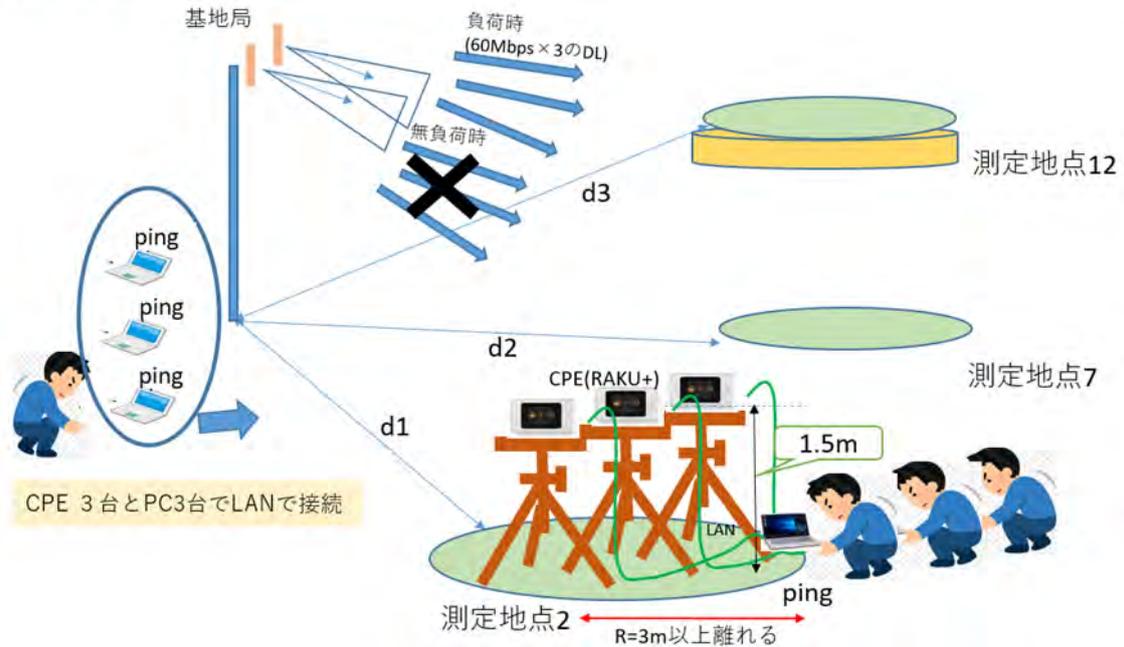


図 5.3.3-33 遅延の測定方法 (同時接続試験)

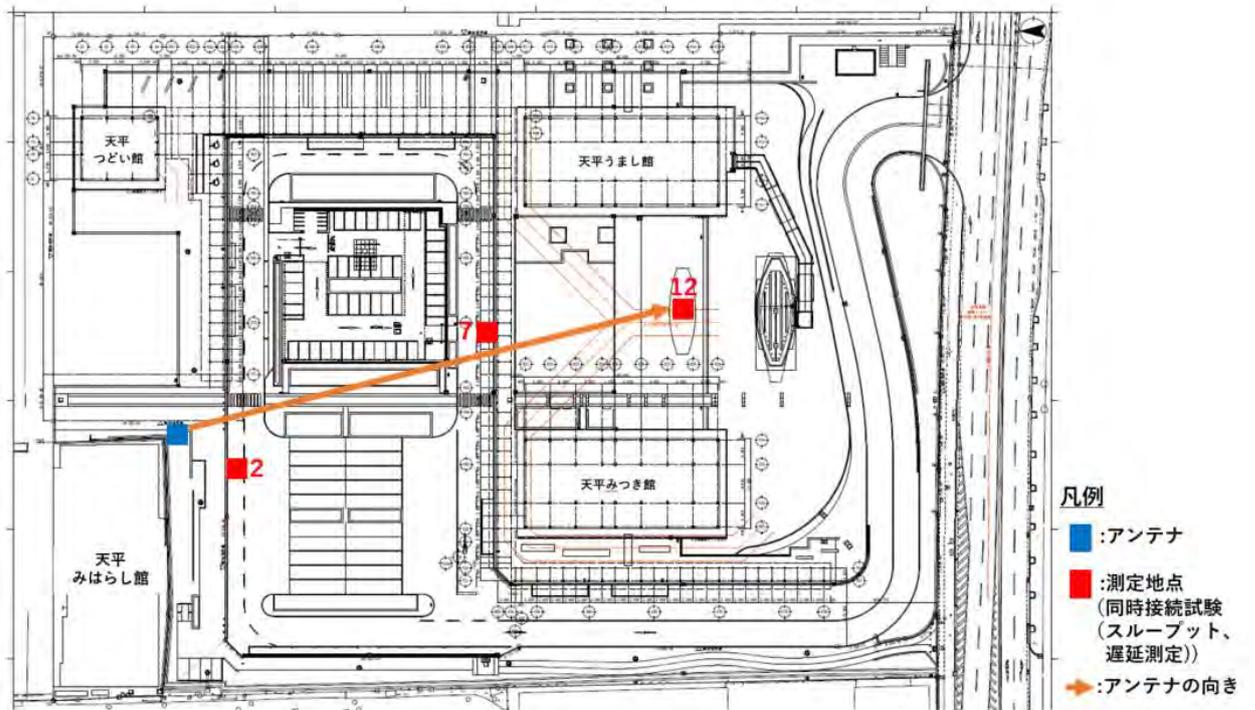


図 5.3.3-34 スループット測定、遅延測定の測定地点 (同時接続試験)



図 5.3.3-35 測定地点 2 でのスループット測定、遅延測定（同時接続試験）

5) 受信電力測定（低速フェージング（12ポイント試験））

ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等におけるリアルタイム通信等に係る検証で低速フェージングの影響を調べるため、エリアテストの受信アンテナの位置を少しずつ変更して受信電力の測定を行った。

受信電力測定はアンテナを静止した状態で実施し、定在波の影響を避けるために測定台の上で1波長に満たない距離5cmずつ移動させ、合計12ポイントで測定した。また、測定は3地点で行った。アンテナの設置は台紙を12ポイント用に変更し、受信電力測定（6ポイント試験）と同様な1.5mの高さとした。

図 5.3.3-36～図 5.3.3-41 にて、受信電力測定（低速フェージング（12ポイント試験））の方法を示す。

項目	型式	備考
エリアテスター	ML8780A + MU878070A	アンテナZ1911B
チルト角	アンテナ VH65A-35445RTD AISGチルト角制御装置(PATC-DK4)	チルト角2度

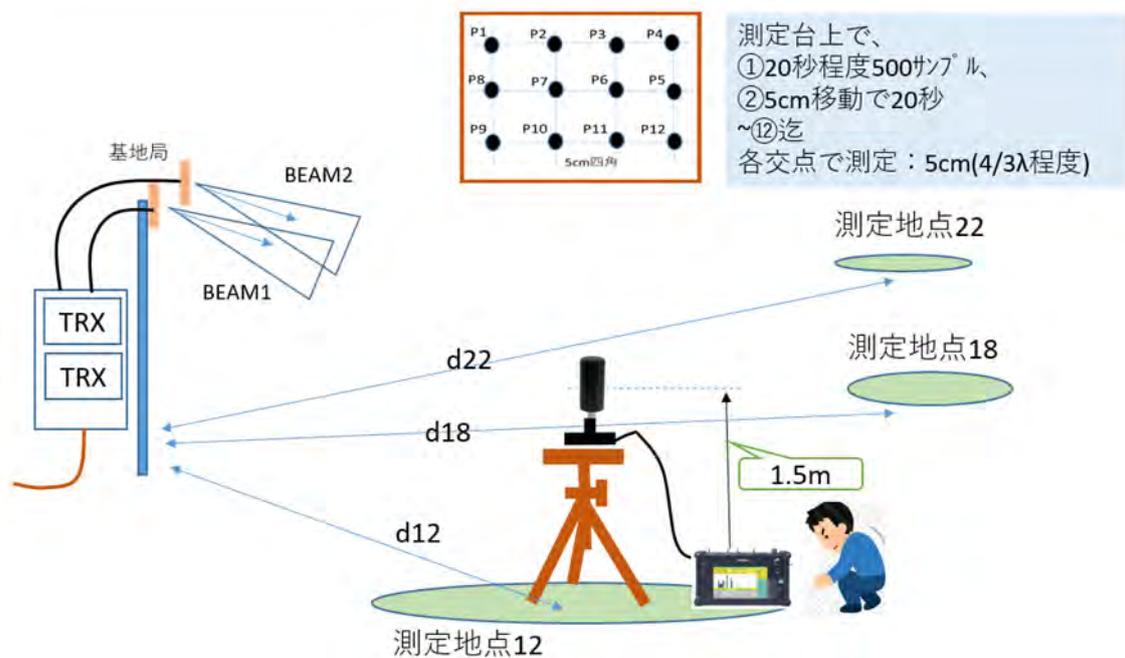


図 5.3.3-36 受信電力（低速フェージング（12ポイント試験））の測定方法

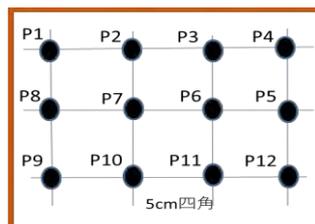


図 5.3.3-37 12ポイント試験台紙イメージ

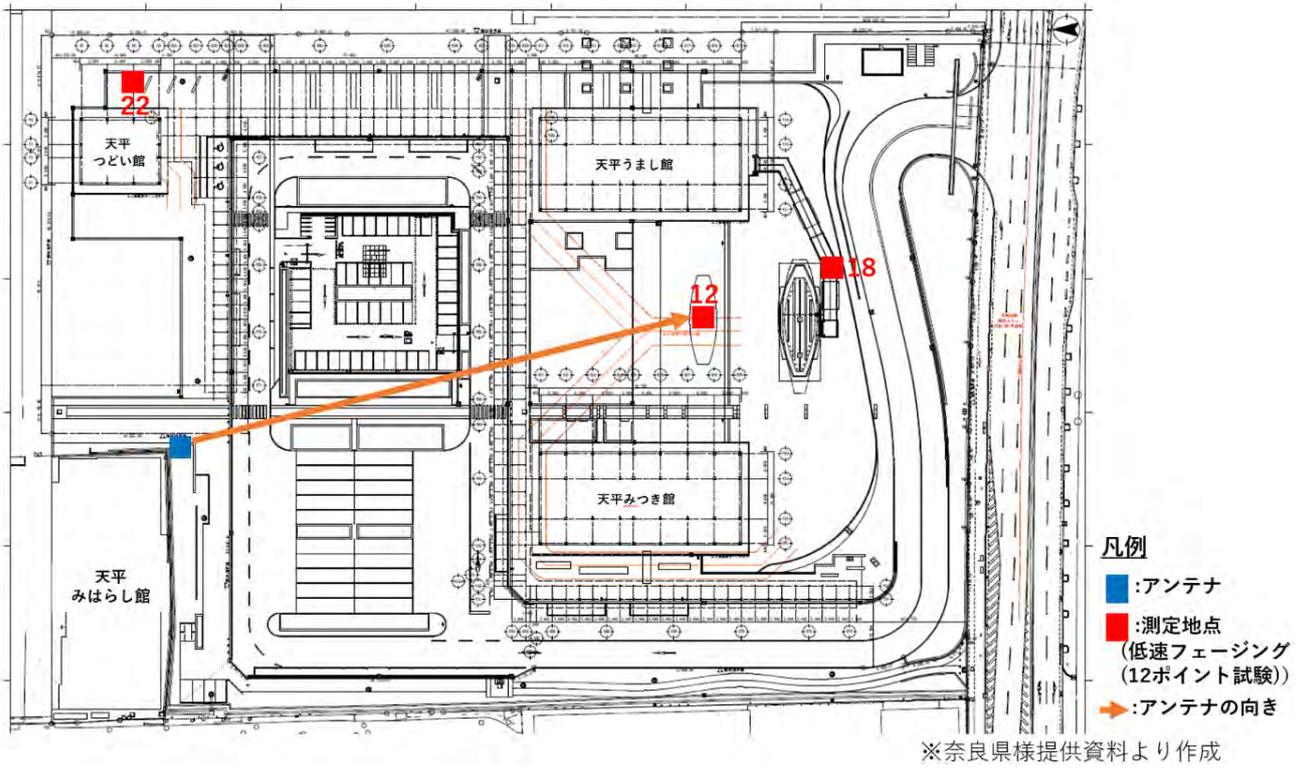


図 5.3.3-38 受信電力（低速フェージング（12ポイント試験））の測定地点3地点

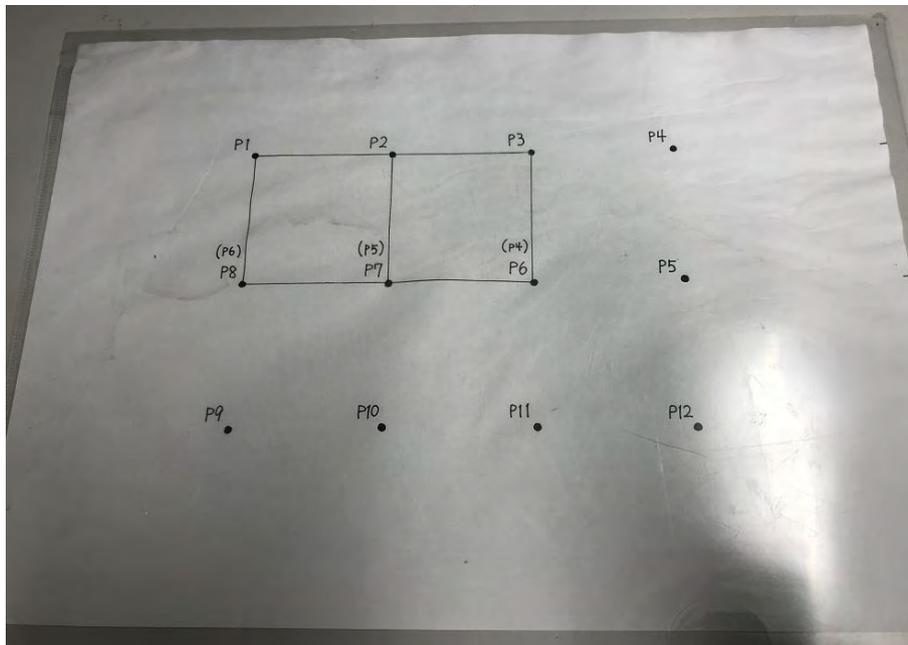


図 5.3.3-39 受信電力（低速フェージング（12ポイント試験））のアンテナ台紙



図 5.3.3-40 測定地点 12 での受信電力測定 (低速フェージング)



図 5.3.3-41 測定地点 18 での受信電力測定 (低速フェージング)

6) スループット測定、遅延測定（低速フェージング（12ポイント試験））

ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等におけるリアルタイム通信等に係る検証で低速フェージングの影響を調べるため、CPEの位置を少しずつ変更してスループットの測定や遅延の測定を行った。

スループット測定と遅延測定は、測定用のPCと測定台の上に設置したCPEとLANケーブルでつなぎ、1波長に満たない距離5cmずつ右回りで移動させ、合計12ポイントで測定した。スループット測定はiperf(30Mbps)、遅延測定はpingを使用し20秒間測定した。またPCはCPEから3m離れた位置で操作し、測定は3地点で行った。CPEの設置は台紙を12ポイント用に変更し、1.5mの高さに設置した。

図 5.3.3-42～図 5.3.3-45にて、スループット、遅延測定の測定方法を示す。

項目	測定内容	備考
CPE(RAKU+)とIPERFでTP測定	映像伝送を想定したスループット（MRクラス1台あたり30MbpsのDL）を測定した。	
AISGチルト角制御装置 (PATC-DK4)	—	チルト角2度

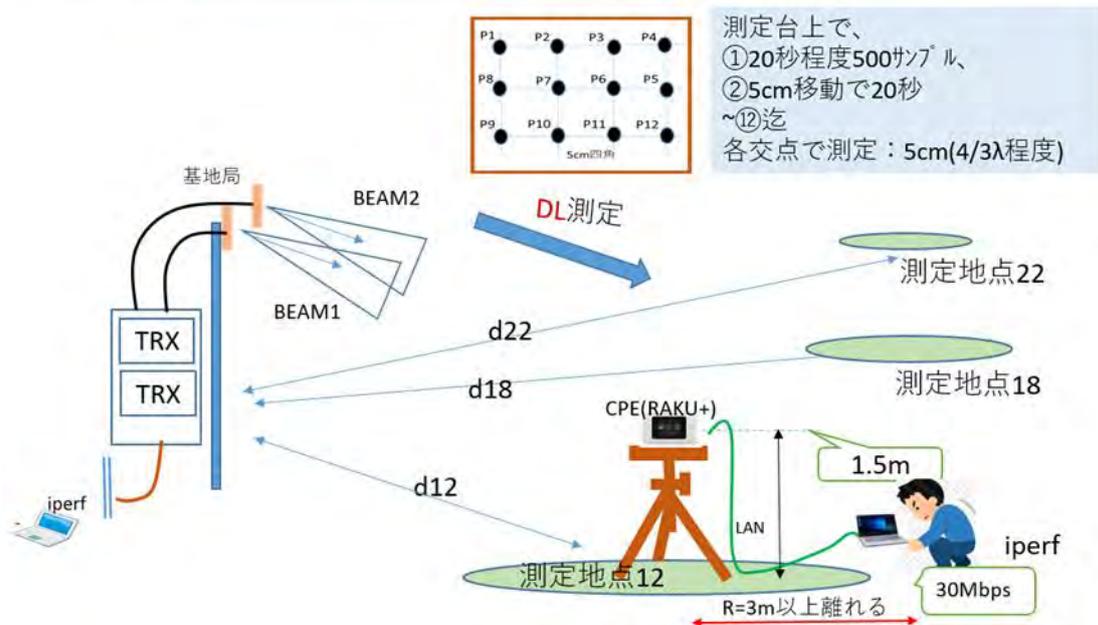


図 5.3.3-42 スループットの測定方法（低速フェージング（12ポイント試験））

項目	測定内容	備考
CPE(RAKU+)とPINGでの遅延測定	無負荷時と負荷時（MRグラス1台あたり30MbpsのDL）に遅延測定を行った。	—
AISGチルト角制御装置 (PATC-DK4)	—	チルト角2度

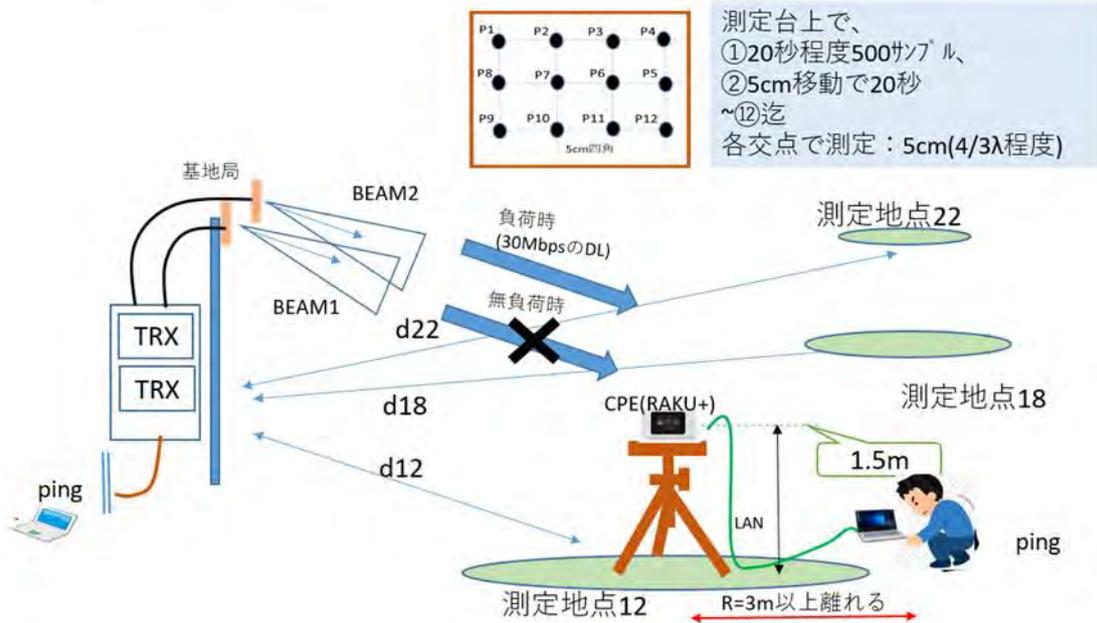


図 5.3.3-43 遅延の測定方法（低速フェージング（12ポイント試験））

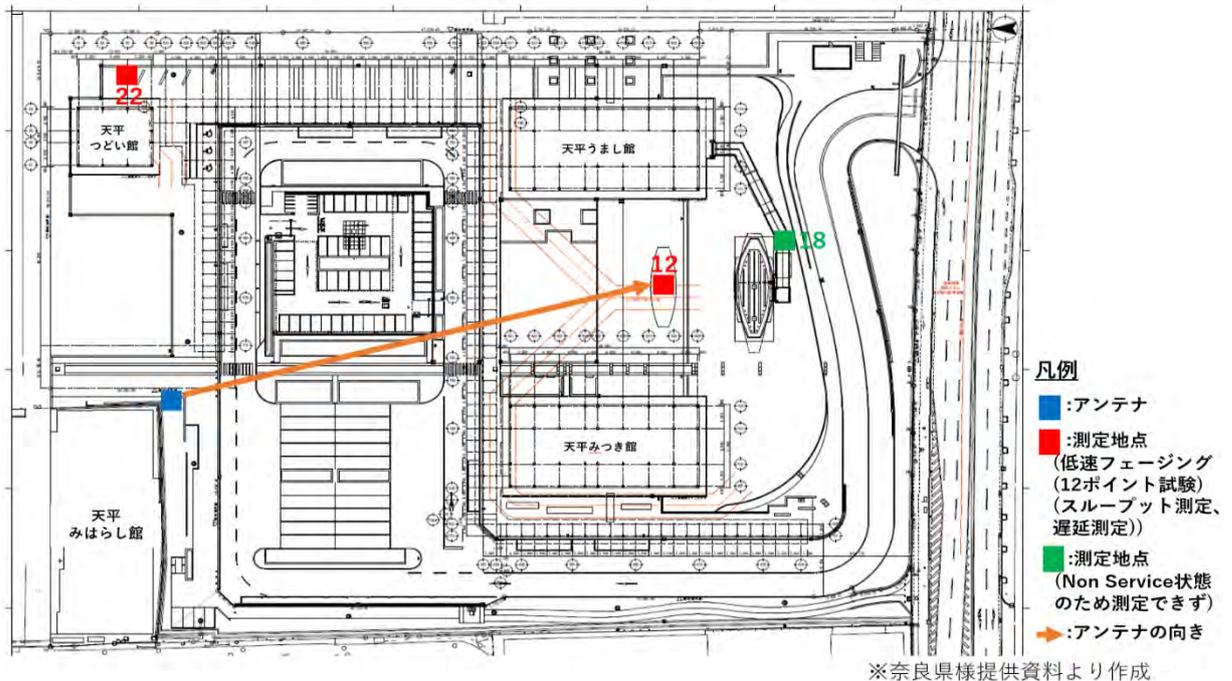


図 5.3.3-44 スループット測定、遅延測定（低速フェージング）の測定地点3地点

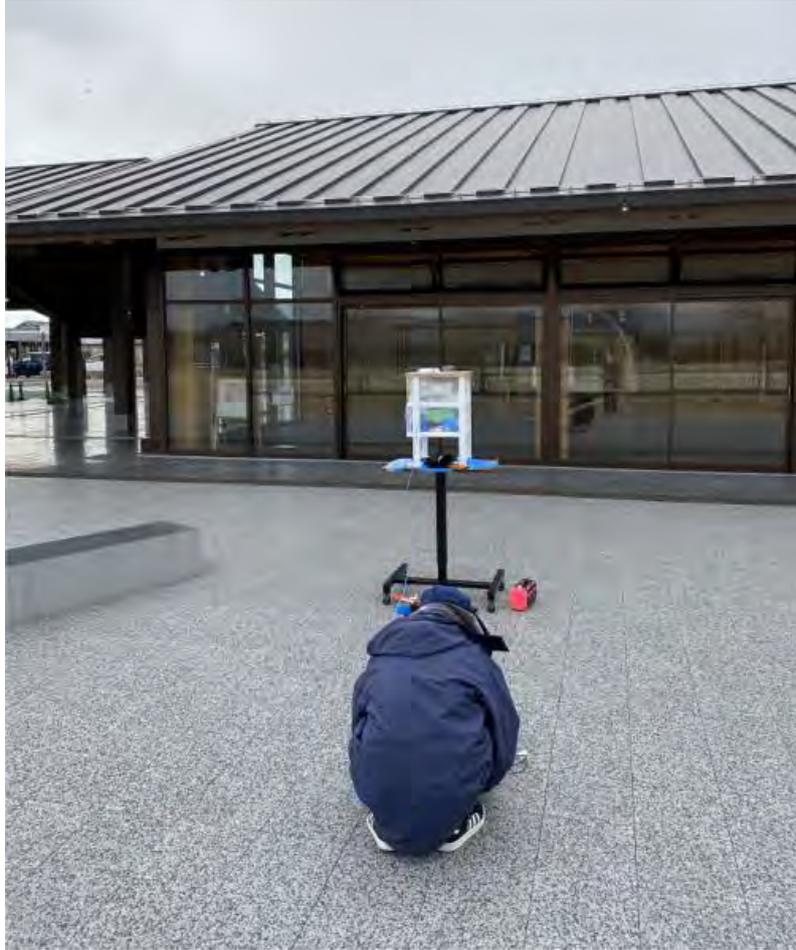


図 5.3.3-45 測定地点 22 でのスループット測定、遅延測定（低速フェージング）

(2) 伝搬損失 (L dB) の計算について

伝搬損失は以下の式で求める。

$$L = Pt + Gt - Lf + Gr - Pr$$

ここで、各記号の説明を表 5.3.3-1 に示す。

表 5.3.3-1 記号の説明

記号[単位]	説明	補足
L[dB]	伝搬損失	
Pr[dBm]	受信レベル (受信電力) SS-RSRP	
Pt[dBm]	送信電力 (基地局の空中線電力) SS の送信電力	-2
Gt[dBi]	送信アンテナ利得	17.5 (代表値)
Lf[dB]	基地局の給電線損失	1.98
Gr[dBi]	受信アンテナ利得	0

ただし、受信アンテナ利得は、測定器 ML-8780A の設定でアンテナ利得及び測定ケーブルを補正したため、Gr=0 と記載した。

また、測定人員は測定地点から 3m 以上離れ、伝搬に影響がないように配慮した。

<アンテナ利得[Gt]の補正>

基地局と受信機のアンテナ位置関係から基地局アンテナの水平角と俯角を計算して、アンテナ特性から各方向の利得を算出し補正を実施した。

測定データは、ローカル 5 G 基地局の見通し内の地点及び遮蔽物に電波が遮られる地点のそれぞれの条件に分けて、伝搬距離対受信電力特性などの形で整理した。そして、条件の違いによる受信電力や伝送スループットの差異分析等を行うことで、技術的課題を整理するとともに、それらの課題の解決方策等について考察を行った。

伝送スループットや伝送遅延時間等、課題解決システムに求められる要求値を確認し、測定値が要求値を実現しない場合には、測定データより、同時利用端末数対伝送スループット特性や受信電力対伝送スループット特性を確認し、要求値の実現に必要な帯域幅及び送信電力等を導出することとしていたが、要求値を実現したので、実施しなかった。伝送スループットと伝送遅延時間の要求値は以下の通りとし、ともに平均値を評価した。伝送スループットは、新たな歴史文化体験における端末への映像伝送等を想定し、DL を評価した。

- 伝送スループット : DL180Mbps (30Mbps×最大 MR グラス 6 台相当)
- 遅延 : 100~200msec (システム全体の往復遅延時間)

各地点で実施した測定項目の計測時間は、以下を目安とした。

- 受信電力 : 20 秒 (40msec/サンプル×500 サンプル)
 - スループット : 20 秒 (1 秒/サンプル×20 サンプル)
 - 遅延時間 : 20 秒 (PING の繰り返し周期 100msec×200 回)
- 受信電力は中央値を求めた。

新たな歴史文化体験においては、映像が途切れることなく常時利用できることが望まれるため、スループットは安定性を確認することとし、20秒間の時間変動も評価した。

遅延時間についても同様に安定性を確認するため、100m秒間隔で200回の測定を繰り返し、その時間変動を評価した。

効果的・効率的に評価を実施するために、技術実証全体調整事業者と調整のうえ、作業日程や要員等の制約を考慮して実施内容やスケジュール等を決めた。

(3) 技術的課題の解決方策や更なる課題等

1) 技術的課題の解決方策、方向性等

測定データは、ローカル5G基地局の見通し内の地点及び遮蔽物に電波が遮られる地点のそれぞれの条件に分けて、伝搬距離対受信電力特性などの形で整理した。そして、条件の違いによる受信電力や伝送スループットの差異分析等を行うことで、技術的課題を整理するとともに、それらの課題の解決方策等について考察を行った。

5.3.4 性能評価結果

5.3.4.1 受信電力（RSRP）及び伝搬損失の分析

図 5.3.4-1～図 5.3.4-4 に受信電力の時間変動の例として、測定地点 2（基地局アンテナに最も近い場所）、測定地点 7（基地局アンテナの見通し内で比較的近い場所）、測定地点 12（基地局アンテナの見通し内で比較的遠い場所）及び測定地点 22（基地局アンテナの見通し外の場所）における測定値を表示した。

(1) 受信電力 (RSRP) 時間場所変動分析 :

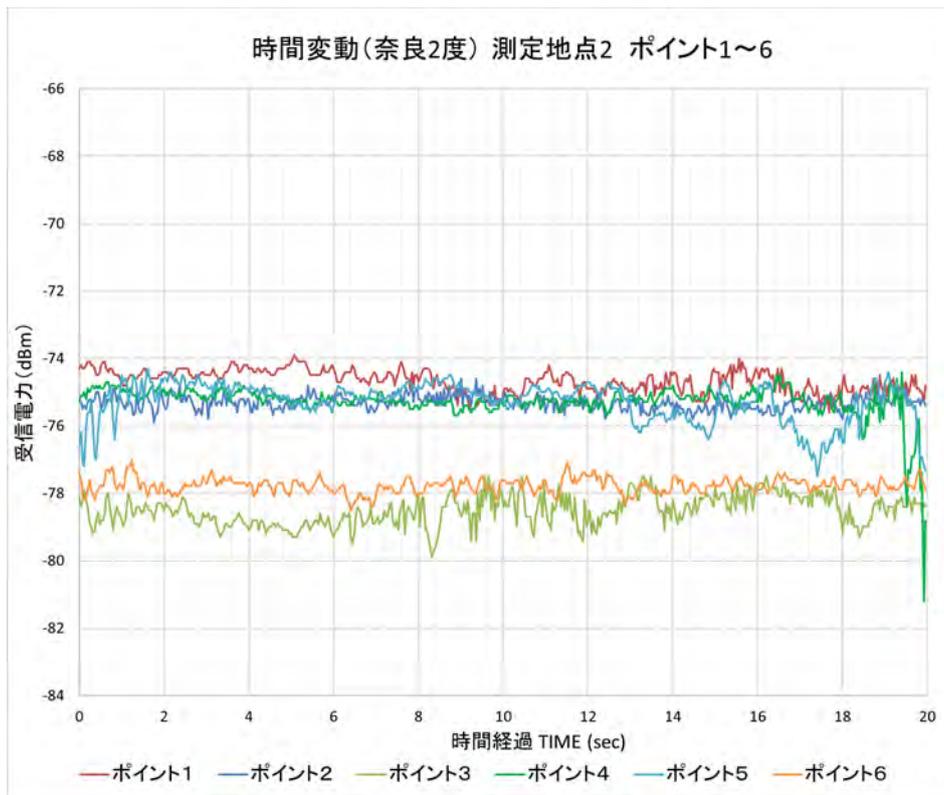


図 5.3.4-1 測定地点 2 の受信電力の時間変動

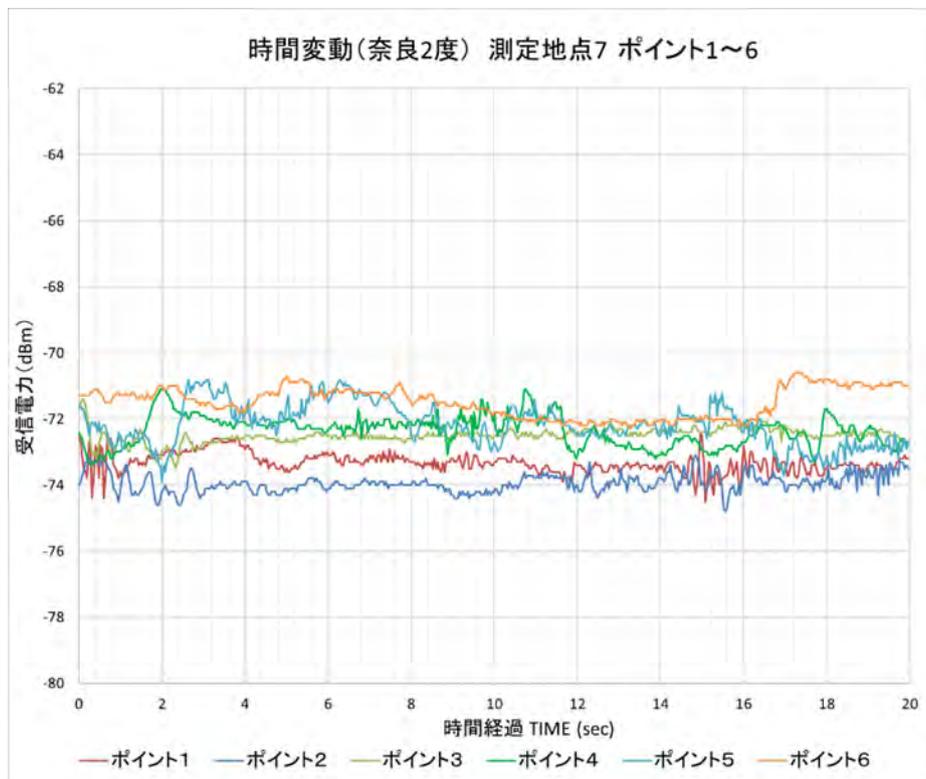


図 5.3.4-2 測定地点 7 の受信電力の時間変動

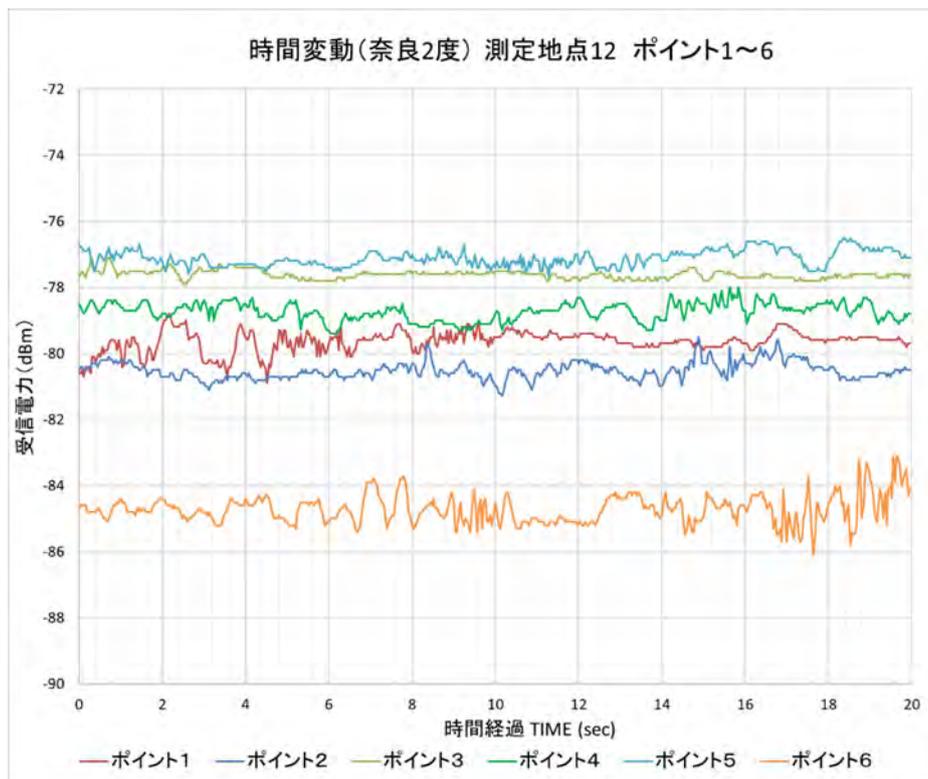


図 5.3.4-3 測定地点 12 の受信電力の時間変動

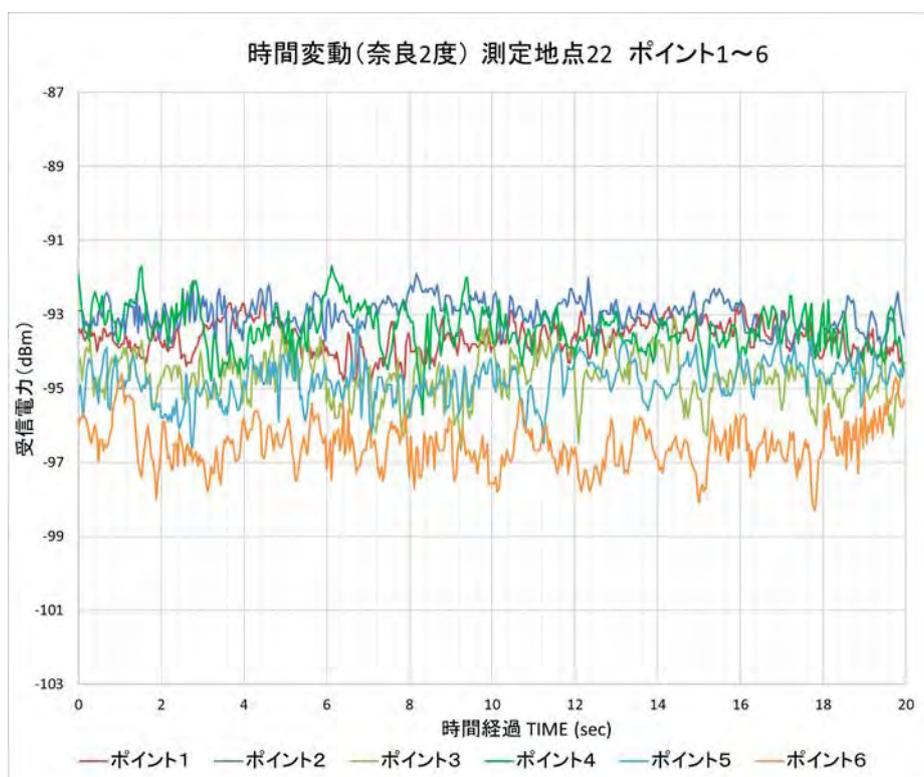


図 5.3.4-4 測定地点 22 の受信電力の時間変動

図 5.3.4-5 に受信電力の距離特性を示す。また図 5.3.4-6 に見通し内 (LOS) と見通し外 (NLOS) を区別して示した受信電力の距離特性を示す。

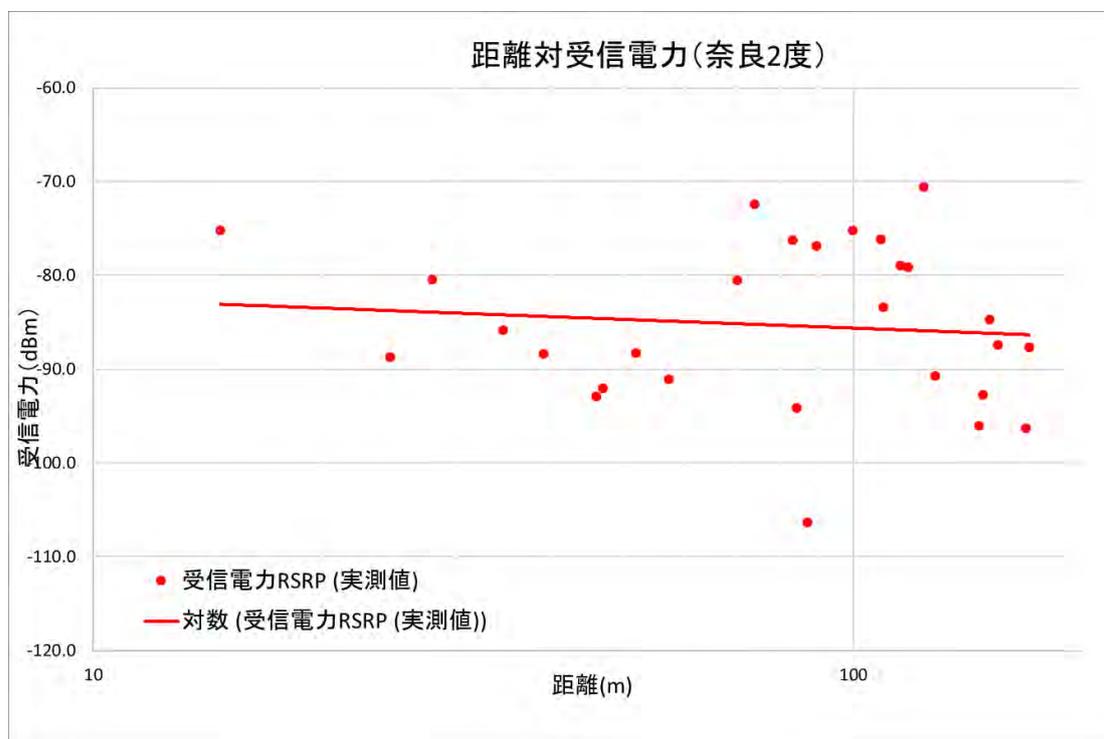


図 5.3.4-5 受信電力の距離特性 (LOS と NLOS を区別しない場合)

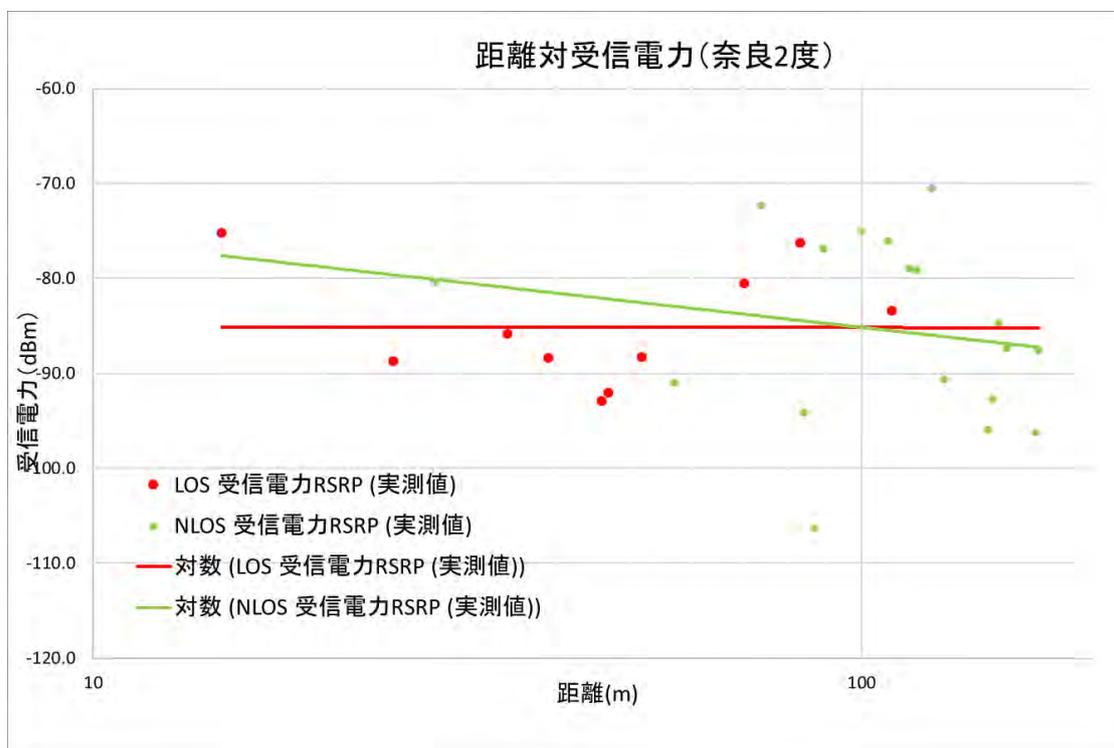


図 5.3.4-6 受信電力の距離特性 (LOS と NLOS を区別した場合)

測定した受信電力より、各測定地点における基地局アンテナからの水平角及び俯角に応じたアンテナ利得等の補正値を用いて、伝搬損失を計算した。図 5.3.4-7 に、伝搬損失の距離特性を（LOS と NLOS を区別しない場合）示す。図 5.3.4-8 に、伝搬損失の距離特性を（LOS と NLOS を区別した場合）示す。計算された伝搬損失に対して、最小二乗法で求めた近似直線も示した。比較のため、自由空間損失モデルによる伝搬損失の計算値も示した。

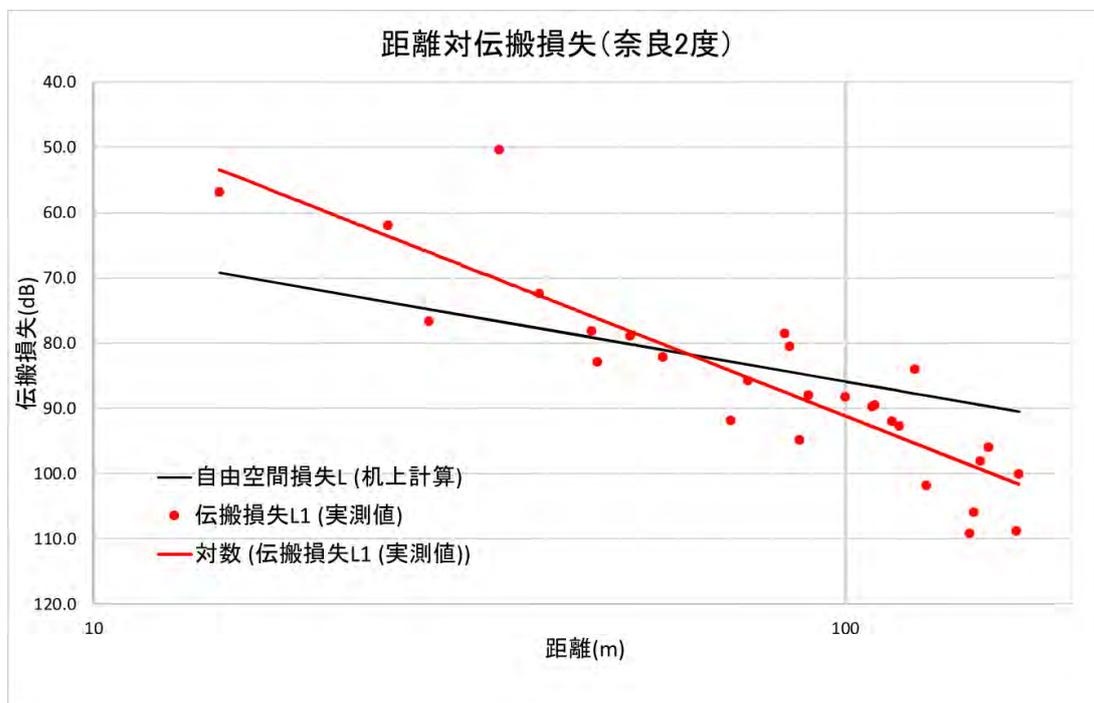


図 5.3.4-7 伝搬損失の距離特性（LOS と NLOS を区別しない場合）

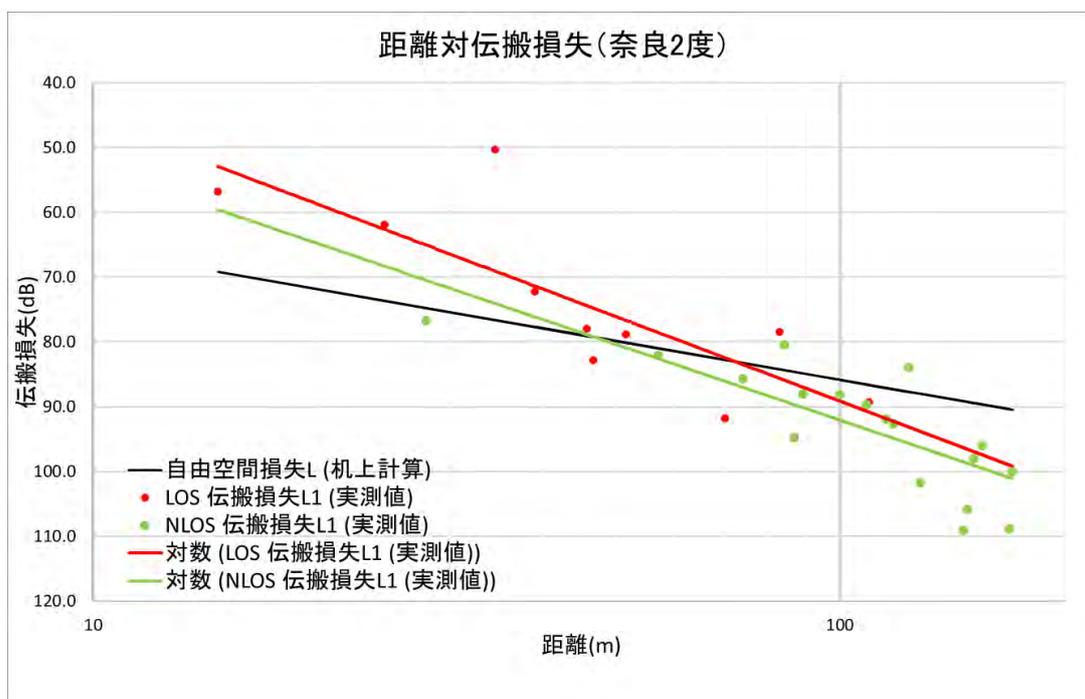


図 5.3.4-8 伝搬損失の距離特性（LOS と NLOS を区別した場合）

図 5.3.4-9～図 5.3.4-11 に、低速フェージングの影響を調べるため、測定地点 12、測定地点 18 及び測定地点 22 の各々において、12 ポイントで測定した受信電力の時間変動を示す。

また、図 5.3.4-12～図 5.3.4-14 に、測定地点 12、測定地点 18 及び測定地点 22 における 12 ポイントの各々の中央値、10 パーセント値及び 90 パーセント値を示した。12 ポイント全体の中央値も点線で示した。

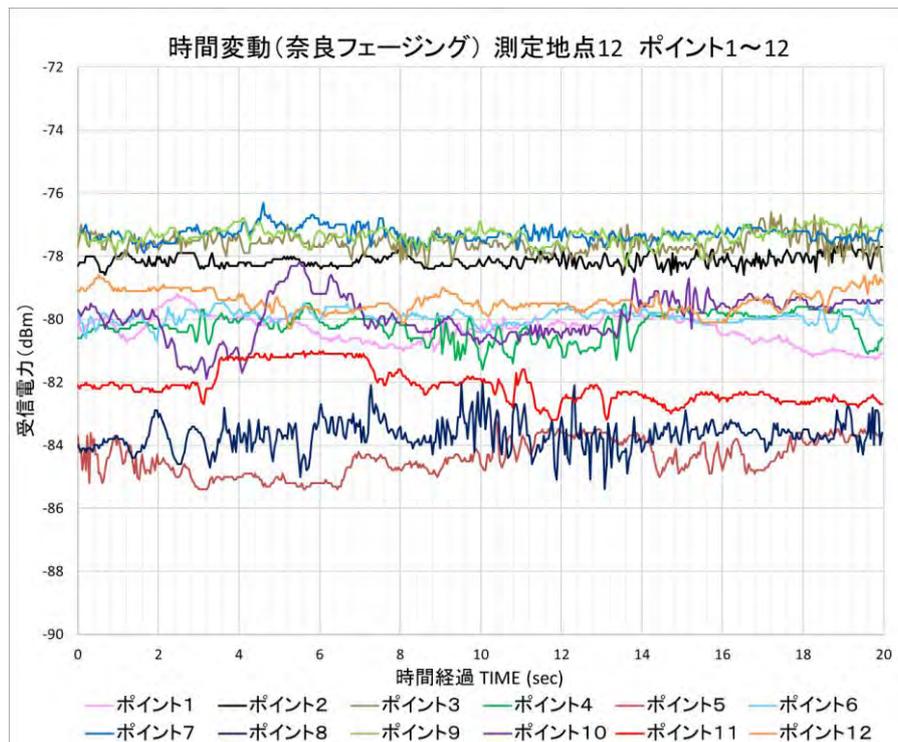


図 5.3.4-9 測定地点 12 の 12 ポイントで測定した受信電力の時間変動

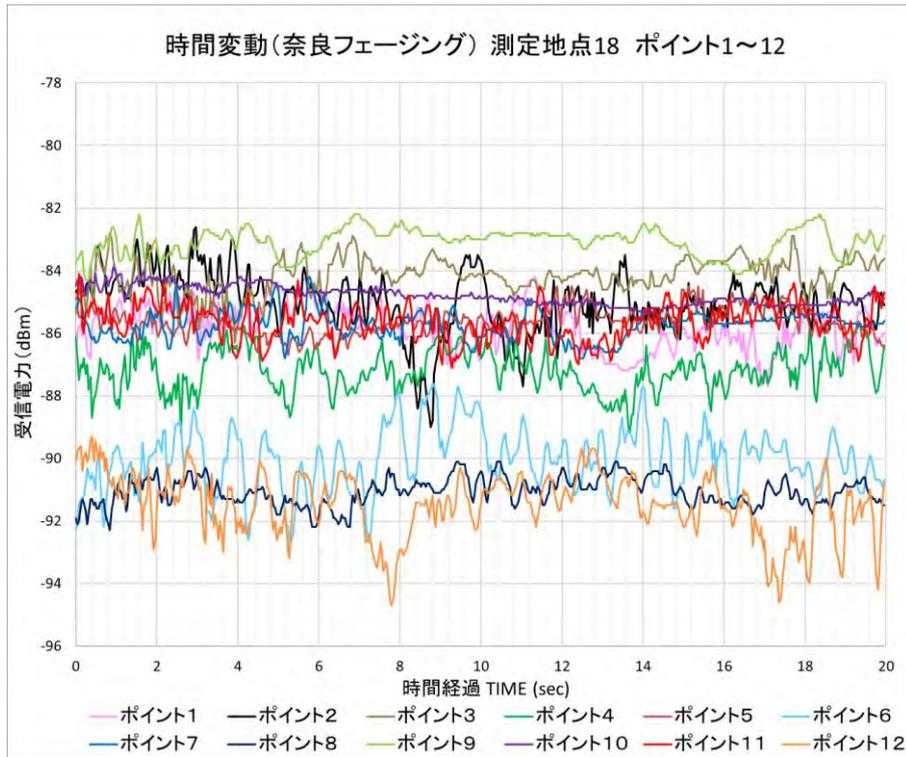


図 5.3.4-10 測定地点 18 の 12 ポイントで測定した受信電力の時間変動

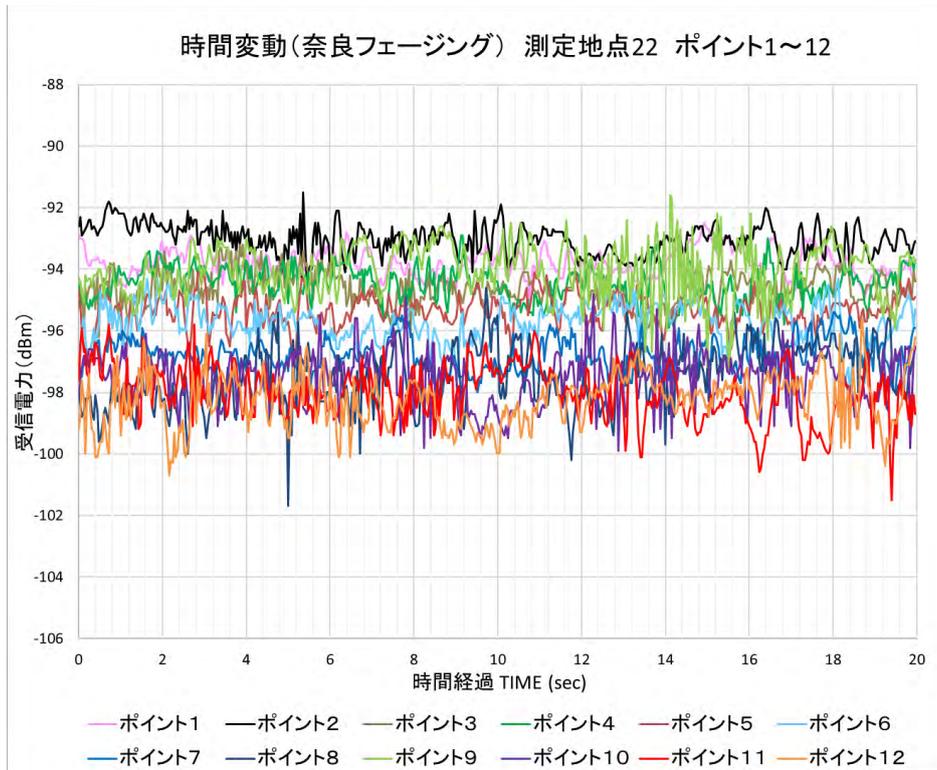


図 5.3.4-11 測定地点 22 の 12 ポイントで測定した受信電力の時間変動

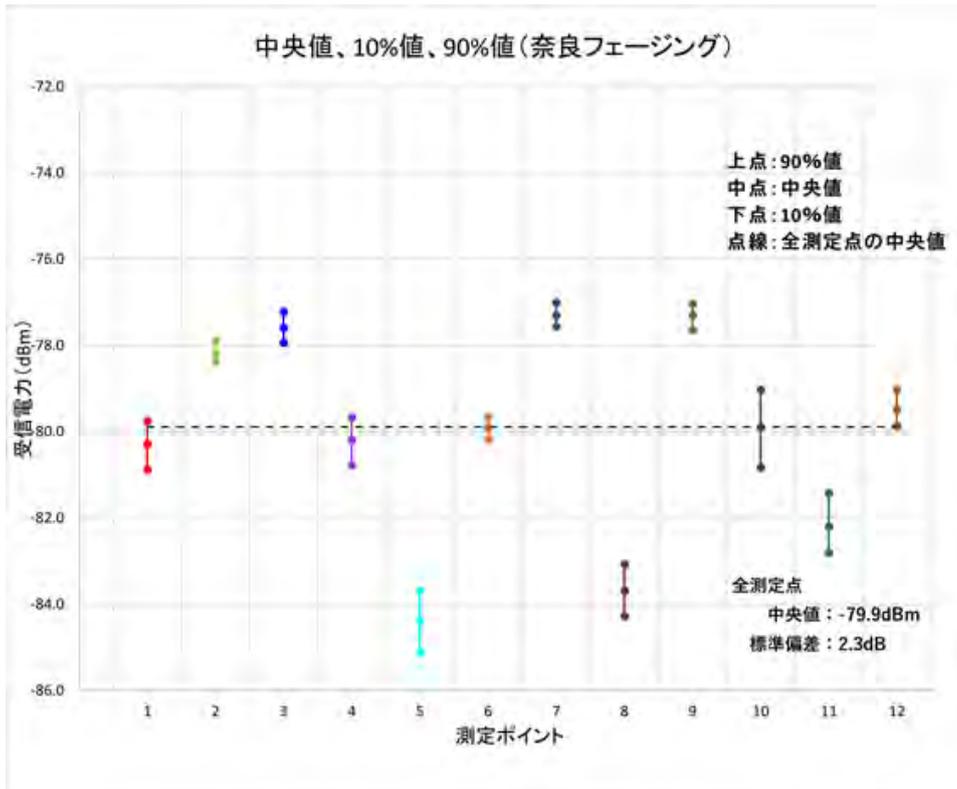


図 5.3.4-12 測定地点 12 における受信電力の分布及び全ポイントの中央値

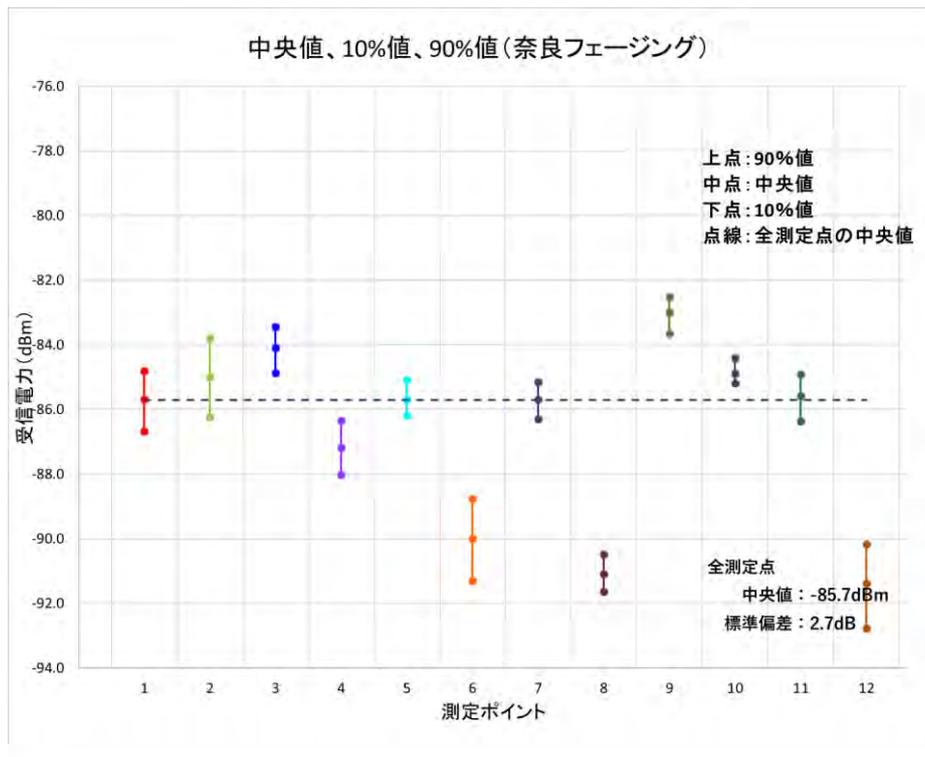


図 5.3.4-13 測定地点 18 における受信電力の分布及び全ポイントの中央値

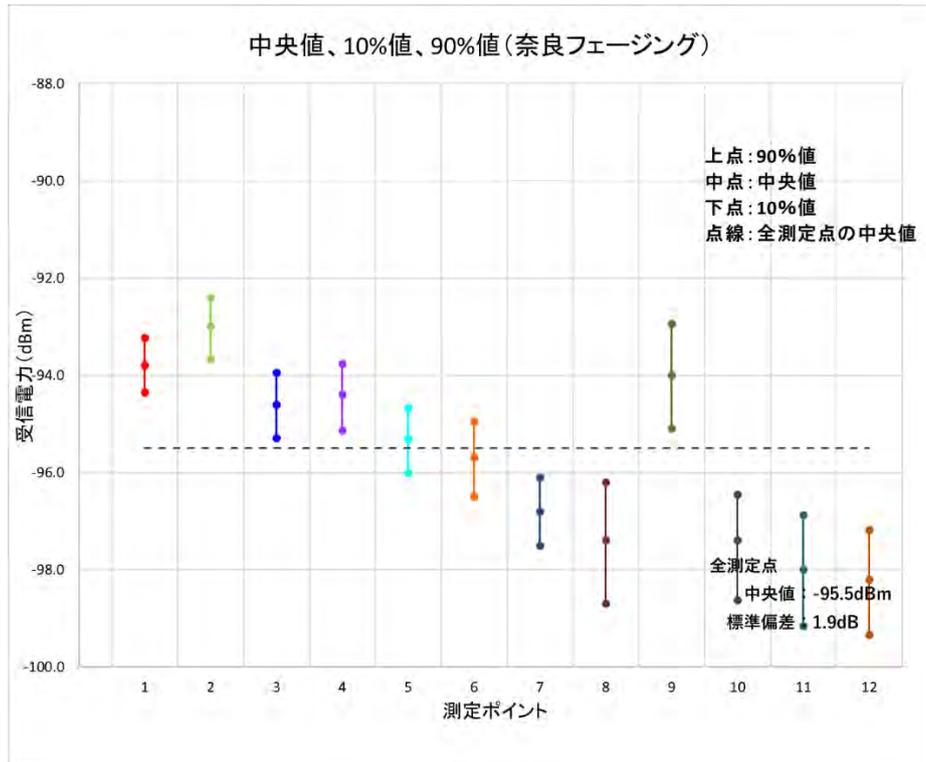


図 5.3.4-14 測定地点 22 における受信電力の分布及び全ポイントの中央値

図 5.3.4-15 に基地局アンテナのチルト角を 10 度として測定した受信電力の距離特性 (LOS と NLOS を区別した場合) を示す。比較のため、同じ測定地点で基地局アンテナのチルト角を 2 度として取得したデータと合わせて示した。

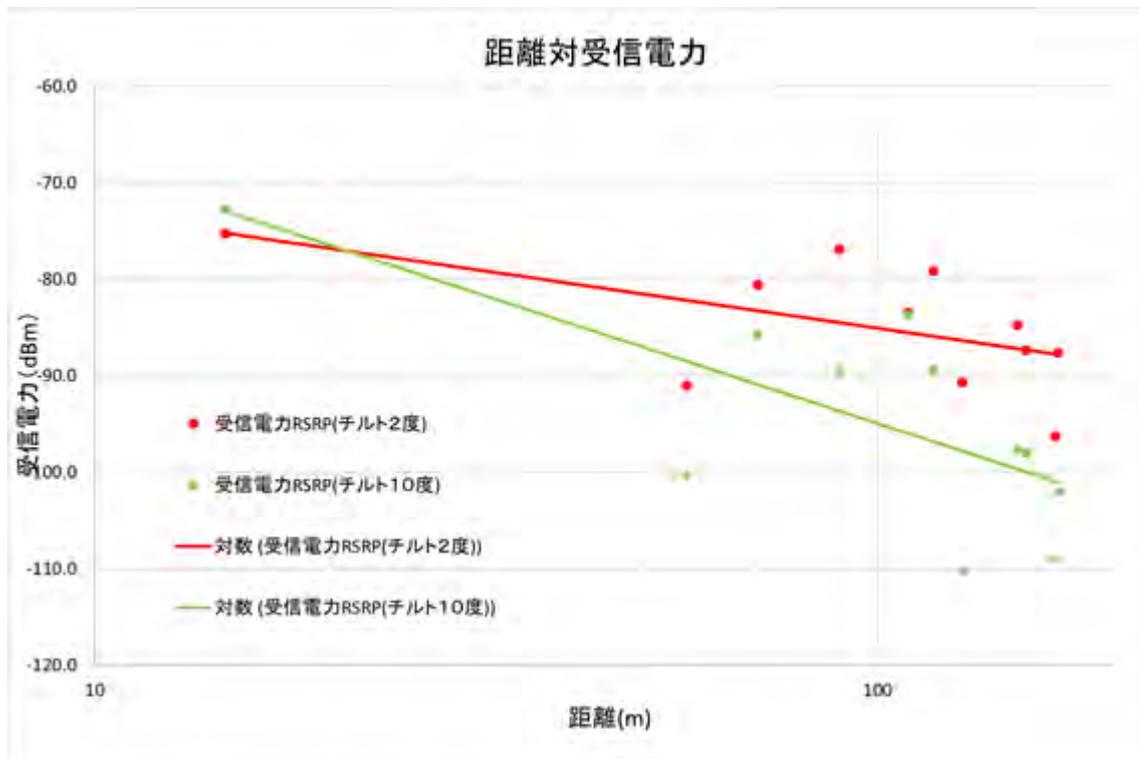


図 5.3.4-15 受信電力の距離特性 (チルト 2 度とチルト 10 度)

図 5.3.4-16 に基地局アンテナのチルト角を 10 度として測定した受信電力から計算した伝搬損失の距離特性を (LOS と NLOS を区別した場合) 示す。比較のため、受信電力と同様に基地局アンテナのチルト角を 2 度としたときのデータも合わせて示した。伝搬損失の距離特性は、反射波等が全く存在しない伝搬環境であれば、基地局アンテナのチルト角によらず同一となると考えられるが、実際の伝搬環境では、地面による反射波等が存在し、基地局アンテナ利得による補正值の計算誤差もあるため同一とはならない。

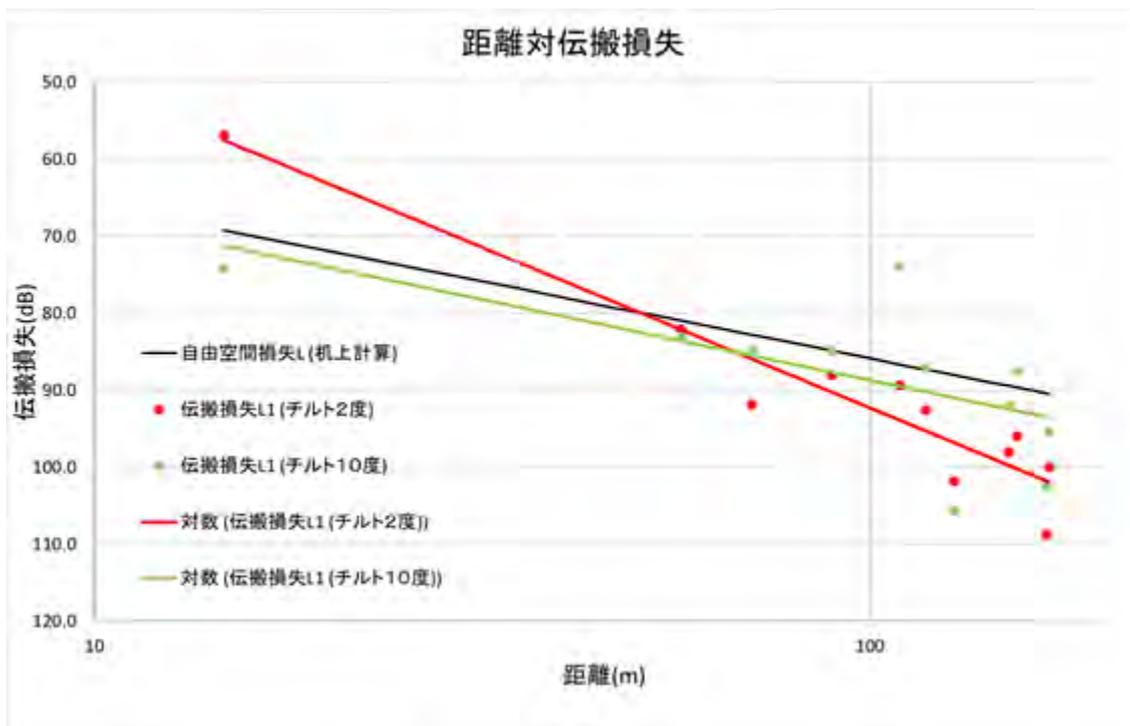


図 5.3.4-16 伝搬損失の距離特性 (チルト 2 度とチルト 10 度)

5.3.4.2 伝送スループット及び伝送遅延

(1) 伝送スループット

図 5.3.4-17 に 1 台の CPE に下りリンクの 30Mbps の送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、測定地点 2（基地局アンテナに最も近い場所）、測定地点 7（基地局アンテナの見通し内で比較的近い場所）、測定地点 12（基地局アンテナの見通し内で比較的遠い場所）及び測定地点 22（基地局アンテナの見通し外の場所）における測定値を示す。

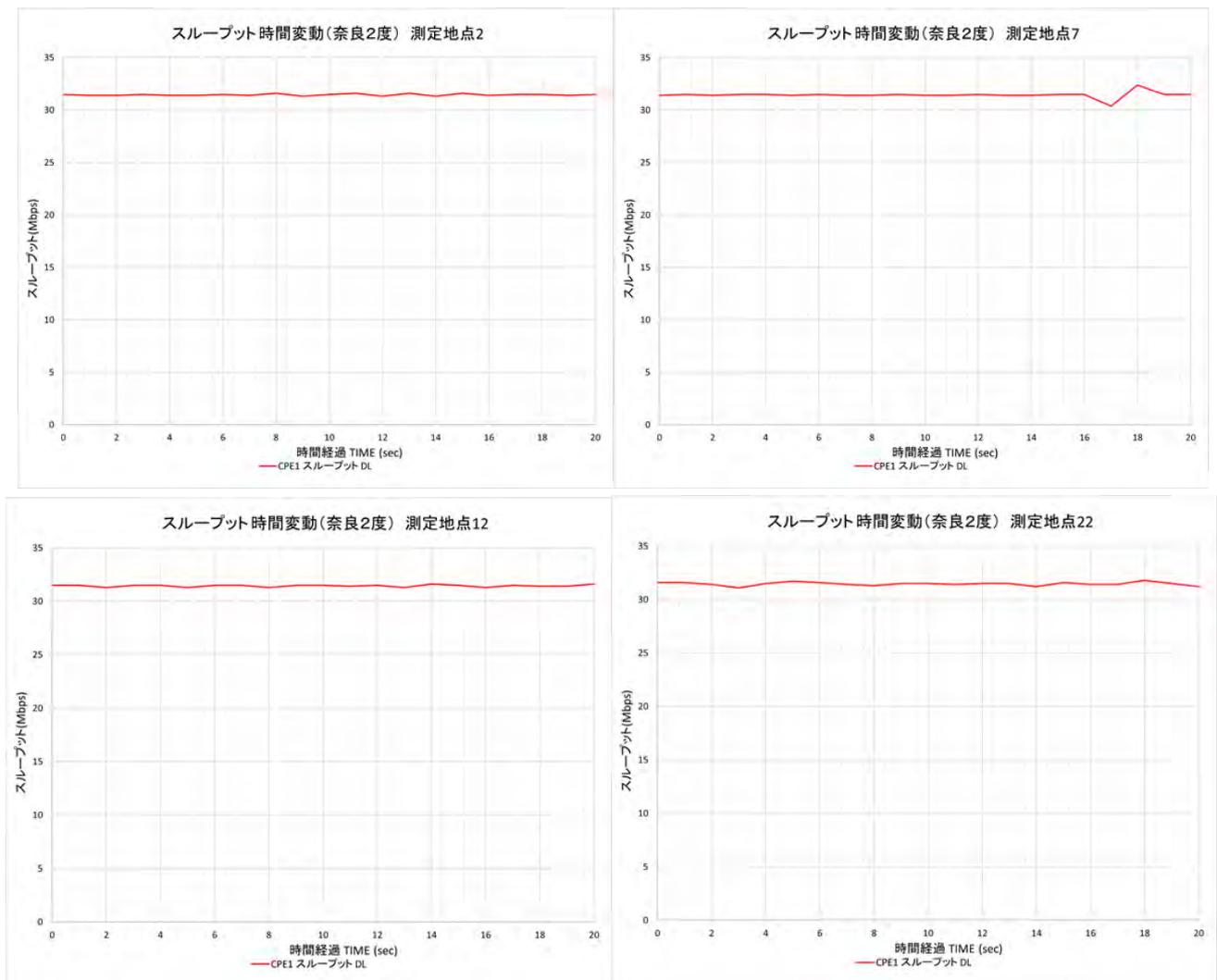


図 5.3.4-17 測定地点 2、7、12、22 における CPE 1 台での伝送スループット（下り）の時間変動

図 5.3.4-18 に 1 台の CPE に下りリンクの 30Mbps の送信を行った際の伝送スループットの距離特性を示す。

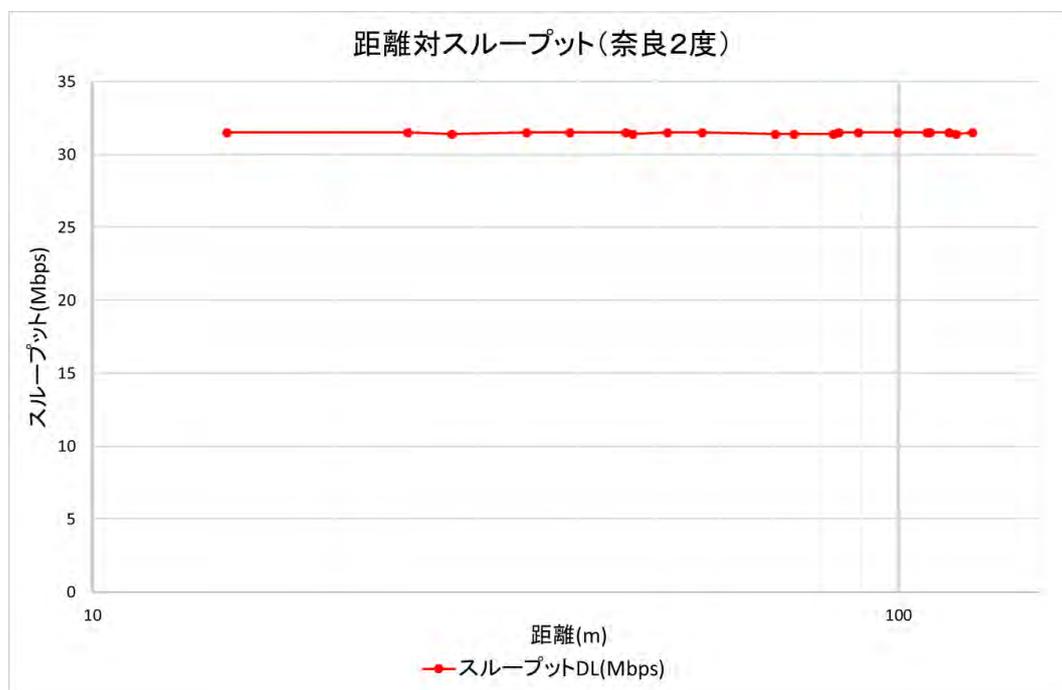


図 5.3.4-18 CPE 1 台での伝送スループット（下り）と距離特性

図 5.3.4-19～図 5.3.4-37 に、低速フェージングの影響を調べるため、測定地点 12 及び測定地点 22 の各々において、1 台の CPE に下りリンクの 30Mbps の送信を行った際に、12 ポイントで測定した伝送スループットの時間変動を示す。

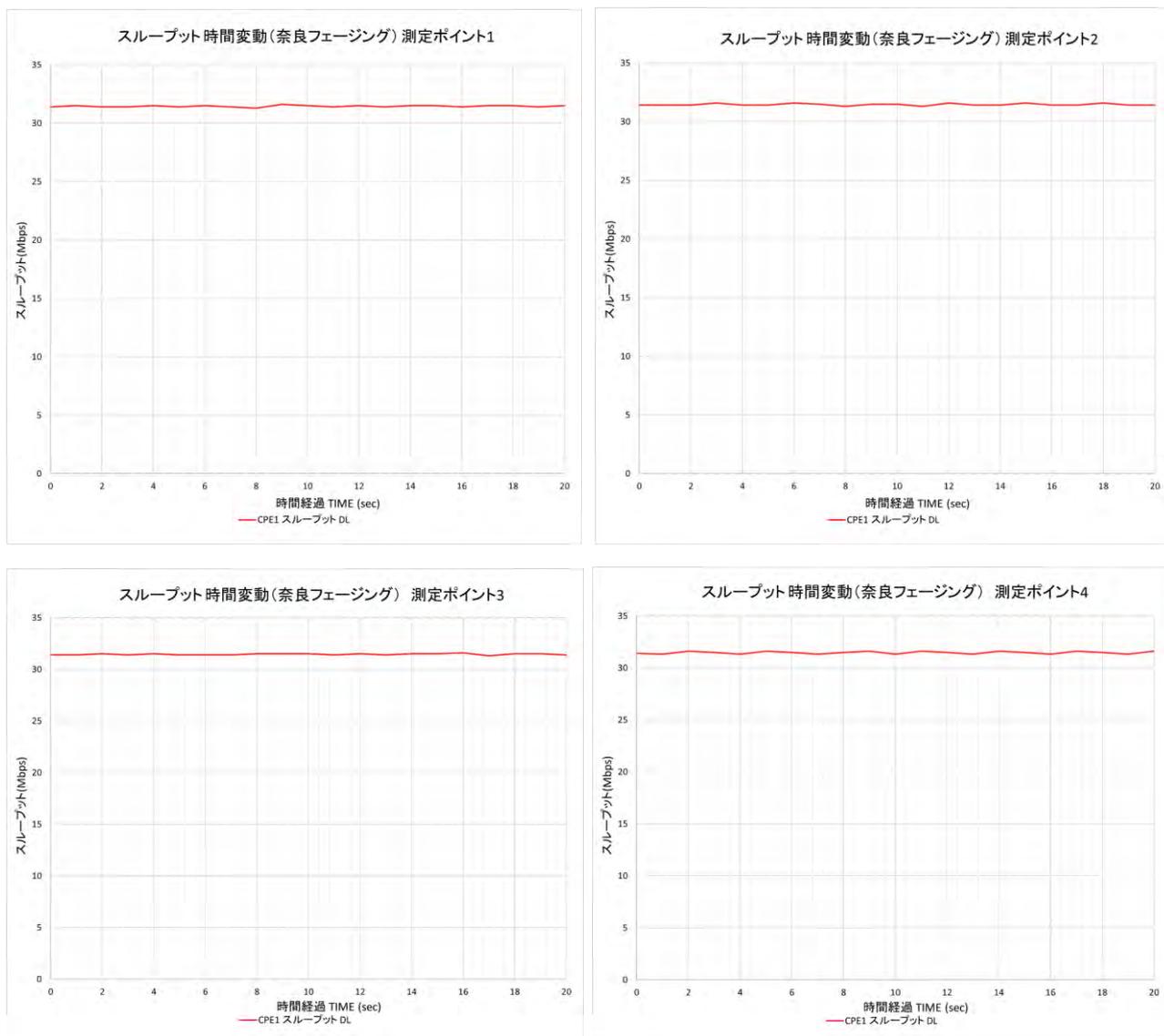


図 5.3.4-19 測定地点 12 (ポイント 1 から 4) における CPE 1 台での伝送スループット (下り) の時間変動

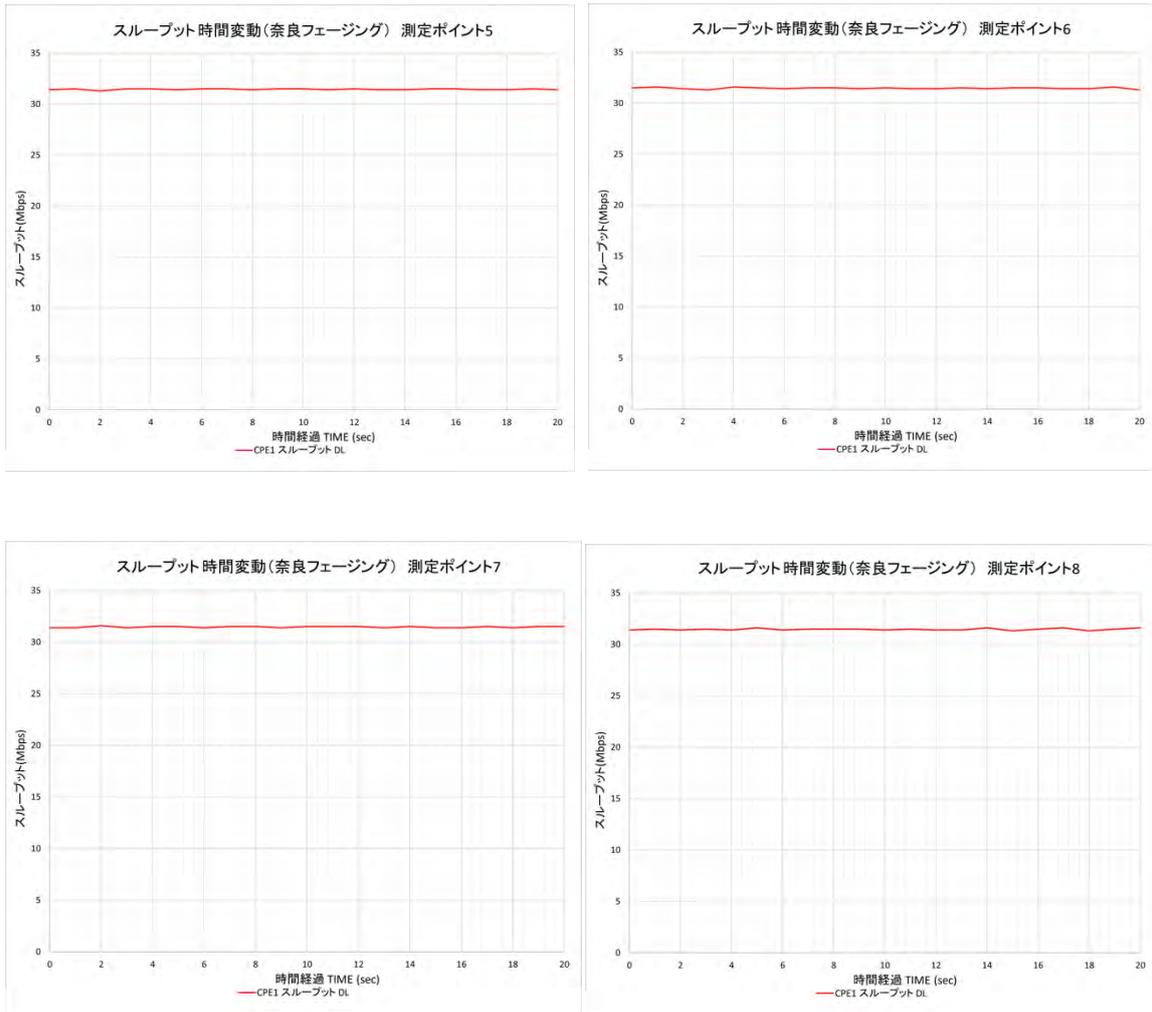


図 5.3.4-20 測定地点 12 (ポイント 5 から 8) における CPE 1 台での伝送スループット (下り) の時間変動

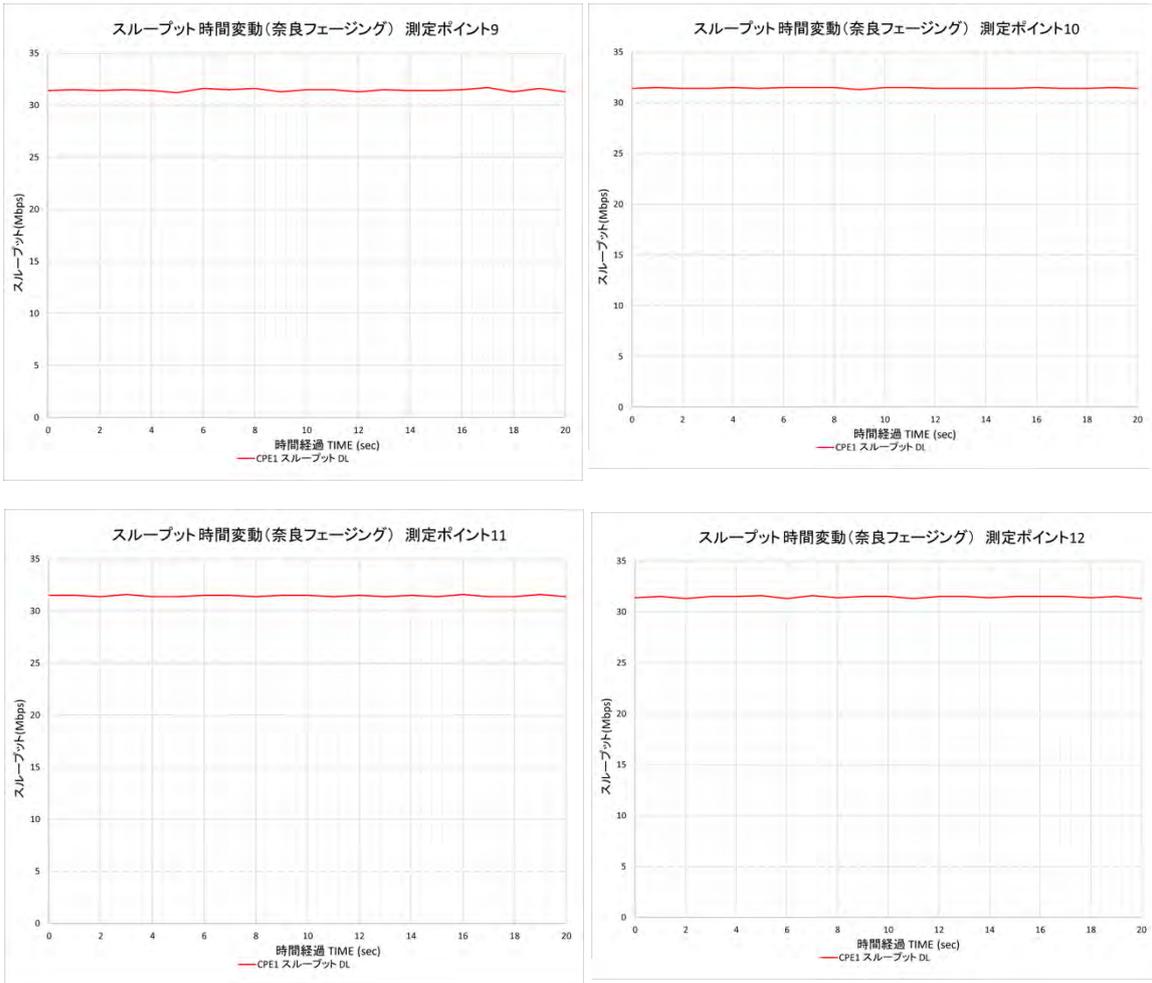


図 5.3.4-21 測定地点 12 (ポイント 9 から 12) における CPE 1 台での伝送スループット (下り) の時間変動

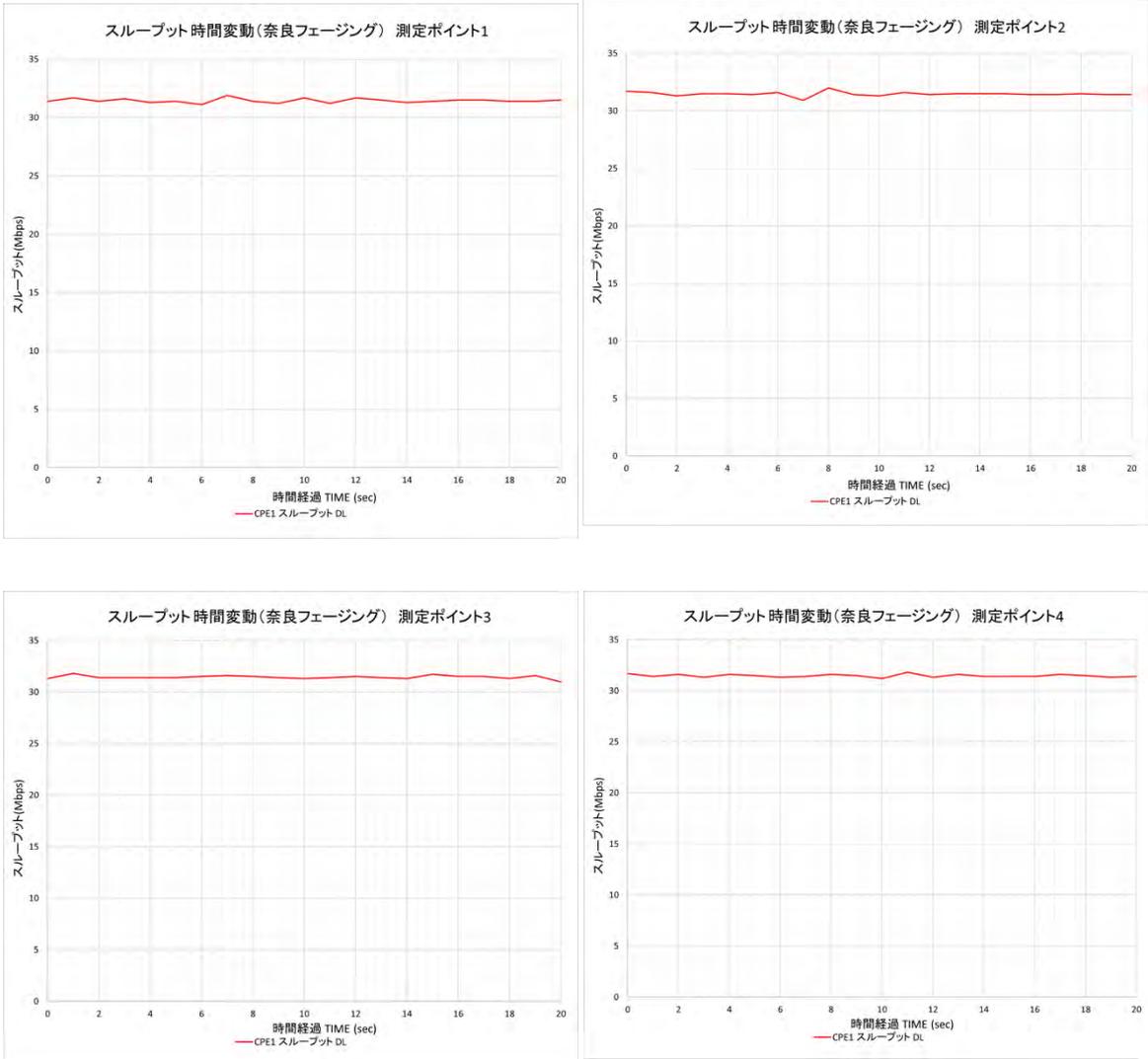


図 5.3.4-22 測定地点 22 (ポイント 1 から 4) における CPE 1 台での伝送スループット (下り) の時間変動

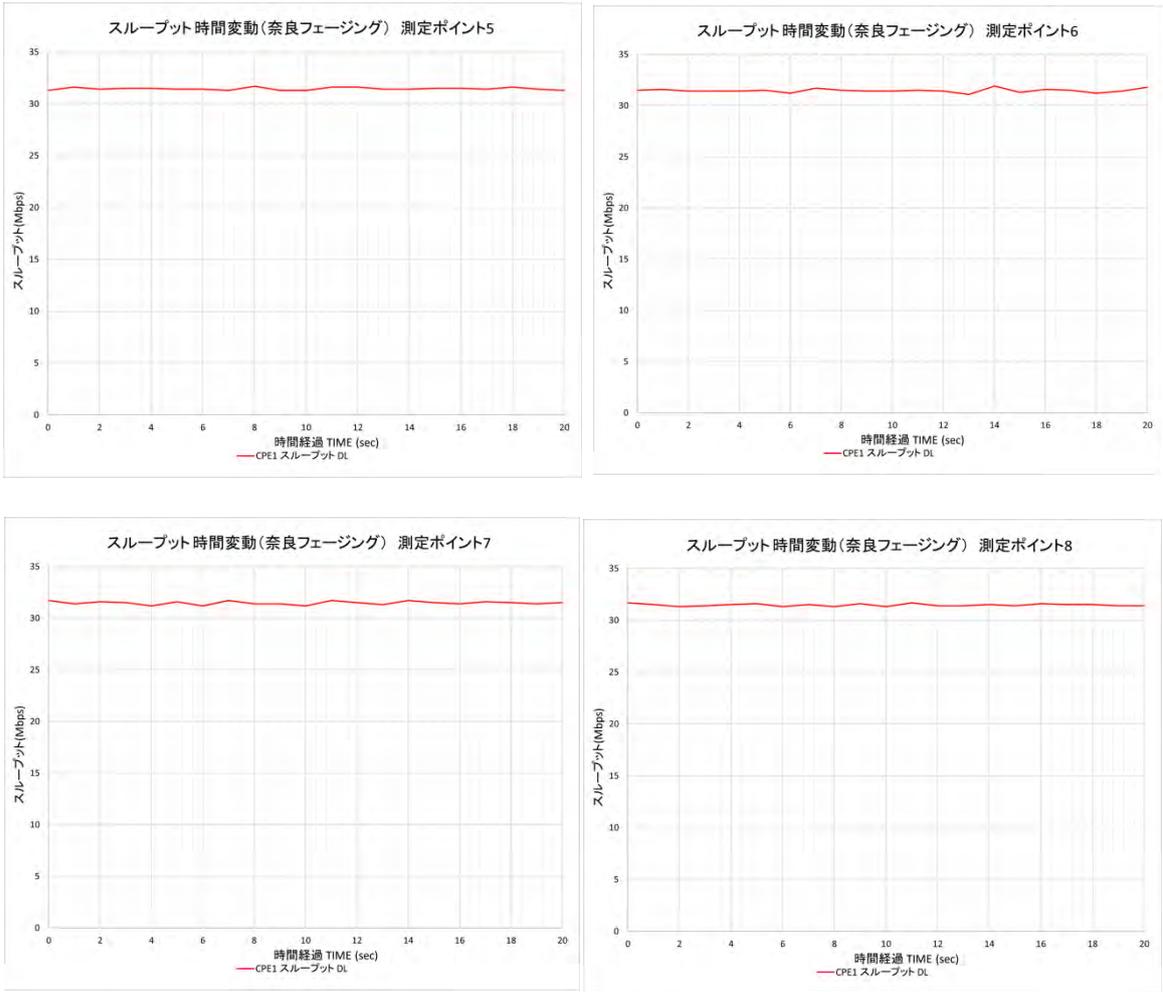


図 5.3.4-23 測定地点 22 (ポイント 5 から 8) における CPE 1 台での伝送スループット (下り) の時間変動

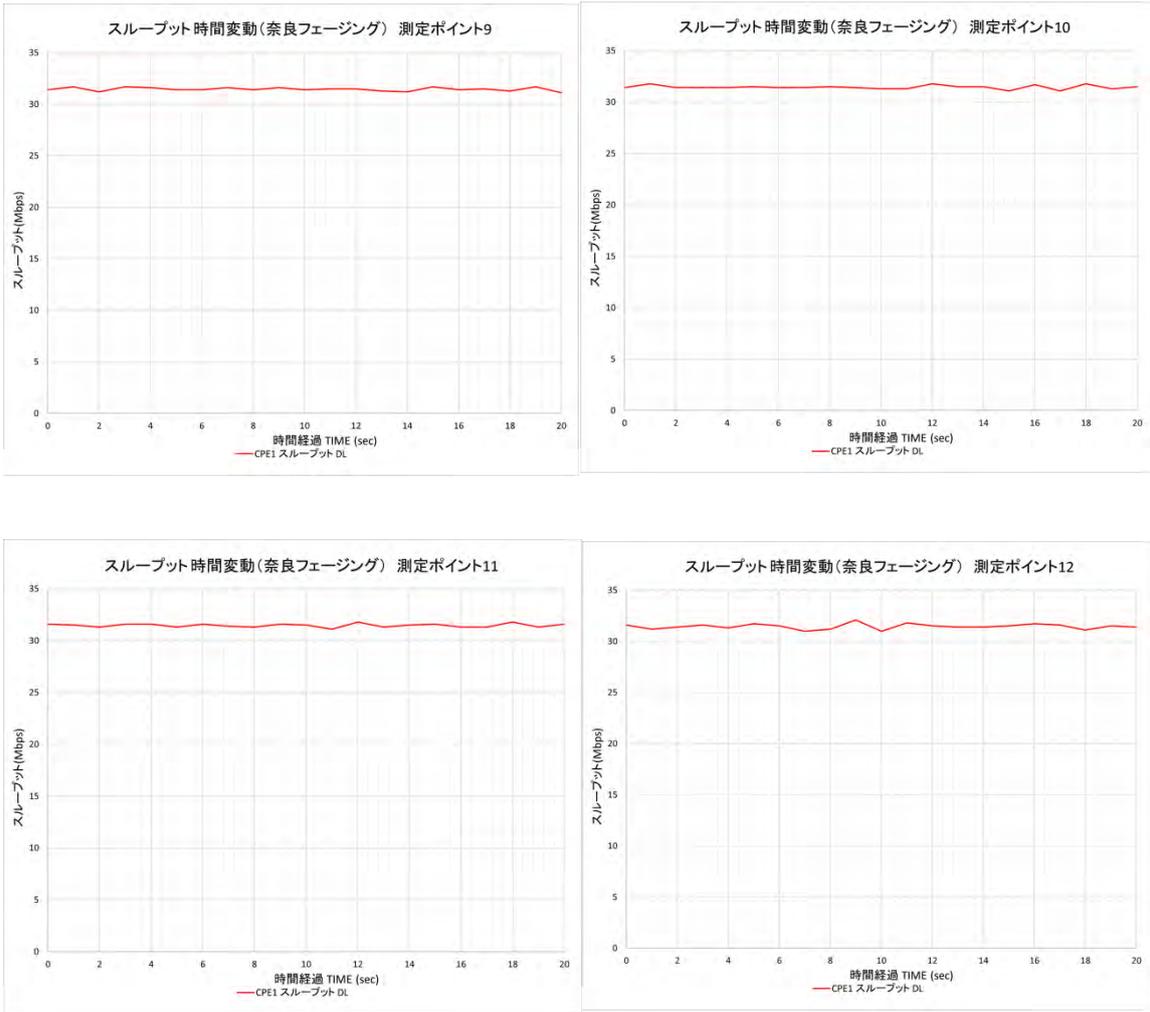


図 5.3.4-24 測定地点 22 (ポイント 9 から 12) における CPE 1 台での伝送スループット (下り) の時間変動

また、図 5.3.4-38～図 5.3.4-26 に、測定地点 12 及び測定地点 22 における 12 ポイントの各々の平均値、10 パーセント値及び 90 パーセント値を示した。12 ポイント全体の平均値も点線で示した。

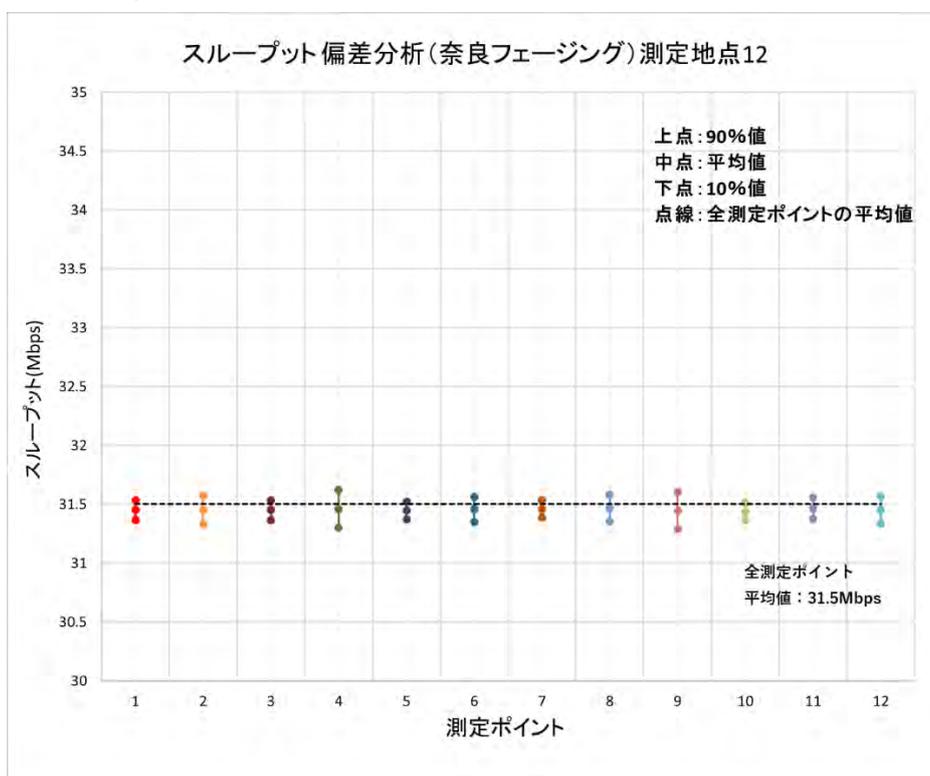


図 5.3.4-25 測定地点 12 における CPE 1 台での伝送スループット（下り）の分布

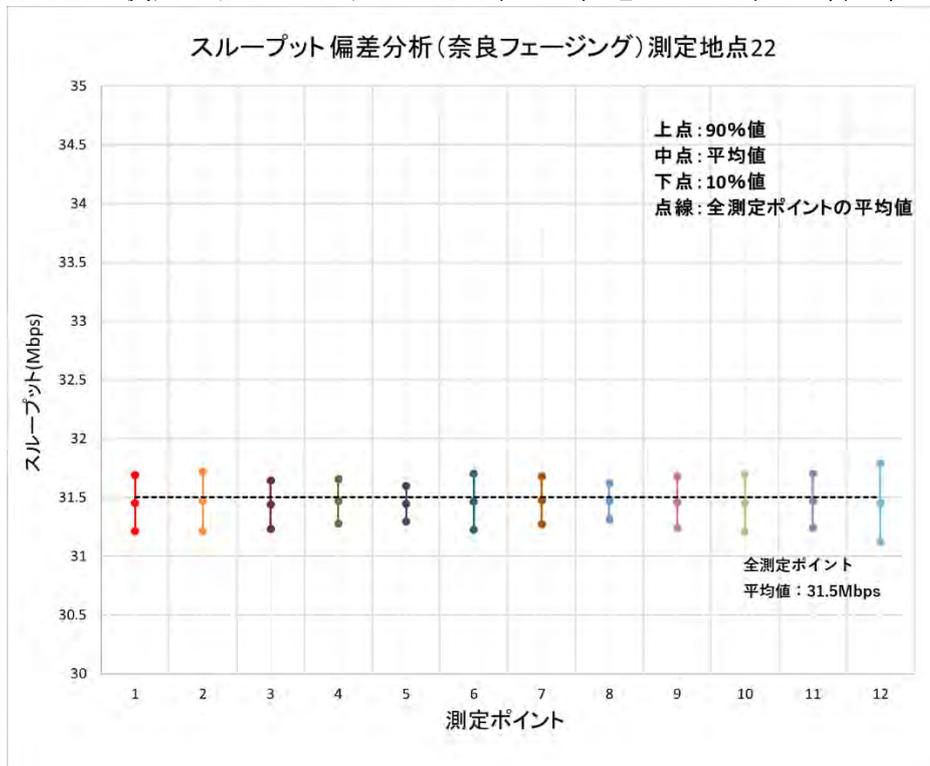


図 5.3.4-26 測定地点 22 における CPE 1 台での伝送スループット（下り）の分布

図 5.3.4-27 に最大 6 台の MR グラスの同時利用を想定して 3 台の CPE に下りリンクの 180Mbps の送信（各 CPE に対して下りリンクの 60Mbps の送信）を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、測定地点 2 及び測定地点 7、測定地点 12 における測定値を示す。

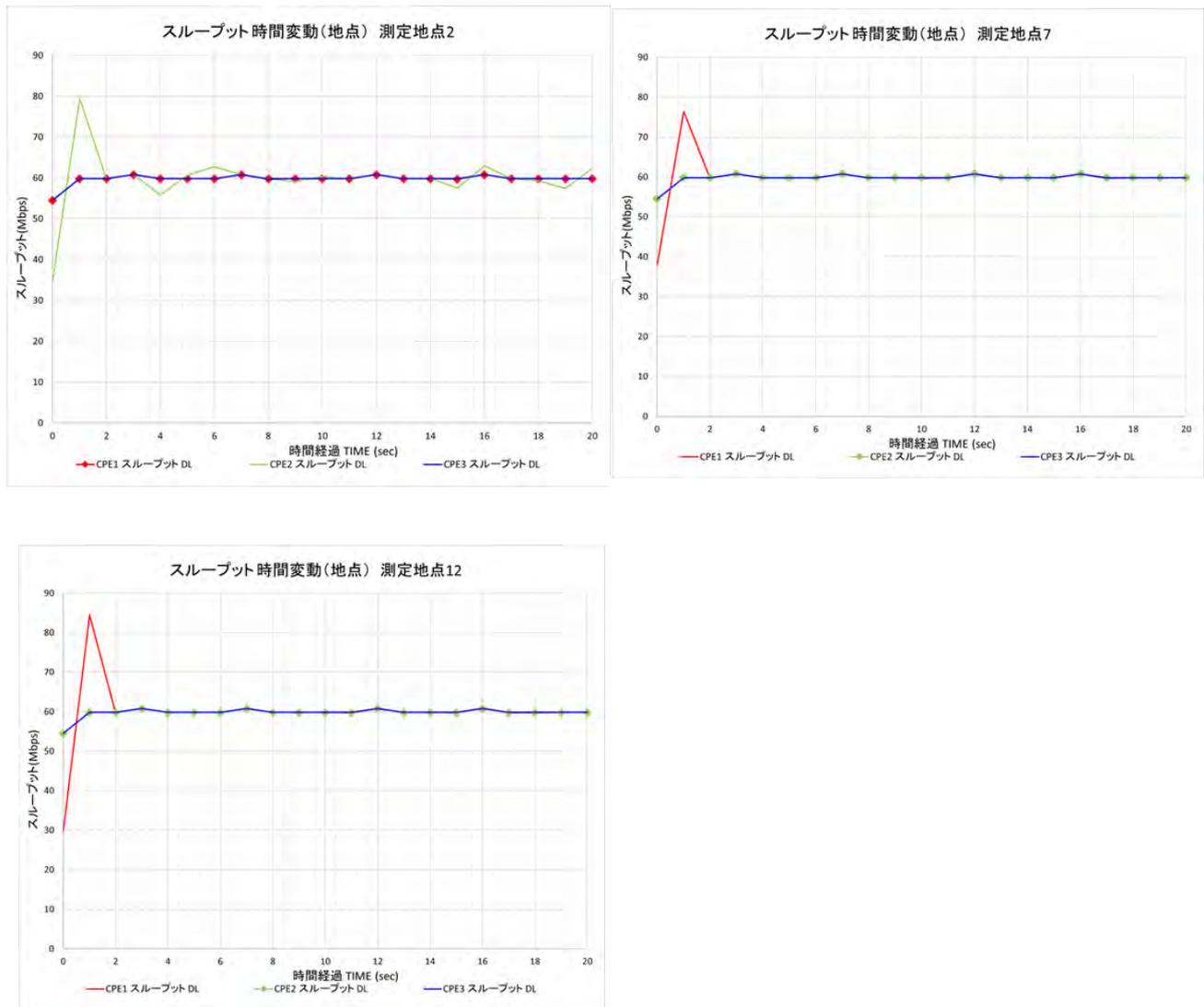


図 5.3.4-27 測定地点 2、7、12 における CPE 3 台での伝送スループット（下り）の時間変動

図 5.3.4-28、図 5.3.4-29 に同時利用数をパラメータとした伝送スループット（合計値）の距離特性（LOS と NLOS を区別しない場合と LOS と NLOS を区別した場合）を示す。

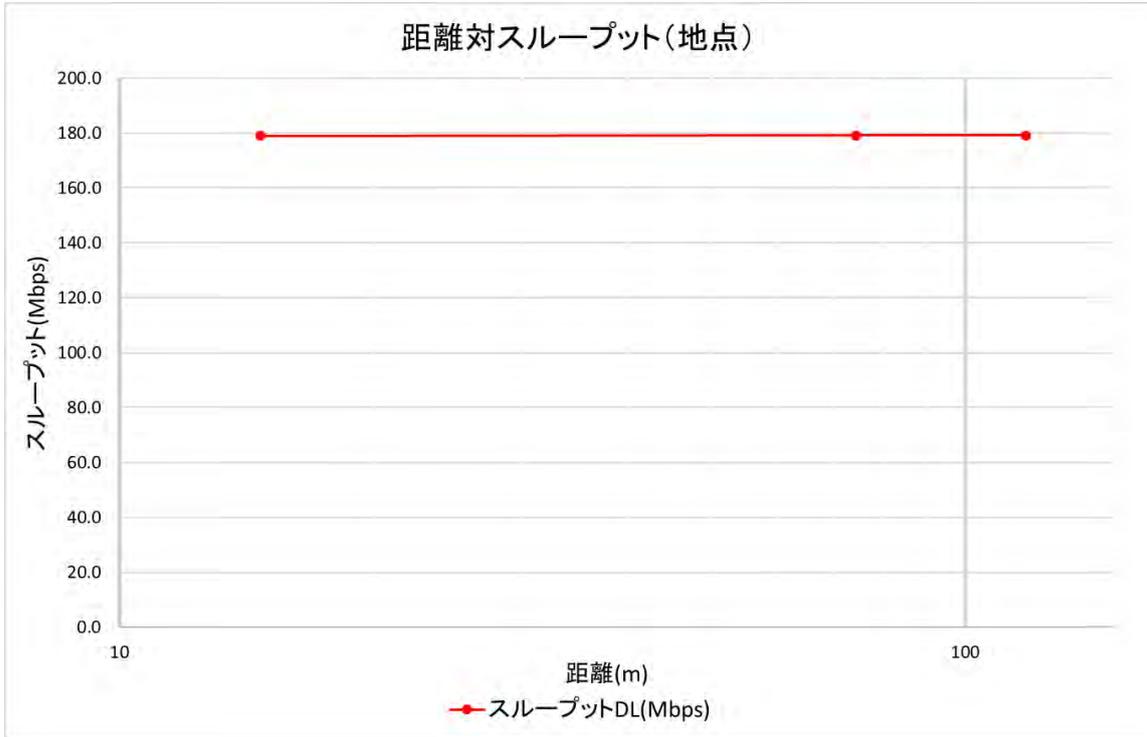


図 5.3.4-28 CPE 3 台での伝送スループット（合計値）と距離特性（LOS と NLOS を区別しない場合）

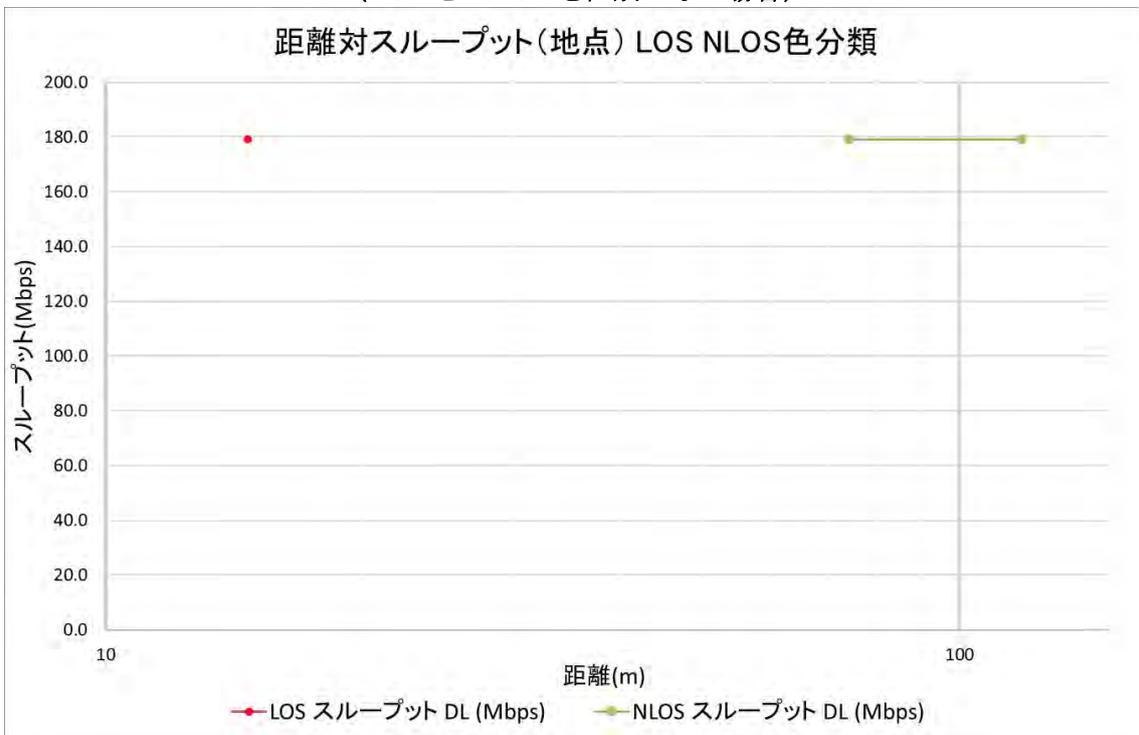


図 5.3.4-29 CPE 3 台での伝送スループット（合計値）の距離特性（LOS と NLOS を区別した場合）

(2) 遅延時間

図 5.3.4-30 に 1 台の CPE に下りリンクの 30Mbps の送信を行った際の伝送遅延時間の時間変動の例として、測定地点 2（基地局アンテナに最も近い場所）、測定地点 7（基地局アンテナの見通し内で比較的近い場所）、測定地点 12（基地局アンテナの見通し内で比較的遠い場所）及び測定地点 22（基地局アンテナの見通し外の場所）における測定値を示す。また下りリンクの送信を行わない状態での伝送遅延時間（無負荷時）を比較のため示す。

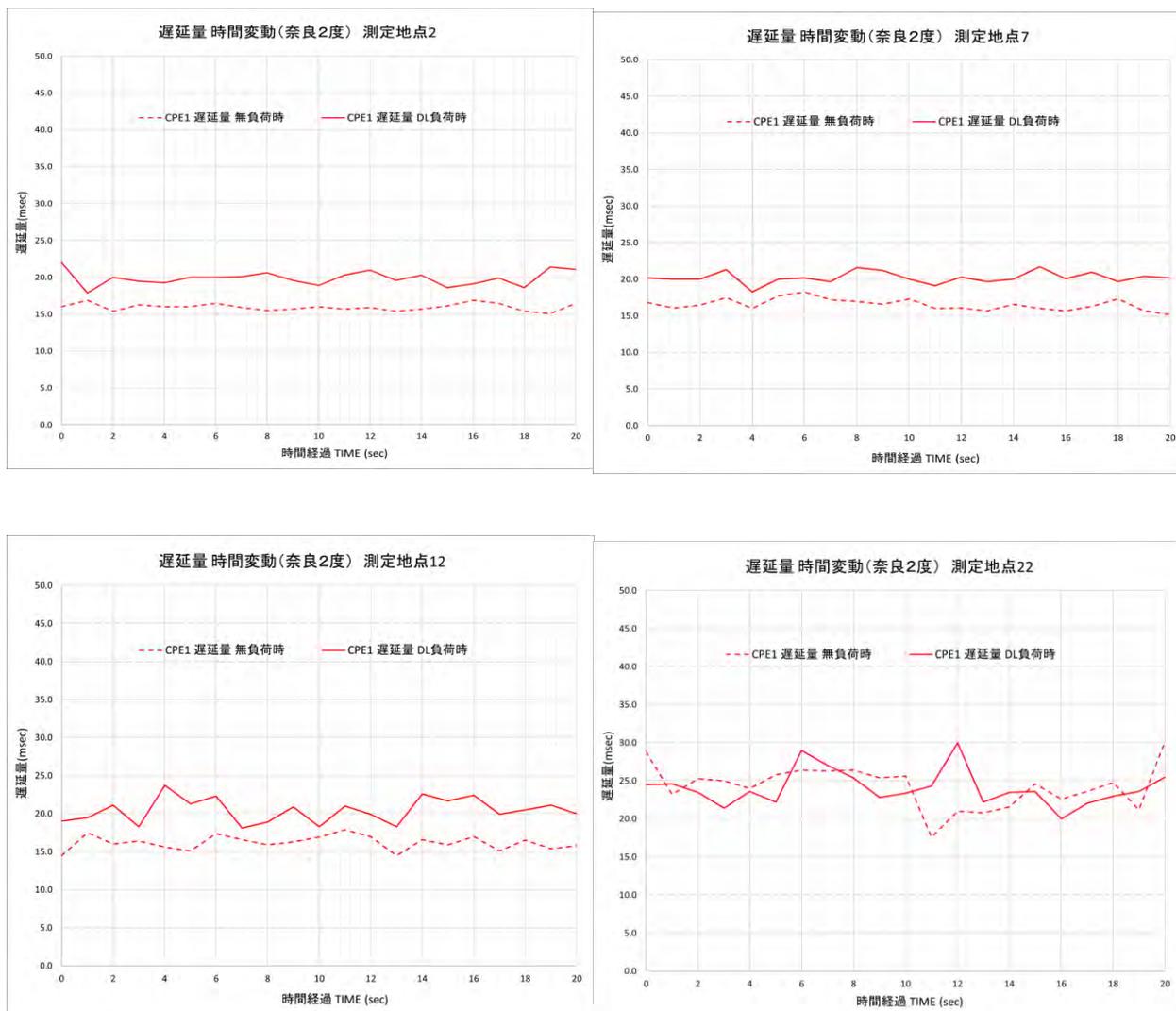


図 5.3.4-30 測定地点 2、7、12、22 における CPE 1 台での伝送遅延時間の時間変動

図 5.3.4-31 に 1 台の CPE に下りリンクの 30Mbps の送信を行った際の伝送遅延時間の距離特性を示す。

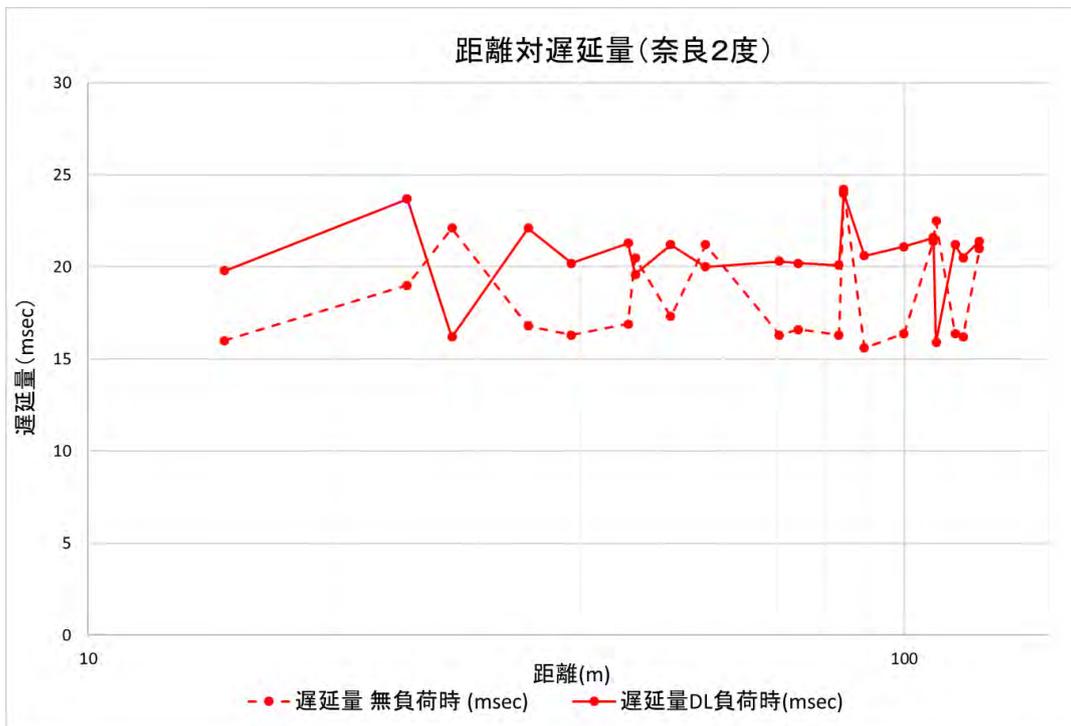


図 5.3.4-31 CPE 1 台での伝送遅延時間と距離特性

図 5.3.4-32～図 5.3.4-37 に、低速フェージングの影響を調べるため、測定地点 12 及び測定地点 22 の各々において、1 台の CPE に下りリンクの 30Mbps の送信を行った際に、12 ポイントで測定した伝送遅延時間の時間変動を示す。

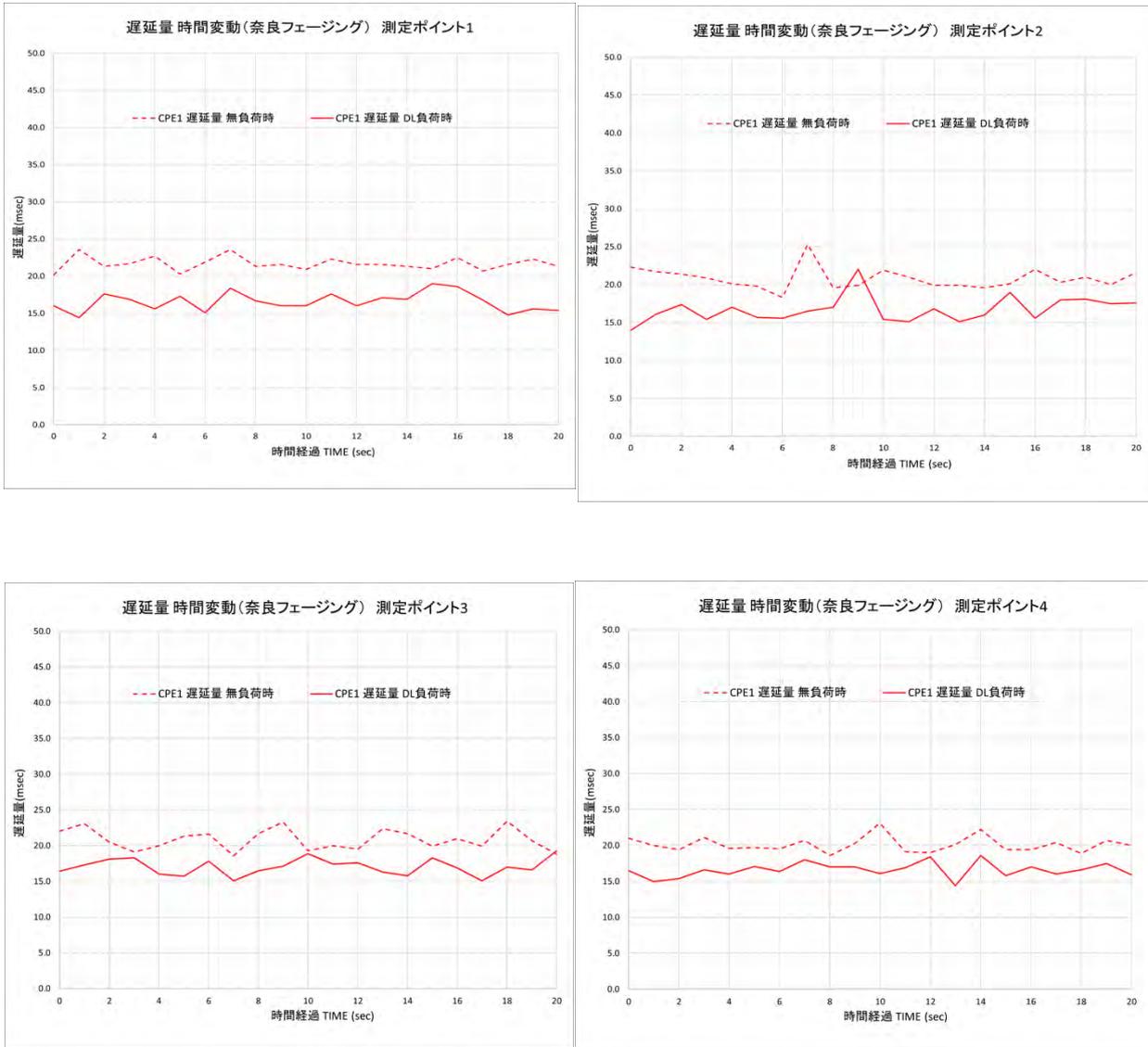


図 5.3.4-32 測定地点 12 (ポイント 1 から 4) における CPE 1 台での伝送遅延時間の時間変動

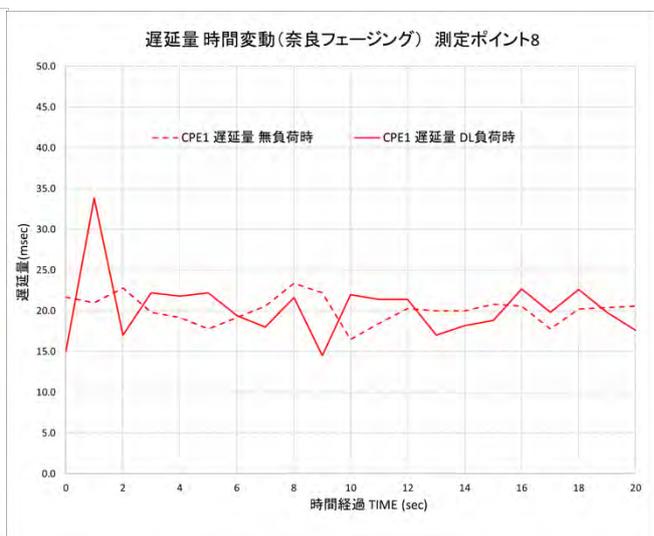
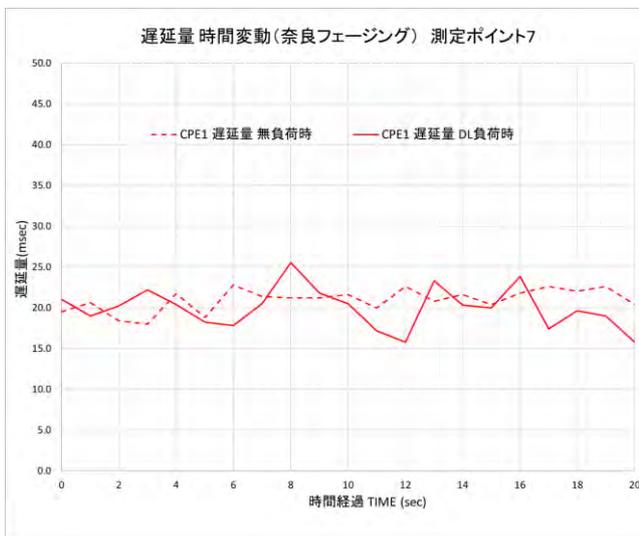
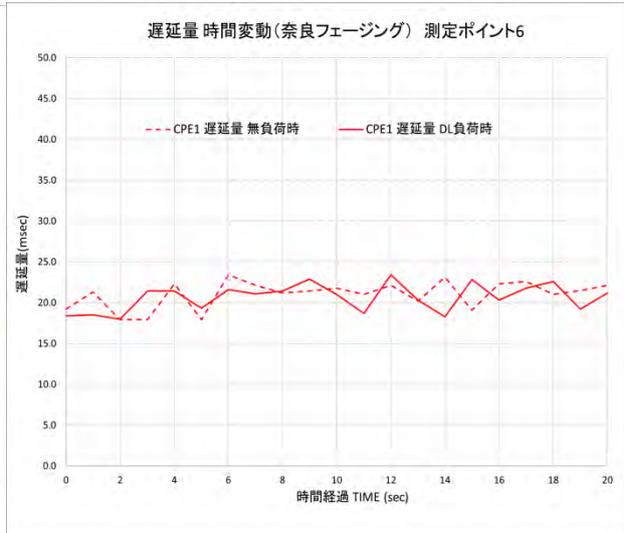
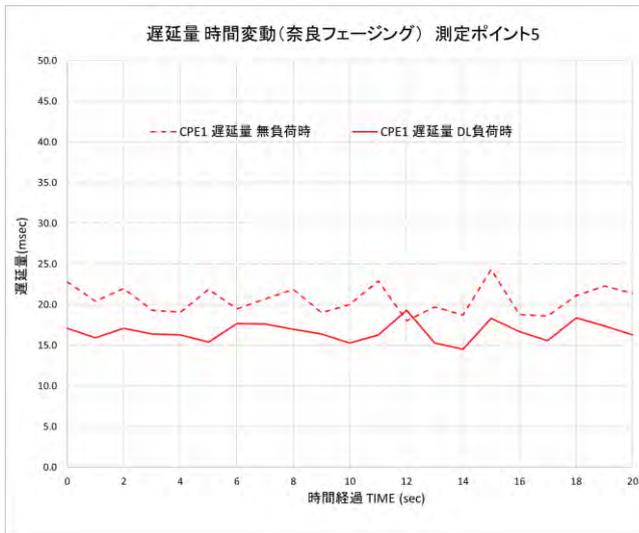


図 5.3.4-33 測定地点 12 (ポイント 5 から 8) における
CPE 1 台での伝送遅延時間の時間変動

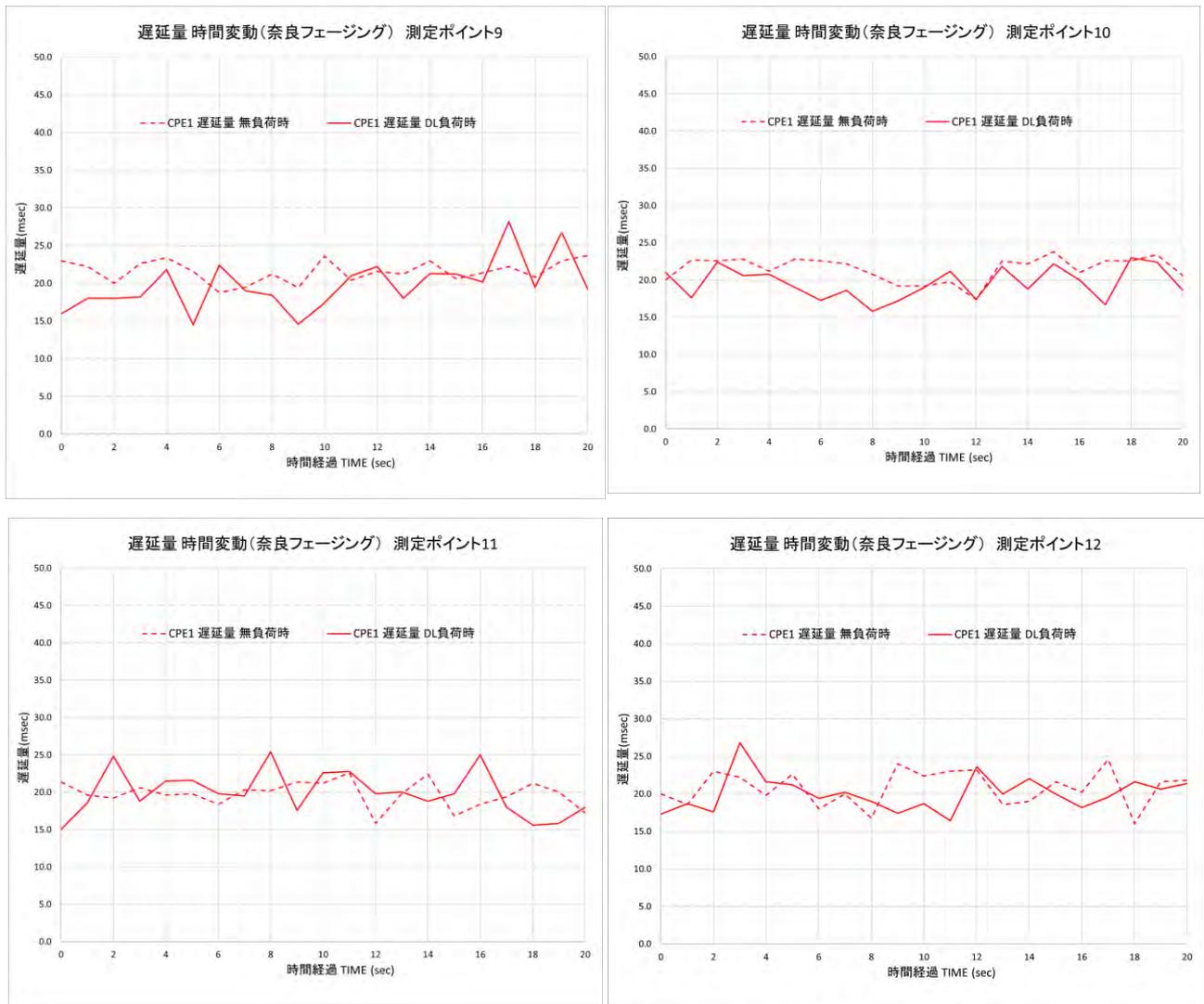


図 5.3.4-34 測定地点 12 (ポイント 9 から 12) における
CPE 1 台での伝送遅延時間の時間変動

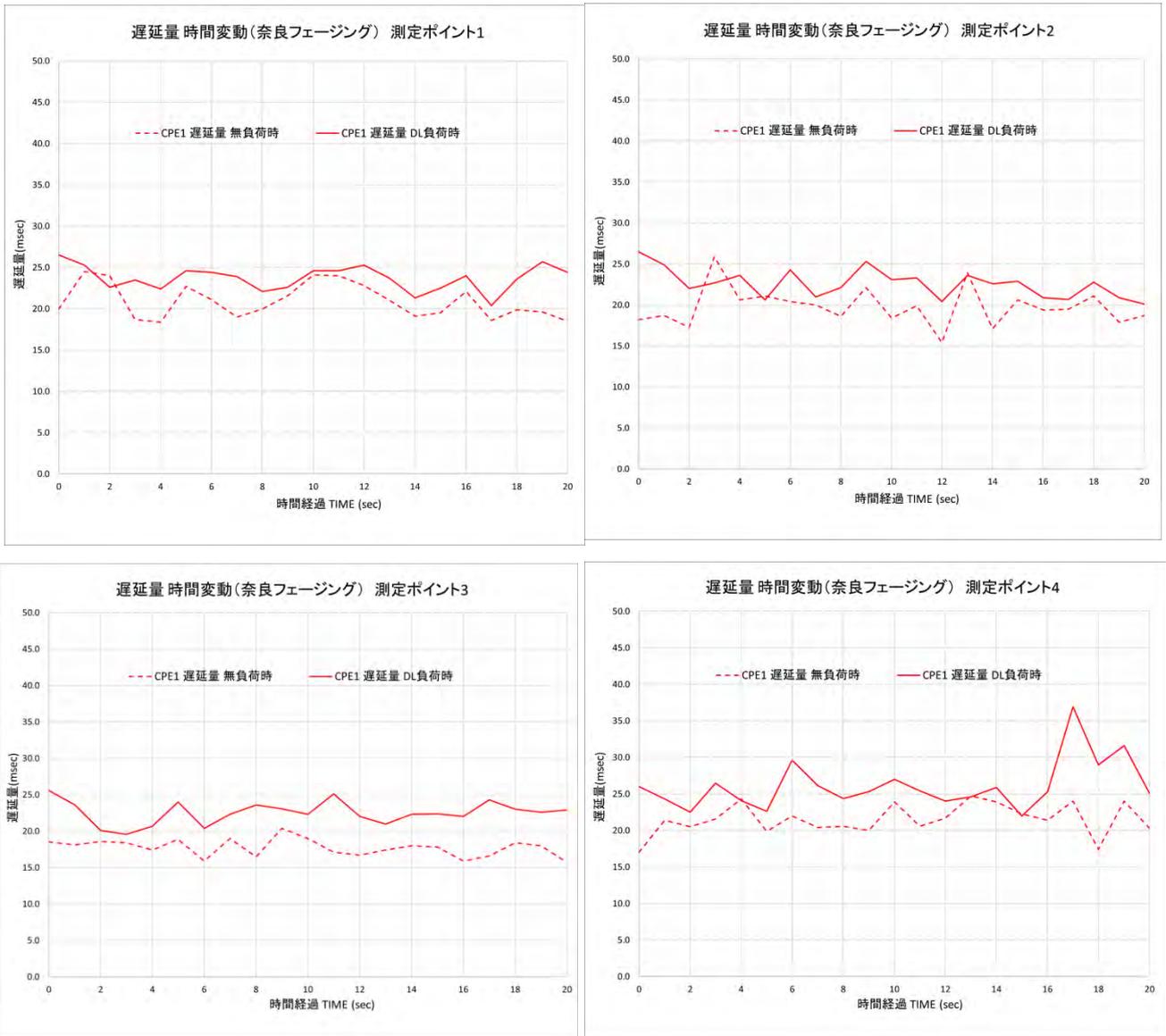


図 5.3.4-35 測定地点 22 (ポイント 1 から 4) における CPE 1 台での伝送遅延時間の時間変動

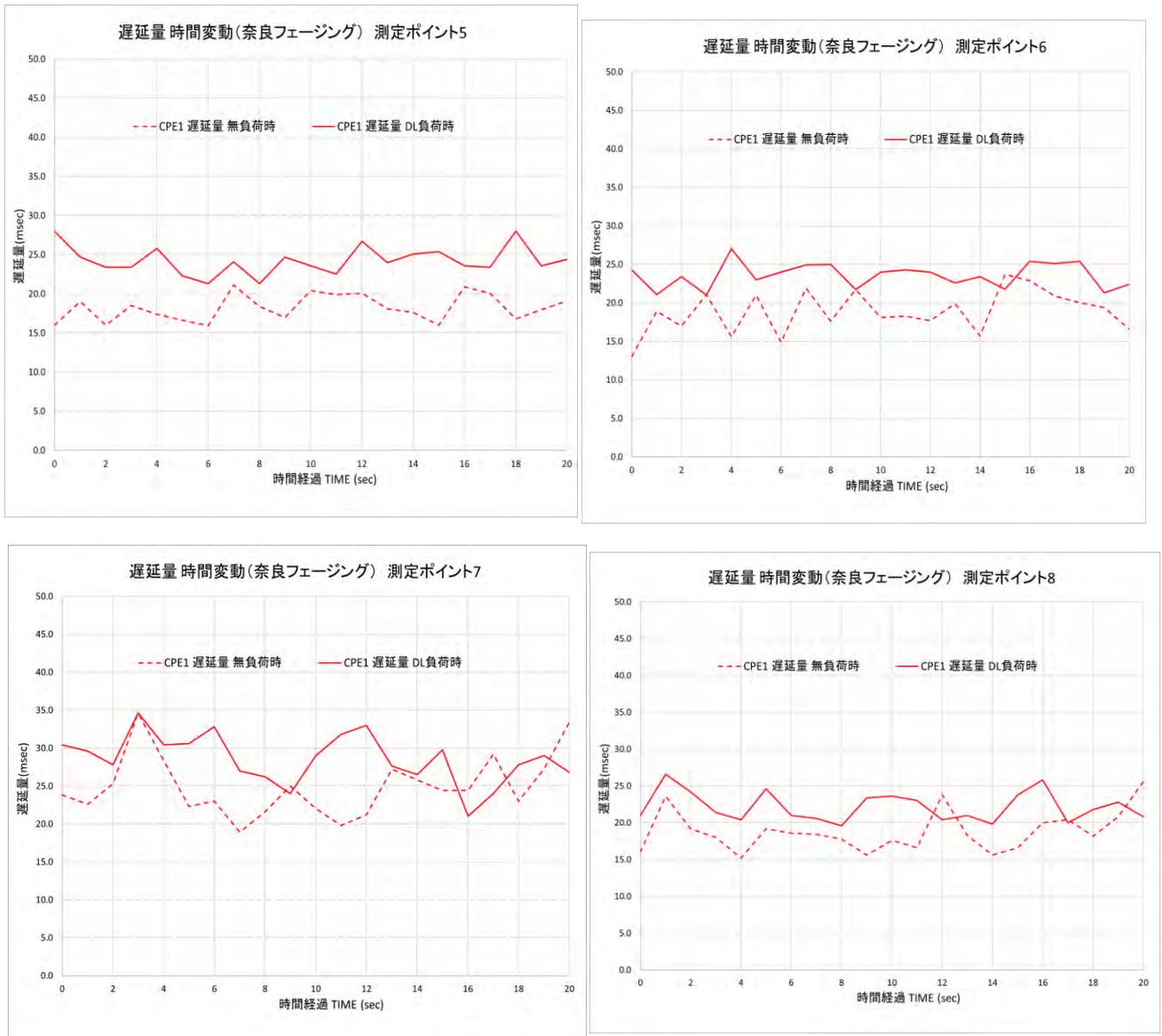


図 5.3.4-36 測定地点 22 (ポイント 5 から 8) における CPE 1 台での伝送遅延時間の時間変動

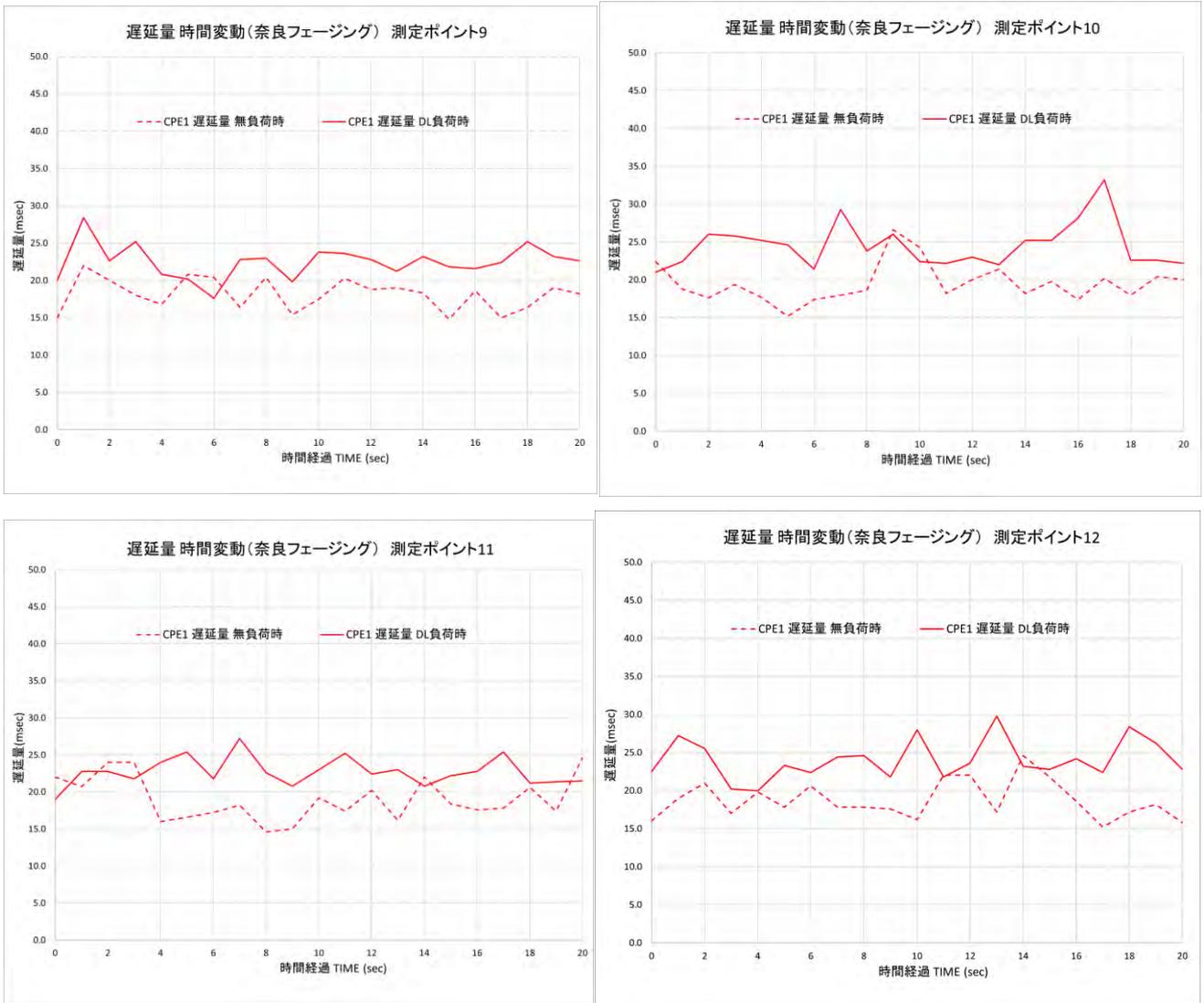


図 5.3.4-37 測定地点 22 (ポイント 7 から 12) における CPE 1 台での伝送遅延時間の時間変動

また、図 5.3.4-38～図 5.3.4-39 に、測定地点 12 及び測定地点 22 における 12 ポイントの各々の平均値、10 パーセント値及び 90 パーセント値を示した。12 ポイント全体の平均値も点線で示した。

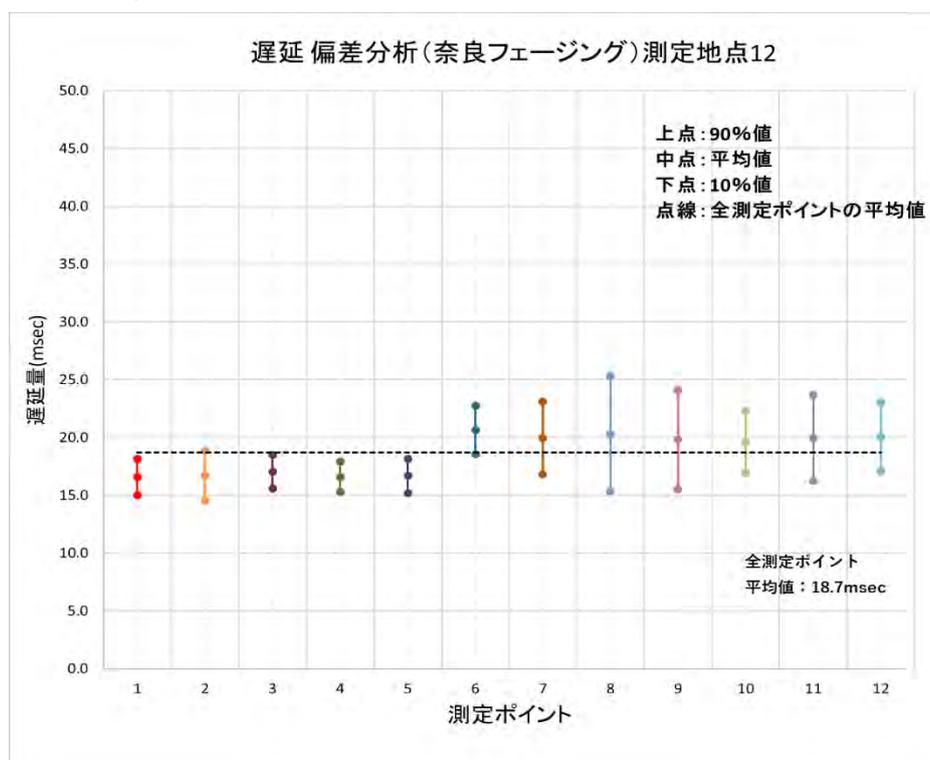


図 5.3.4-38 測定地点 12 における CPE 1 台での伝送遅延時間の分布

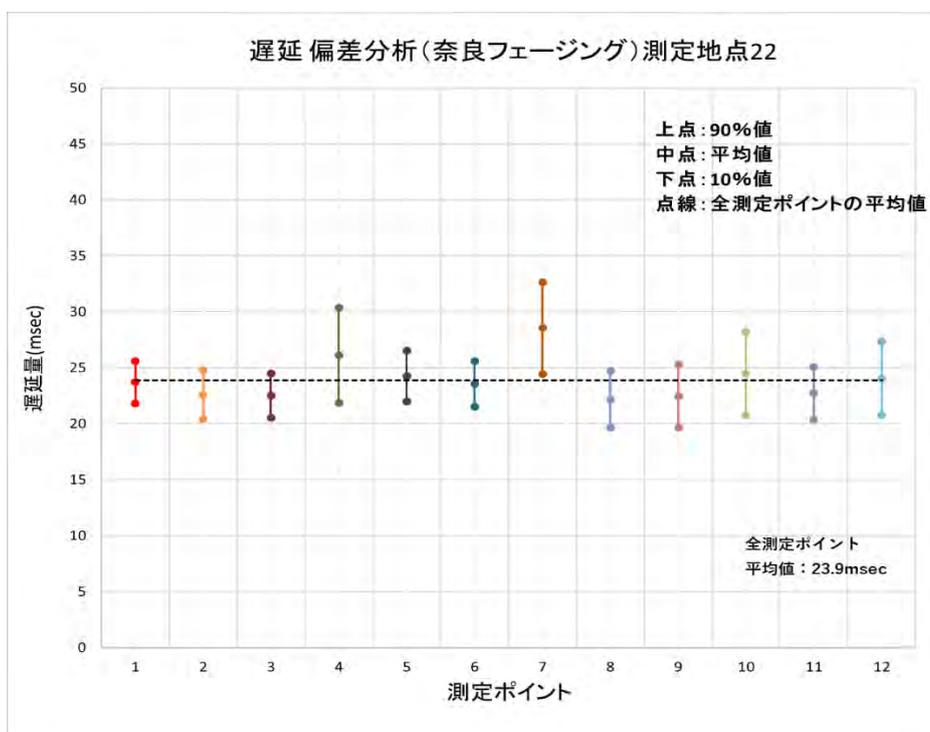


図 5.3.4-39 測定地点 22 における CPE 1 台での伝送遅延時間の分布

図 5.3.4-40 に最大 6 台の MR グラスの同時利用を想定して 3 台の CPE に下りリンクの 180Mbps の送信（各 CPE に対して下りリンクの 60Mbps の送信）を行った際の伝送遅延時間の時間変動の例として、測定地点 2、測定地点 7 及び測定地点 12 における測定値を示す。

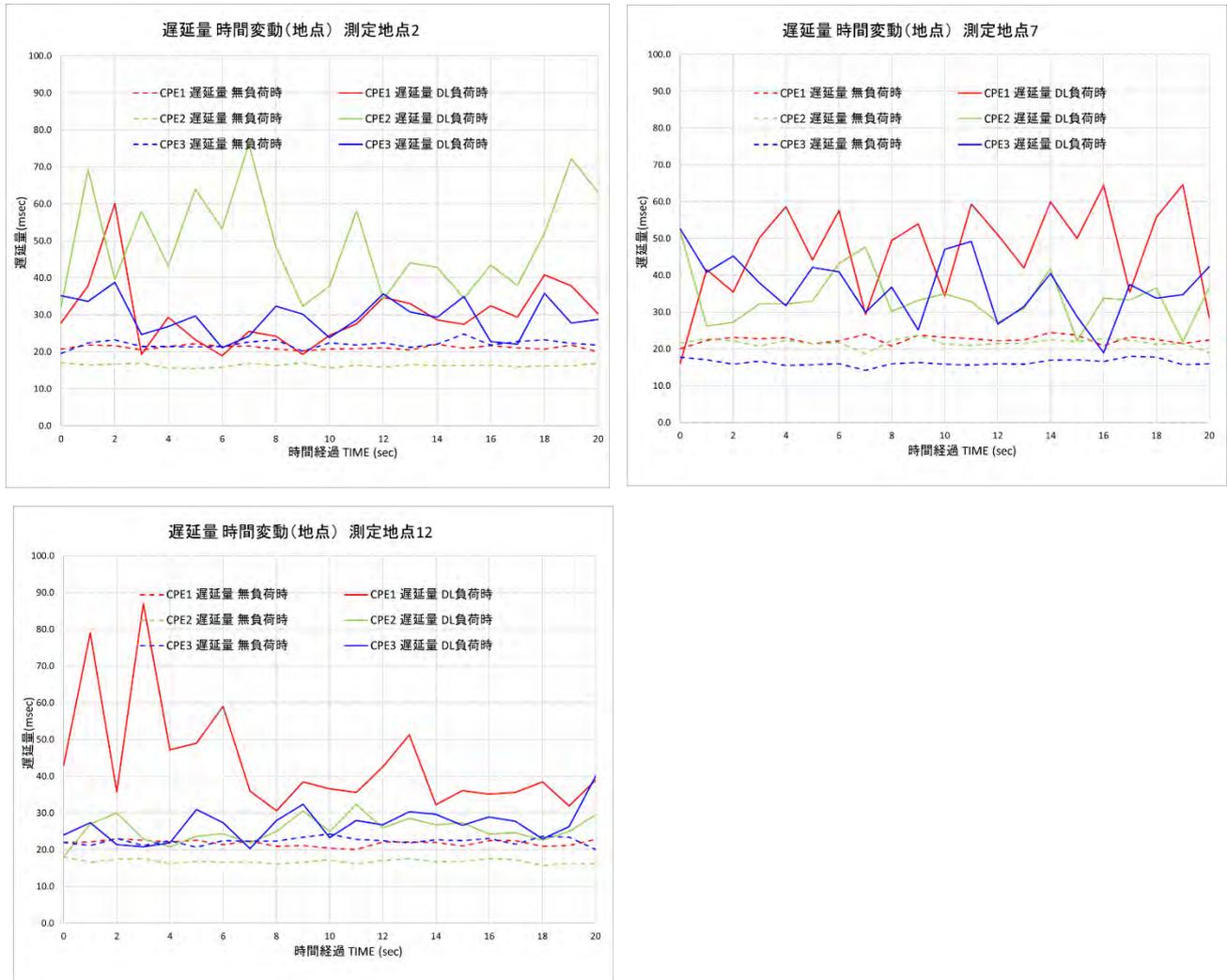


図 5.3.4-40 測定地点 2、7、12 における CPE 3 台での伝送遅延時間と時間変動

図 5.3.4-41、図 5.3.4-42 に同時利用数をパラメータとした伝送遅延時間の距離特性 (LOS と NLOS を区別しない場合、LOS と NLOS を区別した場合) を示す。

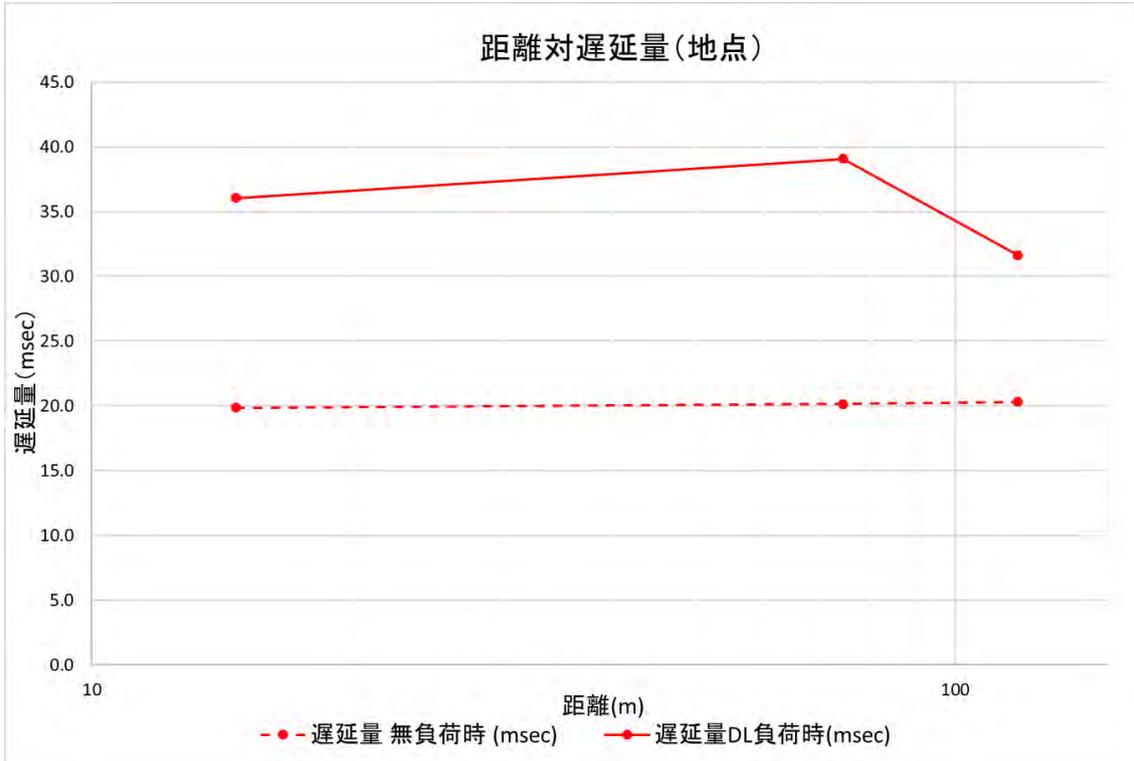


図 5.3.4-41 CPE 3 台での伝送遅延時間の距離特性 (LOS と NLOS を区別しない場合)

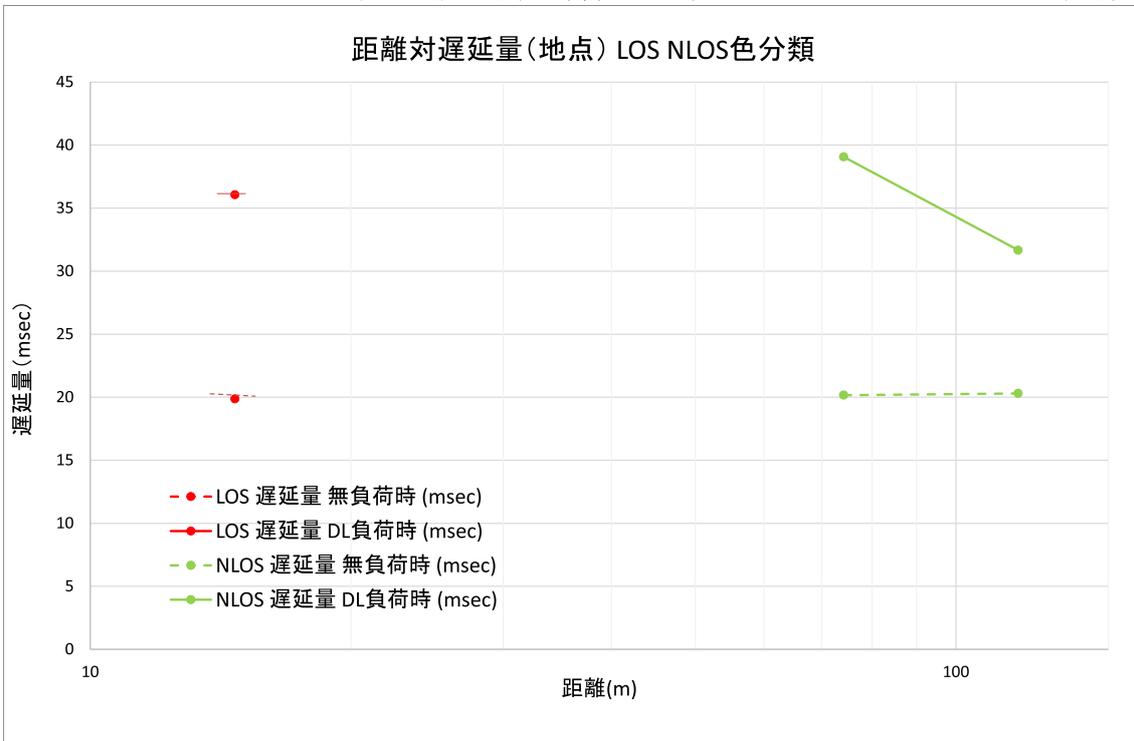


図 5.3.4-42 CPE 3 台での伝送遅延時間の距離特性 (LOS と NLOS を区別した場合)

5.3.5 技術的課題の解決方策

5.3.4 性能評価結果より、以下のように課題解決システムに求められる要求値を実現できた。

ローカル 5 G で高精細映像伝送を伴う MR のリアルタイム通信等を行うことを想定した下り最大 180Mbps (30Mbps×最大 6 台) の大容量に関しては、図 5.3.4-27 に示した通り、確認を行った全ての測定地点 (測定地点 2、測定地点 7 及び測定地点 12) で要求値を達成した。

100~200msec 以下の低遅延に関しても、図 5.3.4-40 に示した通り、同様に全ての測定地点で要求値を達成した。

ローカル 5 G 基地局の見通し内の地点及び遮蔽物に電波が遮られる地点のそれぞれの条件に分けた伝搬損失の計算結果より、以下のことが考えられる。

- 図 5.3.4-6 において、見通し内 (LOS) と見通し外 (NLOS) の受信電力を比較すると、その大小関係等、一定の傾向は認められない。これは、LOS と NLOS の測定地点が異なり、アンテナ利得による補正值が異なるためと考えられる。
- 図 5.3.4-8 において、LOS と NLOS を伝搬損失で比較すると、それらの近似直線の間でおよそ 5dB 程度の差が認められる。余り大きな差が認められない理由は、LOS と NLOS の判定において、柱や雨よけの屋根によって少しでも直接波の伝搬路が遮られる測定地点は NLOS としたためと考えられる。

伝搬損失の計算では、反射波等の影響を考慮していないため、アンテナ利得による補正を行っても、個々の測定地点の伝搬損失の値には、近似直線に対して、ばらつきがある。この傾向は、LOS と NLOS のいずれの測定地点でも認められるが、特に NLOS では、上記のように少しでも直接波の伝搬路が遮られる測定地点と、直接波の伝搬路が完全に遮られる測定地点があり、比較的ばらつきが大きい。

また、低速フェージングの影響を調べるために取得した、図 5.3.4-12~図 5.3.4-14 に示した 12 ポイントでの受信電力の分布より、以下の傾向が認められる。

- 各々のポイントでの受信電力は、時間的に変動することにより、その値の 90% 値と 10% 値の差で 2dB を超える幅で変動する。
- 各ポイントでの受信電力の中央値は、ポイント間でおおよそ 8dB 程度の幅でのばらつきがあり、このばらつきは、各々のポイントでの 2dB を超える程度のばらつきよりも大きい。

この結果より、測定ポイントの僅かな位置の違いにより受信電力が低くなる場所的変動は、個々の測定ポイントの時間的変動によりも大きく、少なくとも数 10 秒の間では受信電力が変動しない低速フェージングが存在すると考えられる。

さらに、基地局アンテナのチルト角の影響を調べるために取得した、図 5.3.4-16 に示した伝搬損失の距離特性より、以下の傾向が認められる。

- 基地局アンテナのチルト角を 10 度とした場合と 2 度とした場合で、同一の測定地点の伝搬損失の計算値が一致せず、チルト角を 10 度した場合、伝搬損失の計算値は、伝搬距離が 100m を超える測定地点で小さくなった。

この結果より、実際の伝搬環境では、地面による反射波等が存在すると考えられる。

以上の考察より、観光施設等において、ローカル 5 G で高精細映像伝送を伴う MR のリアルタイム通信等を行うことを想定し、所望エリアで所望通信品質が確保可能なローカル 5 G エリア構築を行う手法を確立するための技術的課題として、以下の点が挙げられる。

- LOS と NLOS を含む測定地点における伝搬損失のばらつきを定量化し、エリア構築を行う手法に反映させる。
- 低速フェージング変動の影響を定量化し、エリア構築を行う手法に反映させる。
- 基地局アンテナのチルト角の違いによる反射波等の伝搬損失への影響を、エリア構築を行う手法に反映させる。

これらの技術的課題の解決策としては、以下の実施が考えられる。

- 既存の電波伝搬モデルによる計算値と測定値の比較等により、遮蔽損失による短区間中央値変動及び低速フェージング変動の標準偏差を求める。
- 通信品質と受信電力の関係（受信電力対伝送スループット特性）を求める。
- 短区間中央値変動及び低速フェージング変動の標準偏差を用いてエリア構築の際に確保すべきマージンを求め、受信電力対伝送スループット特性を用い、さらにローカル 5 G 基地局のアンテナチルトの調整も加味したエリア構築の手法を提示する。

<更なる技術的課題>

一般的な観光施設では、以下のような遮蔽損失の影響を考慮して、エリア構築を行うことが必要になる場合があると考えられる。

- 観光施設内に植えられている樹木による遮蔽損失の影響
- 木造以外の構造物による遮蔽損失の影響
- 特定のエリアに集まっている多数の観光客による遮蔽損失の影響
- パレード等のために観光施設内を動き回る大型の車両による遮蔽損失の影響

これらのうち、樹木や構造物は、観光施設内の動かない遮蔽物であり、今回の実証と同様に電波伝搬特性を測定し、評価することができると考えられる。一方、多数の観光客や大型の車両については、今回の実証と同様に選定した測定地点での電波伝搬特性を短時間で測定しただけでは、その影響を反映した電波伝搬モデルの導出に十分なデータが得られない。

選定した測定地点で長時間の測定を行い、測定データを統計的に分析することが、更なる技術的課題になると考えられる。

遅延時間は、100～200msec という要求値を達成したが、図 5.3.4-30 に示したように最小値は無負荷時で 15msec となり、図 5.3.4-40 に示したように、最大値は下りリンクの 180Mbps の送信を行う負荷をかけた状態で 80msec を超えることがあった。今後、より低遅延が求められる場合には、これらの遅延時間の内訳を明らかにし、無負荷の状態での遅延時間の短縮や負荷をかけた状態での遅延時間の増加の抑制を図り、より厳しい要求値を達成することが、更なる技術的課題となる。

今回の実証では、図 3.1-1 に示したネットワーク構成において、CPE に接続した測定用 PC から RU、CU/DU 及び L2SW を経由して接続されたアプリサーバまでの往復の遅延時間を測定した。その内訳を評価するには、L2SW に測定用 PC を接続してアプリサーバまでの往復の遅延時間を測定することで、アプリサーバと測定用 PC の処理遅延を測定することが考えられる。また、特に負荷をかけた際には、RU 及び CU/DU の間で MAC スケジューラの影響が大きいため、測定地点ごとの伝搬損失や負荷と遅延時間の関係を分析することも、遅延時間の内訳を評価する方策として考えられる。

5.4 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等

5.4.1 実施概要

観光施設における最適なローカル5Gエリア構築等について検証し、技術的課題を整理して、解決方策等の考察を行った。

特に、建造物構造・遮蔽物の存在を前提とした観光施設内の通信特性、高精細映像伝送を伴うMR等のリアルタイム通信等に係る検証を行い、観光施設における最適なローカル5Gのエリア構築やシステム構成について考察を行った。

短区間中央値変動及び低速フェージング変動の標準偏差を用いてエリア構築の際に確保すべきマージンを求め、受信電力対伝送スループット特性を用い、さらにローカル5G基地局のアンテナチルトの調整も加味したエリア構築の手法を整理した。

5.4.2 評価・検証項目

観光施設におけるローカル5Gのエリア構築やシステム構成について検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行った。

特に、調査検討事項アでとりまとめたローカル5Gの受信電力等の各種データを用いて、建造物構造・遮蔽物の存在を前提とした観光施設内の通信特性、高精細映像伝送を伴うMR等のリアルタイム通信等に係る検証を行い、観光施設における最適なローカル5Gのエリア構築やシステム構成について考察を行った。

5.4.3 評価・検証方法

観光施設におけるローカル5Gのエリア構築に関する技術的課題の解決方策等を考察し、実証地域と類似する他の多くの地域の観光施設で活用できるエリア構築の手法を検証した。

屋外で建造物や展示品等の遮蔽物が点在している観光施設においては、ローカル5G基地局の見通し内になるエリアが多い一方で、遮蔽物の近くでは、その遮蔽損失の影響を受ける。本実証では、復原遣唐使船による遮蔽の影響や低速フェージングの影響について検証した。また、特に高精細映像伝送を伴うMR等のリアルタイム通信を行う場合に、CPEを利用者が携帯してほとんど動かないことで生じる低速フェージング変動のために、受信電力が落ち込んだ状態となり、伝送スループットが不安定となる可能性もある。これらの点を考慮し、調査検討事項アでとりまとめた各種データを用いて、遮蔽損失による短区間中央値変動及び低速フェージング変動の各々に対して、エリア構築の際に確保すべきマージンを求めた。そして、これらのマージンを考慮し、さらにローカル5G基地局のアンテナチルトの調整も加味したエリア構築の手法を示した。

効果的・効率的に検証を行うために、技術実証全体調整事業者と調整のうえ、作業日程や要員等の制約を考慮して実施内容やスケジュール等を決めた。

(1) 遮蔽物や反射物

伝搬測定を行った観光施設のエリアは、図に示すように、建造物や展示品等の遮蔽物が点在している環境となっている。

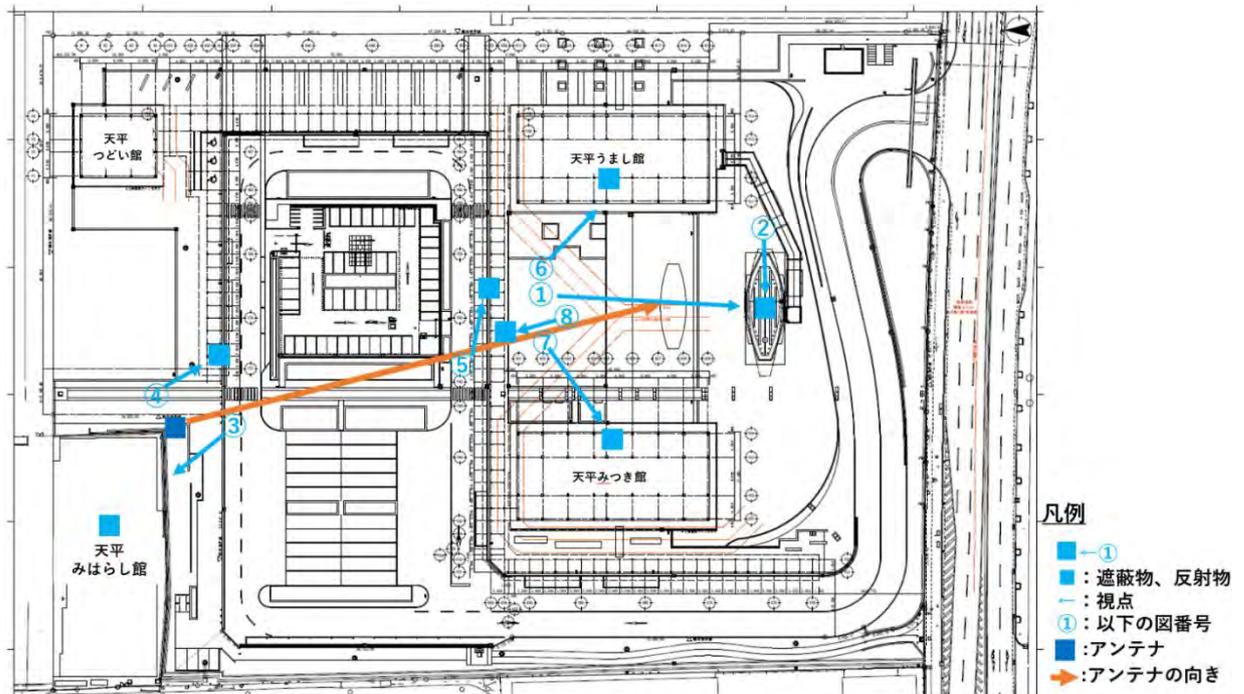
- ローカル5G基地局の南側には、木製の復原遣唐使船がある。(図 5.4.3-1 上の①、②)
- ローカル5G基地局の近くには、高さ 10m 程度の建造物 (みはらし館) がある。(③)
- 東西方向と南北方向に木造製の回廊があり、回廊の屋根の素材は鋼板である。(④⑤)。
- 復原遣唐使船の東側には、高さ 10m 程度の建造物 (天平うまし館) がある。(⑥)
- 復原遣唐使船の西側には、高さ 10m 程度の建造物 (天平みつき館) がある。(⑦)
- 敷地内には、所々に樹木が生えている。(⑧)
- 観光施設のエリアの周辺には、道路があり、近くに反射物となるような大きな建造物は存在しない。なお、5.4 におけるエリア構築手法の検討では、人体損失は考慮しない。

1) 実証環境において想定される遮蔽物、反射物の概要

表 5.4.3-1 想定される遮蔽物、反射物

名称	素材	補足
復原遣唐使船	木材	
家屋 屋根	鋼板	天平みはらし館、天平うまし館、天平みつき館、回廊など
家屋 壁 柱	ガラス、木材	天平みはらし館、天平うまし館、天平みつき館、回廊など
樹木	木	落葉樹

主な遮蔽物、反射物の位置を図 5.4.3-1 に示す。



※奈良県様提供資料より作成

図 5.4.3-1 遮蔽物、反射物の位置

主な遮蔽物、反射物を図 5.4.3-1～図 5.4.3-1 に示す。
復原遣唐使船や建造物、柱は木材で建造されている。
屋根は鋼板（55%アルミニウム、亜鉛：43.4%、シリコン：1.6%）の合金メッキを施した鋼板である。

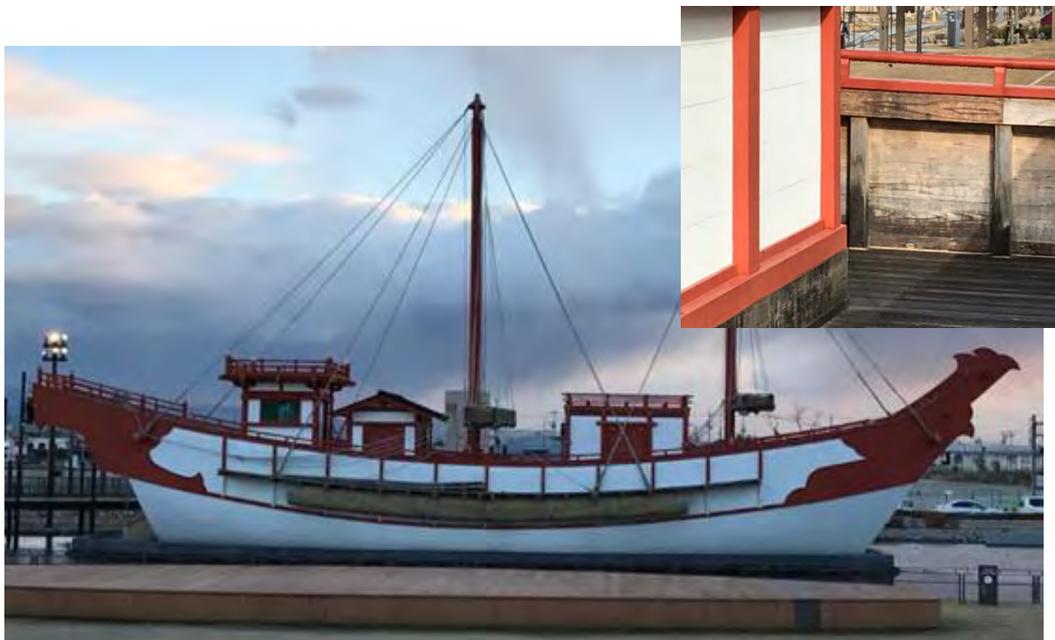


図 5.4.3-2 遮蔽物や反射物①（復原遣唐使船）



図 5.4.3-3 遮蔽物や反射物②（復原遣唐使船の内部）



図 5.4.3-4 遮蔽物や反射物③ (天平みはらし館)



図 5.4.3-5 遮蔽物や反射物④ (回廊)



図 5.4.3-6 遮蔽物や反射物⑤ (回廊内部)



図 5.4.3-7 遮蔽物や反射物⑥ (天平うまし館)



図 5.4.3-8 遮蔽物や反射物⑦ (天平みつき館)



図 5.4.3-9 遮蔽物や反射物⑧ (見通し上にある樹木)

5.4.4 性能評価結果

図 5.4.4-1 に、伝搬損失の距離特性に自由空間損失モデル及び直線近似モデルを加え、さらにローカル 5 G の無線局免許審査基準に採用されている電波伝搬モデル（以下「審査基準モデル」という）を加えて示した。表 5.4.4-1 に各モデルに対する伝搬損失の二乗平均平方根誤差（RMSE：Root Mean Squared Error）の値を示す。なお、審査基準モデルにおいて、市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正値 S は、開放地の 32.5 とした。

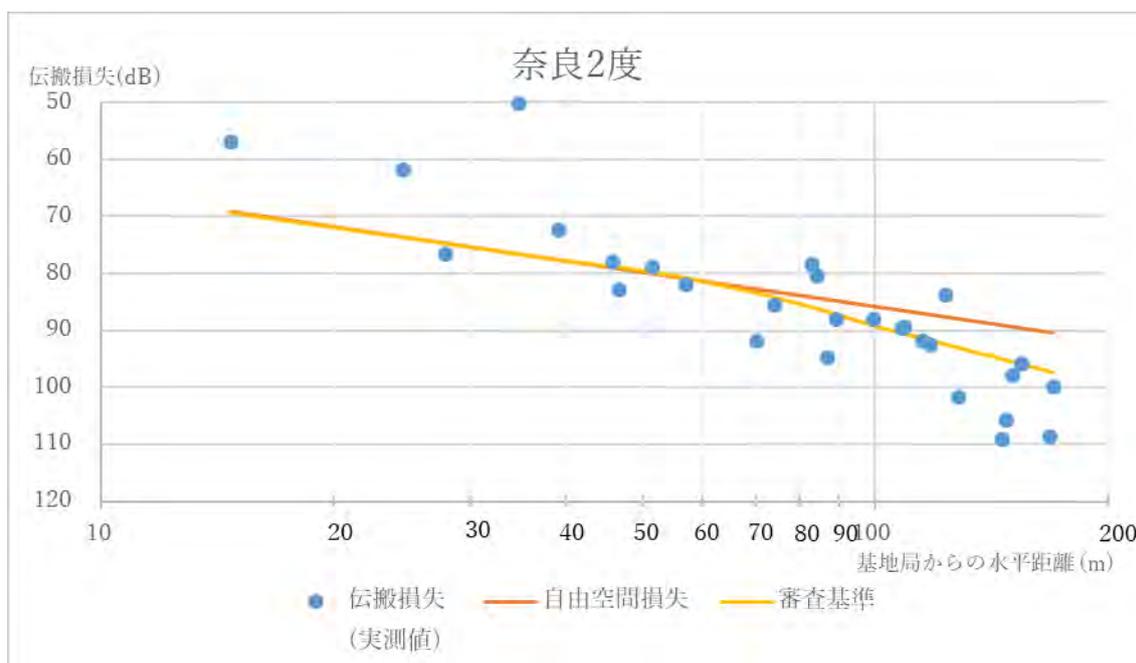


図 5.4.4-1 各電波伝搬モデルと伝搬損失（測定値）の比較

表 5.4.4-1 各電波伝搬モデルに対する伝搬損失の RMSE

	自由空間損失モデル	審査基準モデル	近似直線モデル (参考値)
RMSE [dB]	9.9	8.2	6.7

表 5.4.4-1 において、RMSE は、自由空間損失モデルより審査基準モデルの方が小さい。そのためエリア構築に審査基準モデルを用いることとすると、短区間中央値変動の標準偏差は、審査基準モデルに対する伝搬損失の RMSE と同様に計算されるため、8.2dB となる。

図 5.3.4-12～図 5.3.4-14 に 12 ポイントの各々における受信電力の中央値、10 パーセント値及び 90 パーセント値を示したが、その各ポイントにおける時間変動の標準偏差（12 ポイントの平均値）、各測定地点の場所変動（12 ポイントの間の変動）の標準偏差及び時間変動と場所変動を合わせた総合的なフェージング変動の標準偏差（合成値）を、表 5.4.4-2 フェージング変動に関する標準偏差に示す。

総合的なフェージング変動の標準偏差（合成値）は、時間変動と場所変動が独立な対数正規分布に従うと考えて、それらの合成分布の標準偏差（両者の分散の合計値の平方根）として求め、2.3dB となった。

表 5.4.4-2 フェージング変動に関する標準偏差

測定地点	受信電力 (中央値) [dBm]	時間変動の標準偏差 [dB]	場所変動の標準偏差 [dB]	標準偏差 (合成値) [dB]
12	-79.8	0.38	2.3	/
18	-85.7	0.63	2.6	
22	-95.5	0.67	1.7	
平均値	-	0.56	2.2	2.3

図 5.3.4-15 に示した基地局アンテナのチルト角を 10 度として測定した受信電力から計算した伝搬損失の距離特性より、基地局アンテナのチルト角を 10 度としたデータから計算された伝搬損失と、基地局アンテナのチルト角を 2 度としたデータから計算された伝搬損失の差を求めた。図 5.4.4-2 にその結果を、その近似直線と合わせて示す。この図より、基地局アンテナのチルト角を 10 度としたとき、基地局アンテナから測定地点までの俯角とチルト角から求められるアンテナ利得に応じて伝搬損失を計算すると、伝搬損失を過小評価する可能性があると考えられる。

また、基地局アンテナのチルト角を大きくした場合、100m 程度離れた場所の受信電力は比較的大きく抑えられるが、垂直面のアンテナ利得による計算通りに抑えることはできず、伝搬距離が 100~200m の場所で受信電力が計算値より 5~10dB 程度大きくなる可能性がある。

この影響をカバーエリア内の受信電力の計算(予測)に反映させる方法としては、基地局アンテナから端末の受信地点への俯角に比べてチルト角が大きい場合に、その大きさに応じて 5~10dB を垂直面のアンテナ利得に加えて、受信電力の計算を行うことが考えられる。

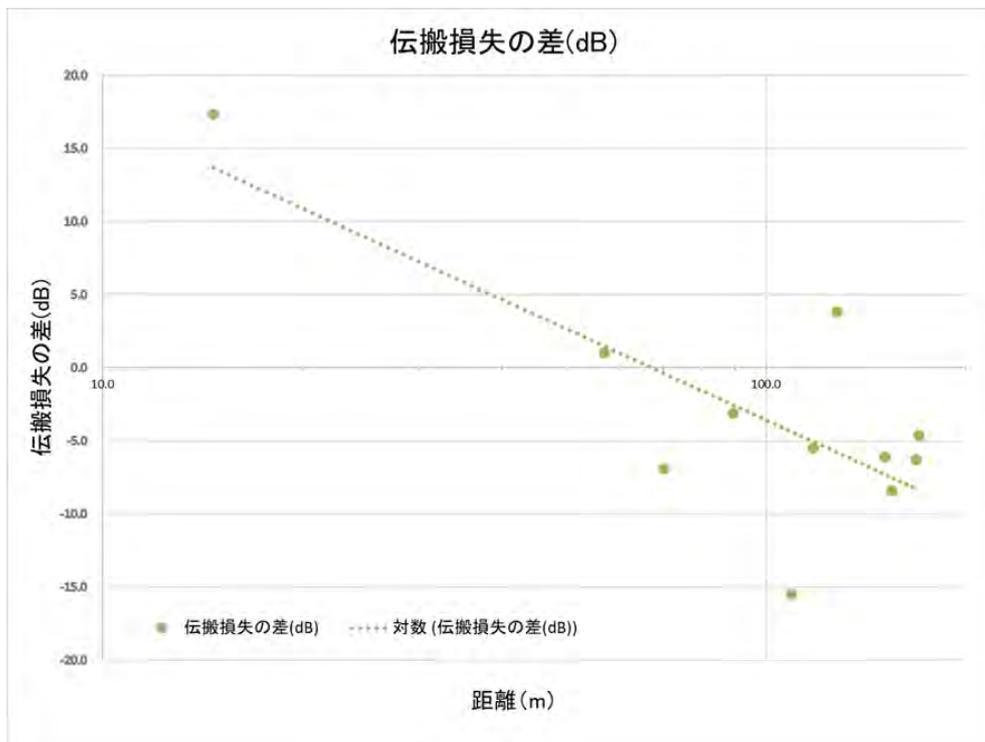


図 5.4.4-2 伝搬損失の差

図 5.4.4-3 に 1 台の CPE に下りリンクの 30Mbps の送信を行った際の受信電力対伝送スループット特性を、LOS と NLOS で色分けして示す。また、図 5.4.4-4 に最大 6 台の MR グラスの同時利用を想定して 3 台の CPE に下りリンクの 180Mbps の送信（各 CPE に対して下りリンクの 60Mbps の送信）を行った際の受信電力対伝送スループット特性を、同様に LOS と NLOS で色分けして示す。

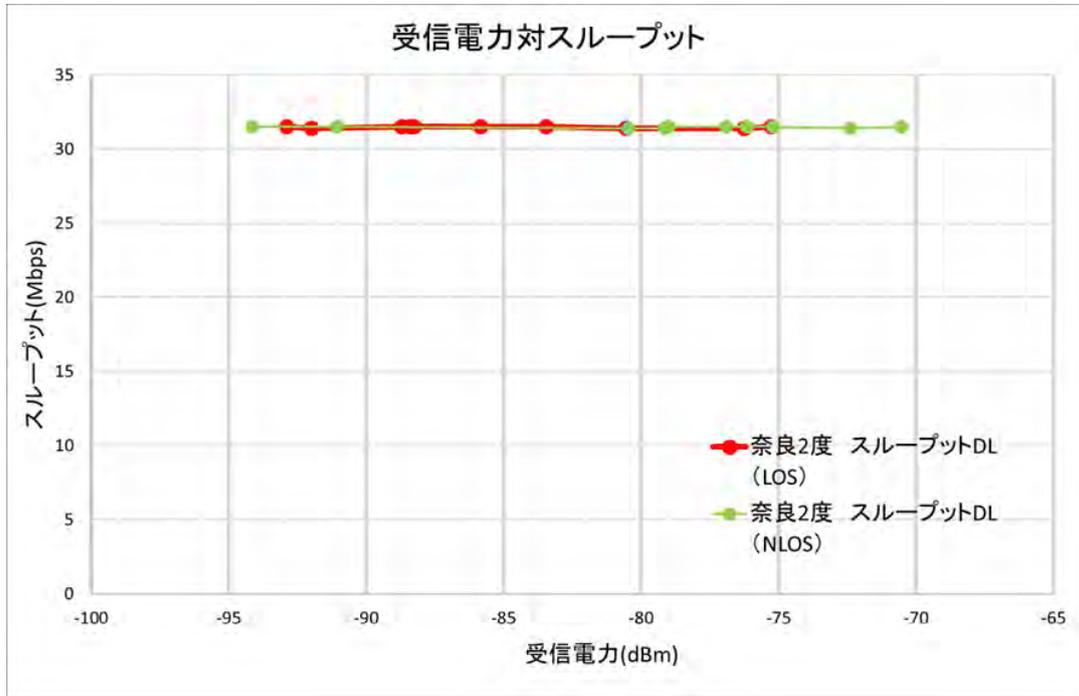


図 5.4.4-3 受信電力対伝送スループット特性 (LOS と NLOS)

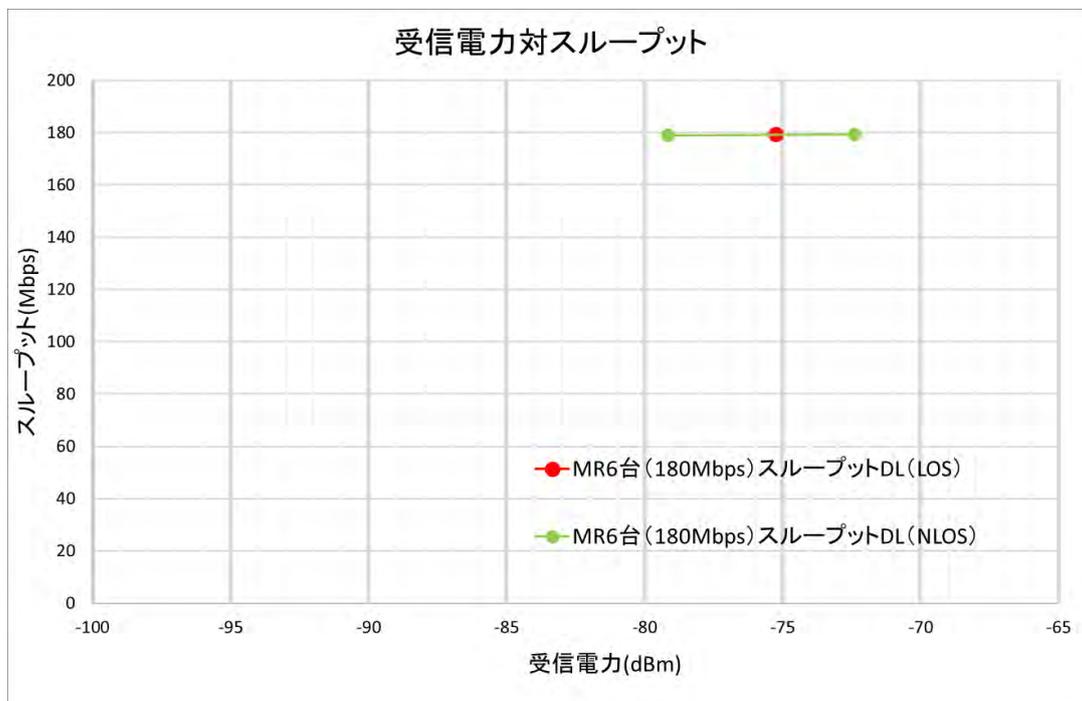


図 5.4.4-4 受信電力対スループット (MR6 台想定) 特性 (LOS と NLOS)

さらに、図 5.4.4-5 に 1 台の CPE に下りリンクの 30Mbps の送信を行った際の受信電力対伝送遅延時間特性を、LOS と NLOS で色分けして示す。また下りリンクの送信を行わない状態での伝送遅延時間（無負荷時）を比較のため示す。

また、図 5.4.4-6 に最大 6 台の MR グラスの同時利用を想定して 3 台の CPE に下りリンクの 180Mbps の送信（各 CPE に対して下りリンクの 60Mbps の送信）を行った際の受信電力対伝送遅延時間特性を、同様に LOS と NLOS で色分けして示す。

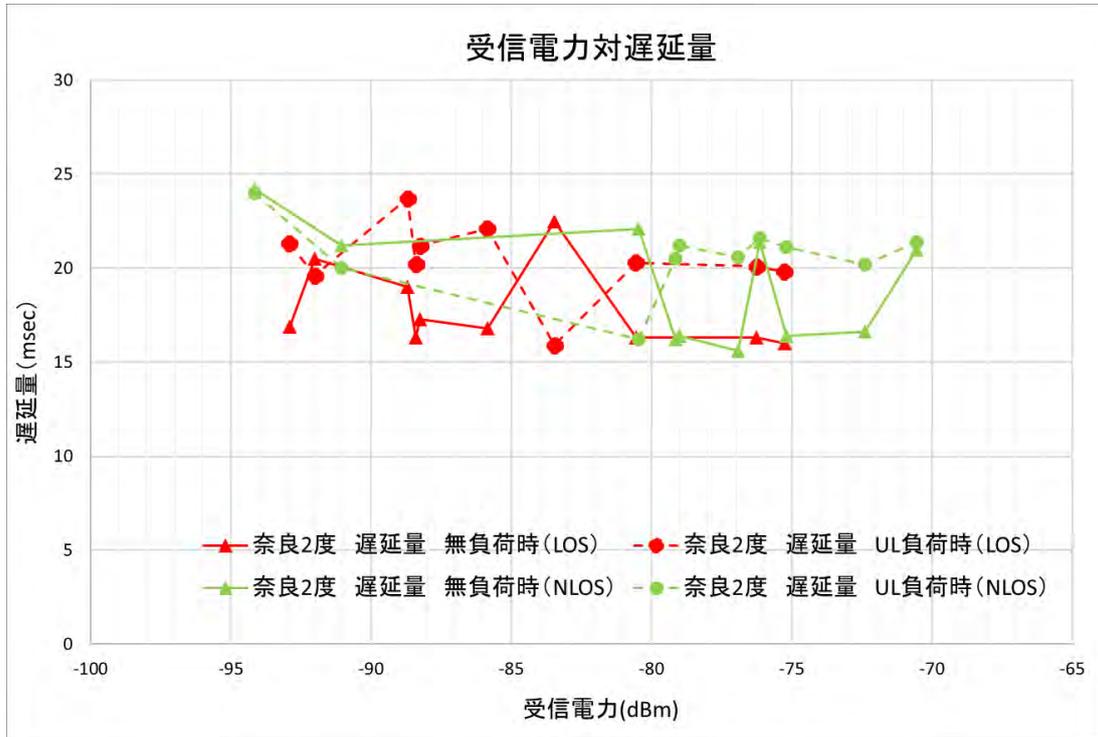


図 5.4.4-5 受信電力対伝送遅延時間特性 (LOS と NLOS)

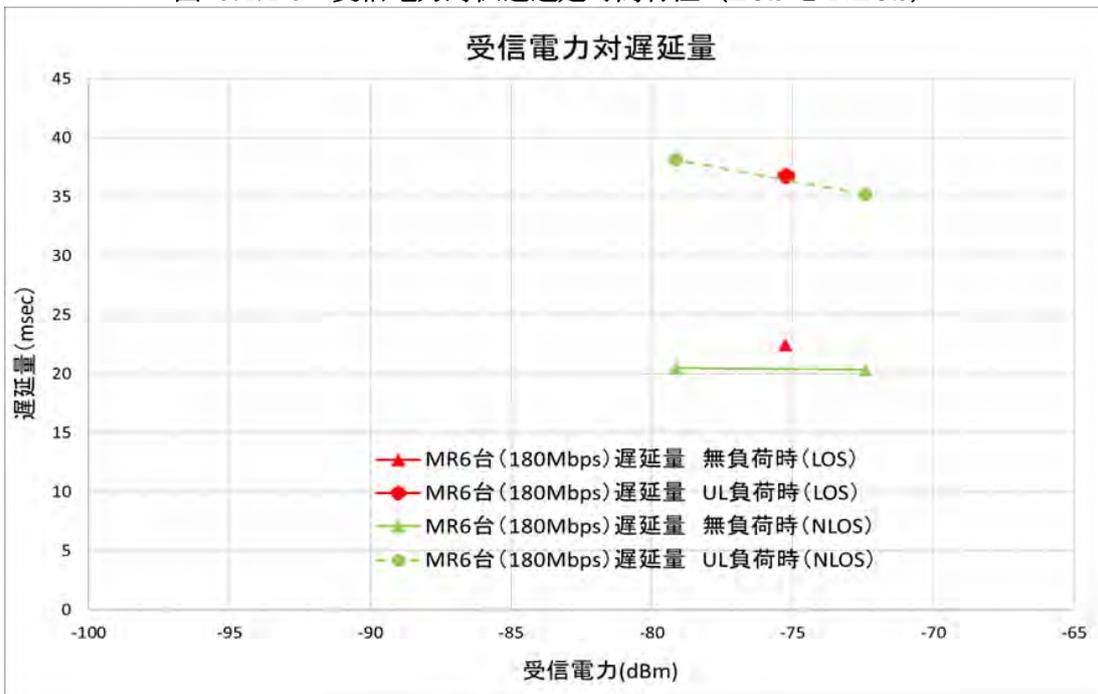


図 5.4.4-6 受信電力対遅延時間特性 (LOS と NLOS)

5.4.5 技術的課題の解決方策

以上より、電波伝搬モデルとしては、審査基準モデルを採用することとし、短区間中央値変動の標準偏差は 8.2dB、低速フェージング変動を含む総合的なフェージング変動の標準偏差は 2.3dB として、以下の通り、エリア構築の手法を整理した。

(1) 要件整理を行う

- 所望するカバーエリア
- 所望の伝送スループット
- 所望エリア内におけるカバー率の基準値 $P_{outage,req}$
- 基地局アンテナの設置場所
- 利用可能な基地局アンテナ

(2) エリア品質の基準値を求める

- 受信電力対伝送スループット特性より所望の受信電力 P_{req} を求める。
- 短区間中央値変動と低速フェージング変動を合成した変動の標準偏差 σ_{all} と、所望エリア内におけるカバー率の基準値 $P_{outage,req}$ より、両者を合成した変動に対する受信電力マージン M を求める。
- 所望の受信電力 P_{req} に受信電力マージン M を加えた値 $P_{req}+M[dBm]$ をエリア品質基準値とする。

ここで、短区間中央値変動と低速フェージング変動を合成した変動の標準偏差 σ_{all} は、これらが独立な対数正規分布に従って変動すると考えることにより、両者の分散の合計値の平方根として計算でき、8.5dB となる。

(3) 所望するカバーエリア内のエリア品質を評価する

- 基地局アンテナの設置場所、高さ、メインビーム方向（水平面）、チルト角（垂直面）の初期値を定める。
- 所望するカバーエリアを一定面積のセグメントに区切り、セグメント毎 (i をセグメント番号とする) に、電波伝搬モデル（審査基準モデル）を用いて伝搬損失を計算し、さらに基地局アンテナ補正值等を考慮して受信電力の中央値 $P_{mid,i}[dBm]$ を計算する。
- セグメント毎に、受信電力の中央値 $P_{mid,i}$ がエリア品質基準値 $P_{req}+M$ を超える場合には、エリア品質を満足すると判定する。

(4) エリアを最適化する。

- 基地局アンテナの高さ、メインビーム方向、チルト角を変更してエリアの計算を繰り返す。
- 所望エリアの全てのセグメントにおいて、 $P_{mid,i} > P_{req} + M$ を満たす基地局アンテナの高さ、メインビーム方向、チルト角を求める。

ここで、チルト角を大きな値とする場合に反射波の影響による送信電力の増加を見込むため、基地局アンテナから端末の受信地点への俯角に比べてチルト角が大きい場合に、その大きさに応じて 5~10dB を垂直面のアンテナ利得に加えて、受信電力の計算を行う。

以上のように、短区間中央値変動と低速フェージング変動を合成した変動を考慮してエリア品質を評価することで、リアルタイム通信の安定性を確保できるエリア構築となる。

<更なる技術的課題>

5.3.5 において説明したように、一般的な観光施設では、以下のような遮蔽損失の影響を考慮して、エリア構築を行うことが必要になる場合があると考えられる。

- 観光施設内に植えられている樹木による遮蔽損失の影響
- 木造以外の構造物による遮蔽損失の影響
- 特定のエリアに集まっている多数の観光客による遮蔽損失の影響
- パレード等のために観光施設内を動き回る大型の車両による遮蔽損失の影響

これらの影響を評価するための電波伝搬測定に関する課題については、5.3.5 に説明した通りである。さらに、電波伝搬モデルの導出及びエリア構築の手法について考察すると、樹木や構造物に関する遮蔽損失の影響を反映した電波伝搬モデルの導出やその影響を反映したエリア構築の手法については、今回の実証と同様な手順で実施することが可能と考えられる。一方、多数の観光客や大型の車両については、選定した測定地点で長時間の測定を行い、測定データを統計的に分析した上で、電波伝搬モデルやエリア構築の手法への反映方法を見出すことが、更なる技術的課題になると考えられる。

5.5 その他ローカル5Gに関する技術実証

5.5.1 実施概要

観光分野においては、今後ローカル5Gの端末を利用者が身に付けて使うことが一般的に行われるようになると考えられる。そこで、4.7GHz帯を用いたローカル5Gの端末を利用者が携帯して利用することを想定し、電波伝搬における人体損失の影響を定量化した。今回の実証では、新たな歴史文化体験においてMRグラスに高精細映像を表示するが、そのデータを受信するCPEをストラップ等に付けて利用者が身に付けることが想定される。このため、受信電力測定用のアンテナを約1mの高さで測定者の体に付けた状態で測定を行った。

5.5.2 評価・検証項目

観光施設において、4.7GHz帯を用いたローカル5Gの電波伝搬への人体損失の影響を定量的に明らかにすることで、ローカル5Gの端末を利用者が携帯して利用できるエリアを予測可能とした。

5.5.3 評価・検証方法

ローカル5G基地局を設置した観光施設において、調査検討事項アで選定した測定地点の中から、ローカル5G基地局の見通し内の地点や遮蔽物に電波が遮られる地点を含めて、4カ所の測定地点を選定した。各測定地点では、調査検討事項アと同様の測定機材を使用して、測定者が受信アンテナを持った状態で受信電力(RSRP)の測定を行った。その際、測定者が基地局アンテナ設置地点の方向を向いている状態やその反対方向を向いている状態など、複数の方向を向いた状態で測定を行った。また、受信アンテナを測定者が持たず間近に人がいない状態での測定も行った(※1)。

そして、間近に人がいない状態と、測定者が受信アンテナを持った状態での受信電力を比較することで、測定者が向いている方向による人体損失の変化も分析した上で、人体損失を算出した。さらに、算出した人体損失の値を用いて、CPEを利用者が携帯して利用できるエリアを予測する手法を示した。

アウトプットイメージは、人体損失の測定結果を、総務省の「エリア算出法」の人体損失分の項と比較して考察を行った。

※1：測定地点として、復原遣唐使船の裏と前、復原遣唐使船と基地局の真ん中辺りと、基地局の近地の4地点を選定した。理由は条件の違いによる人体損失を検証するためである。測定地点はサーベイ後に確定した。

複数の方向とは、基地局アンテナに向かっている方向を基準として、多方向の検証のために45度毎の8方向で測定した。

間近に人がいない状態とは、測定者が受信アンテナから3m以上離れた状態とした。

図 5.5.3-1～図 5.5.3-13 にて、人体損失の測定方法、測定地点、人体損失測定用の用紙及び測定時の様子を示す。試験用台紙は受信電力測定(6ポイント試験)と同じものを使用した。

項目	型式	備考
エリアテスター	ML8780A + MU878070A	アンテナZ1911B
チルト角	アンテナ VH65A-35445RTD AISGチルト角制御装置(PATC-DK4)	チルト角2度

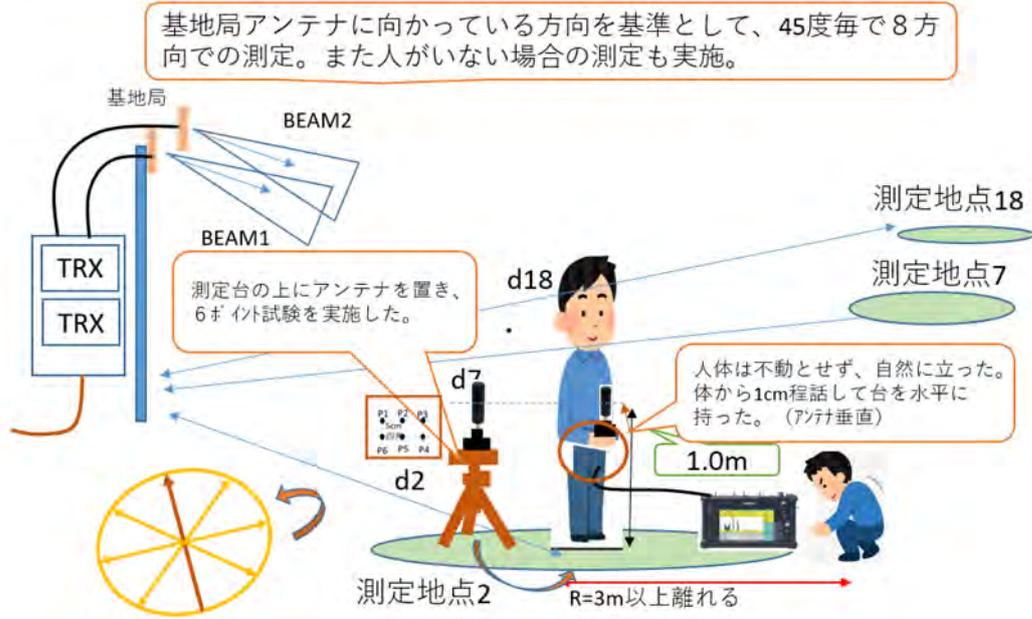
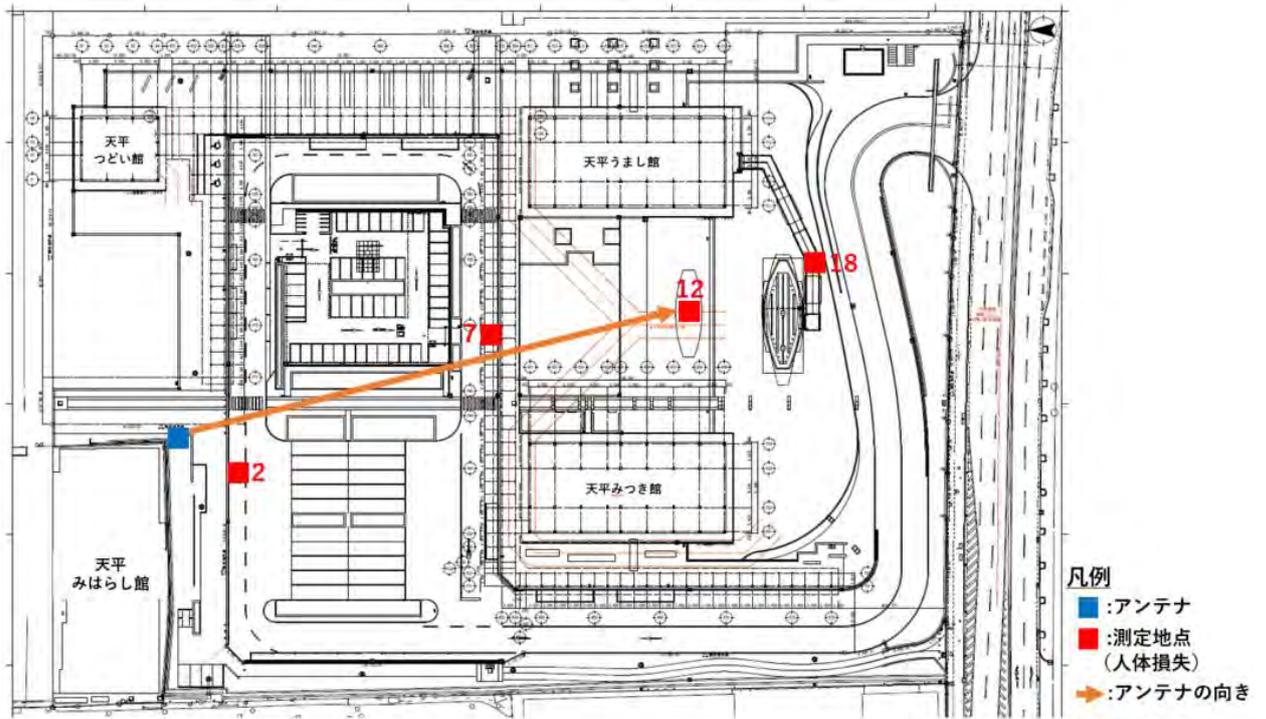


図 5.5.3-1 受信電力の測定方法 (人体損失)

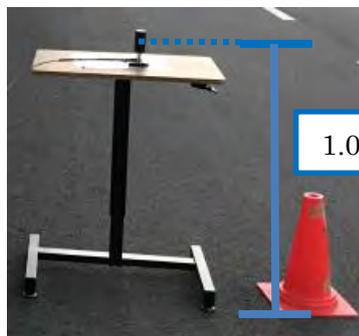


※奈良県様提供資料より作成

図 5.5.3-2 受信電力 (人体損失) の測定地点 4 地点

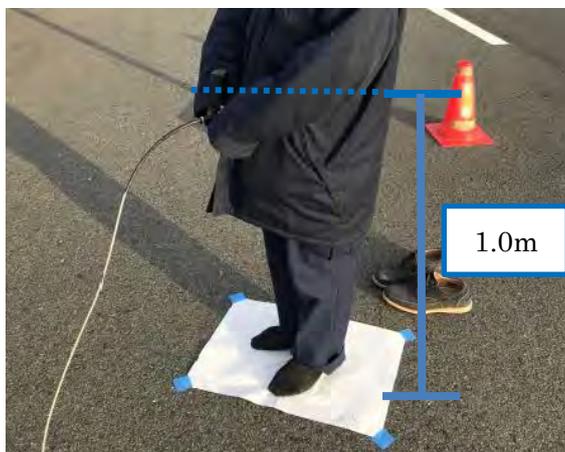


図 5.5.3-3 人体損失測定方向の用紙



高さ 1.0m の位置に、アンテナ (Z-1911B) を設置し測定する。
 そのため、昇降式デスクの上にアンテナを設置した。
 高さは、巻き尺を使用して調整した。

図 5.5.3-4 人体損失 (人が持たない場合) の測定 (アンテナの設置方法)



高さ 1.0m の位置に、アンテナ (Z-1911B) を水平に持った。
 高さは、巻き尺を使用して調整した。

図 5.5.3-5 人体損失 (人が持っている場合) の測定 (アンテナの設置方法)



図 5.5.3-6 測定ポイント 2 での人体損失測定（人が持たない場合）



図 5.5.3-7 測定ポイント 2 での人体損失測定（0 度）



図 5.5.3-8 測定ポイント 2 での人体損失測定 (45 度)



図 5.5.3-9 測定ポイント 2 での人体損失測定 (90 度)



図 5.5.3-10 測定ポイント 2 での人体損失測定 (135 度)



図 5.5.3-11 測定ポイント 2 での人体損失測定 (180 度)



図 5.5.3-12 測定ポイント 2 での人体損失測定 (270 度)



図 5.5.3-13 測定ポイント 2 での人体損失測定 (315 度)

5.5.4 性能評価結果

図 5.5.4-1～図 5.5.4-4 に測定地点 2、測定地点 7、測定地点 12 及び測定地点 18 の各々における人体損失の測定結果を示す。人体の影響がない状態で測定した受信電力の値も合わせて示した。

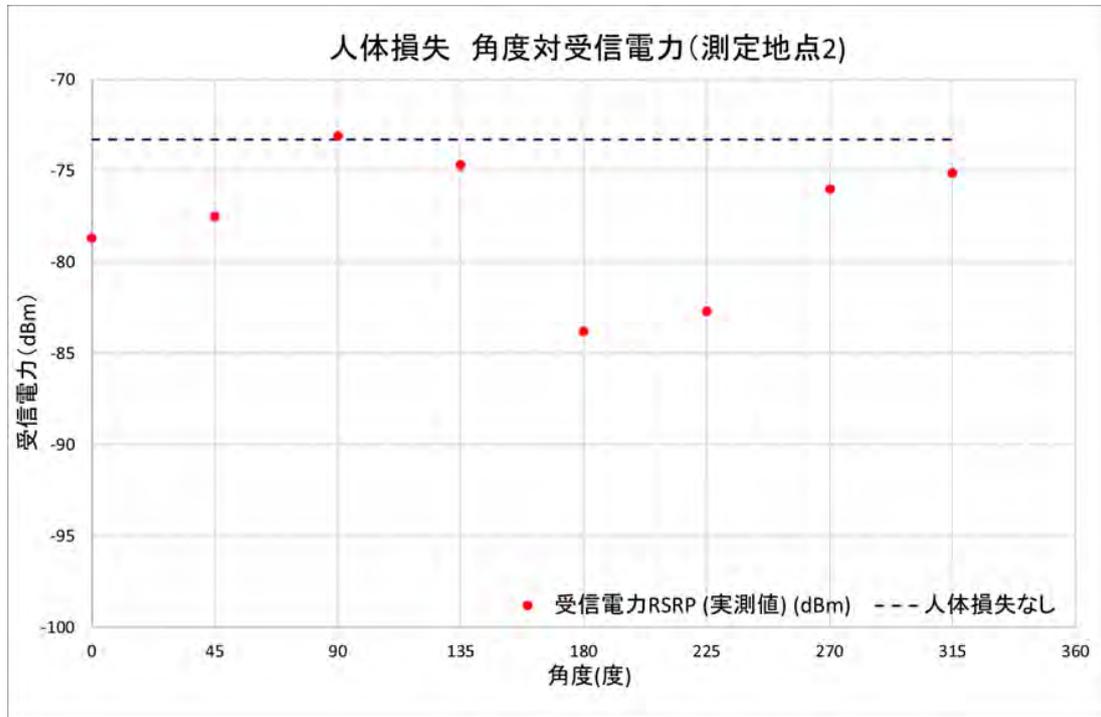


図 5.5.4-1 人体損失 (測定地点 2)

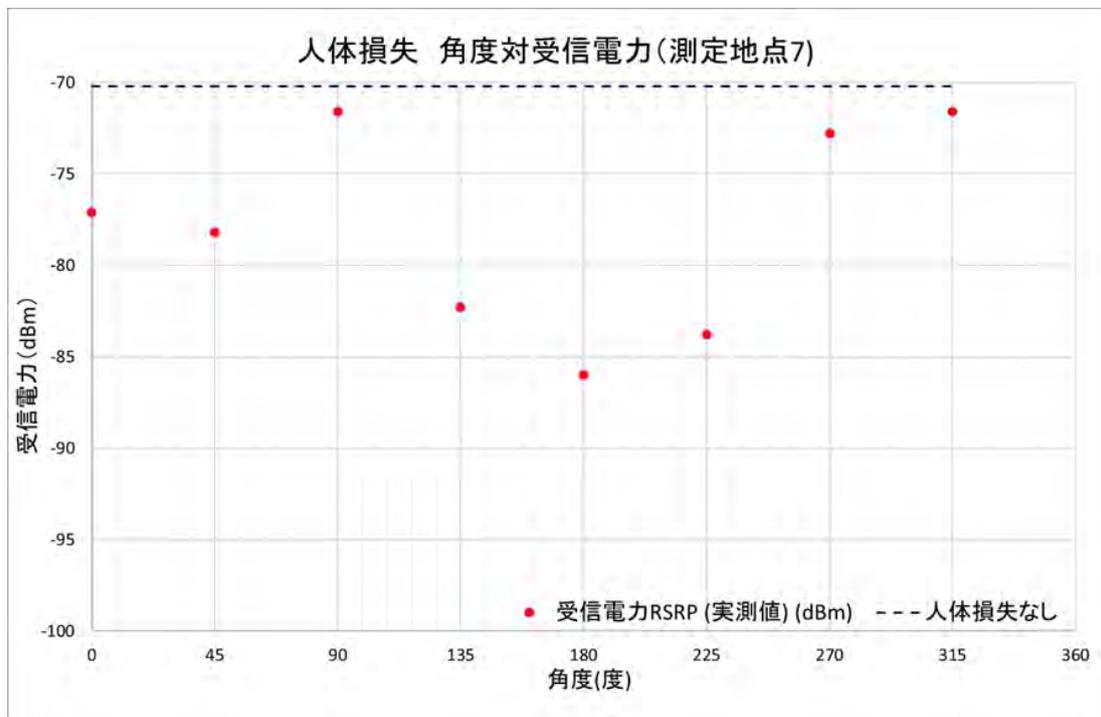


図 5.5.4-2 人体損失 (測定地点 7)

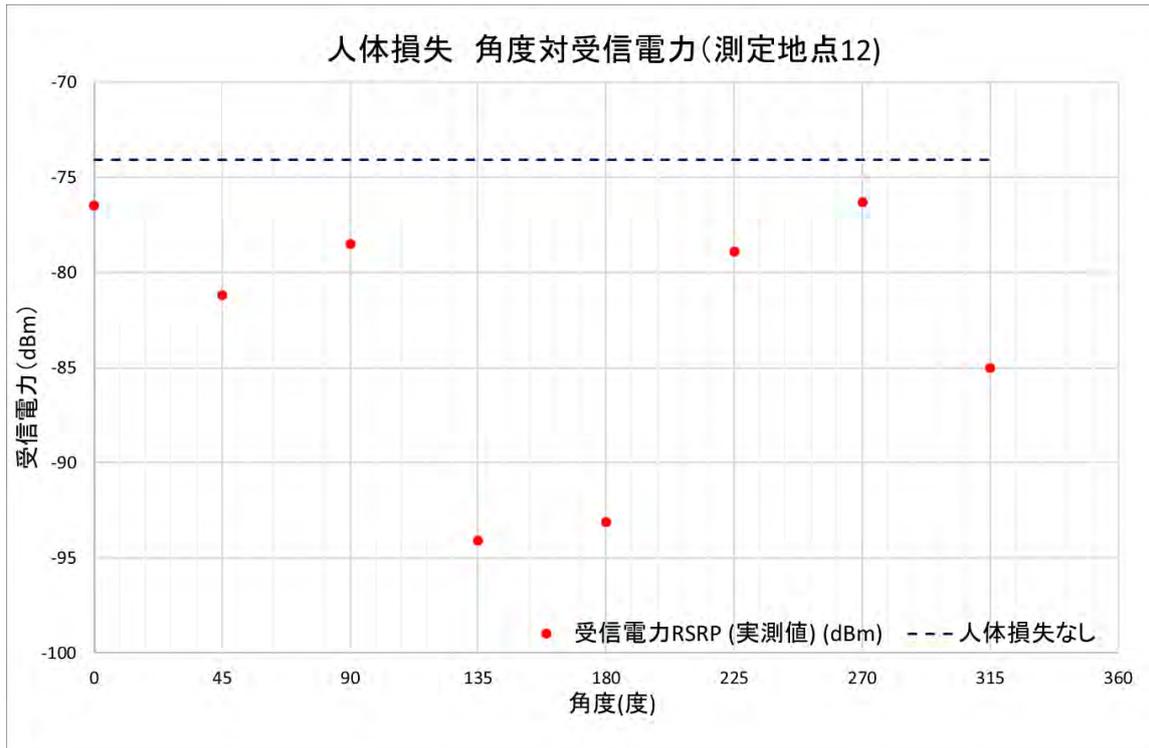


図 5.5.4-3 人体損失 (測定地点 12)

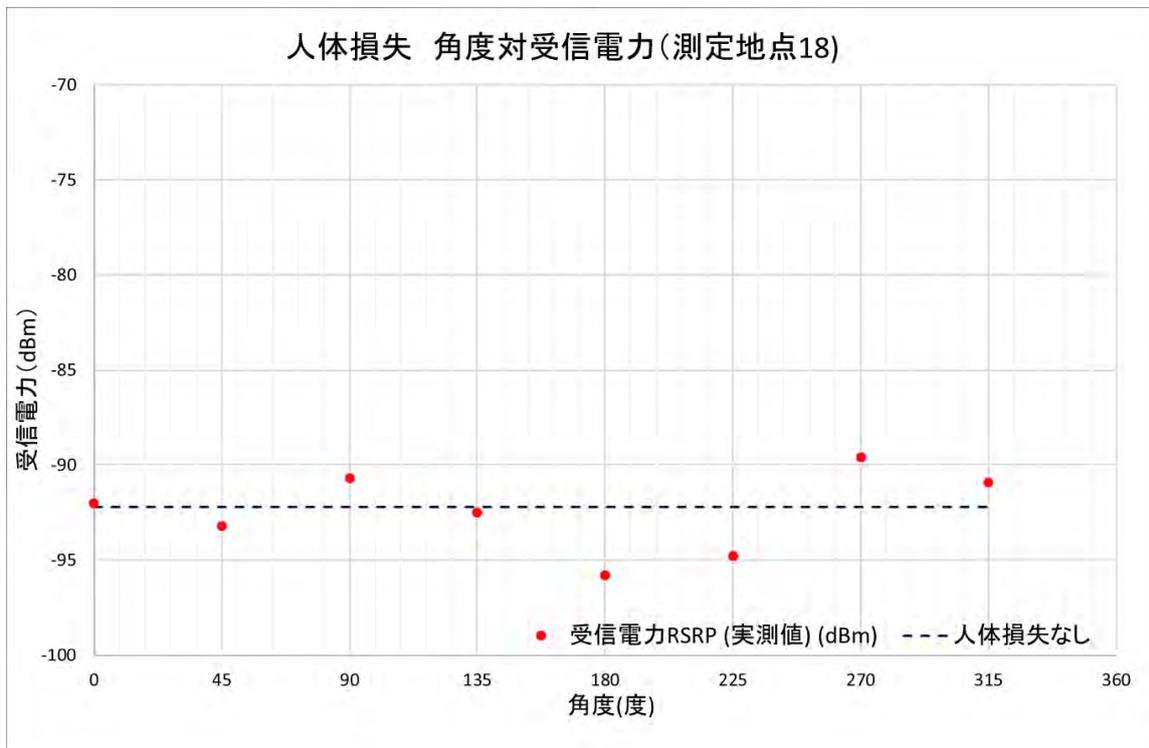


図 5.5.4-4 人体損失 (測定地点 18)

図 5.5.4-5 に測定地点 2、測定地点 7、測定地点 12 及び測定地点 18 において測定した人体損失の値のうち、0 度、90 度、180 度及び 270 度の値をまとめて示す。

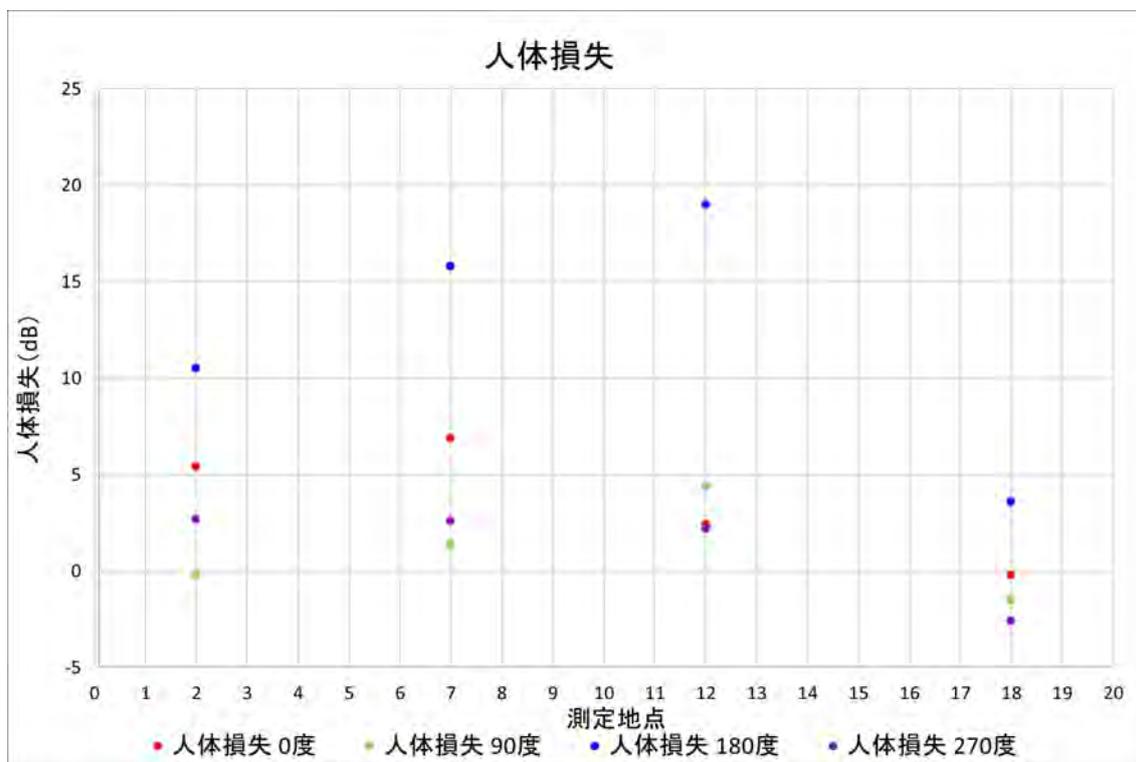


図 5.5.4-5 人体損失

表 5.5.4-1 に測定地点 2、測定地点 7、測定地点 12 及び測定地点 18 において測定した人体損失の値の範囲を、各測定地点における人体損失がない状態での受信電力と対応させて示した。

表 5.5.4-1 人体損失の測定地点による比較

測定地点				人体損失 [dB]
測定地点	距離 [m]	見通し	受信電力 (人体損失なし) [dBm]	
2	15	LOS	-73.3	0 ~ 11
7	74	NLOS	-70.2	1 ~ 16
12	118	NLOS	-74.1	2 ~ 20
18	151	NLOS	-92.2	-3 ~ 4

5.5.5 技術課題の解決策

4カ所の測定地点のうち、測定地点2のみが見通し内(LOS)であるが、見通し外(NLOS)と分類した測定地点7及び測定地点12においても、基地局アンテナとの間に大きな遮蔽物はなく、ほぼ見通し内と扱える場所であった。そのため、これらの測定地点では直接波の影響が大きく、人体損失が比較的大きくなった。その中では、測定地点2は基地局アンテナから俯角が15度の場所であり、反射波の影響も比較的大きく、人体損失の最大値が11dBと比較的小さくなったと考えられる。一方、測定地点18は見通し外の場所であり、直接波が届かず、複数の反射波が到来したため、人体損失が-3~4dBと小さな値になったと考えられる。

エリア構築の際に用いる人体損失の値としては、見通し内の直接波の影響が大きい場所においては、測定地点2及び測定地点12より、最大18dB、平均値として9dBを見込み、見通し外の反射波が支配的な場所では、最大4dB、平均値としては0dB(特に考慮しない)を見込むことが考えられる。

算出した人体損失の値を用いて、CPEを利用者が携帯して利用できるエリアを予測した上でエリア構築を行う手法を、以下のように整理した。5.3.5において説明したエリア構築の手法との共通な部分が多いため、異なる部分を説明する。

(1) 要件整理を行う

- 利用者がCPEを携帯して利用することを前提として、以下の点を定める。
 - 利用者がCPEを身に着ける位置と利用者の向き、管理の可否

利用者がCPEを通して映像データを受信するMRグラスを身に着ける場合、CPEを一定の位置に身に付けさせるとともに、実際の展示物(例えば、復原遣唐使船)の方を向くようにさせることが想定される。このような場合にCPEを身に着ける位置と利用者の向きを管理可能とする。

(2) エリア品質の基準値を求める

(3) 所望エリア内のエリア品質を評価する

- セグメント毎にエリア品質を満足するか否かを判定する際に、そのセグメントにおいて算入すべき人体損失マージン M_{bl} を求める。
- 受信電力の中央値 P_{mid} がエリア品質基準値 $P_{req}+M+M_{bl}$ を超える場合には、エリア品質を満足すると判定する。

ここで、人体損失マージン M_{bl} は、利用者が CPE を身に着ける位置と利用者の向き
の管理が可能な場合には、人体損失を平均的な値に抑えることが可能であると想定すると
ともに、見通しの有無を考慮し、以下のように定める。

- 利用者が CPE を身に着ける位置と利用者の向きが可能な場合
 - 見通し内 (LOS) の場合には、9dB
 - 見通し外 (NLOS) の場合には、0dB
- 利用者が CPE を身に着ける位置と利用者の向きが不可能な場合
 - 見通し内 (LOS) の場合には、18dB
 - 見通し外 (NLOS) の場合には、4dB

(4) エリアを最適化する

- 所望エリアの全てのセグメントにおいて、 $P_{mid,i} > P_{req} + M + M_{bl}$ を満たす基地局アンテナの高さ、メインビーム方向、チルト角を求める。このエリア構築の手法により、利用者が CPE を携帯して利用する状況で、リアルタイム通信の安定性を確保できるエリア構築が可能となる

<更なる技術的課題>

審査基準の既存の電波伝搬モデルにおいて、人体損失に応じた新たな補正項に関して、カバーエリア算出法への反映が課題として考えられる。

審査基準においては、人体損失として 8dB を見込んでいる。この値は、本実証で得た直接波の影響が大きいと考えられる場所での人体損失の平均値である 9dB と同等であり、通常のエリア構築においては、現行の審査基準における人体損失の値に対して、特に変更を加える必要性は考えられない。

一方、本実証で想定したリアルタイム通信を安定的に提供するためのエリア構築においては、人体損失の最大値も考慮する必要性も考えられる。したがって、リアルタイム通信で高い安定性が求められるサービスにおいては、エリア構築の手法として説明したように利用者が CPE を身に着ける位置と利用者の向きが管理可否や見通しの有無に応じて、最大 18dB 程度の人体損失を見込むことを認めるオプションを追加することが、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性として考えられる。

本実証で得た人体損失の値は、限られた実証環境で取得したデータにより算出されたものであるため、無線局免許審査基準において用いる電波伝搬モデルに採用するためには、さらに多くの環境においてデータを取得して、統計的信頼度 (精度) を高めることが課題になると考えられる。

5.6 まとめ

観光施設等におけるローカル 5G のエリア構築に関する技術的課題を整理した。観光分野においてローカル 5G を広く普及させるためには、観光施設等において、ローカル 5G

で高精細映像データ伝送を伴う MR のリアルタイム通信等を行うことを想定し、所望エリアで所望の通信品質が確保可能なローカル 5 G エリア構築を行う手法を確立することが課題である。その際、新たな歴史文化体験における MR グラスへのリアルタイム映像伝送の安定性を確保するため、短区間中央値変動だけでなく、低速フェージング変動の標準偏差を考慮する必要があると考えられる。

このような技術的課題の解決に向けて、構築したローカル 5 G の実証環境において、電波伝搬特性の測定を行った。次に、取得した電波伝搬特性データより、伝搬損失の二乗平均平方根誤差 (RMSE) が自由空間損失モデルより小さくなることから、無線局免許審査基準に採用されている電波伝搬モデル (審査基準モデルと表記) を、市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正值 S を開放地の 32.5 として用いることとした。そして、遮蔽損失による短区間中央値変動を求め、8.2dB となった。また、各々の測定地点において 5cm 間隔の 12 カ所のポイントで測定した受信電力の時間変動と場所変動を分析し、低速フェージング変動を含む総合的なフェージング変動の標準偏差を求め、2.3dB となった。さらに、基地局アンテナのチルト角を 2 度から 10 度に大きくした場合の電波伝搬特性を評価し、基地局アンテナのチルト角を大きくした場合、伝搬距離が 100~200m の場所で受信電力が基地局アンテナの垂直面内指向性利得より求めた計算値より 5~10dB 程度大きくなる可能性を示した。

そして、より効率的なエリア構築手法を整理した。エリア構築の手順としては、まず、要件整理を行い、エリア品質の基準値を求め、所望のエリアを細分化したセグメント毎にエリア品質評価を行い、最後に所望エリア全体を最適化することとした。この中で、エリア品質の基準値を求める際に、短区間中央値変動と総合的なフェージング変動を合成した変動の標準偏差を反映するとともに、エリア品質評価における受信電力の計算で基地局アンテナのチルト角の影響に関する上記分析結果も加味することで、リアルタイム通信の安定性を確保できるエリア構築が可能となるようにした。

また、新たな歴史文化体験において高精細映像データを受信する CPE をストラップ等に付けて利用者が身に着けることが想定されたため、人体損失の測定を行った。その結果、エリア構築の際に用いる人体損失の値は、見通し内の直接波の影響が大きい場所においては、最大 18dB、平均値として 9dB、見通し外の反射波が支配的な場所では、最大 4dB、平均値として 0dB となった。そして、この結果を反映したエリア構築の手法を整理した。この中で、利用者が CPE を身に着ける位置と利用者の向き管理可否や基地局アンテナの見通しの有無に応じて、上記の人体損失の値を使い分ける方法について考察した。

無線局免許審査基準においてカバーエリア算出に用いられる既存の電波伝搬モデルに関しては、観光施設等においてリアルタイム通信で高い安定性が求められるサービスにおいて、利用者が CPE を身に着ける位置と利用者の向き管理可否や見通しの有無に応じて、最大 18dB 程度の人体損失を見込むことを認めるオプションを追加することが、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性として考えられる。

残された課題としては、木造以外の構造物による遮蔽損失の影響、特定のエリアに集まっている多数の観光客による遮蔽損失の影響、パレード等のために観光施設内を動き回る大型の車両による遮蔽損失の影響、ならびに観光施設内に植えられている樹木による遮蔽損失の影響などを定量的に評価し、エリア構築手法や無線局免許審査基準におけるカバーエリア算出法に反映させることが考えられる。

6. 実装及び横展開に関する検討

6.1 前提条件

6.1.1 実装・横展開に係る関係者の意向

令和3年度以降のローカル5Gの観光・文化分野での社会実装を目指し、サービス提供者（ICT事業者）及び活用者（観光関連事業者）の視点で、実用化に向けたニーズやコストの整理を行うため、関係者と協議を実施した。協議は実装・横展開を主に実施する地域の奈良県、本実証実験参加のコンソーシアムメンバであるNEC、凸版印刷、マクニカ、コトバデザイン、さらに、ステークホルダである観光関連事業者、地域金融機関、地域ネットワーク事業者、デベロッパー、広告代理店等で行い、各社の意向確認や課題解決システムを実現するために必要な事項の情報を収集し、運営方法や体制の整理を実施した。

協議参加者と協議内容の概要を表6.1.1-1に、協議の結果確認を行った関係者の意向を表6.1.1-2に示す。

表 6.1.1-1 実装・横展開協議記録

日程	参加者	協議概要
令和2年10月22日	旅行代理店 凸版印刷 NEC	実証実験と実装・横展開に関する意見 伺い 観光メニューとしての期待
令和2年12月3日	奈良県 凸版印刷 NEC	実装・横展開の方向性確認し、歴史体 験学習館を軸に実装案を検討するこ とを協議 自治体観光施策としての期待
令和2年12月8日	金融会社 NEC	実装・横展開に必要なスキーム、関係 者、資産についての意見伺い 地域での観光産業を包括的に見た 期待
令和2年12月15日	デベロッパー 凸版印刷 NEC	実証実験と実装・横展開に関する意見 伺い 地域での観光産業を包括的に見た期 待
令和2年12月18日	地域金融機関 凸版印刷 NEC	事業性という観点からの期待
令和2年12月22日	奈良県 凸版印刷 NEC	奈良県へ実装・横展開の方針を中間報 告、意見伺い
令和2年12月28日	PMO（三菱総合研究所、 野村総合研究所） NEC	PMOへ実装・横展開の方針を中間報告、 意見伺い
令和3年1月13日	広告代理店 NEC	実証実験と実装・横展開に関する意見 伺い 事業性という観点からの期待

表 6.1.1-2 実装・横展開関係者の意向

コンソーシアム・関係者	実装・横展開にかかる意向
NEC	まず平城宮跡歴史公園で、観光分野での実装を確実に行う。次に、県内他地域での観光分野への横展開と、平城宮跡歴史公園内での観光以外の分野への用途拡大を行い、将来的にはスマートシティへの活用も視野に入れたい。
凸版印刷	奈良県に関するコンテンツ多く保有×5G 活用で観光体験サービスは観光発信を拡充していきたい。
コトバデザイン	交通手段への実装（観光バス、自動運転車など）、それ以外での利用シーンでAI コンダクターの実装と用途拡大を期待。
マクニカ	公園内の移動課題の解決、地域社会での移動課題の解決。
奈良県	令和 8 年度に向けた歴史体験学習館での実装を目標に検討したい。「平城宮跡歴史公園 朱雀大路東側地区（歴史体験学習館）整備計画」（令和 2 年 12 月策定）に基づき、奈良県の玄関口として奈良県の観光客の周遊を図りたい。
デベロッパー	新たな価値体験が可能な施設について関心あり。
旅行代理店	ツアー開発に力を入れている。MR 活用で中南和地域（吉野、飛鳥、藤原京）の観光地魅力向上に期待。
地域金融機関	奈良県には建造物のない観光地が多く、これらの魅力開発と発信に向けて本取り組みに期待。特に中南和地域。公教育の見学場所としての仕組み作りも考えるとよい。観光×教育。ただし実装に向けては収支計画が非常に重要。
地域運輸業者	観光バスでの活用に期待。移動の間の車窓やトンネルの中で MR 活用した案内充実もできるといい。
地域ネットワーク事業者	観光、教育での 5G 活用、地域 BWA と連携したスポット間エリア間の通信基盤拡充による多様な地域サービスの拡大に期待。
広告代理店	5G を起点とした新たな施設コンセプト設計に関心あり。前向きに検討を考えたい。

サービスを実装するにあたって、関連を想定する各事業者から前向きな意見が得られた。また、実装にあたっては、現在取り組んでいる平城宮跡での奈良県の事業との連携が有望で、ツアー客、学校教育との親和性が高いとの示唆を得られた。

県内への横展開先としては、中和・南和地域への展開や、観光バス内での体験などの具体的な可能性が示唆された。

協議を通して「平城宮跡歴史公園 朱雀大路東側地区（歴史体験学習館）整備計画」で検討されるエリア整備に本システムの適用または応用を検討していくことを奈良県と協議した（ただし、実際の事業内容は、令和 3 年度以降に具体化していくため、決定は令和 3 年度以降となる）。歴史体験学習館は、平城宮跡歴史公園の拠点ゾーンに令和 8 年度に開館する計画であり、奈良県全体にかかる歴史・文化情報の発信や交流の場となる施設と位置付けられ、本実証実験で実施された MR など、IoT、ICT の新技術を活用した体験・交流内容を検討する計画である。本計画の概要を表 6.1.1-3 に示す。

表 6.1.1-3 平城宮跡歴史公園 朱雀大路東側地区（歴史体験学習館）整備計画概要

項目	内容
上位計画	平成 20 年に策定された「国営飛鳥・平城宮跡歴史公園平城宮跡区域基本計画」 奈良県全体にかかる歴史・文化情報の発信や交流の会場となる施設の位置付け
整備コンセプト	“奈良時代を今に感じる” 歴史・文化体験と交流の舞台
歴史体験学習館の整備基本方針	<ul style="list-style-type: none"> ● 平城京の成り立ちや奈良時代の歴史・文化の体験環境の構築 ● 歴史・文化の学習を通じた奈良県全体への誘いの仕掛け構築 ● 体験を通じて誰もが集える交流の舞台構築
体験・交流テーマである 3 つの柱	<p>柱① 平城京へとつながる歴史</p> <p>【コンセプト】 国際交流を通じてどのように天平文化の発展につながったのかを学習</p> <p>【体験内容】 「国際交流」や「天平文化」に着目し、飛鳥～奈良時代の重要な出来事を VR (Virtual Reality) や MR (Mixed Reality) 技術を用いて体験</p> <p>柱② 正倉院の宝物</p> <p>【コンセプト】 宝物の美しさ、国際性豊かな文化に触れて華やかな天平文化を学習</p> <p>【体験内容】 正倉院の宝物のレプリカを実際に見て触れて、往時の国際交流のスケールを体験</p> <p>柱③ 奈良時代の文化・暮らし</p> <p>【コンセプト】 国際交流豊かな奈良時代の宮廷行事や、人々の文化・くらしぶりを学習</p> <p>【体験内容】 古事記、日本書紀などの文献、考古資料、木簡などから読み解けるその時代の人々のくらしを体験</p>
施設規模	歴史体験学習館の施設規模 約 3,000 m ²
所在地	平城宮跡歴史公園 拠点ゾーン 朱雀大路東側地区
整備イメージ	

項目	内容
整備スケジュール	<ul style="list-style-type: none"> ・平成 30 年 整備計画 検討 ・令和 2 年 10 月 パブリックコメント実施 ・令和 2 年 12 月 整備計画 策定 ・令和 3 年度 基本設計 ・令和 4 年度 詳細設計 ・令和 5 年度以降 整備工事
概算事業費	<p>歴史体験学習館の施設建設の概算事業費は、以下に示す通り。 なお、施設運営費や維持管理費等については、コスト低減に配慮して計画する。 約 27 億円程度</p>

出所) <http://www.pref.nara.jp/item/240165.htm> より作成

6.1.2 実装・横展開における制約条件等

実用化に向けた制約条件は下記の通りである。

- 今回の実証で使用した実験局免許は令和 3 年 5 月が期限であり、5G システムの中心周波数は 4.75GHz を使用していた。実装に向けては、屋外使用可能な 4.8～4.9GHz 帯の 5G システムに構築しなおし、免許の再取得が条件となる。
- 今回の実証は屋外の実証であり、MR デバイスは機能面の制約により、明るい環境では投影した仮想空間が鮮明に見えないことから、歴史文化体験の実証は夕方以降に実施した。
 しかし今後、MR デバイスの機能改良によって屋外の明るい環境でも使用できる MR デバイスが開発される可能性があり、明るい環境下でも使用できる MR デバイスの提供が始まった際には、そのデバイスを使用することで夕方より前に歴史文化体験を実施できる可能性があると考えます。機能改良が実施されるまでは屋外の MR の利用はこれが制約となる。
- 対象地域は歴史公園となっており、文化財保護法や景観条例を考慮しての設計が必要となる。

6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定

6.2.1 実証終了後の継続利用

実証終了後の継続利用について、ユーザーニーズやコスト等を踏まえた経済性、運用・管理等に係る仕組みや方法、機器の所有権や関係者間の契約の在り方、費用分担も含めた関係者間の役割分担等の体制、ビジネスモデルの検討、想定される課題、対応策について整理した。

6.2.1.1 対象とする地域課題

奈良県は、飛鳥時代から奈良時代にかけて政治の中心地であり、国内及び世界的にも屈指の価値を持つ歴史文化を保有している。この歴史文化を観光資産として活用した観光産業振興が重要な政策の柱である。

しかし、これらの観光資産は、敷地が広大であること、点在していること、移動手段が乏しいこと等の理由から、観光客は一部の観光ポイントのみに集中しているのが現状である。

また、観光客は奈良公園近辺を観光後に京都、大阪等の他観光地に移動することがパターン化しており、結果、奈良県での「滞在時間が短い」、「宿泊客が少ない」という状況から脱することができていない。よって、県内の他観光ポイントの観光振興を図り周遊性を高めていくことが急務である。

このためには県内に点在する歴史文化資源の魅力や価値を向上させ、かつ奈良県全体における魅力ある観光体験の実現が不可欠である。また、新型コロナウイルス感染症の拡大による観光需要の減少も喫緊の課題である。感染拡大防止対策を考慮した新たな観光体験コンテンツを実現し、経済の活性化を図る必要がある。

6.2.1.2 本事業で開発した課題解決システムの実証終了後の継続的利用の見通し

本実証実験で開発した課題解決システムは、一部コンテンツや規模を見直し、奈良県の歴史体験学習館の計画に併せ、継続的に利用し、地域課題解決に取り組む見通しである。

奈良県は、歴史体験学習館の運営にあたっては、民間活動の導入を想定し、令和 3 年度に運営体制及びコンテンツ検討に着手する予定である。本コンソーシアム参加事業者は、以下の内容、課題認識を踏まえ ICT 提供者として参画を目指す予定である。

(1) 継続利用する場合の内容

本実証実験で開発した課題解決システムである新たな観光体験、新たな移動体験を、奈良県が令和 8 年度に開館する予定の歴史体験学習館において体験できるソリューションとして、平城宮跡歴史公園内を周遊するシステムとして見直しを行い、継続利用することを想定

する。本ソリューションを実装することで、平城宮跡歴史公園を起点とした奈良県の魅力ある観光体験を実現させ、地域課題である「県内に点在する歴史文化資源の魅力や価値を向上させ、かつ奈良県全体における魅力ある観光体験の実現」に向けた取り組みであると考ええる。また利用するソリューションがMR技術やAIコンダクターであるため、密集や接触を避けて歴史文化体験を実現させることが可能となり「新型コロナウイルス感染症の拡大による観光需要の減少」に対する取り組みであると想定する。また新型コロナ感染症対策の運用として、受付での利用者が密にならない対策や、MRグラス等のデバイス、自動運転車を、体験前に都度アルコール消毒する等の対策を実施していた。アフターコロナでの運用の際にも、各種感染症を防止するために、使用するデバイスの消毒を実施する等、同様の対策が必要であると考ええる。

なお、受付での対応やデバイス等の消毒については、本実証に限らずほとんどのサービス提供においてアフターコロナでのサービス運用となると考えており、歴史体験、移動体験も同様に実施するものと考えている。

(2) 課題－技術面

本実装における技術面の課題を以下に示す。

- 歴史体験（MR技術）、移動体験（AIコンダクター）は、ともに実証実験時点からサービスの提供場所が追加となるため、本実証実験のコンテンツを変更する必要がある。
- リピータの獲得のため、歴史体験（MR技術）では一定期間毎にコンテンツの更新が必要となる。
- 本実証実験で構築したローカル5Gシステムは、中心周波数に4.75GHzを使用しており、また実験局免許も令和3年5月までとなっている。令和3年6月以降、屋外で使用可能な周波数帯4.8～4.9GHzでの再構築が必要となる。
- ローカル5Gシステムを実証実験と同じNSA構成にした場合、制御信号を発するLTEが地域BWA事業者の干渉を受ける可能性がある。
- 実証実験時点でリリースされていた3GPPの規格で対応していた端末接続数では、歴史体験（MR技術）、移動体験（AIコンダクター）ともに体験者数を増加させようとする場合に支障がある。

(3) 課題－運用面

本実装における運用面の課題を以下に示す。

- 対象とする公園は広大なエリアであり、移動に時間がかかる。また、ユーザにより負荷がかかる。
- 移動体験では、公園内での自動運転車の運転可能時間の調整が必要となり、場所や時間の制限が発生する可能性がある。
- 継続的にローカル5Gシステムを使用するための免許は、運営者が取得する必要がある。実証実験では機器の管理をコンソーシアムで行ったが、実用化のために貸出方法などの機器運用について検討が必要である。

(4) 条件

本実装における条件は以下の通りである。

- 文化財保護法等の規定により、建造物設置等の現状変更が困難である。
- 課題解決システムを実現するのが 5 年後となるため、それまでの ICT の技術変化に対応したコンテンツ、システムの改修を、実装である歴史体験学習館のコンテンツ基本設計の際に別途検討する。

6.2.2 事業モデル

本項では、令和 8 年度に開館が予定されている奈良県の歴史体験学習館において課題解決ソリューションを常設化することにより、歴史体験学習館を観光ゲートウェイとする奈良県の構想（表 6.1.1-3）を実現するための事業モデルを、本コンソーシアム参加事業者が今後提案を進めるための仮説として検討した。

6.2.2.1 事業内容

(1) 対象エリア

対象エリアは、本実証実験の対象エリアを含む図 6.2.2-1 を想定している。本エリアは、132ha もの広大な公園で、観光資産が点在している。6.2.1.1 対象とする地域課題であげた「観光資産は、建造物が広く大きいこと、点在していること、移動手段が乏しいこと等の理由から、観光客は一部の観光ポイントのみに集中しているのが現状である。」の条件に合致するエリアである。本事業適用を想定している歴史体験学習館は、対象エリアの入り口にあたる県営公園区域に開館が予定されている。

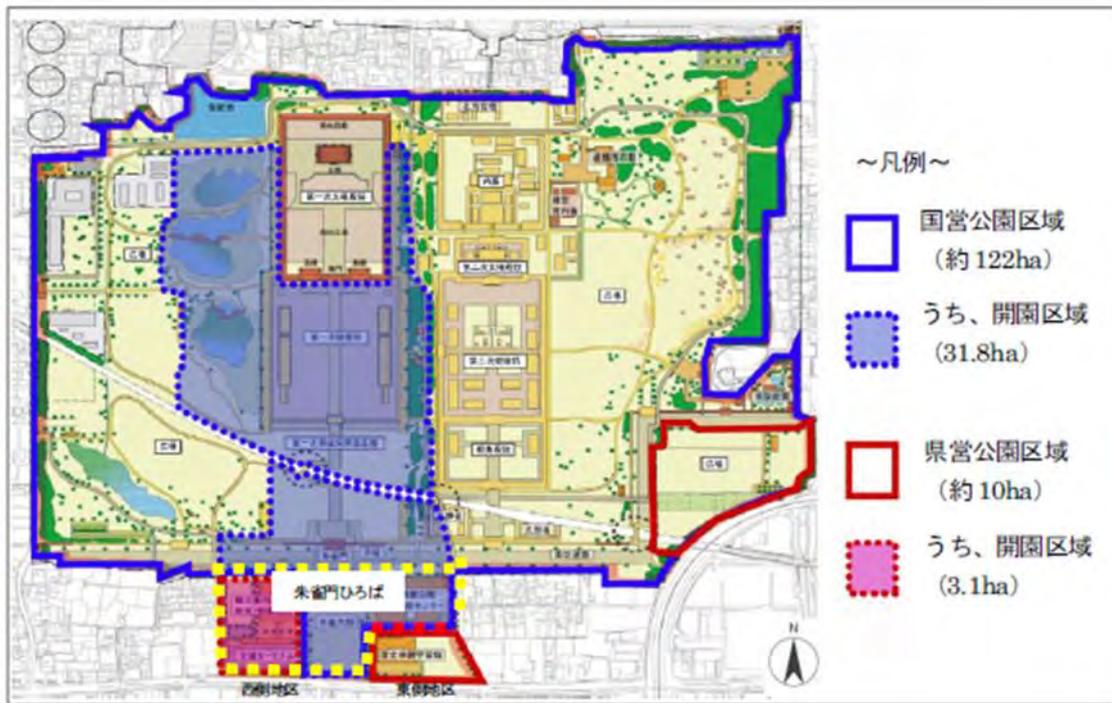


図 6.2.2-1 平城宮跡歴史公園

出所) <http://www.pref.nara.jp/item/240165.htm> より

(2) 活動内容

奈良県には、令和 8 年度に 6.2.1.1 対象とする地域課題に示す対象エリア県営公園区域に、歴史体験学習館を整備する計画がある(表 6.1.1-3 平城宮跡歴史公園 朱雀大路東側地区(歴史体験学習館)整備計画概要)。この整備計画では、体験・交流内容を検討するために 3 つの柱を核としている。その中の 1 つの柱「平城京へとつながる歴史」でのコンセプトは、「国際交流を通じてどのように天平文化の発展につながったかの学習」と記載されており、体験内容として、「国際交流」や「天平文化」に着目し、飛鳥～奈良時代の重要な出来事を VR (Virtual Reality) や MR (Mixed Reality) 技術を用いて体験」と記載されている。本実証実験の「歴史体験」は MR 技術を使用したソリューションであり、奈良県が想定するコンセプトと合致している。

本事業では、歴史体験学習館において、整備計画の柱の 1 つ「MR (Mixed Reality) 技術を用いて体験」によるソリューションを実現するための活動を実施することで地域課題解決に取り組む。

(3) 運用・管理等に係る仕組みや方法

想定している運用・管理に関わる事業体制案を図 6.2.2-2 に示す。歴史体験学習館を整備する予算の一部で、建造物などのハードウェア及び、6.2.2.3 対象ソリューション、価値提供に示したソリューションの整備を行う。運用開始後、サービス提供者である管理運営事業者が運営を行い、6.2.2.5 マネタイズの方法（補助金の活用含む）に示すアイテムで、収入を得ることを想定している。詳細は、令和 3 年度歴史体験学習館の基本計画のフェーズ（図 6.2.3-1 参照）にて検討することを想定している。基本設計は奈良県の公募により実施されるため、本コンソーシアムとして、この基本計画フェーズにおいて本ソリューションの実装と設置運営スキーム参画を働きかける。

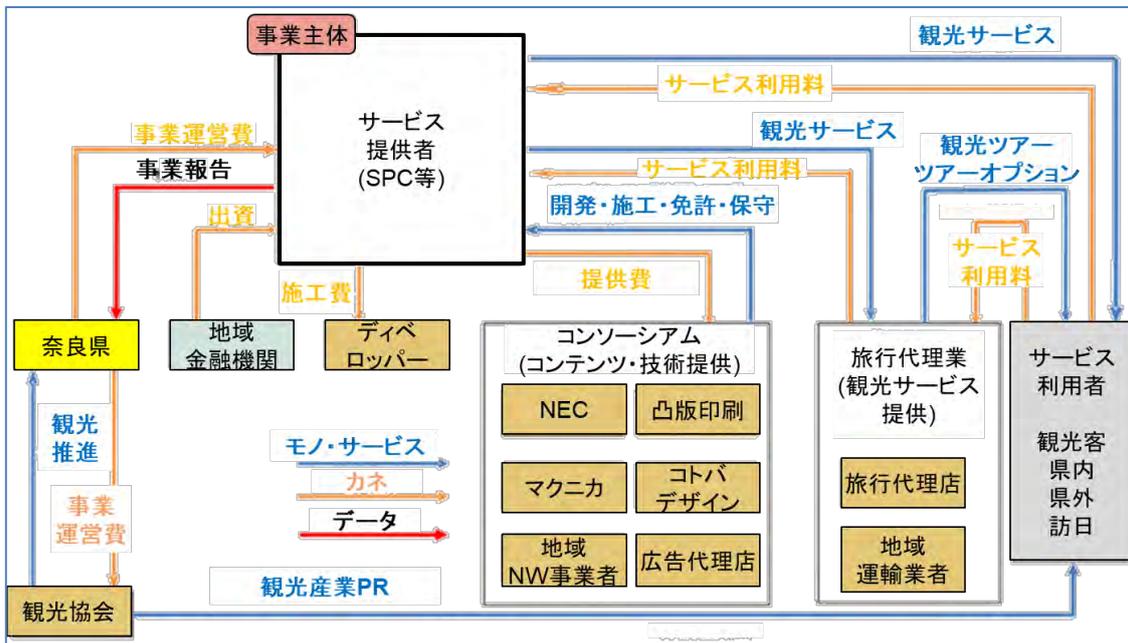


図 6.2.2-2 想定ビジネスモデル (案)

注) SPC 特定目的会社 specific purpose company

6.2.2.2 対象となるユーザ

本事業モデルの対象ユーザは、歴史体験学習館を中心に平城宮跡歴史公園を訪問する観光客を想定している。また、学習体験の一環で訪問する学生旅行者、歴史周遊系のツアーを利用するツアー旅行者、グループ旅行や家族旅行の個人旅行者を想定している。

学生旅行者は、事前予約がされ、1つの契約で多数の利用数が見込め、機材の貸し出しや回収も容易であると考えられる。年齢を加味して考えると、MR 歴史体験への興味も深いと想定される。ただし、本実証実験検証時の同時利用者数よりも参加可能人数を大幅に増やすことを検討する必要がある。ツアー旅行者は、歴史周遊系のツアーの一部として利用することを想定しており、学生旅行者と同様に事前予約がされ、1つの契約にてある程度の利用者数が見込め、機材の貸し出しや回収も容易であると考えられる。歴史への造詣はそれほど深くない観光客を対象とすることが想定される。個人観光客は、現地受け付けが想定され、機材の回収に注意が必要となる。グループ旅行や家族旅行者には、本実証実験で検証した体験同期が効果的と考える。個人旅行者には、園内ガイド中心の内容が適切と想定される。

表 6.2.2-1 実装対象ユーザ

属性	特徴	契約数	機材の回収
学生旅行者	学習体験の一環で利用。事前予約。MR 歴史体験への興味も深いと想定。	1 契約にて多数の利用数が見込める。同時利用者数を大幅に増やす必要あり。	機材の貸出・回収は容易。
ツアー旅行者	歴史周遊系のツアーで利用。事前予約。歴史への造詣はそれほど深くない観光客向け。	1 契約にてある程度の利用者数が見込める。	機材の貸出・回収は容易。
個人旅行者	現地受け付け。グループ旅行や家族旅行者には体験同期が効果的。個人旅行者には園内ガイド中心の内容が適切と想定。	1 契約にて利用者数は限定的。	機材の回収に注意が必要。

6.2.2.3 対象ソリューション、価値提供

本事業では、MR 技術及び AI コンダクターを使用した観光ソリューション、歴史公園におけるローカル 5 G 基地局設置・運用のノウハウソリューションを対象と想定している。

観光ソリューションでは、園内特定地点での MR による歴史文化体験と、各地点を結んだ AI コンダクターパーソナライズガイドによる移動体験の提供を行う。この観光ソリューションでは、移動体験中に有人のガイド、運転手との接触が無いことや、歴史文化体験が園内特定ポイントに分散していることから、3 密の防止、ソーシャルディスタンスの確保ができ、新型コロナウイルス感染症に対する安全・安心対策が行われ、観光客の不安要素を取り除くことにより、地域課題であった「新型コロナウイルス感染症の拡大による観光需要の減少」に対する対策となると想定する。歴史公園におけるローカル 5 G 基地局設置・運用のノウハウソリューションでは、文化財保護法等の規定により、建造物設置等の現状変更が困難である歴史公園におけるローカル 5 G 基地局設置・運用のノウハウ・運用パッケージを提供する。各ソリューションは、今後令和 3 年度歴史体験学習館の基本計

画のフェーズ（図 6.2.3-1 実装計画（案）参照）にて検討することを想定しており、どのソリューションを選択するか検討していく。表 6.2.2-2 に目的、効果を述べる。

表 6.2.2-2 実装ソリューションポイント

ソリューション	MR 技術及び AI コンダクターを使用した観光ソリューション		歴史公園におけるローカル 5G 基地局設置・運用のノウハウソリューション
	歴史文化体験	移動体験	
内容	映像コンテンツ	AI コンダクター＋自動運転	歴史公園におけるローカル 5G 基地局設置・運用のノウハウ展開
目的	求心力をそれぞれのエリアでもたせる	<ul style="list-style-type: none"> ・移動時間短縮 ・イベントの世界観の持続 	ローカル 5G 導入を容易にする
展開内容	それぞれの経験箇所でのコンテンツを新規作成	それぞれの経験箇所でのコンテンツを新規作成	体験箇所に応じたネットワーク敷設
効果	<ul style="list-style-type: none"> ・興味関心、周遊の誘発 ・リピート客増加の推進 ・既存施設、地域資産の活用 	<ul style="list-style-type: none"> ・移動サービス向上 ・園内の周遊化 	ノウハウを収集し、今後同類の事業の納期短縮、コスト削減を図る

(1) MR 技術及び AI コンダクターを使用した観光ソリューション

MR 技術及び AI コンダクターを使用した観光ソリューションは、歴史体験学習館で MR グラスを使用した体験の 1 つとして提供する。本実証では、体験者同士のリアルタイム同期を行う機能により、ある体験者の操作によって発生する花火や蝶を、他の体験者からも観察できるようにすることで、体験者に歴史空間への没入感を強く感じてもらう仕組みを提供できたと考える。今回提供した仕組みは、今後のコンテンツ作成・更新の際にも同様の仕組みを取り入れて歴史空間との一体感の創出を図っていく。利用者は歴史体験学習館で受け付けを行い、MR デバイスを貸し出され、各地点での体験をする。各地点間は AI コンダクターにより、音声案内で各地点の案内やイベント間の体験高度化に資する情報を得る。またそれぞれの地点間は移動体験により、時間の短縮となる。各地点では、楽しく気分を盛り上げる効果や、「人・暮らし」に焦点を当てた歴史体験で、平安への関心を高める効果、奈良県近隣歴史的遺産や古道との往還を意識した地理体験で、地域的な関心を広げる効果を提供する。観光ソリューションのエリアを図 6.2.2-3 に、各地点での体験内容のイメージを図 6.2.2-4 に示す。

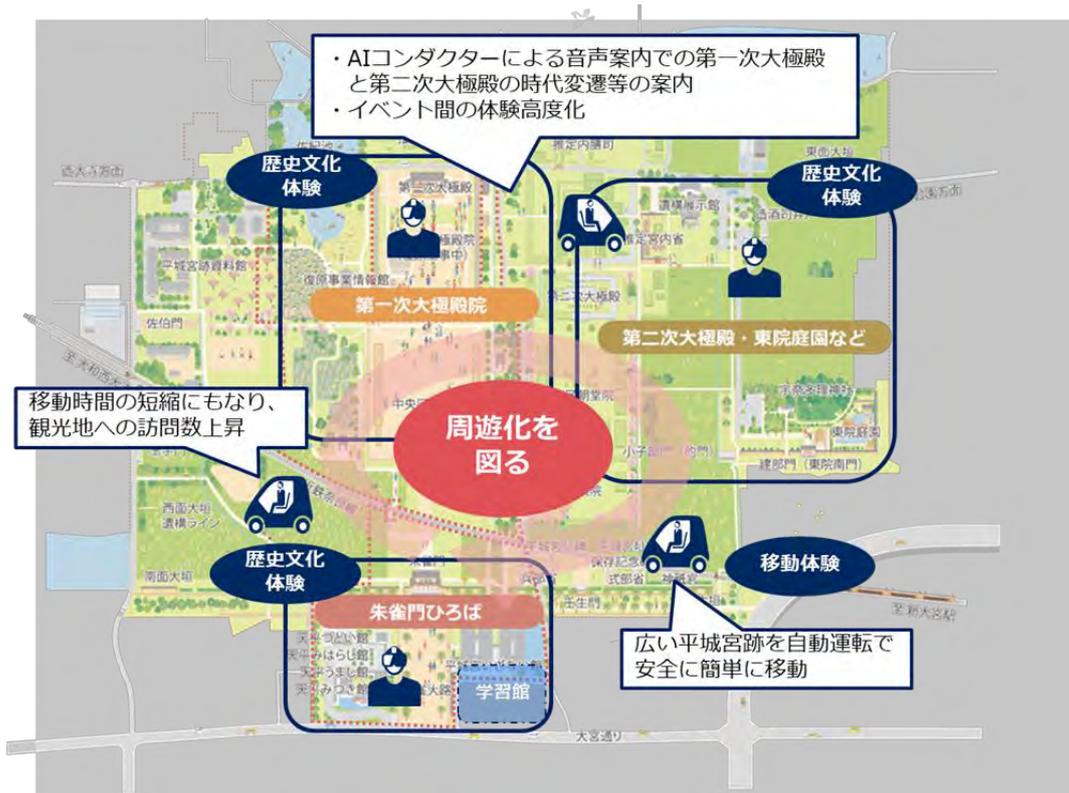


図 6.2.2-3 観光ソリューションエリア

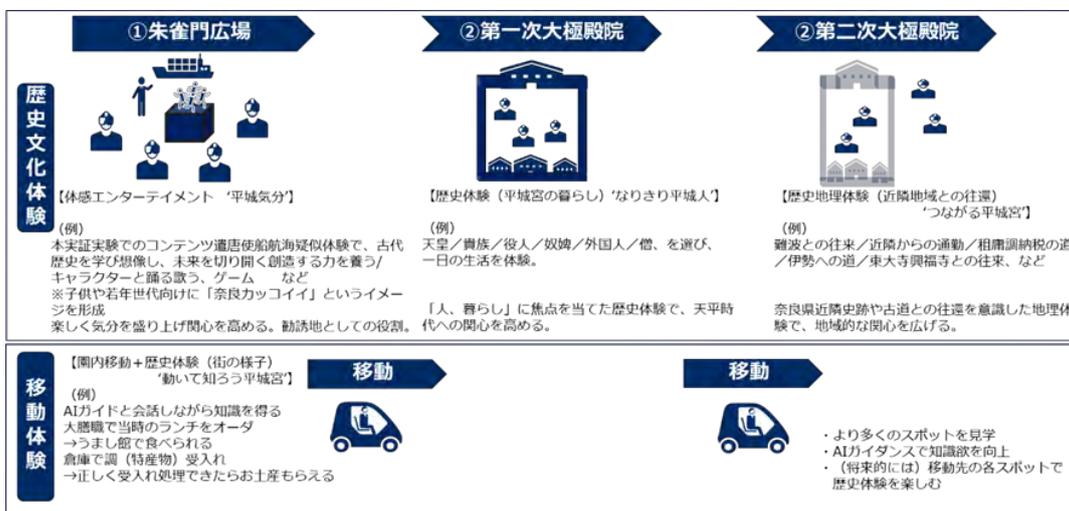


図 6.2.2-4 観光ソリューション内容

(2) 歴史公園におけるローカル5G基地局設置・運用のノウハウソリューション

本実証実験にて、文化財保護法等の条件下でのアンテナなどの設置におけるローカル5G基地局設置のノウハウを取得した。このノウハウを基に、本実装を通して、平城宮跡歴史公園をはじめとする全国の歴史公園におけるローカル5G基地局設置・運用のノウハウソリューションとして構築し、今後の横展開に活用していくことを想定する。

なお、当該ソリューションのローカル5Gシステムは、6.1.2 実装・横展開における制約条件等に示した通り、屋外での利用のため、周波数帯 4.8～4.9GHz での再構築が必要になる。また、6.2.1.2 本事業で開発した課題解決システムの実証終了後の継続的利用の見通しの 6.2.1.2 (2) 課題－技術面に示した通り、NSA 構成では地域 BWA の干渉波を受けられる可能性があることにより LTE を使用しないため、地域 BWA の干渉波を受けない SA 構成を検討する必要がある。

6.2.2.4 運営体制と役割分担

奈良県は、歴史体験学習館は、管理団体（SPC または指定管理などを想定）による運営（予定）を想定している。図 6.2.2-5 に示すように、危機管理を含めた運営は管理運営事業者が行い、コンテンツ提供企業（今年度実証コンソ）がコンテンツの提供を行う。コンテンツとりまとめを広告代理店が、コンテンツの提供、ローカル5Gの提供として本実証実験の実施メンバが、その他ネットワークの提供をステークホルダの地域ネットワーク事業者が担うことが想定できる。

奈良県にて本事業を実装していくにあたり、地域でのネットワーク運営を円滑に遂行するために、地域でネットワーク事業を展開している事業者に参加してもらうことが肝要と考えている。

奈良県地域では、県下全域に地域でネットワーク事業を展開している KCN 社があり、令和2年度の実装・横展開検討の活動の中で、KCN 社に対して、ローカル5Gネットワーク運営を含めて本事業に協力いただけるかの打診を開始した。

KCN 社からは、地域でのネットワーク整備の一環でローカル5Gにも関心を持っているとのことで、前向きに検討いただけるとの回答を頂いており、令和3年度の基本方針策定の活動の中で、KCN 社との間でローカル5Gネットワークの運営についての協議し、令和3年度中に合意できるよう進めていく。

想定する連携スキームとしては、NEC がローカル5G機器を供給し、KCN 社でその機器を使用してネットワーク運営を行っていく形を想定している。NEC からの機器供給や KCN 社での構築・運用のスケジュールについては、令和3年度の基本方針策定の中で合わせて検討していく。

また、KCN 社が構築するローカル5Gネットワークは、歴史文化体験や移動体験の他にも、防災や公園管理業務等での利用も想定できることから、NEC と KCN 社が共同で、多用途でのローカル5G活用について検討し、地域での活用を進めていく。

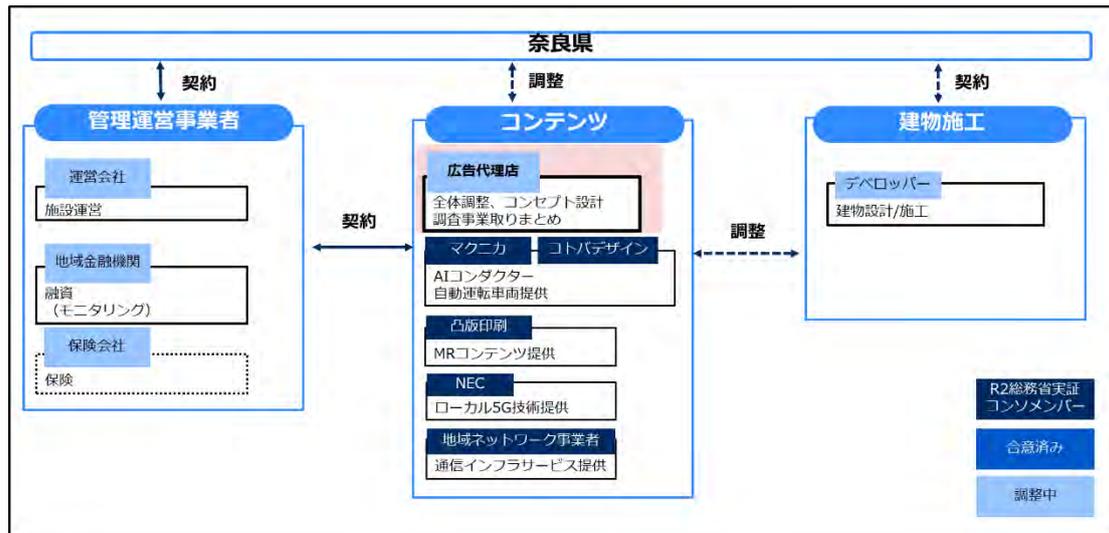


図 6.2.2-5 実装想定運営体制（案）

運営は下記の役割を担う。

- 歴史体験学習館を含む平城宮跡歴史公園の運営事業者
- 機器管理
- ローカル5G電波免許（以下のいずれかで取得し、取得時にはローカル5G技術提供者が申請の支援を行う）
 - ・ 平城宮跡歴史公園の県営エリアでサービスを実施する場合
 - 平城宮跡歴史公園の県営エリアを保有する奈良県で免許を所得
 - 県からシステム構築の依頼を受けた地域ネットワーク事業者が免許を取得
 - ・ 平城宮跡歴史公園の県営エリアと国営エリアに渡ってサービスを実施する場合
 - 平城宮跡歴史公園の県営エリアを保有する奈良県が、国営エリアを保有する国交省公園事務所から依頼を受けた上で、県営エリアと国営エリアを一体で免許を取得
 - 平城宮跡歴史公園の国営エリアを保有する国交省公園事務所が、県営エリアを保有する奈良県から依頼を受けた上で、県営エリアと国営エリアを一体で免許を取得
 - 県および国交省公園事務所からシステム構築の依頼を受けた地域ネットワーク事業者が県営エリアと国営エリアを一体で免許を取得

電波免許の取得者の差異を表 6.2.2-3 に示す。

表 6.2.2-3 電波免許の取得者の差異

サービス展開するエリア	免許取得者	位置付け	利用形態	メリット・デメリット
平城宮跡歴史公園 県営エリア	奈良県	平城宮跡歴史公園の県営エリアを保有。	自己土地利用	免許取得のノウハウを持たない。
	県からシステム構築の依頼を受けた地域ネットワーク事業者	土地所有者からのシステム構築依頼。	自己土地利用 (委任)	免許手続き、無線エリア設計、事業者間調整、無線設備の保守・運用等の無線ノウハウを保有。 光回線など、地域ネットワーク業者が所有するネットワークと接続の検討が容易。
平城宮跡歴史公園 県営エリア＋ 国営エリア	奈良県	平城宮跡歴史公園の県営エリアを保有。 国営エリアについては国交省公園事務所からの依頼。 自己土地利用＋自己土地利用(委任)。	自己土地利用 ＋ 自己土地利用 (委任)	免許取得のノウハウがない。 国交省公園事務所と奈良県との間での連携した施策調整。
	国交省公園事務所	平城宮跡歴史公園の国営エリアを保有。 県営エリアについては奈良県からの依頼。 自己土地利用＋自己土地利用(委任)。	自己土地利用 ＋ 自己土地利用 (委任)	免許取得のノウハウがない。 国交省公園事務所と奈良県との間での連携した施策調整。
	県及び国交省公園事務所からシステム構築の依頼を受けた地域ネットワーク事業者	土地所有者からのシステム構築依頼。	自己土地利用 (委任)	国交省公園事務所と奈良県との合意が必要。 免許手続き、無線エリア設計、事業者間調整、無線設備の保守・運用等の無線ノウハウを保有。 光回線など、地域ネットワーク業者が所有するネットワークと接続の検討が容易。

6.2.2.5 マネタイズの方法（補助金の活用含む）

本事業で想定される費用は以下の通りである。

- ハードウェア及びソフトウェアの初期費用、ローカル5G免許申請費用
- 運用等のランニング費用（ローカル5G電波利用料を含む）

マネタイズとしては、初期費用は奈良県の歴史体験学習館の予算を想定している。ランニング費用は、運営事業者の負担として下記からの収入を想定している。

- MRによる歴史文化体験及びAIコンダクター体験の利用者からの利用料
- AIコンダクターによる誘導で利用した園内及び近隣の飲食店や物販店から、アフェリエイト的に売り上げの一部（数パーセント）を徴収
- MR技術やAIコンダクターによる観光地集客力向上を考慮して県（及び国交省公園事務所）が運営費用の一部を負担

以下、表 6.2.2-4 に実証実験でのアンケート結果から算出した個人利用時利用料を、表 6.2.2-5 に団体利用時利用料を示す。

表 6.2.2-4 個人利用時利用料試算

	想定年間収入額	説明
MR 歴史文化体験	単価：2,000 円/人 土日：6 人体験×3 回×2,000 円/人 =36,000 円 （体験者と回数は、想像で仮置き） 平日：4 人体験×2 回×2,000 円/人 =16,000 円 （体験者と回数は、想像で仮置き） 土日を 8 日/月、平日を 20 日/月とすると、608,000 円/月 年間：7,296,000 円	歴史文化体験の価格は、アンケート調査によると 1,000 円との回答の割合が高かったが、より充実した内容であれば美術館・博物館の企画展の入場料と同程度の 2,000 円以上を支払うと回答した体験者が約 28%いたことから、実際にサービス提供する際には、コンテンツを拡充することを想定して企画展入場料と同程度の 2,000 円と設定した。
移動体験	単価：一日チケット 1,000 円/人 土日：40 人×1,000 円/人 =40,000 円 平日：15 人×1,000 円/人 =15,000 円 土日を 8 日/月、平日を 20 日/月とすると、620,000 円/月 年間：7,440,000 円	アンケート調査によると 1,000 円との回答の割合が高かった。 チケット購入者数は、仮置きである。

※上記はあくまでも仮定の数値に基づいた試算です。

表 6.2.2-5 団体利用時利用料試算

前提	<ul style="list-style-type: none"> 東京都区の中学校のうち、36.9%が修学旅行先で奈良県を訪問。 (奈良市観光入込客数調査) 中学校の平均生徒数：1学年当たり約100名、1クラス当たり約28名 (文科省学校基本調査 調査結果の概要(初等中等教育機関、専修学校・各種学校)) 奈良県の修学旅行シーズンは、4月中旬～12月中旬の8ヶ月とする。 (奈良県宿泊統計情報から推測) 奈良市東京観光オフィスでは、中学校の修学旅行誘致の際に、夜間拝観を提案する等、宿泊での滞在を提案している。 	
	想定年間収入額	説明
MR 歴史文化体験	28人/団体×1,500円/人× 12団体/月=504,000円/月 年間：504,000円/月×8ヶ月 =4,032,000円/年	中学生の修学旅行のうちの1クラスが体験すると仮定した。 ・利用数は、月12団体(週3団体)と仮定した。 料金は学生団体割引価格を設定。 MR 歴史他文化体験 75% で設定。 (個人利用時 表 6.2.2-4) 2,000円/人-->1,500円/人
移動体験	[修学旅行] 100人/団体×500円/人× 12団体/月=600,000円/月 年間：600,000円/月×8ヶ月 =4,800,000円/年 [校外学習] 100人/団体×500円/人× 8団体/月=400,000円/月 年間：400,000円/月×8ヶ月 =3,200,000円/年 [移動体験合計] 8,000,000円/年	中学生の修学旅行で全クラスが利用すると仮定した。 ・利用数は、月12団体(週3団体)と仮定した。 関西の小中学校の校外学習でも使用すると仮定した。 ・利用数は、月8団体(週2団体)と仮定した。 料金は学生団体割引価格を設定。 移動体験 一日チケット 50%で設定。 (個人利用時 表 6.2.2-4) 1,000円/人-->500円/人

※上記はあくまでも仮定の数値に基づいた試算です。

出所)

奈良市観光入込客数調査 <https://www.city.nara.lg.jp/uploaded/attachment/118750.pdf>

文科省学校基本調査

https://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa01/kihon/kekka/k_detail/1407849.htm

奈良県宿泊統計情報 <http://www.pref.nara.jp/secure/54490/houkoku21.pdf>

6.2.2.6 経済性、運用・管理等に係る仕組みや方法（他地域への活用）等

歴史体験学習館単体での運用ではなく、平城宮跡歴史公園エリア（歴史体験学習館体験館、既設エリア、新設南側エリア）を纏めての運用により運用の効率化を図り事業性を確立する（図 6.2.2-5）。

6.2.2.7 詳細の前提条件

本実装における前提条件として、下記の事項があげられる。

- 文化財保護法等の規定により、建造物設置等の現状変更が困難である。
- 課題解決システムの実現が 5 年後となるため、それまでの ICT の技術変化に対応したコンテンツ、システムの改修を、実装である歴史体験学習館のコンテンツ基本設計の際に別途検討する。

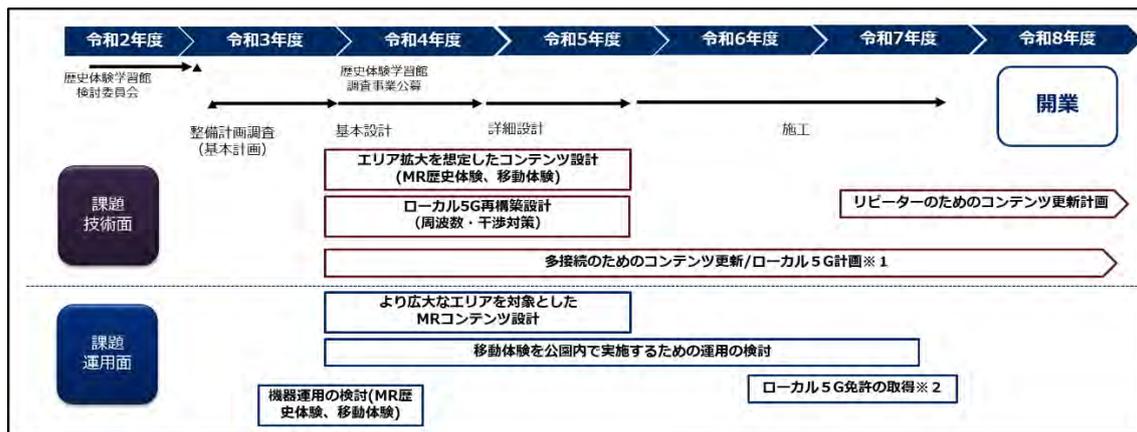
6.2.3 実装計画

令和 8 年の歴史体験学習館での実装を見据え、奈良県が計画しているコンテンツ基本設計の工程への参画を目指して、今回の実証実験の結果を反映したソリューションを設計し、その後実装につなげる。6.2.1.2 本事業で開発した課題解決システムの実証終了後の継続的利用の見通しで示した技術課題、運用課題は、この設計、実装のフェーズで取り組む。

マネタイズや体制構築についても、運営の設計、実装フェーズで実施する。また、この設計、実装に併せて、それぞれのソリューションのパッケージ化を目指し、横展開に活用する。図 6.2.3-1 に実施計画を、図 6.2.3-2 に 6.2.1.2 本事業で開発した課題解決システムの実証終了後の継続的利用の見通しで示した課題の解決検討計画（案）を示す。



図 6.2.3-1 実装計画（案）



※1 開業に向けて多接続の課題に取り組むが、開業後も継続的に改善に取り組む
 ※2 実験のための免許は、状況に応じて開業後に使用する免許に含める場合と、実験局免許を別に取得することが考えられる。

図 6.2.3-2 課題計画（案）

6.2.4 その他考察

(1) 実験試験局と運用時利用する無線局免許申請の相違、及びその理由

実証実験の際の免許は、実験試験局として NEC が取得している。実運用時には商用利用となるため、開業までに、平城宮跡歴史公園の県営エリアを保有する奈良県、または国営エリアも含め県と国交省公園事務所とが共同で電波免許を取得、または県（及び国交省公園事務所）から委託を受けた地域ネットワーク事業者（仮）のいずれかが商用局免許を取得する必要がある。また、実運用時の準備期間は、イベントのスポット開催等の再検証のために免許を取得する必要があるが、実験試験局免許／商用局免許のいずれかを取得する。

表 6.2.4-1 実験試験局と運用時利用する無線局免許の相違

	実証実験時	実運用時
免許の種類	実験試験局免許	商用局免許
周波数帯	4.6～4.9GHz 帯	4.6～4.9GHz 帯
取得時期	令和 3 年 1 月～令和 3 年 5 月	令和 8 年度歴史体験学習館開館までに取得 (必要に応じて事前検証が必要な場合は、その期間も含む)
免許取得者	NEC	平城宮跡歴史公園の県営エリアを保有する奈良県または、国営エリアも含め県と国交省公園事務所とが共同で電波免許取得または県（及び国交省公園事務所）から委託を受けた地域ネットワーク事業者（仮）のいずれか

実証実験時には、実験であり、免許申請時点では周波数 4.6～4.9GHz 帯は実験試験局免許のみ取得可能であったため、実験試験局免許を取得した。令和 2 年 12 月より、4.5GHz 帯の商用局免許取得も可能となったため、実運用の場合は商用局免許の取得が必要であり、取得しなおすことが必要である。

6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討

本実証実験及び、6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定での検討結果を踏まえ、以下のような普及モデルを本コンソーシアム参加事業者が今後提案を進めるための仮説として検討した。

6.3.1 普及モデル（他地域への展開）

6.3.1.1 想定ターゲット（地域・市場・ユーザ）

実証実験でのアンケートによると、年代にかかわらず 9 割以上の利用者が県内の他のエリアでも同様のサービスがあれば利用したいとの回答が得られた。

特に、新たな歴史文化体験は奈良公園で利用したいという利用者が 58%、飛鳥歴史公園では同 49%、藤原宮跡では同 38%と、約 4 割の人が体験を希望しており、県内の横展開先としての需要が見込めそうである。また、高取城、安土城、大阪城等の城郭や、纏向遺跡等の遺跡等、平城宮跡と同様な歴史的な観光資産での体験を希望する利用者もあり、MR による歴史文化体験への期待を感じられた。さらには桜の咲いていない時期の吉野山での花見等、現実とバーチャルを融合する MR ならではの体験を希望する声も聞かれるなど、新しい形での観光体験を提供することが見込める。

横展開に資する普及モデルでは、下記を想定ターゲットとする。

(1) 奈良を訪問する観光客に提供するサービス

奈良市、奈良県内のエリアに展開することで点在する観光資産の魅力や価値を向上させ、観光客の周遊化の向上を図る。

ターゲットとなるエリアは、下記を想定している。

1) 平城宮跡・西ノ京・奈良公園エリア

奈良市内 3 エリアでの各エリア内、及びエリア間を周遊する観光客が利用する。約 1 日の利用を想定している。

2) 奈良県広域での利用

奈良市内 3 エリアに加えて、飛鳥、吉野、斑鳩、橿原、宇陀等の県内広域エリアを周遊する観光客が利用する。1 日～3 日に渡る利用を想定している。

(2) 奈良県以外にある歴史公園でのサービス

下記条件に合致する地域課題を有する地域への展開にて効果を期待できる。

- 現存する建造物等を十分に整備できず、観光価値を伝えきれなかった観光地
- 建造物が広く大きい、点在しているなど移動を必要とする観光地

- 文化財保護法等の規定により、建造物設置等の現状変更が困難な歴史文化施設

6.3.1.2 事業モデル

(1) 対象となるシステム（普及に資するソリューションやビジネスモデル等のパッケージ）

実証実験でのアンケートによると MR 歴史体験、AI コンダクターによる移動体験により、地域課題の解決に効果を期待できる回答をえられた。

下記システムをパッケージ化して組み合わせて活用を想定する。

- A) MR 技術を活用した新たな歴史文化体験パッケージ
 - MR 歴史文化体験ソフトウェア
 - 体験シナリオ設計ノウハウ
 - 運用・保守ノウハウ
- B) AI コンダクターによるパーソナライズガイドパッケージ
 - パーソナルガイドソフトウェア
 - ガイドスクリプト設計ノウハウ
 - 運用・保守ノウハウ
- C) 歴史公園におけるローカル 5 G 基地局設置・運用のノウハウパッケージ
 - 歴史公園エリアでの基地局設計（高さ、景観対策等）のノウハウ
 - 景観制約のある風致地区でのアンテナ設置に向けた手続きガイド
 - 機器選定情報、運用・保守ノウハウ

組み合わせとしては以下のパターンが考えられる。

- A+B+C：本実証と同一の地域課題を有する地域への展開
- A+C：歴史文化施設の魅力 UP の地域課題を有する地域への展開
- B+C：移動を伴う事の地域課題のみを有する地域への展開

C：公園等の平城宮跡歴史公園に類似するロケーションにおいて、歴史文化体験や AI コンダクター以外の地域課題に対して、ローカル 5 G の高速通信を活用し課題解決を目指す地域への展開を行う。例えば、公園での防災や防犯を目的とした情報送受信、屋外コンサート等での映像配信、園内を走行する自動運転車制御等である。

(2) 詳細の前提条件（実証地域やユーザ等の固有な要因や実証環境との関係等）

奈良県を訪問する観光客に提供するサービスの場合は、調達機器の共通・共有管理、コンテンツ開発の共通化などボリューム化による運用効率化を目的として、平城宮跡歴史公園と一体運営することが効果的かどうかを検討する（効果なしと判断した場合は、個別運営を選択する場合もあり）。

検討過程において対象とするシステムのパッケージ化を図り、他地域への展開移行を検討する。

奈良県以外にある歴史公園でのサービスの場合は、展開先の固有な要因や実証環境に合わせてカスタマイズが必要となるため、システム自体の可用性、拡張性を考慮しながらパッケージ化を進める必要がある。

(3) 標準モデル（機能要件・非機能要件、ネットワークシステム構成、業務・処理フロー、運用ノウハウ、実装方法・手順）

本実証実験の実証環境をモデルとして考える。

1) 機能要件

ローカル5Gネットワーク環境下でMR技術及びAIコンダクターを使用した観光ソリューションを提供する。

実用化に向けては、下記課題の解決も必要と考え、今後のICT技術の変化を取り入れて対応していく見込みである。

- ・ 同時接続数（想定する利用者ターゲットの単位分）の拡大
- ・ アンテナ間のハンドオーバー機能実装

2) 非機能要件

本実証実験における「新型コロナウイルスの感染拡大防止対策」をさらに推し進め、安心・安全を確保する運用形態の確立が必要である。

3) ネットワーク構成

本実証実験では、NSA構成で地域BWAとの電波干渉による影響を受ける結果となってしまい、干渉問題に対する課題を解決する必要がある。

解決策として以下が考えられる。

- 制御信号を発するLTEを干渉先の地域BWAネットワークを利用することで回避
- 制御信号を干渉対象のLTEを使用しないSA構成への変更することで回避

- 業務・処理フロー
- 運用ノウハウ
- 実装方法・手順

本事象実験で結果として効果があった事項に加え、課題として挙げられた事項に関してさらに検討してパッケージ化を進める必要がある。

検討過程において対象とする建造物の在り方、コンテンツの構築方法、運営の在り方をひとまとめのシステムとしてパッケージ化を図り、他地域への展開移行を検討する。

6.3.1.3 想定される導入効果

今回の実証システムを横展開することで、隠れていた観光価値を顕在化させて観光客を集め、各地の観光産業の活性化し波及効果を期待できる。

平城宮跡におけるイベント実施により、図 6.3.1-2 に示すような効果が期待できる。

平城宮跡におけるイベントを実施することで、想定される周辺の産業の波及効果について推測。

■前提

- MRイベント参加者を10名×3回/日×3カ所（朱雀門、第一次大極殿院、第二次大極殿院）とする。
※総務省実証を1回5名以上×3回/日と設定していることに基づく
- 年中無休運営
- MRイベントの全体参加者は3カ所すべて回っている人も考慮し、45名/日の観光客増加とする。
※上記（10名×3回/日×3カ所）の1/2、移動体験により周遊化が図れていることを前提におく

効果	推定増加数	推定売上増加数
交通 電車、バス等の乗客者数増加	イベント参加者の半数が利用と想定。 年間約8,200名増 ※45名×50%×365日	交通費平均500円/人と仮定。 年間約410万円売り上げ向上 ※8,200名×500円
宿泊 夕方から夜にかけてイベントのため周辺ホテルでの宿泊率が向上	イベント参加者の3割が利用と想定。 年間約5,000名増 ※45名×30%×365日	宿泊費平均1万円/人と仮定。 年間約5,000万円売り上げ向上 ※5,000名×1万円
飲食 ホテル付近での夕食需要の向上	宿泊者数のうち5割が利用と想定。 年間約2,500名増 ※5,000名×50%	夕食費平均2500円と仮定。 年間約630万円売り上げ向上 ※2,500名×2500円
土産 イベント間の空き時間、移動体験による移動時間の短縮により立ち寄り客の向上	イベント参加者の6割が立ち寄りと想定。 年間約9,800名増 ※45名×60%×365日	立ち寄り客中4割が購入、平均3000円と仮定。 年間約1200万円売り上げ向上 ※9,800名×40%×3000円

図 6.3.1-2 波及効果例

体験者アンケートによると、藤原宮跡などの遺構、高取城や安土城等の城郭、纏向遺跡等の遺跡等での利用希望があった。これらは平城宮跡と同様に建造物が十分でない観光資産であり、MRによる歴史文化体験への期待があると考えられ、観光価値の顕在化による観光活性化への波及が期待され、同様な導入効果が得られると考える。

(1) 課題と対応策（展開想定される課題と対応策等の運用に必要なノウハウ等）

奈良県を訪問する観光客に提供するサービスの場合、貸出機器の管理（消毒を含めたメンテナンス）、回収方法など課題解決システムに係る仕様・設計書等、歴史体験学習館の計画・設計を通して横展開のための仕様書や設計書の整備やソリューションのパッケージ化を実施する予定である。

具体的な課題と対応策は以下の通りである。

- 端末機器が故障時した際の対応として予備機材を保有する必要があり、複数の展開先で共有を検討し限られた個数で有効活用を図る。
- 実証実験であった夜間に限定しない・昼間の利用ケースも期待される。天候、気温など自然環境の変動に対応する必要があり、外部環境の変化に耐えうるデバイス機器の技

術発展を常にウォッチして機器選定を行う。

- 端末機器を繰り返し利用するため、充電、消毒などのメンテナンスが必要となり、省電力化機器の選定、短時間での充電方法の確立、MR グラスの抗菌仕様化、簡略化した消毒方法の活用を検討する。
- 端末機器の事前チェック、貸出し、返却に関して人手の確保が必要となり、コンテンツの事前説明は MR グラスを通して実施することにより、事前チェックの利用者のセルフチェック化、スマートフォンと連動した貸出、返却のセルフ化を検討する。
- AI コンダクターに関しては違和感を覚えさせないように、受け答えや挙動判定の精度をさらに向上させる改良する。
- 海外からの観光客に対応する必要がある、AI コンダクターを多言語対応する。

6.3.2 推進対応方策

- 推進に資する仮説

平城宮跡歴史公園を始めとする歴史公園や歴史的観光スポットでは、文化財保護法等の規定により、建造物設置等の現状変更はハードルが高く、観光地としての魅力を向上するのに苦労している。

また、観光スポットは必ずしも都市部にあるとは限らず、通信事業者による 5G 整備が遅くなる可能性が高く、5G による高度な通信を行うためには、自営でローカル 5G を敷設する必要がある。

- 具体的な対応方策

これらの観光地域向けに、MR による歴史文化体験や AI コンダクターによるパーソナライズガイドをパッケージ化して横展開。各地の環境に合わせてソリューション全体での適用、一部のみの適用と柔軟な対応を可能なシステム構成とする。

ローカル 5G 環境の構築・運用に関しては、免許申請の支援を含めた構築サポート及び保守サポートをパッケージ化して横展開を図る。

また、複数エリアでの 5G コアをクラウド上で共有化することで、初期コスト及び拠点増設時の追加費用を抑えることを検討する。

さらに、3GPP で標準化された CUPS 仕様で接続可能なユーザデータ処理装置 (UPF) を利用することで 5G モバイルネットワークの迅速な構築が可能となることから、イベント会場など期間限定でネットワーク構築が必要となる場合の適用を検討する。

6.3.3 横展開計画

6.3.3.1 横展開の主体

- 歴史体験学習館の運営事業者主体での展開を想定
- サービスや事業展開等を通じた普及展開にむけた取組の考え方・ゴール

6.3.3.2 体制（主体・パートナー等）、事業スキーム

歴史体験学習館の事業の一環として図 6.2.2-2 に示す体制を想定している。

- 展開にあたっての課題及び対応策

奈良県を訪問する観光客に提供するサービスの場合は、平城宮跡歴史公園との一体運営を検討し、ボリューム化による運用効率化を検討する。

奈良県以外にある歴史公園でのサービスの場合は、展開先の固有な要因や実証環境に合わせてカスタマイズが必要となるため、システム自体の可用性、拡張性を考慮しながらパッケージ化を進める必要がある。パッケージ化したシステムをライセンス提供の形で展開を検討している。

6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討

6.4.1 5Gソリューションを構成する各種ソフトウェア、ハードウェアの具体的な提供イメージ、提供スキーム案

5Gソリューションを構成する各種ソフトウェア、ハードウェアの提供イメージを、図 6.4.1-1 に示す。PMO から提示されたアプリケーション領域、通信制御領域、機器制御領域に分類して考えた。

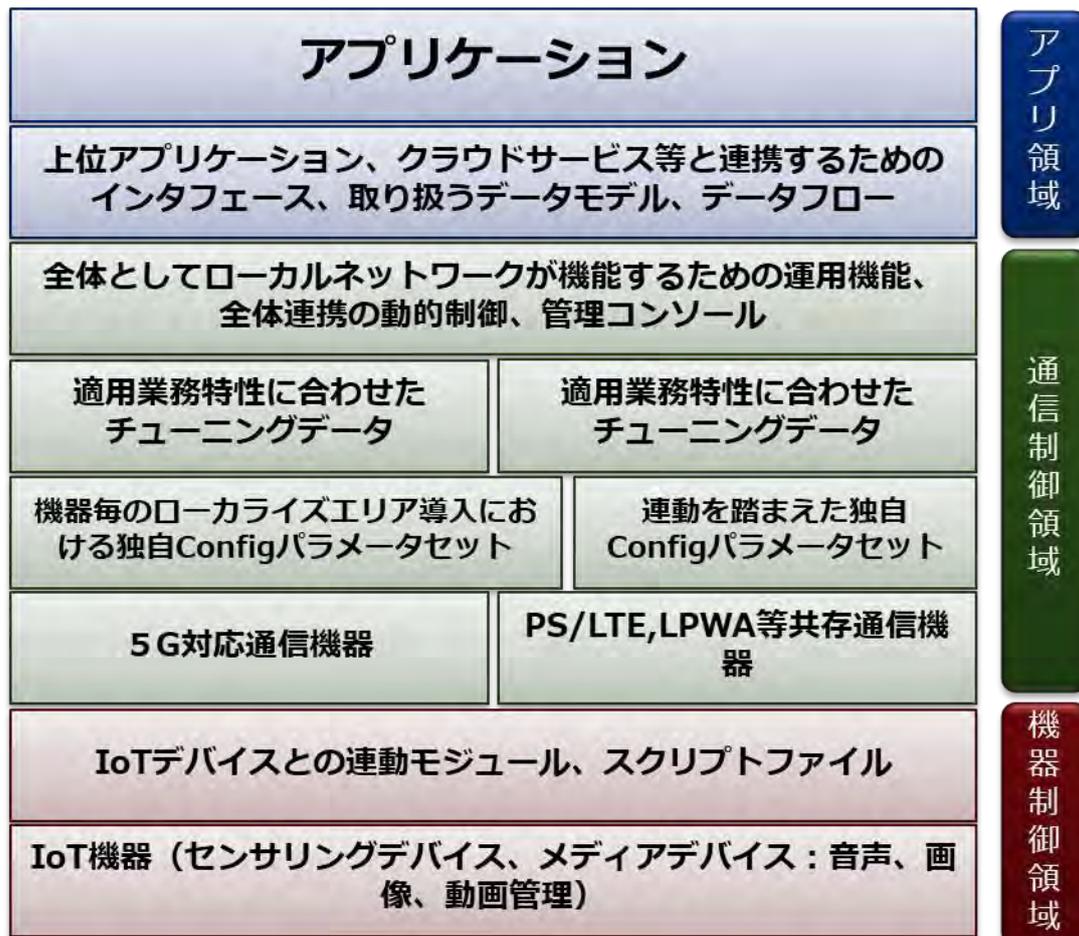


図 6.4.1-1 ローカル5Gソリューション提供イメージ

ローカル5Gソリューションを構成する各種ソフトウェア、ハードウェアの具体的な提供イメージ例を以下に示す。

(1) ローカル5Gシステム

図 6.4.1-2 にローカル5Gシステムの提供イメージを示す。

ローカル5Gシステムはコア、CU/DU、RU、アンテナ、端末及び光/LAN回線、スイッチ等の機器から構成される。機器を提供することのほか、各機器の設定、チューニングを

行う。

ローカル5Gシステムは、図 6.4.1-1 の通信制御領域に該当する。

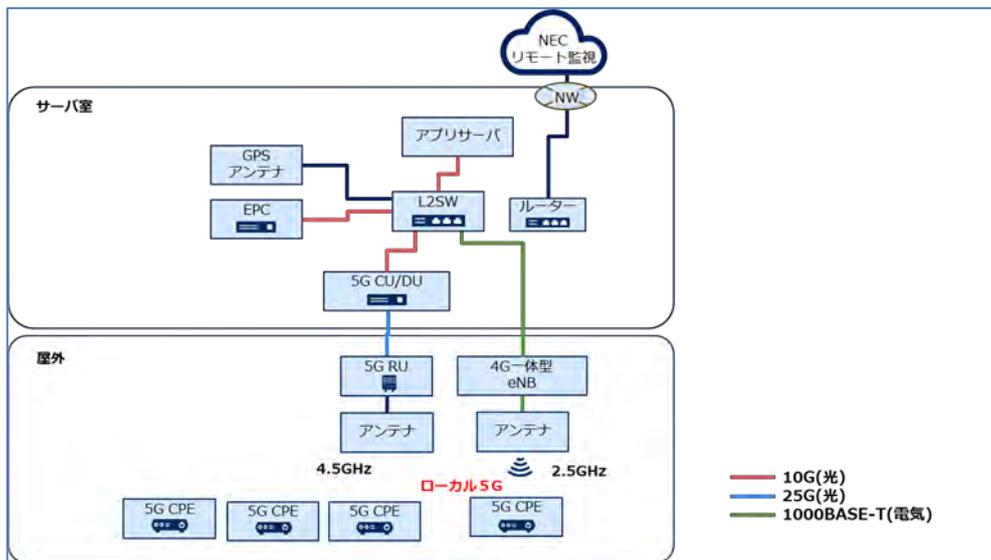


図 6.4.1-2 ローカル5Gシステム構成例

3章で示す本実証実験でのローカル5Gシステムも上記ローカル5Gシステムの一例に該当する。

(2) MR 歴史体験

図 6.4.1-3 に MR 歴史体験の提供例を示す。

MR 歴史体験は、体験者同期管理サーバ、コンテンツ配信サーバ、MR デバイスアプリケーション、MR デバイスから構成される。これらを使用し、現実空間と仮想空間が融合した新しい歴史文化体験を提供する。

MR デバイスで取得した位置情報やハンドジェスチャー情報を体験者同期管理サーバが収集し、体験者の位置等把握し、その内容に応じたコンテンツをコンテンツ配信サーバから配信、体験者が装着する MR デバイスで表示をするシステムである。MR 歴史体験は、図 6.4.1-1 のアプリケーション領域、機器制御領域に該当する。

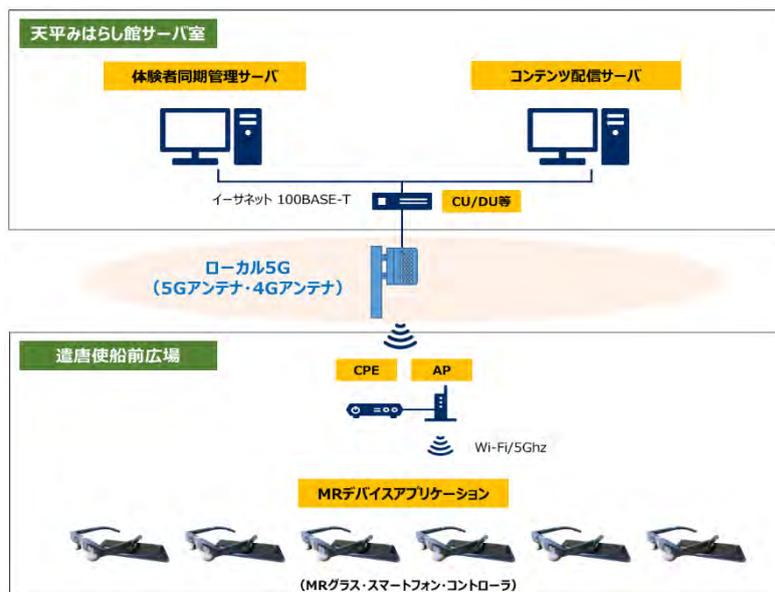


図 6.4.1-3 MR 歴史体験例 (図 4.3.1.11 再掲)

4.3.1 で示す本実証実験での「新たな歴史文化体験」も上記 MR 歴史体験の一例に該当する。

(3) AI コンダクター

図 6.4.1-4 に AI コンダクターの提供例を示す。

AI コンダクターはリアルタイム解析エンジン、メッセージ制御、対話エンジンからなるサーバ、STT (Speech-to-Text: google の自動音声認識)、カメラ、マイク、スピーカ、TTS (Text-to-Speech: googol の音声合成) により構成されるシステムである。

ユーザ側のカメラ、マイクから映像データ、音声データがサーバに送られ、リアルタイム解析エンジンで STT を使用して解析され、メッセージ制御、対話エンジンにテキストデータが送られる。またクラウドの自動運転プラットフォームから自動運転車の制御情報がテキストで送られる。メッセージ制御からスピーカ側の TTS にデータを送り音声再生される。

AI コンダクターも、図 6.4.1-1 のアプリケーション領域、機器制御領域に該当する。

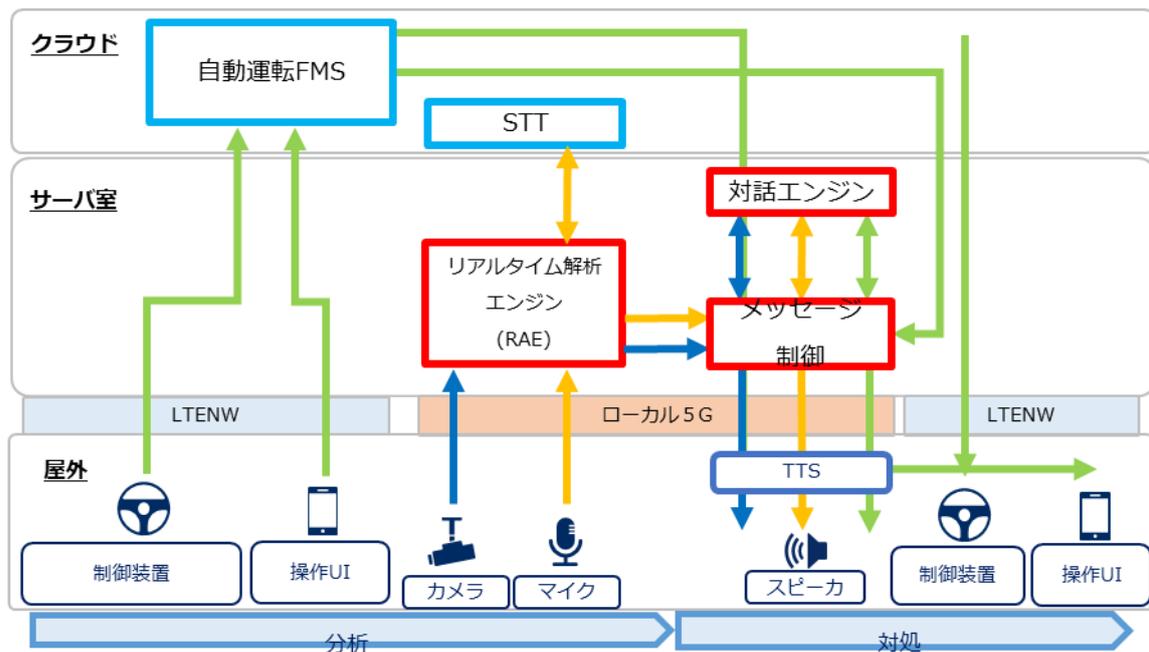


図 6.4.1-4 AI コンダクター例

4.3.2 で示した、本実証実験での「新たな移動体験」も上記 AI コンダクターの一例に該当する。

6.4.2 既存の製品や知的財産を導入する際のパターンやビジネススキーム

(1) 通信制御領域であるローカル5Gソリューション

前項で記載した提供スキーム案のうち、図 6.4.1-1 内の通信制御領域であるローカル5Gソリューションを導入する際のパターン、ビジネススキームの一例について以下に示す。

調査・企画段階のコンサルティングから、導入工程の構築や無線免許申請支援、お客様に代わりシステム運用など、ローカル5Gの企画、導入から運用まで広範囲に渡りサービス型で提供が考えられる。フェーズ毎の提供サービス例を図 6.4.2-1 に示す。



図 6.4.2-1 ローカル5G提供サービス例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>、2021年3月15日取得

各サービスの詳細内容を以下に示す。

a) コンサルティングサービス

ローカル5Gを構築する準備段階に必要な企画・要件定義から電波測定、5G端末検証、実証実験を提供し、お客様のニーズと現地環境に応じた最適なネットワークサービスと今後の進め方を提案が考えられる。各サービスの内容例を図 6.4.2-2 に示す。

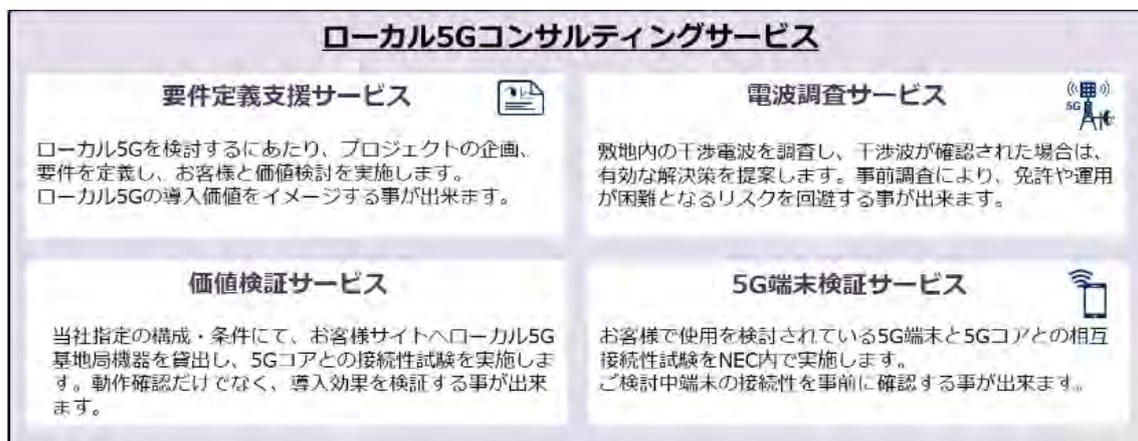


図 6.4.2-2 ローカル5Gコンサルティングサービス内容例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>、2021年3月15日取得

b) インテグレーションサービス

ネットワークのスペシャリストが無線局免許の取得支援から、ネットワーク構築に至る現地調査、設計、検証を行い、信頼性の高い、安全・安心なネットワークを構築する。5G基地局のラインナップに Sub6 (4.7GHz) 帯域対応の SA 型を加え、お客様の最適なネットワーク構築と運用に貢献すると考えられる。各サービスの内容例を図 6.4.2-3、図 6.4.2-4 に示す。

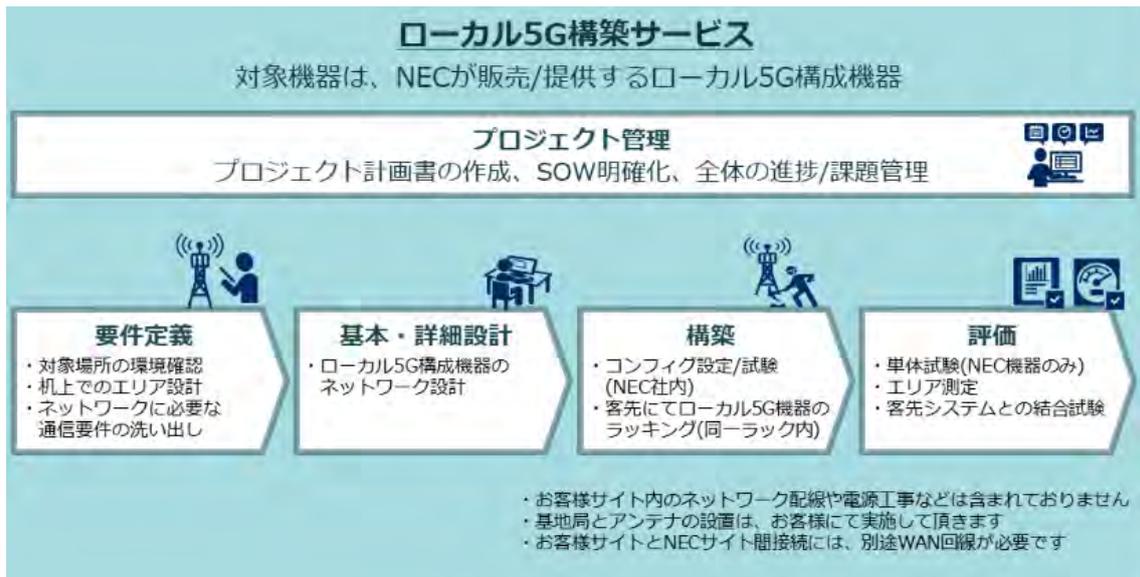


図 6.4.2-3 ローカル5G構築サービス内容例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>、2021年3月15日取得

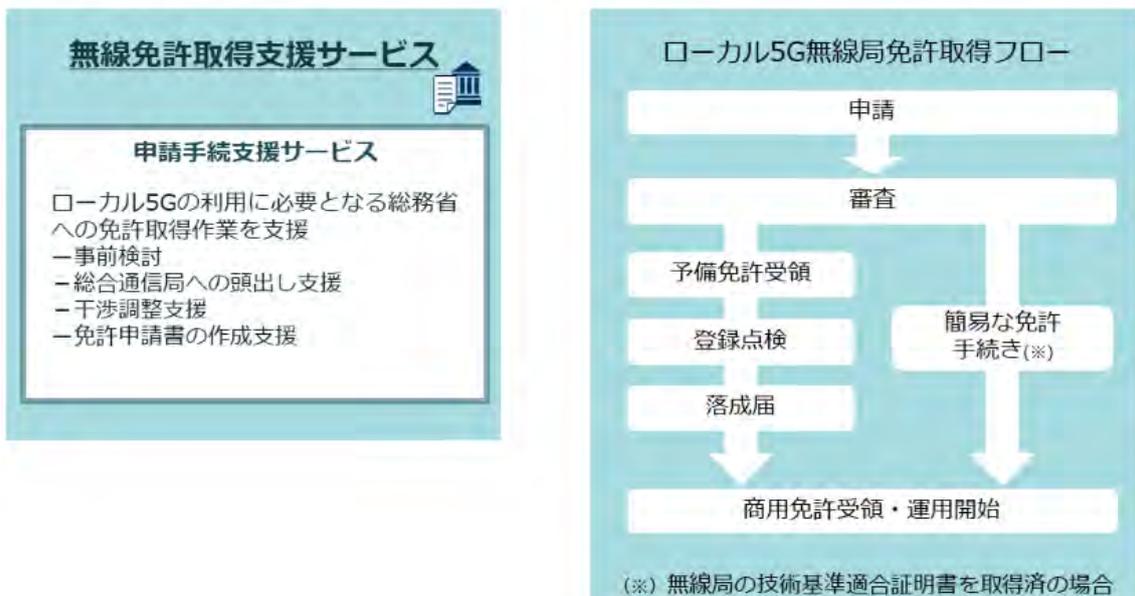


図 6.4.2-4 無線免許取得支援サービス内容例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>、2021年3月15日取得

c) マネージドサービス

ローカル5Gネットワークの常時監視（24時間 365日対応）や問い合わせ対応、保守手配・復旧対処といった運用に関する業務をサービス提供する。また、コアネットワーク、基地局といったローカル5Gシステムを構成する機器と保守サービスをセットで月額料金にて提供するメニューを用意して、初期投資の抑制に貢献すると考えられる。各サービスの内容例を図 6.4.2-5 に示す。



図 6.4.2-5 ローカル5Gマネージドサービス内容例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>、2021年3月15日取得

お客様のニーズに応じて、エントリーパック、スタンダードパックの2種類の提供を行う。また、5G基地局機器については、お客様の初期投資を抑えることができるサブスクリプション型サービスの提供を考えられる。メニュー内容例を図 6.4.2-6 に示す。

<p>ローカル5G エントリーパック</p>	<p>5Gコア、お客様主体のネットワーク運用を支援</p> <p>5Gコア 復旧支援</p> <p>保守窓口、リモート切り分け、保守手配・復旧対処 アラート検知や異常申告等のインシデントの管理実施</p>
<p>ローカル5G スタンダードパック</p>	<p>5Gコア、ネットワーク運用をNECが対応</p> <p>5Gコア 運用管理</p> <p>ローカル5Gネットワークの稼働監視（24時間 365日） 問い合わせ窓口、リモート切り分け、保守手配・復旧対処 インシデント・問題・変更管理やネットワーク構成の管理</p>
<p>機器サブス サービス</p>	<p>ローカル5G基地局機器と機器保守をセットで提供</p> <p>機器提供 機器保守</p> <p>CU/DU(*1)、RU(*2)などのローカル5G機器を月額提供 障害時の機器交換対応</p>

*1: Central Unit/Distributed Unit: 5G基地局 集約部/リモート部
*2: Radio Unit: 5G基地局 無線部

図 6.4.2-6 マネージドサービスメニュー例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>、2021年3月15日取得

(2) アプリケーション領域、機器制御領域の導入

前項で記載した提供スキーム案のうち、図 6.4.1-1 内のアプリケーション領域、機器制御領域を導入する際のパターン、ビジネススキームの一例について以下に示す。

アプリケーション領域、機器制御領域の提供例としてとして、表 6.4.2-1 に示す環境での提供が考えられる。

表 6.4.2-1 アプリケーション領域、機器制御領域の提供環境例

環境	
クラウド型	クラウドのアプリケーションを使用する
MEC (Multi-access Edge Computing) 型	近隣地区で共有使用が可能なアプリケーションを使用する
現地型	オンプレミスのアプリケーションを使用する

本実証実験では、一部の機能を除き、現地型の構成で行われた(4章)。この場合、初期導入にコストがかかることが課題に挙げられる。

コストの課題対策として、一般的には、クラウドのアプリケーションを利用することが考えられる。しかし、ローカル 5G の性質である「大容量」「低遅延」「多接続」を考慮すると、クラウド型は必ずしも有用ではない。

そのため、MEC 型として、クラウドを利用するわけではないが、近隣地域で同じ機能を使う際に共有できる仕組みを提供することが望ましいと考える。

6.4.3 「5G ソリューション提供センター」の企画・設立展開に資すると思われる要素、提言

仕様書に記される、「5G ソリューション提供センター」の目的「「Beyond 5G ready」な環境に向け、多様なステークホルダによるローカル 5G 等を活用したユースケースを横展開を促進する取り組み」に沿って、「5G ソリューション提供センター」の企画・設立展開に資すると思われる要素について PMO 及びコンソーシアムで検討を行った。

「共同利用型プラットフォーム機能をユーザ企業・団体や開発主体等が容易に利用できるよう、当該プラットフォームが具備すべきモジュールや機能群、必要とされるインターフェース(API等)、データ連携仕様(フォーマット等)などに係る仕様案をとりまとめること。」が活動として想定されている

そのため、PMO とディスカッションして示された機能群などの仕様案の他、容易に利用できるよう取り組みが必要と考えた。

図 6.4.3-1 に、取りまとめる仕様案と、ローカル 5G を活用するプロセスから考えられ

る必要事項をあげた。

容易に利用できるために必要な要素は、プロセス標準化、人材育成の提供、人材・会社紹介、技術支援・コンサルタント、各産業が利活用できるような機器毎のユースケース収集・提示、DC の括りとしての導入・IF 収集・提示、規格・検証、設計・導入、運用監視・保守の各プロセスの手順や標準、3GPP や上位アプリケーション、IoT 規格の動向の提供、解説、英訳の提供、ハードウェア/バックボーンネットワークのシェアリングが考えられる。

また、ローカル5Gシステムは、規格である3GPPの版数により、提供できるネットワーク性能や機能が変わってくるため、各要素において、3GPP規格版数の明確化をすることも必要であると考える。

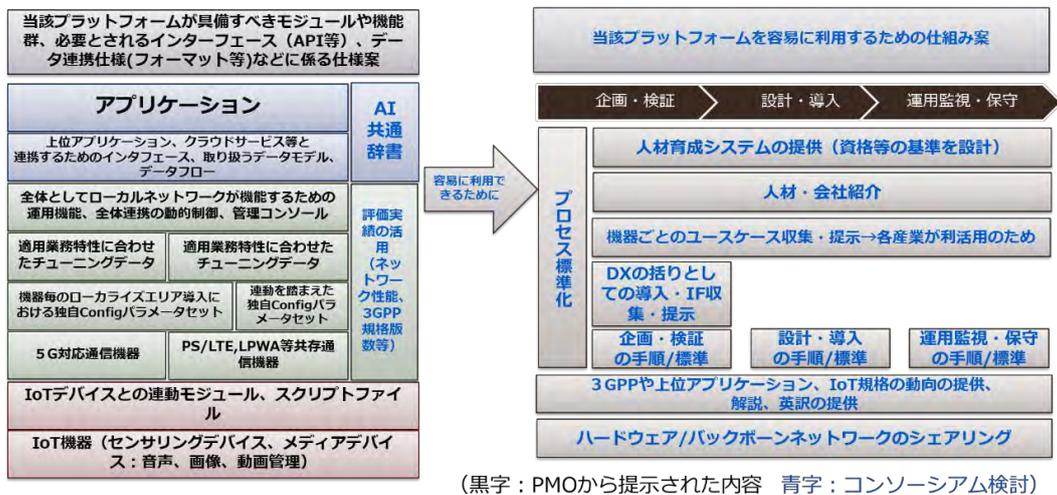


図 6.4.3-1 共同プラットフォーム機能必要事項

6.5 まとめ

実装及び横展開に関する検討では、関係者の意向を確認し、奈良県の歴史体験学習館の整備計画に沿った実装と、実装により課題解決システム、ローカル5Gシステムをパッケージ化したものを横展開することについて検討を行った。

本実証実験の対象地域である奈良県は、歴史文化を観光資産として活用した観光産業振興が重要な政策の柱となっているが、観光客は一部の観光ポイントのみに集中しており、「滞在時間が短い」、「宿泊客が少ない」状況から脱するため、県内の他観光ポイントの観光振興を図り周遊性を高めていくことを地域課題とした。また、新型コロナウイルス感染症の拡大による観光需要の減少も喫緊の課題とした。

このような地域課題のため、奈良県では令和8年度開業予定の歴史体験学習館を核とし、歴史体験学習館を玄関口として、奈良県内各地域への周遊を図る対策を検討している。当コンソーシアムでは、本実証実験で行ったMR歴史体験、AIコンダクターによる移動体験を組み合わせた平城宮跡歴史公園での体験を提供することで、地域課題の対策とすることを検討した。

実装にあたり、実証実験で判明した課題のほか、今後実装するために発生する課題として、技術面では映像コンテンツの追加、更新、ローカル5Gシステムの更新、運用面では自動運転やローカル5Gの免許取得の課題があり、その課題解決に向けた取り組みを令和8年の歴史体験学習館開業までに基本計画、基本設計、詳細設計、施工の各工程で実現していく。ローカル5Gの免許取得は、平城宮跡歴史公園の運営者が行い、本コンソーシアムで取得補助をしていく。また、本実証実験の課題解決システムをベースとしたコンテンツを本コンソーシアムで提供する。運営及び、実装の全体像自体は、今後奈良県が公募する歴史体験学習館の基本計画を実施する業者が決定していくので、本コンソーシアムとしても、この基本計画に参画できるよう働きかけることを想定している。

横展開では、実装で開発したコンテンツ及びローカル5Gの免許取得について、平城宮跡歴史公園以外の奈良県内の公園及び奈良県外の公園への展開を検討していく。コンテンツは、公園の状況に応じて、内容を複数のパターンにわけ、選択できるようにすることを考えた。運営については、奈良県内への展開は、平城宮跡歴史公園との共通化も考え効率化を図る。県外への展開は、カスタマイズを検討していく。

7. 会合等の開催（該当する活動がある場合）

以下の会合、広報活動を実施した。

- ステークホルダ各社との会合（表 6.1.1-1 を参照）
- コンソーシアム内部の会合（2020年11月19日 内部キックオフ、他）
- コンソーシアム各社連名でのプレス発表（2021年2月22日）
 - 日刊工業新聞（2021年2月24日）
 - 電波新聞（同2月25日）
 - 日刊自動車新聞（同2月25日）
 - 電経新聞（同3月1日）などで記事化
- 地元自治会への説明（2021年2月1日、同2月24日）
- 実証イベント（2021年2月26日～3月1日）

8. まとめ

技術実証、課題実証を通して以下の成果を得ることができた。

- 複数の体験者の MR グラスへ高精細映像を同時配信するため、一台あたりの下りリンクが 30Mbps を実現可能なネットワークシステムを構築し、複数体験者の場所移動やハンドジェスチャーによって変化するインタラクティブなコンテンツを共有する新たな観光体験を提供し、歴史文化への興味や理解度向上に有効であることを確認できた。
- AI コンダクターによるインタラクティブな観光ガイドシステムを実現し、観光客に対する MR 歴史体験の経験に沿った補足説明や周辺観光地の魅力を提示することで、周辺観光地への誘導等に有効であることを確認した。
- 観光施設内（屋外）における電波の伝わり方を測定し、電波の強さの変動の大きさを把握し、端末が安定的に高精細映像を受信できるように、基地局アンテナの高さや向きなどを調整する手法を整理した。
- 利用者が MR 端末を身につけることを想定し、人体による電波減衰量の平均値や最大値のデータを取得し、そのデータを用いて上記の手法を改良した。
- MR 歴史体験においては、環境光を一定に保つことが重要である。日中は太陽光により MR グラス内のコンテンツが非常に見えづらいため、遮光フィルターを使う等により対策が可能である。

実証体験アンケートでは、奈良県の観光課題解決に向けた高い期待の声が寄せられた（4章参照）。歴史的な遺産と先端技術を活用した新しい観光アクティビティにより、新たな観光地の魅力の開発と多地点展開、さらには、観光客を飽きさせないリピート訪問誘発、観光客の多様化への対応といった、持続可能な観光地としての発展に向けたサービス開発実装を推進していく。

9. 参考資料

特になし。