

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

【開発実証事業】

[遠隔高度医療サービス提供に向けた
ローカル5Gの技術的条件及び利活用]

成果報告書

令和5年3月31日

北海道ローカルイノベーションコンソーシアム

代表機関 東日本電信電話株式会社

目次

1.	実証概要	1
1.1	背景・目的.....	1
1.2	実証の概要	3
1.2.1	実証地域の概要	3
1.2.2	実証地域の課題	5
1.2.3	実証対象施設の概要.....	6
1.2.4	実証の概要.....	8
2.	実証環境の構築.....	9
2.1	対象周波数帯.....	9
2.2	実施環境	9
2.3	ネットワーク・システム構成	11
2.3.1	ローカル5Gネットワーク	11
2.3.2	地域モビリティネットワーク.....	26
2.3.3	センター拠点ネットワーク(北村支所)	29
2.3.4	地域サービス拠点ネットワーク(毛陽交流センター)	34
2.3.5	遠隔拠点ネットワーク.....	37
2.3.6	リアルハプティクスシステム	39
2.3.7	プレ診療システム.....	43
2.4	システム機能・性能・要件.....	57
2.4.1	ローカル5Gネットワーク	57
2.4.2	地域モビリティネットワーク.....	58
2.4.3	センター拠点ネットワーク(北村支所)	58
2.4.4	地域サービス拠点ネットワーク(毛陽交流センター)	59
2.4.5	遠隔拠点間ネットワーク.....	59
2.4.6	リアルハプティクスシステム	60
2.4.7	プレ診療システム.....	60
2.5	その他.....	61
2.5.1	実証システムの拡張性等	62
2.5.2	実証システムの安全性確保のための対策.....	63
3.	ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)	65
3.1	実証概要	65
3.2	実証環境	66
3.3	実施事項	69

3.3.1	電波伝搬モデルの精緻化	69
3.3.2	エリア構築の柔軟性向上.....	126
3.3.3	準同期 TDD の追加パターンの開発	196
4.	ローカル 5G 活用モデルに関する検討(課題実証)	197
4.1	実証概要	197
4.1.1	背景となる課題.....	197
4.1.2	本実証におけるローカル 5G 活用モデル.....	204
4.1.3	実証内容の新規性・妥当性.....	208
4.1.4	実証目標.....	210
4.2	実証環境	212
4.3	実施事項	214
4.3.1	ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証	214
4.3.2	ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証.....	246
4.3.3	ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討	266
4.3.4	ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開	268
5.	普及啓発活動の実施	277
5.1	映像制作	277
5.2	実証視察会の実施	278
5.3	その他普及啓発活動	282
6.	実施体制	283
6.1	実施体制の全体像	283
6.2	実施体制内の役割	286
7.	スケジュール	289

1. 実証概要

1.1 背景・目的

我が国の総人口は、2021年10月1日時点で1億2,550万人となっており、2053年には1億人を割って9,924万人となり、2065年には8,808万人になると推計されている。

(国立社会保障・人口問題研究所の「日本の将来推計人口(平成29年推計)」)

生産年齢人口についても同様に減少を続け、2056年には5,000万人を割り、2065年には4,529万人となることが予測されている。この人口(特に生産年齢人口)の減少と高齢化により少子化が進行し、社会経済に多大な影響を及ぼしているといえる。

厚生労働省「人口動態統計速報」(2021年12月分)によれば、2021年1月から12月までの出生数の累計(日本における外国人の出生等を含む速報値)は84万2,897人(対前年比3.4%減)、合計特殊出生率は1.33(対前年比0.03ポイント減)となっている。

特に北海道における合計特殊出生率は1.21で全国45位であり、少子化が全国平均と比較してより加速していることが明らかとなっている。

少子化の主な原因として、女性の未婚化・晩婚化、有配偶出生率の低下が挙げられ、その背景として、個々人の結婚や出産、子育てに関する考え方の多様化や、それらの実現を阻む様々な要因があり、その一つとして、新型コロナウイルス感染症の流行は、結婚、妊娠・出産、子育ての当事者にも多大な影響を与えており、安心して子供を産み育てられる環境を整備することの重要性を改めて浮き彫りにした。

国は、内閣府特命担当大臣(少子化対策)の下、少子化社会対策会議を経て2020年5月29日に第4次となる新たな「少子化社会対策大綱」を閣議決定した。

第4次大綱は、「希望出生率1.8」を実現するため、「結婚・子育て世代が将来にわたる展望を描ける環境をつくる」、「多様化する子育て家庭の様々なニーズに応える」、「地域の実情に応じたきめ細かな取組を進める」、「結婚、妊娠・出産、子供・子育てに温かい社会をつくる」、「科学技術の成果など新たなリソースを積極的に活用する」の五つの基本的な考え方に基づき、社会情勢の変化等を踏まえた、令和の時代にふさわしい当事者目線の少子化対策を進めていくこととしている。

妊娠・出産への医療体制については、特に周産期医療における相対的医師少数区域の全国下位20医療圏に北海道内の区域が6区域含まれており、母体・胎児や新生児の生命に関わる事態が発生する際の対応が行き届きにくいこと明らかになっており、住民一人一人が、医療が必要な状態となっても、できる限り住み慣れた地域で安心して妊娠・出産を迎え、産後の生活を継続できる環境を整備していくことが喫緊の課題となっている。

これらの課題の解決に向けては、一次産業を主たる生業とするルーラルエリアのコミュニティを持続可能とし、特に将来を支える若い世代が子を産み、育てながら安心して地方定住、健康的な生活を持続するためには、生活負担軽減と医療を含む質の高いサービスの提供が不可欠と考えられる。

その手段として、ICT を活用した健康・医療サポート体制への期待・重要性がますます高まっている。

なかでも、地域の様々な主体が自ら建物内や敷地内でスポット的かつ柔軟にネットワークを構築できる「ローカル5G」は、今後、ますます産業、公的の様々な分野で活用が期待されている他、ローカル5Gを中心としたICT技術の医療現場への導入は、医師不足や医療機関までの距離等の理由により行き届かなくなりつつある、相対的医師少数区域を中心に導入することが、喫緊に解決すべき課題であり、できるだけ早く技術開発を進め、実証・実装を進めなければならないと考える。

そこで、本事業では、距離・医療体制・医師不足など様々な問題によりサービスが大都市部と同様に提供することが困難な地域として、北海道の医師少数区域を実証地域として選定した。遠隔医療サービス等に対するローカル5G等技術の活用可能性を検証し、その実現に向けた関連技術等及び課題についての調査研究を行うことで、日本全国のルーラルエリアへ拡大し、ルーラルエリアにおける医療を支える技術としての課題と可能性を明らかにする。

1.2 実証の概要

1.2.1 実証地域の概要

本実証では北海道空知地方の南空知圏域（9 市町）という道内でも比較的大都市圏に近い第二次医療圏域を選定した。北海道の中央南西部にあり、夕張市、岩見沢市、美唄市、三笠市、南幌町、由仁町、長沼町、栗山町及び月形町の 4 市、5 町で第二次医療圏を構成している。面積は 2,562.25 km²で、九州の佐賀県と同程度となっており、豊かな森林や清流に恵まれた夕張山地の山岳、丘陵地帯から、石狩平野の肥沃な穀倉地帯を有する四季の変化に富んだ圏域となっている。

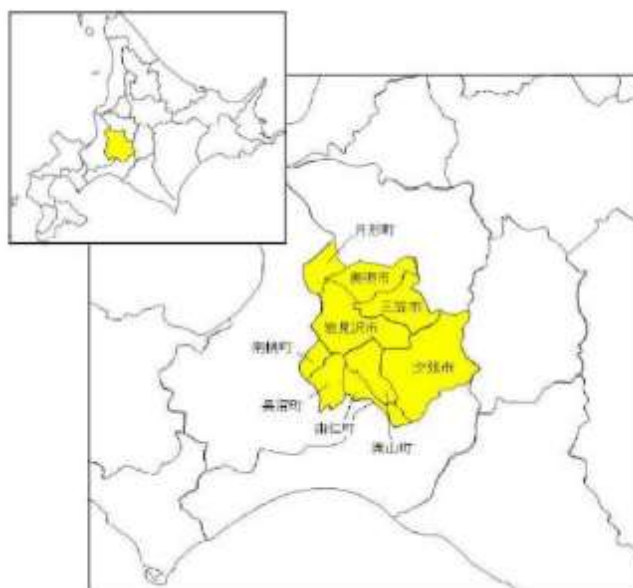


図 1.2.1 南空知圏域(第二次医療圏域)

全道的には医師と薬剤師は増加傾向だが、本圏域では医師は減少傾向であり、圏域内で医療サービスを受ける需要はますます高まっている。また、本圏域の入院自給率は 76.6%で、外来自給率は 88.2%だが、流出したほとんどが札幌圏に流出している。札幌圏への移動には、鉄道、高速道路、都市間バスで利便性がある半面、周産期の母体等長時間の移動には高リスクであることが課題とされている。

岩見沢市は、北海道の中西部、空知地方における行政・経済の中心地で、札幌市や新千歳空港からそれぞれ約 40 kmの距離にあり、この 2 つの場所と三角形を描くような場所に位置し、主要国道や鉄道などの交通機能も充実している。



図 1.2.2 岩見沢市所在地

合計特殊出生率が全国平均を下回る 1.26 と少子化が加速しているが、特定非営利活動法人健康経営研究会より全国の自治体で初めて「健康経営都市宣言」の認定を受けており、「未来の子どもたちによりよい環境を」をスローガンに、母親が安心して子供を産み育て、子供が成人しても健康に過ごせる環境づくりを進めている。

その中で、母子の健康調査などを通じ、低出生体重児 (2,500g 未満) の出生率を大きく改善するなど、その実績が高く評価されている都市でもある。

1.2.2 実証地域の課題

産科又は産婦人科を標ぼうする医療機関は南空知圏域に5施設あるが、分娩可能な医療機関は、岩見沢市内の1病院、1診療所となっている。

中核医療施設である、岩見沢市立総合病院が平成13年に地域周産期母子医療センターとして認定されている。産婦人科医師は認定当初、常勤医師2名配置となっていたが、平成30年4月現在、常勤医師は1名で対応しており、分娩可能な医療機関の減少等から医師の負担が増大しているほか、ハイリスク分娩や急変時における対応として、圏域を超えて妊産婦、新生児の迅速な搬送・受入が円滑に行われるよう体制の確保が必要であり、正常経過の妊産婦に対して、助産師が健康診査、保健指導や助産、ケアを行う効率的な体制整備を図る必要がある。

岩見沢市においては、子どもを産み育てる世代の女性が減少するとともに、20代の有配偶率の低下に伴い、晩産化が進んでいる。地域に質の高い雇用機会を創出すると同時に、夫婦がともに子育てしながら働くことができる環境づくりに取り組むことが重要であり、その中でも市民交流施設「あそびの広場」を核とする「えみふる」の子ども・子育て支援の取組みをはじめとする各種子育て支援施策の充実を図っているほか、地域で子育てを見守り、相互に助け合う環境づくりに取り組む等、仕事や家庭の両立を支援する施策により安心して子育てできる環境づくりを推進するとともに、次世代を担う子どもの教育環境の充実を図り、岩見沢市で結婚し、子どもを産み、育てたいと思えるまちづくりを進めている。

岩見沢市の人口は1995年の97,042人をピークに減少しており、79,306人（2020年国勢調査結果）まで落ち込んでいる。

今後、豊かで自立した地域を実現するために、人口減少に適応した地域をつくることを目指した取組みが必要で、少ない人口でも成長を続ける地域であるための中核として、出生から子育てといった将来の人材の成長過程を見守る仕組みを整えていくことが課題である。

1.2.3 実証対象施設の概要

1) 北海道大学 FMI



図 1.2.3 北海道大学フード&メディカルイノベーション国際拠点

2) 岩見沢市 北村支所



図 1.2.4 岩見沢市役所 北村支所

3) 毛陽交流センター



図 1.2.5 岩見沢市 毛陽交流センター

4) 地域モビリティ



図 1.2.6 モビリティ(バス型)

1.2.4 実証の概要

全国的な少子高齢化の課題に対し、ルーラルエリアでは都市と同様のサービス（特に高度医療に代表されるようなサービス）の提供が困難なことが多く、多くの自治体では、地域モビリティや高速ネットワークサービスを利用して、リモートでこのようなサービスを受ける機会を増やし、住民サービスを向上させることが必要となっている。

本実証では、ルーラルエリアで必要なサービスへローカル5Gを活用して提供することを目的に、地域モビリティと遠隔にいる専門医をつなぎ、高画質な映像を用いた診断やロボット制御による遠隔エコー操作を実証として行う。



図 1.2.7 実証概要図

システム構築にあたっては、サイバーセキュリティ対策の観点から、以下の対策を講じた。

- ・外部 NW として、IP-VPN 回線とインターネットアクセス回線を準備しリモートメンテナンス拠点とは VPN でアクセス先を制限した接続とする。インターネットアクセス回線は UTM を設置しインターネットからの不正アクセス等に対するセキュリティ対策を実施した。

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

本実証におけるローカル5Gの周波数は28GHz帯の28.3-28.7GHzの400MHz幅、および4.7GHz帯の4.8-4.9GHzの100MHz幅とした。本実証はルーラルエリアにおける遠隔医療分野ユースケースの展開のため、公共施設である北村支所の屋外駐車場ならびに、毛陽交流センターにおける屋内研修室のエリアをカバーした。屋内環境では、8Kカメラの映像伝送やロボットアームによる診療における大容量低遅延の無線通信が重要であり、超高速無線通信が実現できる28GHz帯の電波を選定することで、ユースケースを実現した。また、屋外については業務区域である駐車場では駐車中の自動車や本件で利用する地域モビリティによる遮蔽環境が想定されるため、電波の迂回を見込むことができ広範なカバーエリアが期待できる4.7GHz帯を選定し、さらに屋外利用が可能とされている4.8-4.9GHzを本実証にて利用することとした。

2.2 実施環境

本実証では北海道内のルーラルエリアを業務区域とし、2か所の実証環境に、それぞれ1基のローカル5G基地局を設置した。毛陽交流センター施設内に28GHz帯の屋内用ローカル5G基地局(基地局A)を1基設置し、北村支所施設の屋上に4.7GHz帯の屋外用ローカル5G基地局(基地局B)を1基設置した。



図 2.2.1 ローカル5G基地局 A カバーエリア



図 2.2.2 ローカル5G基地局 B カバーエリア

2.3 ネットワーク・システム構成

2.3.1 ローカル5Gネットワーク

本実証の 4.7GHz 帯基地局、28GHz 帯基地局について、それぞれ個別にコア 1 台で収容した。4.7GHz 帯基地局については、今後の拡張性を想定した共用のクラウドコアによる構成を採用した。28GHz 帯基地局については 0-RAN フロントホール仕様に準拠している機器を選定しているため、コア装置と基地局をそれぞれ異なるメーカー機器で構成することが可能である。本ネットワークを構成する機器は下表のとおりである。

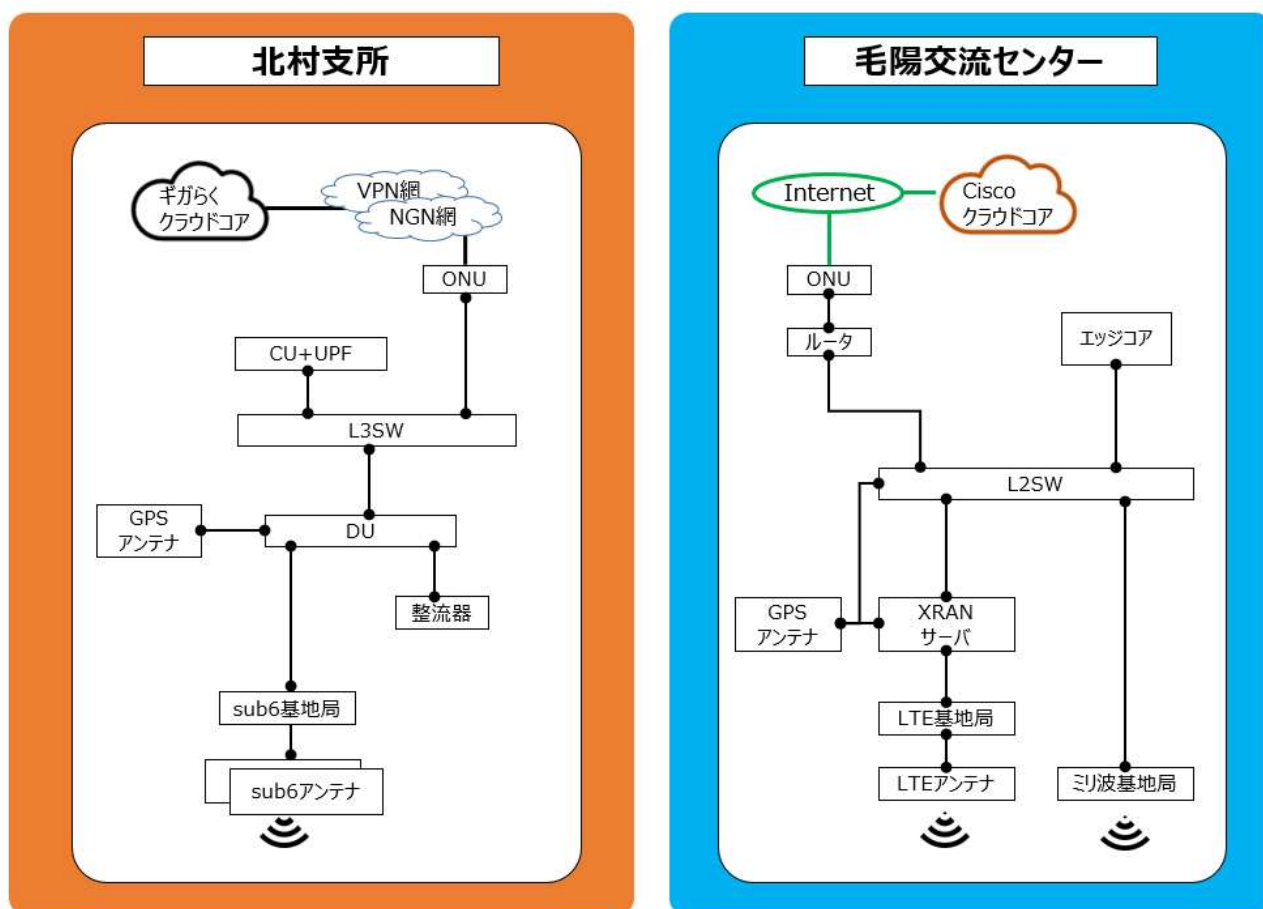


図 2.3.1 ローカル5Gネットワーク概要図

表 2.3.1 ローカル5G機器一覧

No	物品	対象	メーカー	型番	数量
1	CU+UPF 装置	北村支所	DELL	PER640	1
2	L3 スイッチ	北村支所	サムスン	ubiQuoss E7124	1
3	ベースバンドユニット (DU)	北村支所	サムスン	CDU	1
4	整流器	北村支所	菊水電子工業	PWX1500ML	1
5	ローカル 5 G 基地局 (4.7GHz 帯)	北村支所	サムスン	OutdoorRU	1
6	ローカル 5 G アンテナ (4.7GHz 帯)	北村支所	電気興業	X65-3545FTD	2
7	GPS アンテナ	北村支所	日本電業工作	GZ00001	1
8	XRAN サーバー	毛陽交流センター	Dell	EMC PowerEdge R 740	1
9	ローカル 5 G 基地局 (28GHz 帯)	毛陽交流センター	JMA	IOTA 29GHz	1
10	L T E 基地局	毛陽交流センター	JMA		1
11	L T E アンテナ	毛陽交流センター	JMA	IV020MI136-M4	1
12	GPS アンテナ	毛陽交流センター	Panasonic	CCAH32ST04	1
13	5 G EPC サーバー	毛陽交流センター	Cisco	UCSC-C220-M5SX	3
14	5 G EPC L3 スイッチ	毛陽交流センター	Cisco	Catalyst 9300	1
15	L3 スイッチ	毛陽交流センター	Cisco	Nexus 9336C FX2	1
16	L2 スイッチ	毛陽交流センター	Cisco	N540X-12Z16G-SYS-A	1
17	ファイアウォール	毛陽交流センター	Cisco	ASA5506	1

(1) CU+UPF 装置 (1 台、固定)

CU+UPF 装置は、ベースバンド機能のうち CU 機能とユーザプレーンを司る UPF を統合した装置である。CU+UPF ソフトウェアを汎用サーバーへインストールし構築した。動作検証済のサーバーとして、Dell 社の機器を使用した。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.2 CU+UPF 仕様

項目	仕様	備考
機種名	DELL Server PER640	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	42.8mm × 482mm × 805.8mm	
重量	21.9kg	
消費電力	MAX : 761.1W / 100% : 492W / 70% : 387W ※MAX : 理論計算値の最大値電力値 100% : CPU ロード 100% 時の電力値 70% : CPU 負荷 70% の電力値	

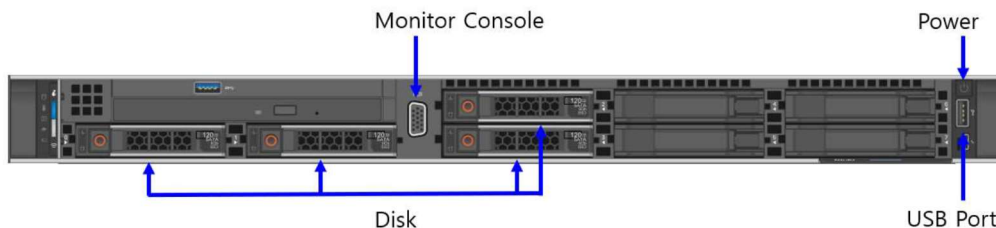


図 2.3.2 CU+UPF 装置外観

(2) L3 スイッチ

コアネットワーク内や外部ネットワークを接続する基幹 L3 スイッチである。動作検証済の L3 スイッチとして、サムスン社の機器を使用した。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.3 L3 スイッチ仕様

項目	仕様	備考
機種名	サムスン ubiQuoss E7124	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	44mm × 440mm × 400mm	
重量	9.35kg	
消費電力	(1) 常温(25 度) 最大消費電力：175W (2) 50 度最大消費電力：201W	



図 2.3.3 L3 スイッチ外観

(3) ベースバンドユニット(DU)

ベースバンド機能のうち DU 機能を具備している。本装置は RU を収容する装置である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.4 DU 仕様

項目	仕様	備考
機種名	サムスン CDU	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	88mm × 434mm × 385mm	
重量	18kg	
消費電力	GMA1+GCB1×1 : MAX 477W(25 度)、MAX 577W(50 度) GMA1+GCB1×1 : MAX 1,049W(25 度)、MAX 1,219W(50 度)	



図 2.3.4 DU 装置外観

(4) 整流器

ベースバンドユニット (DU 装置) に対し、DC 電源供給を行う装置である。定格出力以内で電力を供給する。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.5 整流器仕様

項目	仕様	備考
機種名	菊水電子工業 PWX1500ML	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	44mm × 422.8mm × 580mm	
重量	9.5kg	
消費電力	1500W、0~80V/0~56A 薄型ワイドレンジ直流電源	



図 2.3.5 整流器外観

(5) ローカル 5 G 基地局 (4.7GHz 帯)

4.7GHz 帯ローカル 5 G 周波数帯 (4700-4900MHz) に対応した屋外用のローカル 5 G 基地局装置である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.6 ローカル5G基地局(4.7GHz 帯)仕様

項目	仕様	備考
機種名	サムスン OutdoorRU	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	264mm × 221mm × 82.9mm	
重量	4.9kg	
消費電力	最大：101VA	



図 2.3.6 ローカル5G基地局(4.7GHz 帯)外観

(6) ローカル5Gアンテナ(4.7GHz帯)

4.7GHz帯ローカル5G周波数帯(4700～4900MHz)に対応した屋外用のローカル5Gアンテナである。1台の基地局に対して、2台のアンテナを設置した。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.7 アンテナ(X65-3245FTD) 装置仕様

項目	仕様	備考
機種名	電気興業 X65-3545FTD	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	75mm × 75mm × 28.5mm	
重量	2.0kg	
電源	—	
消費電力	基地局より入力	



図 2.3.7 アンテナ(X65-3245FTD) 装置外観

(7) GPS アンテナ

GPSからの通信を受信する機器である。GPS受信機としても活用するL2スイッチと接続する。28GHz帯基地局間の時刻同期を取るために使用する。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.8 GPS アンテナ仕様

項目	仕様	備考
機種名	日本電業工作 GZ00001	
仕様周波数帯	1,590 ± 30MHz 1,238 ± 40MHz	
VSWR	2.0 max.	
利得	35dB max.	
仕様温度範囲	-40 ~ +85°C	
防水特性	IP67	
外形寸法(直径×高さ)	140 × 46mm	
重量	約 270g	
電源	DC電源 35mA max. at 3.0V~12V	GPS受信機(L2スイッチ)より同軸ケーブルにて給電



図 2.3.8 GPS アンテナ外観

(8) XRAN サーバー

XRAN サーバーは、アンカーにおける集中制御部兼パケット-無線信号変換機能（ベースバンド機能）を担う BBU（Base Band Unit）及び 5G システムの無線アクセスネットワークにおける集約ノード機能を担う CU（Central Unit）を実装する仮想サーバーである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.9 XRAN サーバー仕様

項目	仕様	備考
機種名	Dell EMC PowerEdge R740	
CPU	インテル® Xeon® Gold シリーズ 3.0GHz、18core/36T	細部スペック変動の可能性あり
メモリ容量	64GB (16GB RDIMM×4)、2666MT/s、デュアル ランク以上	同上
ストレージ	480GB (240GB SSD SATA ドライブ×2)	同上
外部インターフェース	4ポート 1GbE BASE-T F1、CPRI インターフェース	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	86.8 × 434 × 716mm	
重量	28.6kg	
電源	1100R 450-ADWM デュアル、ホットプラグ、冗長電源ユニット(1+1) AC100~240V、1100W(100~120V : 1050W)	ケーブルコネクタ: NEMA5-15P2 口



図 2.3.9 XRAN サーバー外観

(9) ローカル5G基地局 (28GHz 帯)

28GHz 帯基地局を1台構築した。アンテナは内蔵されている。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.10 ローカル5G基地局(ミリ波)仕様

項目	仕様	備考
準拠規格	5G NR NSA/SA	
外部インターフェース	10GbE × 1(SFP+) CU インターフェース : F1、Split option2	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	338 × 348 × 132mm	
重量	11.3kg	
電源	-48V DC (消費電力 : 175W 以下)	
MIMO	2layers	
EIPR	Mimo パスあたり : 40dBm、総 EIPR : 43dBm	
対応帯域幅	400MHz	
対応周波数	28.2~29.1GHz	
動作温度	-20°C ~ +55°C	
防塵防水	IP66	
機械チルト	細大 30° (2.5° 単位)	
同期	IEEE1588v2	



図 2.3.10 ローカル5G基地局(28GHz 帯)外観

(10) LTE基地局

LTE基地局（アンカー）を1台構築した。LTEアンテナ（アンカー）と接続し、ローカル5G NSA構成におけるアンカーとして使用した。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.11 LTE基地局仕様

項目	仕様	備考
ソフト仕様	XRAN LTE SW R1.5	
準拠規格	3GPP Rel 15	
CPU	x.86 clock 2.6GHz	
メモリ容量	32GB	
ストレージ	2 × 480GB raid1	
外部インターフェース	CPRI	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	352 × 350 × 102mm	
重量	13.0kg	
電源	-48V DC / 85-265V AC 消費電力：105-115W 消費電流(A)：約 2.5A	ケーブルコネクタ： NEMA5-15P 1口
MIMO数	2T2R	
送信出力	Mimoパス当たり：1W	
対応帯域幅	20MHz	
対応周波数	2,575～2,595[MHz]	
変調方式	DL 256 QAM / UL 64 QAM	
動作温度	-5℃ ～ +45℃	
防塵防水	IP32 / IP64（オプション防塵キット装着時）	
アンテナ指向性	TBD	
アンテナ利得	TBD	



図 2.3.11 LTE基地局外観

(11) LTEアンテナ

LTEアンテナ（アンカー）を1台構築した。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.12 LTEアンテナ仕様

項目	仕様	備考
使用周波数範囲	2,575~2,595 [MHz]	
VSWR	1.5 max.	
利得	25dB max.	
使用温度範囲	-40°C ~ +60°C	
防水特性	IP67	
外形寸法(直径×高さ)	203 × 69	
重量	約 410g	
電源	40W	LTE 基地局より同軸ケーブル経由にて受電



図 2.3.12 LTEアンテナ外観

(12) GPS アンテナ

TDD 同期運用に必要な GPS 信号をベースバンドユニット（DU）へ供給するための GPS アンテナである。野外かつ GPS 信号の受信強度が良好である場所に構築した。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.13 GPS アンテナ仕様

項目	仕様	備考
機種名	Panasonic CCAH32ST04	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	98.4mm × Φ90mm	
重量	210g	
消費電力	—	



図 2.3.13 GPS アンテナ外観

(13) 5 G EPC サーバー

5 G EPC サーバーはローカル5 Gシステムのソフトウェアを実装している。同機種のサーバーを3台、構築した。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.14 5G EPC サーバー仕様

項目	仕様	備考
ソフトウェア仕様	ノンスタンドアローン型 5 G EPC ソフトウェア ・ MME ・ SAEGW-C ・ SAEGW-U	
ハード構成	・ UCSC-C220-M5SX	3 台構成 各サーバーに 1Node を搭載
準拠規格	・ 3GPP Release15	
システム規模	・ ユーザ数：1000 ユーザ ・ UE 同時接続数：1000 ユーザ	
CPU	2P/40core 2.1GHz CPU	
メモリ容量	384GB (32GB×12)	
ストレージ	物理容量：1.6TB (800GB×2) 実効容量：800GB 弱(RAID1)	12GB SAS SSD
外部インターフェース	2×1・10GE RJ-45 1×1 GE RJ-45 6×40GE QSFP+	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	43.2 × 430 × 756 mm	
重量	17.24kg	
電源	1050W AC PSU×2 最大消費電力：609.6W 最大消費電力：12.5A	ケーブルコネクタ：NEMA5-15P 2口



図 2.3.14 5G EPC サーバー外観

(14) 5 G EPC L3 スイッチ

5 G EPC L3 スイッチは本ローカル5 Gシステムのコア装置の一つで、3 台設置する5 G EPC サーバーとの相互接続を担う。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.15 5G EPC L3 スイッチ仕様

項目	仕様	備考
ソフトウェア仕様	Cisco IOS XE	
CPU	X86CPU	
DRAM	8GB	
Flash	16GB	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	44 × 445 × 513 mm	
重量	8.25kg	
電源	PWR-C1-715WAC-P×2 最大消費電力：232W 最大消費電流：12A	ケーブルコネクタ： NEMA5-15P 2口



図 2.3.15 5G EPC L3 スイッチ外観

(15) L3 スイッチ

拠点内ネットワーク装置を接続する機器である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.16 L3 スイッチ仕様

項目	仕様	備考
ソフトウェア仕様	Cisco NX-OS	
CPU	4 コア	
DRAM	24GB	
SSD ドライブ	128GB	
外部インターフェース	40/100Gbps QSFP 28 ポート×36	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	44 × 439 × 623 mm	
重量	10.8kg	
電源	NXA-PAC-750W-PI×2 最大消費電力：719W 最大消費電流：12A	ケーブルコネクタ： NEMA5-15P 2口



図 2.3.16 L3 スイッチ外観

(16) L2 スイッチ

基地局及び GPS アンテナを接続し、GPS アンテナで受信した GPS 時刻情報を受け取り、本ローカル 5 G システムの時刻同期のマスターとしての役割を担う。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.17 L2 スイッチ仕様

項目	仕様	備考
ソフトウェア仕様	Cisco IOS XR	
CPU	4-core 1.6GHz X86CPU	
DRAM	8GB	
ストレージ	32GB	
外部インターフェース	4×1GE RJ-45 (10/100M) 12×1GE 12×1GE/10GE	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	44 × 439 × 250mm	
重量	6kg	
電源	最大消費電力：250W 最大消費電流：2.5A	ケーブルコネクタ： NEMA5-15P 1口



図 2.3.17 L2 スイッチ外観

(17) ファイアウォール

ローカル 5 G ネットワークの境界に設置し、外部からの攻撃に対するセキュリティの役割を担う。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.18 ファイアウォール仕様

項目	仕様	備考
ステートフルファイアウォールスループット (最大)	750Mbps	
VPN スループット	(3DES/AES) 100Mbps	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	44 × 200 × 235mm	
重量	1.82kg	AC 電源搭載時
電源	外部 AC 電源	



図 2.3.18 ファイアウォール外観

表 2.3.19 ローカル5Gシステム(基地局)の概要

	基地局 A (PI-H257- DF10400A)	基地局 BBA (OutdoorRU)
製造ベンダ	JMAWireless Limited	サムスン電子
台数	1 台	1 台
設置場所 (屋内/ 屋外)	屋内	屋外
同期/準同期	同期	同期・準同期 TDD1
UL : DL 比率	1:4	同期 1:4 準同期 TDD1 1:1
周波数帯	28GHz 帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	NSA	SA
UL 周波数	28.3~28.7GHz	4.8~4.9GHz
DL 周波数		
UL 帯域幅	400MHz	100MHz
DL 帯域幅		
UL 中心周波数	28.25 GHz	4849.98MH
DL 中心周波数		
UL 変調方式	QPSK/16QAM/64QAM	QPSK/16QAM/64QAM/256QAM
DL 変調方式		
MIMO	2×2MIMO	2×2MIMO

(18) ローカル 5G 測定器 (エリアスキャナー) 仕様

ローカル 5G の受信電力 (SS-RSRP) の実測を行うための測定器である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.20 ローカル 5G 測定器 (エリアスキャナー) 仕様

機種名	VIAVI : OneAdvisor-800
寸法	269mm(W) x 170mm(H) x 41mm(D)※バンパ装着時
質量	1.4 kg
備考	5G NR シグナルアナライザ (SS-RSRP 測定、SS-RSRP ヒートマップ測定)、4.7GHz 帯はアンテナ利得 0dBi、28GHz 帯はアンテナ利得 20dBi のアンテナを使用



図 2.3.19 ローカル 5G 測定器(エリアスキャナー)外観

(19) ローカル 5G 測定器 (ネットワークテスタ) 仕様

ローカル 5G のスループット・伝送遅延値の実測を行うための測定器である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.21 ローカル 5G 測定器 (ネットワークテスタ) 仕様

機種名	VIAVI : MTS-5800
寸法	178mm (W) x 241mm (H) x 80mm (D)
質量	2.4kg
備考	無線区間を含めた伝送路試験 (スループット測定、伝送遅延測定)、4, 7GHz 帯はアンテナ利得 0dBi、28GHz 帯はアンテナ利得 20dBi のアンテナを使用



図 2.3.20 ローカル 5G 測定器(ネットワークテスタ)外観

2.3.2 地域モビリティネットワーク

ローカル5Gエリアに地域モビリティが到達時に通信可能なネットワークである。本実証においては、遠隔によるプレ診療機能を搭載することを想定して実施した。

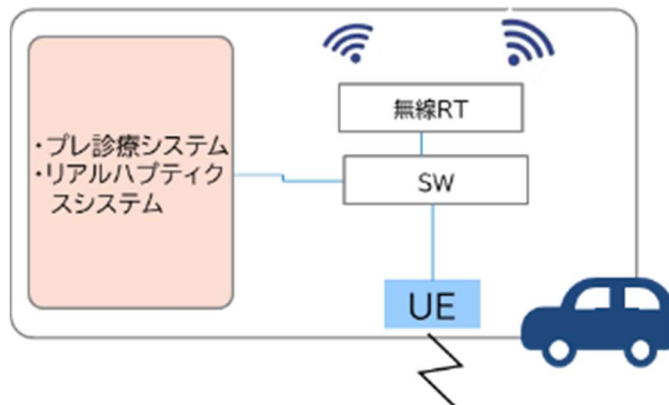


図 2.3.21 地域モビリティネットワーク概要図

表 2.3.22 地域モビリティネットワーク機器一覧

No	物品	対象	メーカー	型番	数量
1	ローカル5G端末 (UE)	地域モビリティ	京セラ	K5G-C100A	1
2	無線ルーター	地域モビリティ	YAMAHA	WLX212	1
3	拠点用SW	地域モビリティ	YAMAHA	SWX2210-8G	1
4	バッテリー	地域モビリティ	Jackery	JE-2000A	2

(1) ローカル5G対応端末 (UE)

本実証におけるローカル5G端末である。本実証では予備含めて計4台用意した。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.23 ローカル5G対応端末(UE)仕様

項目	仕様	備考
無線規格	5G NR (4.7GHz帯/28GHz帯)、Local 5G (4.7GHz帯/28GHz帯)、4G LTE™ (マルチバンド) 802.11 a/b/g/n/ac/ax	
外部インターフェース	USB Type-C™ ×1	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	約 78 × 165 × 27mm	
重量	約 326g	
電源	リチウムイオン電池 (6,000mAh) USB Type-C™ (PD3.0)	
動作温度	5 ~ 35℃	



図 2.3.22 ローカル5G対応端末(UE)外観

(2) 無線ルーター

本実証における Wi-Fi 接続機器用の無線ルーターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.24 無線ルーター仕様

項目	仕様	備考
無線規格	2.4GHz : IEEE802.11b/g/n 準拠、ARIB STD-T66 準拠 5 GHz : IEEE802.11a/n/ac 準拠、ARIB STD-T71 準拠	
伝送方式	2.4GHz : 2802.11b : 直接スペクトラム拡散 (DSSS) 方式 802.11g/n : 直交周波数分割多重 (OFDM) 変調方式 5 GHz : 直交周波数分割多重 (OFDM) 変調方式	
外部インターフェース	IEEE802.3 (10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T) ×1	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	50 × 160 × 160mm	
重量 (本体)	640g	
最大消費電力	9.6W	
電源	電源アダプタ : 定格入力 AC100 V 50/60 Hz、定格出力 DC12 V 2 A PoE 給電機器 : DC36 ~ 57 V (IEEE802.3af 準拠)	
動作温度	0 ~ 50°C	



図 2.3.23 無線ルーター外観

(3) 拠点用スイッチ

本実証における地域モビリティネットワークにおける機器接続用のスイッチである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.25 拠点用スイッチ仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース	IEEE802.3 (10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T) ×8	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	40.5 × 220 × 120mm	
重量 (本体)	850g	
最大消費電力	6.4W	
電源	電源アダプタ : 定格入力 AC100~240V 50/60 Hz	
動作温度	0 ~ 50°C	



図 2.3.24 拠点用スイッチ外観

(4) バッテリー

本実証における搭載機器の駆動用電源、及び、災害時を想定したモバイル電源である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.26 バッテリー仕様

項目	仕様	備考
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	307.5 × 384 × 269mm	
重量 (本体)	約 19.5kg	
定格容量	2,160kWh (リチウムイオン電池 50Ah/43.2V)	
入力ポート	AC 入力: 100V~ 50Hz/60Hz, 最大 15A DC 入力ポート: 11-17.5V (動作電圧) ≈8A	
出力ポート	3 x AC 出力: 100V~ 50 Hz/60Hz、1 ポート最大 20A/2000W ※3 ポート合計 2200W (瞬間最大 4400W) シガーソケット出力: 12V=10A 2 x USB-A 出力: 5-6V=3A、6-9V=2A、9-12V=1.5A ※各ポート最大 18W 2 x USB-C 出力: 5V=3A、9V=3A、12V=3A、15V=3A、20V=5A ※各ポート最大 100W	
動作温度	-10 ~ 40°C	



図 2.3.25 バッテリー外観

2.3.3 センター拠点ネットワーク（北村支所）

本実証のセンター拠点となる北村支所内のネットワークである。

表 2.3.27 センター拠点ネットワーク(北村支所)機器一覧

No	物品	対象	メーカー	型番	数量
1	拠点接続ルーター	センター拠点	YAMAHA	RTX1220	1
2	各機器接続用スイッチ	センター拠点	YAMAHA	SWX3220-16MT	2
3	NW 管理用 PC	センター拠点	DELL	Latitude 7420	1
4	記録用サーバー	センター拠点	DELL	PowerEdgeT350	1
5	記録用 NAS	センター拠点	Buffalo	TS3410DN1604	1
6	サーバー用 UPS	センター拠点	EMERSON	GXT3-800RT100J	1
7	サーバー用モニター	センター拠点	EIZO	EV2480-Z	1

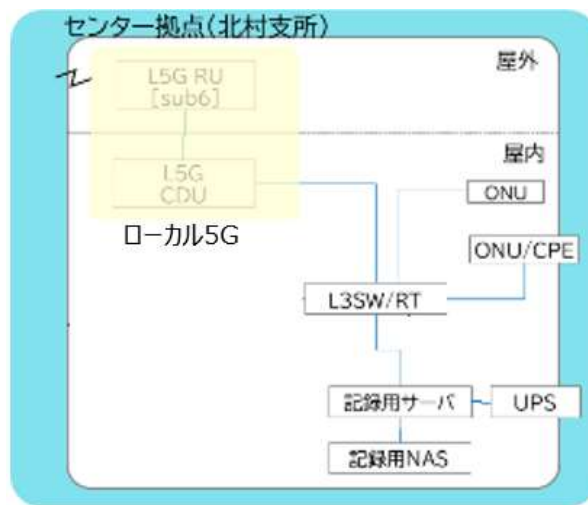


図 2.3.26 センター拠点ネットワーク(北村支所)概要図

(1) 拠点接続ルーター

本実証において各拠点を VPN で接続するためのルーターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.28 拠点接続ルーター仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース	IEEE802.3 (10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T) × 3	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	42 × 220 × 239mm	突起部分を除く
重量 (本体)	1.5kg	
最大消費電力	14.5W	
電源	AC100 ~ 240V、50/60Hz	
動作温度	0 ~ 45°C	



図 2.3.27 拠点接続ルーター外観

(2) 各機器接続用スイッチ

本実証において各拠点の各部屋間を接続するためのスイッチである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.29 各機器接続用スイッチ仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース (LAN)	IEEE802.3 (100BASE-TX/1000BASE-T/2.5 GBASE-T/5 GBASE-T/10GBASE-T) × 12	
外部インターフェース (SFP+)	IEEE802.3z (1000BASE-SX/1000BASE-LX) IEEE802.3ae (10GBASE-SR/10GBASE-LR)	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	44 × 330 × 250mm	突起部分を除く
重量 (本体)	2.7kg	
最大消費電力	84W	
電源	AC100 ~ 240V、50/60Hz	
動作温度	0 ~ 50°C	



図 2.3.28 各機器接続用スイッチ外観

(3) ネットワーク管理用 PC

本実証実験のネットワークを管理するための PC である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.30 NW 管理用 PC

項目	仕様	備考
製品名	Latitude 7420	
CPU	Core i7 3GHz × 1	
メモリ容量	16GB	
ハードディスク容量	512GB(SSD)	
OS	Windows10Pro	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	16.9 × 321.35 × 208.69mm	
電源	リチウムイオンバッテリー	



図 2.3.29 NW 管理用 PC 外観

(4) 診察情報記録用サーバー

本実証で診察したデータを保存するためのサーバーである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.31 記録用サーバー仕様

項目	仕様	備考
製品名	PowerEdge T350	
CPU	Xeon E-2334_4C	
メモリ容量	64GB	
ハードディスク容量	8TB(RAID6、4TB × 4)	
OS	Windows Server 2019 Standard	
データベース	Microsoft SQL Server 2019:Standard	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	369.5 × 175 × 581.12mm	
重量	25.34kg	
電源	450 W AC/100~240 V	



図 2.3.30 記録用サーバー外観

(5) 記録用 NAS

本実証で記録したデータをバックアップするための NAS である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.32 記録用 NAS 仕様

項目	仕様	備考
製品名	TS3410DN1604	
インターフェース	1GbE LAN×2、USB 端子×2	
ハードディスク容量	8TB(RAID6、4TB × 4)	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	215 × 175 × 230mm	
重量	18.5kg	
電源	450 W AC/100~240 V	
温度	0 ~ 40℃	



図 2.3.31 記録用 NAS 外観

(6) サーバー用 UPS

本実証で使用するサーバーの UPS である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.33 サーバー用 UPS

項目	仕様	備考
製品名	GXT3-800RT100J	
バッテリー	シール型鉛蓄電池	
定格容量 (VA/W)	800/600	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	85 × 430 × 497mm (横置きの場合)	
重量	18.5kg	
温度	0 ~ 40℃	



図 2.3.32 サーバー用 UPS 外観

(7) サーバー用モニター

本実証において記録用サーバーで使用するためのモニターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.34 サーバー用モニター仕様

項目	仕様	備考
製品名	EV2480-Z	
サイズ	23.8型 (60.5cm)	
表示色	約1677万色: 8-bit対応	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	230 × 537.8 × 332.4mm	
重量	7.4kg	
消費電力	最大: 142W、標準: 11W	
温度	5~35℃	



図 2.3.33 サーバー用モニター外観

2.3.4 地域サービス拠点ネットワーク（毛陽交流センター）

本実証の屋内向けサービスで利用を想定した拠点のネットワークである。

表 2.3.35 地域サービス拠点ネットワーク機器

No	物品	対象	メーカー	型番	数量
1	各機器接続用スイッチ	地域拠点	YAMAHA	SWX2320-16MT	2
2	無線ルーター	地域拠点	YAMAHA	WLX212	1
3	拠点接続ルーター	地域拠点	YAMAHA	RTX1220	1

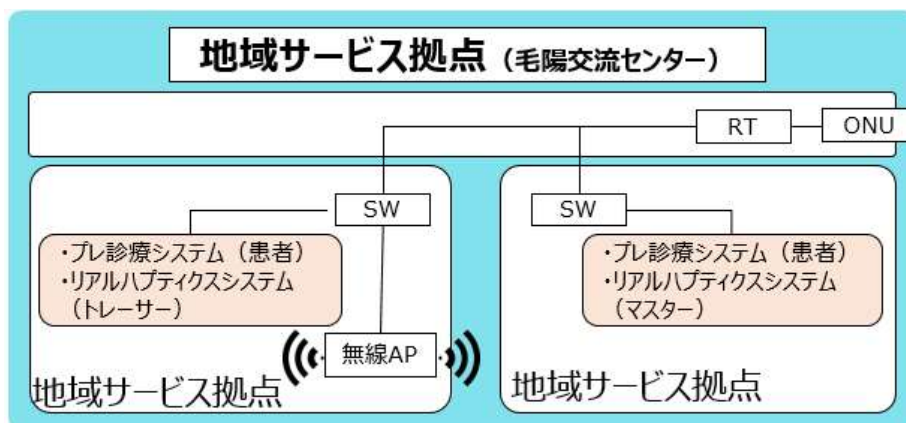


図 2.3.34 地域サービス拠点ネットワーク(毛陽交流センター)

(1) 各機器接続用スイッチ

本実証において毛陽交流センター内の機器を接続するためのスイッチである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.36 各機器接続用スイッチ仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース	IEEE802.3 (10BASE-TX/100BASE-T/2.5 GBASE-T/ 5 GBASE-T/10GBASE-T) × 12	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	44 × 330 × 250mm	突起部分を除く
重量 (本体)	2.7kg	
最大消費電力	84W	
電源	AC100 ~ 240V、50/60Hz	
動作温度	0 ~ 50℃	



図 2.3.35 各機器接続用スイッチ外観

(2) 無線ルーター

本実証における Wi-Fi 接続機器用の無線ルーターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.37 ローカル5G対応端末(UE)仕様

項目	仕様	備考
無線規格	5 G NR (4.7GHz 帯/28GHz 帯)、 Local 5 G (4.7GHz 帯/28GHz 帯)、 4G L T E™ (マルチバンド) 802.11 a/b/g/n/ac/ax	
外部インターフェース	USB Type-C™ × 1	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	約 78 × 165 × 27mm	
重量	約 326g	
電源	リチウムイオン電池 (6,000mAh) USB Type-C™ (PD3.0)	
動作温度	5 ~ 35℃	



図 2.3.36 ローカル5G対応端末(UE)外観

(3) 拠点接続ルーター

本実証において各拠点を VPN で接続するためのルーターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.38 拠点接続ルーター仕様

IT 項目	仕様	備考
外部インターフェース	IEEE802.3 (10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T) × 3	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	42 × 220 × 239mm	突起部分を除く
重量 (本体)	1.5kg	
最大消費電力	14.5W	
電源	AC100 ~ 240V、50/60Hz	
動作温度	0 ~ 45°C	



図 2.3.37 拠点接続ルーター外観

2.3.5 遠隔拠点ネットワーク

本実証におけるセンター拠点と VPN で接続する遠隔拠点（北大 FMI）のネットワークである。

表 2.3.39 遠隔拠点ネットワーク機器一覧

No	物品	対象	メーカー	型番	数量
1	拠点接続ルーター	遠隔拠点	YAMAHA	RTX1220	1
2	各機器接続用スイッチ	遠隔拠点	YAMAHA	SWX3220-16MT	1
3	無線ルーター	遠隔拠点	YAMAHA	WLX212	1

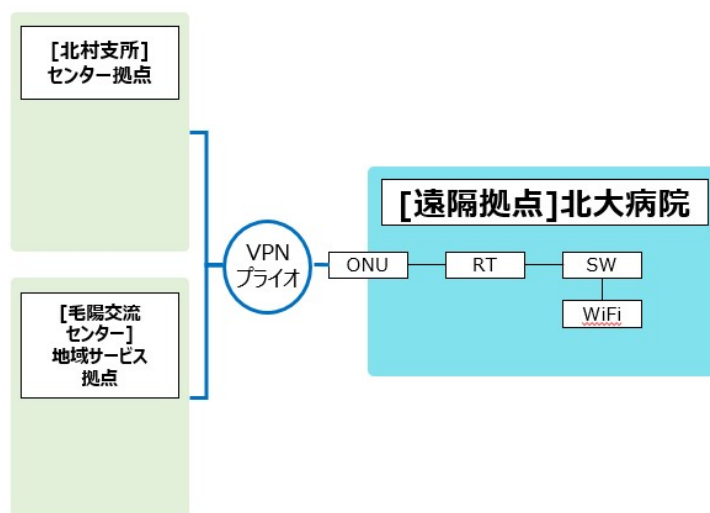


図 2.3.38 遠隔拠点ネットワーク概要図

(1) 拠点接続ルーター

本実証において各拠点を VPN で接続するためのルーターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.40 拠点接続ルーター仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース	IEEE802.3 (10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T) × 3	
外形寸法 (高さ × 幅 × 奥行)	42 × 220 × 239mm	突起部分を除く
重量 (本体)	1.5kg	
最大消費電力	14.5W	
電源	AC100 ~ 240V、50/60Hz	
動作温度	0 ~ 45°C	



図 2.3.39 拠点接続ルーター外観

(2) 各機器接続用スイッチ

本実証において拠点内の各機器を接続するためのスイッチである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.41 各機器接続用スイッチ仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース (LAN)	IEEE802.3(100BASE-TX/1000BASE-T/2.5 GBASE-T/ 5 GBASE-T/10GBASE-T) × 12	
外部インターフェース (SFP+)	IEEE802.3z (1000BASE-SX/1000BASE-LX) IEEE802.3ae (10GBASE-SR/10GBASE-LR)	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	44 × 330 × 250mm	突起部分を 除く
重量 (本体)	2.7kg	
最大消費電力	84W	
電源	AC100 ~ 240V、50/60Hz	
動作温度	0 ~ 50°C	



図 2.3.40 各機器接続用スイッチ外観

(3) 無線ルーター

本実証における Wi-Fi 接続機器用の無線ルーターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.42 無線ルーター仕様

項目	仕様	備考
無線規格	2.4GHz : IEEE802.11b/g/n 準拠、ARIB STD-T66 準拠 5 GHz : IEEE802.11a/n/ac 準拠、ARIB STD-T71 準拠	
伝送方式	2.4GHz : 2802.11b : 直接スペクトラム拡散 (DS- SS) 方式 802.11g/n : 直交周波数分割多重 (OFDM) 変調方 式 5 GHz : 直交周波数分割多重 (OFDM) 変調方式	
外部インターフェース	IEEE802.3 (10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T) × 1	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	50 × 160 × 160mm	
重量 (本体)	640g	
最大消費電力	9.6W	
電源	電源アダプタ : 定格入力 AC100 V 50/60 Hz、定 格出力 DC12 V 2 A PoE 給電機器 : DC36 ~ 57 V (IEEE802.3af 準 拠)	
動作温度	0 ~ 50°C	



図 2.3.41 無線ルーター外観

2.3.6 リアルハプティクスシステム

本実証において、遠隔によるロボットアームのコントロールを行いプレ診療の支援を実施する。

表 2.3.43 リアルハプティクスシステム機器一覧

No	物品	対象	メーカー	型番	数量
1	ロボットアーム	医者側／患者側	MOTION LIB	UR3e	2
2	機器接続用スイッチ	医者側／患者側	Cisco	CBS110-8T-D	2
3	操作用 PC	医者側／患者側	マウスコンピュータ	mouseDT5	1

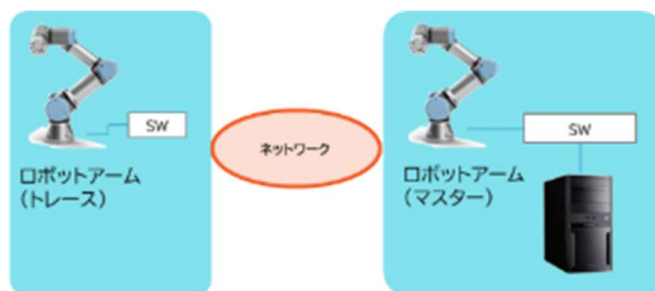


図 2.3.42 リアルハプティクスシステム概要図

(1) ロボットアーム

本実証における遠隔からのプレ診療に使用するロボットアームである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.44 ロボットアーム仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース	Ethernet、USB2.0、USB3.0	
外形寸法（高さ×幅×奥行）	423 x 475 x 268mm (リーチ半径)500mm	
重量	11.2kg	ケーブル含む
消費電力	通常：100W、細大：300W	
電源	AC100 ~ 240V	



図 2.3.43 ロボットアーム外観

(2) 接続用スイッチ

本実証において拠点内の各機器を接続するためのスイッチである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.45 各機器接続用スイッチ仕様

項目	仕様	備考
規格	IEEE 802.3 10BASE-T イーサネット、IEEE 802.3u 100BASE-TX ファストイーサネット、IEEE 802.3ab 1000BASE-T ギガビットイーサネット、IEEE 802.3z ギガビットイーサネット、IEEE 802.3x フロー制御、802.1p プライオリティ、Energy Efficient Ethernet、802.3af、Power over Ethernet	
インターフェース (Rj45+SFP)	8 ポート	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	104 X 160 X 30 mm	
重量 (本体)	0.43kg	
最大消費電力	4.09W	
電源	AC100 ~ 240V、50/60Hz	
動作温度	0 ~ 40℃	



図 2.3.44 各機器接続用スイッチ外観

(3) 操作用 PC

プレ診療の記録を入力するための PC である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.46 操作用 PC 仕様

項目	仕様	備考
製品名	mouse DT5	
CPU	インテル(R) Core(TM) i5-11400 プロセッサー (6 コア / 12 スレッド / 2.60GHz / TB 時最大 4.40GHz / 12MB)	
メモリ容量	8GB	
ハードディスク容量	256GB(SSD)	
OS	Windows11Pro	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	403 × 170 × 360mm	
電源	350W	



図 2.3.45 操作用 PC 外観

2.3.7 プレ診療システム

本実証において、遠隔によるプレ診療を行うために使用する機器である。

表 2.3.47 プレ診療システム機器一覧

No	物品	対象	メーカー	型番	数量
1	診断用 PC	医者側	DELL	New Precision 3660	1
2	診断用モニター	医者側	EIZO	MX315W	1
3	VR ゴーグル(遠隔診断用)	医者側	Meta	Meta Quest 2	1
4	360° 室内カメラ	患者側	Kandao	Qoocam8K Enterprise	1
5	TV 会議システム(遠隔診断用)	医者側 ／患者側	Kandao	Kandao Meeting Pro	2
6	TV 会議システム用モニター	医者側 ／患者側	EIZO	EV2480-Z	2
7	8K 動画プレイヤー	医者側	アストロデザイン	hp-7524 TamazonePlayer	1
8	8K 動画用モニター	医者側	アストロデザイン	DELL UP3218K	1
9	ダーモカメラ	患者側	CASIO	DZ-D100	1
10	患者確認用モニター	患者側	EIZO	EV2480-Z	
11	8K カメラ	患者側	BOSMA	DC0200	1
12	診察用照明	患者側	NAVIS	LUVIS-E100	1
13	機器接続用スイッチ	医者側 ／患者側	YAMAHA	SWX2210-8G	2
14	カメラ管理用 PC	患者側	DELL	Latitude 7420	1
15	超音波診断装置	医者側 ／患者側	CANON	Aplio_flex_CUS-AFL00	1

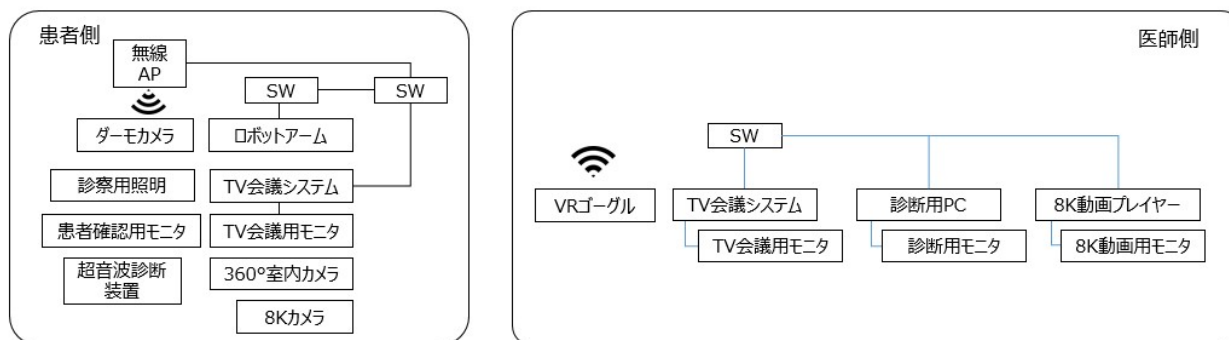


図 2.3.46 プレ診療システム概要図

(1) 診断用 PC

本実証において患者問診を行うための PC である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.48 診察用 PC 仕様

項目	仕様	備考
CPU	Corei7-12700K プロセッサ 3.6GHz-5.0GHz	
メモリ	32GB	
HDD	256GB	
OS	Windows10Pro	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	369 x 173 x 420mm	
重量	8.5kg	
消費電力	500W	



図 2.3.47 診察用 PC 外観

(2) 診断用モニター

本実証において診断用データを閲覧するためのモニターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.49 診断用モニター仕様

項目	仕様	備考
製品名	MX315W	
推奨解像度	4096 x 2160 (アスペクト比 17:9)	
表示色	10-bit (DisplayPort): 約 10.7 億色 (約 5430 億色中 / 13-bit) 8-bit: 約 1677 万色 (約 5430 億色中 / 13-bit)	
視野角 (水平 / 垂直)	178° / 178°	
入力端子	DisplayPort x 2, デュアルリンク DVI-D	
サイズ	31.1 型 (表示領域 (横×縦) : 697.9 × 368.0mm)	
重量	11.7kg	
電源	AC 100 - 240 V, 50 / 60 Hz (最大消費電力 125W / 標準 67W)	



図 2.3.48 診断用モニター外観

(3) VRゴーグル(遠隔診断用)

本実証において、実際の環境に近い診断環境を提供する。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.50 VRゴーグル(遠隔診断用)仕様

項目	仕様	備考
製品名	Meta Quest 2	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	101.9 × 191.5 × 295.5mm	
重量	503g	
CPU	Qualcomm Snapdragon XR2	
メモリ容量	6GB	
ハードディスク容量	256GB	
ディスプレイ	Fast-switch LCD 1832×1920 (片目)	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	16.9 × 321.35 × 208.69mm	
電源	5V 2A USB-C (連続動作 2~3 時間)	



図 2.3.49 VRゴーグル(遠隔診断用)外観

(4) 360° 室内カメラ

本実証において遠隔からプレ診療状況を俯瞰して観察するためのカメラである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.51 360°室内カメラ仕様

項目	仕様	備考
製品名	Qoocam8K Enterprise	
解像度	7680×3840@30fps、3840×1920@120fps	
インターフェース	USB TypeC×1、LANポート(100M)×1、HDMI×1	
Wi-Fi	5 GHz/2.4GHz	
内蔵ストレージ	64GB	
SDカード(外付け)	-20~40°C	
重量	275g	
寸法(高さ×幅×奥行)	179 × 57 × 33mm	



図 2.3.50 360°室内カメラ外観

(5) TV 会議システム(遠隔診断用)

本実証においてプレ診療時のコミュニケーションツールである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.52 TV 会議システム(遠隔診断用)仕様

項目	仕様	備考
製品名	KANDAO Meeting Pro	
解像度	1920 × 1080、1280 × 720	
インターフェース	USB TypeC × 2(出力、電源供給用)、LAN ポート(100M) × 1、HDMI × 1 USB TypeA × 1	
Wi-Fi	5 GHz / 2.4GHz	
内蔵ストレージ	64GB	
SD カード(外付け)	最大 256GB	
重量	750g	
寸法(高さ×幅×奥行)	190 × 80 × 80mm	



図 2.3.51 TV 会議システム(遠隔診断用)外観

(6) TV 会議システム用モニター

本実証においてTV会議システムのためのモニターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.53 TV 会議システム用モニター仕様

項目	仕様	備考
製品名	EV2480-Z	
サイズ	23.8 型 (60.5cm)	
表示色	約 1677 万色: 8-bit 対応	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	230 × 537.8 × 332.4mm	
重量	7.4kg	
消費電力	最大: 142W、標準: 11W	
温度	5~35℃	



図 2.3.52 TV 会議システム用モニター仕様

(7) 8K 動画プレイヤー

本実証において 8K カメラで撮影した映像を再生するためのプレイヤーである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.54 8K 動画プレイヤー仕様

項目	仕様	備考
製品名	hp-7524 TamazonePlayer	
OS	Windows10 Pro 64bit	
メモリ	128GB	
ストレージ	1TB(M.2 NVMe SSD)	
インターフェース	1GbE RJ45 LAN ポート × 1 HDMI2.1 × 1 DisplayPort1.4 × 1	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	451 × 232 × 521mm	



図 2.3.53 8K 動画プレイヤー外観

(8) 8K 動画用モニター

本実証において 8K カメラで撮影した映像を確認するためのモニターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.55 8K 動画用モニター仕様

項目	仕様	備考
製品名	UP3218K	
サイズ	32 型	
表示色	10.7 億色	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	618 × 720.5 × 222mm	
重量	10.5kg	
消費電力	87W	
温度	0~35℃	



図 2.3.54 8K 動画用モニター外観

(9) ダーモカメラ

本実証において皮膚接写を実施するためのカメラである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.56 ダーモカメラ仕様

項目	仕様	備考
製品名	DZ-D100	
有効画素数	5184×3888 約 2016 万画素	
静止画記録画素数	20M (5184×3888) / 12M (3968×2976) / 5M (2560×1920)	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	76 × 127.5 × 86.1mm	
重量	395g	



図 2.3.55 ダーモカメラ外観

(10) 患者確認用モニター

本実証においてプレ診療の画像を患者が閲覧するためのモニターである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.57 患者確認用モニター仕様

項目	仕様	備考
製品名	EV2480-Z	
サイズ	23.8型 (60.5cm)	
表示色	約1677万色: 8-bit対応	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	230 × 537.8 × 332.4mm	
重量	7.4kg	
消費電力	最大: 142W、標準: 11W	
温度	5~35℃	



図 2.3.56 患者確認用モニター仕様

(11) 8K カメラ

本実証においてプレ診療を行うための 8K 画像を撮影するためのカメラである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.58 8K カメラ仕様

項目	仕様	備考
解像度	8k : 7,680×4320 30p 4k : 3,840×2,160 60p	
入出力端子	HDMI×1、USB3.0×1、Ethernet×1、Wi-Fi 2.4GHz/5GHz	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	108 x 126 x 108.7mm	
重量	1.25kg	
電源	DC12V 5A	
温度	0 ~ 40℃	



図 2.3.57 8K カメラ外観

(12) 診察用照明

本実証においてプレ診療を実施する際に使用する照明である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.59 診察用照明仕様

項目	仕様	備考
製品名	LUVIS-E100	
照度	30,000/45,000/60,000Lux	測定距離 500mm
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	2,180 × 510 × 510mm	
重量	4.2kg	
消費電力	200W	
温度	5~35℃	



図 2.3.58 診察用照明外観

(13) 機器接続用スイッチ

本実証においてプレ診療を実施する各機器を接続するためのスイッチである。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.60 機器接続用スイッチ仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース (LAN)	IEEE802.3(100BASE-TX/1000BASE-T/2.5 G BASE-T/ 5 G BASE-T/10GBASE-T) × 12	
外部インターフェース (SFP+)	IEEE802.3z (1000BASE-SX/1000BASE-LX) IEEE802.3ae (10GBASE-SR/10GBASE-LR)	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	44 × 330 × 250mm	突起部分を 除く
重量 (本体)	2.7kg	
最大消費電力	84W	
電源	AC100 ~ 240V、50/60Hz	
動作温度	0 ~ 50℃	



図 2.3.59 機器接続用スイッチ外観

(14) カメラ管理用 PC

本実証実験のカメラを管理するための PC である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.61 カメラ管理用 PC

項目	仕様	備考
製品名	Latitude 7420	
CPU	Core i7 3GHz × 1	
メモリ容量	16GB	
ハードディスク容量	512GB(SSD)	
OS	Windows10Pro	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	16.9 × 321.35 × 208.69mm	
電源	リチウムイオンバッテリー	



図 2.3.60 カメラ管理用 PC 外観

(15) 超音波診断装置

本実証においてエコー診断を行うための超音波診断機器である。ハードウェア仕様は以下のとおり。

表 2.3.62 超音波診断装置仕様

項目	仕様	備考
製品名	Aplio flex CUS-AFL00	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	1,389 × 517 × 602 mm	
電源	AC100V	
周波数	50/60 Hz	
消費電力	700VA 以下	
動作温度	10~35℃	



図 2.3.61 超音波診断装置外観

2.4 システム機能・性能・要件

2.4.1 ローカル5Gネットワーク

本実証におけるローカル5Gネットワークに必要な機能、要件、性能を以下に示す。

表 2.4.1 ローカル5Gネットワーク機能・性能・要件

システム機能	<p>4.8～4.9GHz (4.7GHz 帯) 帯のスタンドアローン (SA) 構成に対応した各コンポーネント機能 (コアネットワーク装置、集約ノード (CDU)、基地局 (RU)、陸上移動局 (UE)) を有する</p> <p>28.3～28.7GHz (28GHz) 帯はアンカーとして 2.5GHz 帯 (2575-2595MHz) を利用して制御系通信を行うことで通信の安定性向上を図れることから、ノンスタンドアローン構成 (NSA) 構成を有する</p> <p>超高速 (eMBB) を実装している</p> <p>コア装置はデータセンターに収容されている</p>
要件	<p>外部アンテナの取り付けが可能であり、発射電波に指向性を持たせることが可能であること</p> <p>RUは2台設置(毛陽交流センター 屋内28GHz帯1台、北村支所 屋外4.7GHz帯1台)</p>
性能	<p>屋外RU(基地局)～UE(陸上移動局)で最大200m程度の通信距離</p> <p>基地局～UE間のスループットは同期パターンとした場合、計算上の理論値として、</p> <p>DL THR: 589Mbps 1CC×100MHz</p> <p>UL THR: 83.5Mbps 1CC×100MHz</p>

2.4.2 地域モビリティネットワーク

本実証における地域モビリティネットワークに必要な機能、要件、性能を以下に示す。

表 2.4.2 地域モビリティネットワーク機能・性能・要件

システム機能	センター拠点と地域モビリティを接続し、各実証におけるデータ通信、および L5G コア～CU/DU 間のデータ通信を可能とする
要件	遠隔でのアームコントロール、映像伝送においてデータ通信のボトルネックとならない十分な通信帯域、低遅延性を有していること 端末 IP アドレスが不定な 5 G 端末等との VPN 接続が可能であること プレ診療実施拠点の LAN 接続として、有線 LAN、無線 LAN での接続が可能であること
性能	インターネット接続回線 上り下り最大 1Gbps 拠点間 VPN 回線 上り下り最大 1Gbps 拠点内有線 LAN 接続 1000BASE-T 以上 拠点内無線 LAN 接続 IEEE802. 11a/b/g/n/ac/ax 対応

2.4.3 センター拠点ネットワーク（北村支所）

本実証におけるセンター拠点ネットワークに必要な機能、要件、性能を以下に示す。

表 2.4.3 センター拠点ネットワーク(北村支所)機能・性能・要件

システム機能	センター拠点とプレ診療実施拠点、及び、センター拠点と地域モビリティを接続し、各実証におけるデータ通信、および L5G コア～CU/DU 間のデータ通信を可能とする
要件	遠隔でのアームコントロール、映像伝送においてデータ通信のボトルネックとならない十分な通信帯域、低遅延性を有していること 端末 IP アドレスが不定な 5 G 端末等との VPN 接続が可能であること プレ診療実施拠点との接続として、VPN での接続が可能であること
性能	インターネット接続回線 上り下り最大 1Gbps 拠点間 VPN 回線 上り下り最大 1Gbps 拠点内有線 LAN 接続 1000BASE-T 以上

2.4.4 地域サービス拠点ネットワーク（毛陽交流センター）

本実証における屋内向けサービスを行う拠点を想定したネットワークに必要な機能、要件、性能を以下に示す。

表 2.4.4 地域サービス拠点ネットワーク(毛陽交流センター)機能・性能・要件

システム機能	センター拠点と地域モビリティを接続し、各実証におけるデータ通信を可能とする
要件	遠隔でのアームコントロール、映像伝送においてデータ通信のボトルネックとならない十分な通信帯域、低遅延性を有していること プレ診療実施拠点の LAN 接続として、有線 LAN、無線 LAN での接続が可能であること
性能	インターネット接続回線 上り下り最大 1Gbps 拠点間 VPN 回線 上り下り最大 1Gbps 拠点内有線 LAN 接続 1000BASE-T 以上 拠点内無線 LAN 接続 IEEE802.11a/b/g/n/ac/ax 対応

2.4.5 遠隔拠点間ネットワーク

本実証における拠点間ネットワークに必要な機能、要件、性能を以下に示す。

表 2.4.5 遠隔拠点間ネットワーク機能・性能・要件

システム機能	センター拠点及び、地域サービス拠点と遠隔拠点を接続し、各実証におけるデータ通信を可能とする。
要件	センター拠点と遠隔拠点間の VPN 接続が可能であること。 遠隔でのアームコントロール、映像伝送においてデータ通信のボトルネックとならない十分な通信帯域、低遅延性を有していること。 プレ診療実施拠点の LAN 接続として、有線 LAN、無線 LAN での接続が可能であること。
性能	インターネット接続回線 上り下り最大 1Gbps 拠点間 VPN 回線 上り下り最大 1Gbps 拠点内有線 LAN 接続 1000BASE-T 以上 拠点内無線 LAN 接続 IEEE802.11a/b/g/n/ac/ax 対応

2.4.6 リアルハプティクスシステム

本実証におけるリアルハプティクスシステムに必要な機能、要件、性能を以下に示す。

表 2.4.6 リアルハプティクスシステム機能・性能・要件

システム機能	<p>ロボットアーム(マスター)での操作を、ロボットアーム(トレーサー)で反映できること。</p> <p>ロボットアーム(トレーサー)での測定情報を、ロボットアーム(マスター)にフィードバックできること。</p>
要件	<p>遠隔でのアームコントロールにおいてデータ通信のボトルネックとならない十分な通信帯域、低遅延性を有していること</p> <p>フィードバックされた情報を記録可能であること</p>
性能	<p>操作者の操作に合わせてロボットアームがコントロールされること。</p> <p>ロボットアーム(マスター)の操作を 30ms 以内にロボットアーム(トレーサー)に反映できること。</p> <p>緊急停止等の安全制御を具備していること。</p> <p>3kg の重量物が可搬であること</p>

2.4.7 プレ診療システム

本実証におけるプレ診療システムに必要な機能、要件、性能を以下に示す。

表 2.4.7 プレ診療システム機能・性能・要件

システム機能	<p>記録した画像が遠隔地から確認できること</p> <p>双方向の意思疎通が可能なこと</p> <p>映像の拡大縮小、撮影方向を任意にコントロールできること</p> <p>遠隔地 PC 画面の共有、遠隔地からの操作が可能であること</p>
要件	<p>HDMI 外部カメラ入力対応であること</p> <p>8K 画像に対応できること</p> <p>低遅延での配信が可能であること</p> <p>外部ストレージに記録可能であること</p>
性能	<p>8K 画像の送受信を低遅延で可能であること</p> <p>遠隔相談者が自由な視点でリモートの画像を確認できること</p>

2.5 その他

構築するローカル 5 G システムにおいては、3GPP 準拠の機器を使用し、将来的な機能拡張を考慮したシステム設計とした。

ローカル 5 G 等を含む本実証で導入するシステムについては「開発供給計画認定」を受けた実績はございませんが、「IT 調達に係る国等の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」（関係省庁；令和 3 年 7 月一部改正）等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じた。

4. 7GHz 帯機器メーカーであるサムスン電子社による具体的な対策状況は、以下の通りである。

- ・購買統合システム(G-SRM)を構築し、供給網(SCM)、情報共有、協力会社評価及び登録、リスク管理、遵法経営と勤労環境の統合管理、協力会社行動規範、自己評価チェックリスト共有等を行い、リスク対応、管理を行っている。

- ・セキュリティ評価基準である ISO15408 の認証取得を行い、サイバーセキュリティ対策を講じている。

- ・米国国家情報保証パートナーシップ (NIAP) 製品準拠リスト (PCL) およびカナダサイバーセキュリティセンターの認定製品リストに認定されている。

また、28GHz 帯機器メーカーであるシスコ社は SOC 2 Type II、ISO 27001、FedRAMP などの業界認定に従って、開発を行っている。

代表機関である東日本電信電話株式会社は ISMS 認証を取得しており、情報セキュリティが十分に確保されるように適正に管理している。また業務委託先に機密情報を提供するにあたり、安全かつ適切な取引を行うためのセキュリティ調査を行った。また業務委託先が、再委託を行う場合には再委託実施時の安全管理措置について確認した。確認項目は以下のとおりである。

- ・機密情報を取扱う業務委託の実施にあたって、情報を適正に取り扱っていると認められる企業等を選定するための基準が設けられている。

- ・受託した業務の全部または一部を第三者に再委託する際は、弊社が求める水準またはそれと同等の水準を満たす事業者を選定することを、弊社との秘密保持契約において遵守する。

- ・機密情報を取扱う業務委託契約を締結する際は、情報の取扱い方法（受け渡しから廃棄まで）等の契約要件を明確化し、契約書を締結している。

- ・業務委託を実施する際は、締結した契約書に基づき、契約要件が履行されているか定期的及び不定期に確認（点検）している。

システム構築にあたり、サイバーセキュリティ対策の観点から、以下の対策を講じた。

- ・外部 NW として、IP-VPN 回線とインターネットアクセス回線を準備しリモートメンテナンス拠点とは VPN でアクセス先を制限した接続とした。インターネットアクセス回線は UTM を設置しインターネットからの不正アクセス等に対するセキュリティ対策を実施した。

2.5.1 実証システムの拡張性等

本実証システムの拡張性等に関して、以下それぞれのシステムに分けて記載する。

(1) ローカル 5G システム

構築するローカル 5 G システムにおいては、3GPP 準拠の機器を使用し、将来的な機能拡張を考慮したシステム設計とした。拡張性については各機器の項に具体的に記載した。

(2) 地域モビリティ・プレ診療システム

モビリティは診療科目によりスペースが異なるため、プレ診療システムの設置準備、利用開始/終了、機器撤収までの運用について、マニュアル化による操作の手順化や、設置位置をフレーム造形・ラック設置により固定化したことにより、日々運用が再現性高く実施可能とした。各調整については「4.3.1 ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証(2) 運用検証」に記載した。

(3) リアルハプティクスシステム

リアルハプティクスとは、対象の硬さや柔らかさ、変形やたわみなどを高精度に伝達できることから、使用する検査機器の拡大を考慮し採用した。

2.5.2 実証システムの安全性確保のための対策

(1) 特定高度情報通信技術活用システム

構築するローカル5Gシステムにおいては、3GPP 準拠の機器を使用し、将来的な機能拡張を考慮したシステム設計とした。

ローカル5G等を含む本実証で導入するシステムについては「開発供給計画認定」を受けた実績はございませんが、「IT 調達に係る国等の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」（関係省庁；令和3年7月一部改正）等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じた。

Sub6 機器メーカーであるサムスン電子社による具体的な対策状況は、以下の通りである。

- ・購買統合システム(G-SRM)を構築し、供給網(SCM)、情報共有、協力会社評価及び登録、リスク管理、遵法経営と勤労環境の統合管理、協力会社行動規範、自己評価チェックリスト共有等を行い、リスク対応、管理を行っている。

- ・セキュリティ評価基準である ISO15408 の認証取得を行い、サイバーセキュリティ対策を講じている。

- ・米国国家情報保証パートナーシップ (NIAP) 製品準拠リスト (PCL) およびカナダサイバーセキュリティセンターの認定製品リストに認定されている。

また、ミリ波機器メーカーであるシスコ社は SOC 2 Type II、ISO 27001、FedRAMP などの業界認定に従って、開発を行っている。

代表機関である東日本電信電話株式会社は ISMS 認証を取得しており、情報セキュリティが十分に確保されるように適正に管理している。また業務委託先に機密情報を提供するにあたり、安全かつ適切な取引を行うためのセキュリティ調査を行った。また業務委託先が、再委託を行う場合には再委託実施時の安全管理措置について確認した。確認項目は以下のとおりである。

- ・機密情報を取扱う業務委託の実施にあたって、情報を適正に取り扱くと認められる企業等を選定するための基準が設けられている。

- ・受託した業務の全部または一部を第三者に再委託する際は、弊社が求める水準またはそれと同等の水準を満たす事業者を選定することを、弊社との秘密保持契約において遵守する。

- ・機密情報を取扱う業務委託契約を締結する際は、情報の取扱い方法(受け渡しから廃棄まで)等の契約要件を明確化し、契約書を締結している。

- ・業務委託を実施する際は、締結した契約書に基づき、契約要件が履行されているか定期的及び不定期に確認(点検)している。

(2) その他の実証システム

本実証で導入する課題解決システムについては、「IT調達に係る国等の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」（関係省庁；令和3年7月一部改正）3等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じた。なお、サプライチェーンの詳細については、「サプライチェーンリスク対策に関わる資料」に示した。

本実証では、クラウドサービスを利用しており、外部のネットワークへの接続やデータ伝送を行った。個人情報の管理等を含め、情報の流通経路全般にわたるセキュリティが適切に確保されるよう、情報の流通経路全般を見渡し、必要なセキュリティとしてクラウド側は実績のあるセキュアな構成を組むとともに、拠点側はFWの対策を実施した。インターネットからの不正アクセスの防止、ログの保全等のセキュリティを実施した。

本実証において、実施する課題実証の要件に対応し、必要に応じて機能改善を行えるように進めた。

横展開が容易に実現可能とするため、各システムのサービスがクラウド上での構築を許容する場合はクラウド利用とし、共有利用環境とスケーラビリティを確保した。

本実証では、開発を伴う機器等としては、地域モビリティシステム、プレ診療システム、リアルハプティクスシステムである。

本機器等について、事前に試験環境で環境要因を極力排除した機器固有の性能を確認した。また、開発を伴わない機器についても、ベンダの品質保証試験評価データ等を入手するか、入手が困難な場合は事前に試験環境で環境要因を極力排除した機器固有の性能を確認した。

また、実証開始前に、実証参加する医師や看護師等に対し、システム利用に関する研修を実施し、実証目的及び実証内容等を説明した。実証期間中、連絡体制を構築し、実証参加者等からの問合せ等への対応と不具合発生時の現地駆けつけ対応の体制を整備し、迅速な原因の特定と対処に努めた。

3. ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要

様々な分野における利用用途や利用環境で柔軟にローカル5Gシステムを構築できるよう、ローカル5Gシステムのエリア構築に関する技術の確立と他システムとの干渉調整を柔軟にするため、下記2つのテーマにおいてローカル5Gの適切な技術基準等の改定や低廉な機器の普及に資する検証を行った。

- ・ テーマⅠ．電波伝搬モデルの精緻化
- ・ テーマⅡ．エリア構築の柔軟性向上

テーマⅠではルーラルエリアの公共施設内の研修室および駐車場の2つを業務区域で実施した。研修室には28GHz帯の指向性を持つアンテナを設置し、その電波伝搬特性を測定するとともに、建物壁面の材質・厚さ別の定量化を示すパラメータ、公共施設内から屋外へ漏れる電波を対象としたパラメータRの精緻化を実施した。また、公共施設屋上には4.7GHz帯の指向性アンテナを用いた基地局を設置し、電波伝搬特性を測定するとともに、周辺環境（市街地、郊外地及び開放地）に対する補正值であるパラメータSについて、ルーラルエリアにおける公共施設の駐車場を含む周辺環境における効率的なエリア構築を目標に値の精緻化を実施した。テーマⅡでは、公共施設内の研修室にて1基地局ではカバーしきれないエリアに対して、メタマテリアル反射板および反射シートを用いた反射波の活用による受信電力、伝送性能の改善度合いを検証・評価し、本ユースケースにおけるメタマテリアル反射板および反射シートの活用可能性を示した。

本実証では、28GHz帯および4.7GHz帯におけるローカル5Gの技術基準などの改定に貢献するべく、ルーラルエリアの公共施設内の研修室および駐車場を対象とした場合のローカル5Gシステム導入モデルを示すとともに、その電波伝搬特性やメタマテリアル反射板および反射シートの活用可能性、有用性を示すことで、同ユースケースの横展開に資する知見等を示すことを目標とした。

3.2 実証環境

本実証での実証環境を以下に示す。本実証では、公共施設内研修室(図 3.2.1)および公共施設駐車場(図 3.2.)にて実証を行った。

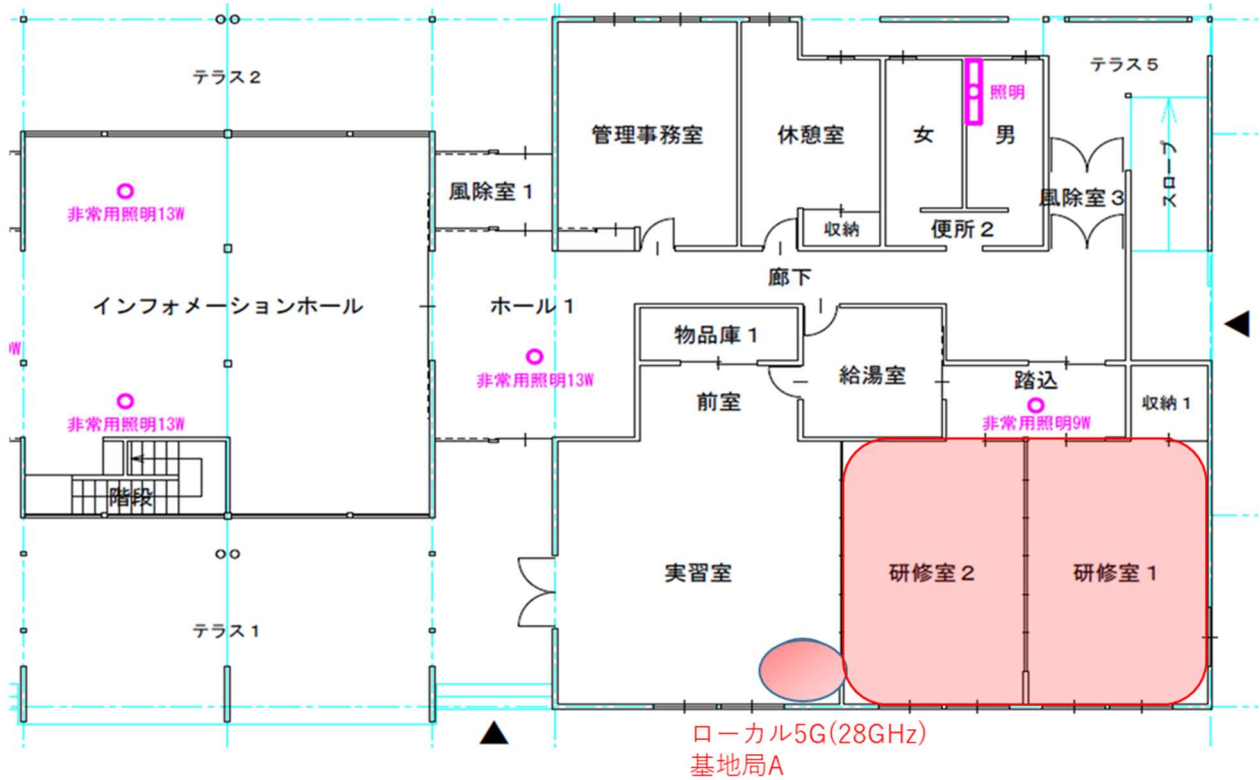


図 3.2.1 公共施設内研修室 実証環境



図 3.2.2 公共施設(毛陽交流センター) 実証環境



図 3.2.3 公共施設駐車場 実証環境



図 3.2.4 公共施設駐車場 実証環境

本実証では、駐車場のエリアカバーには無指向性アンテナではなく、「2.3 ネットワーク・システム構成」で示した指向性アンテナを使用した。理由としては、業務区域外におけるカバーエリア、調整対象区域となるエリアの最小化が挙げられる。本環境のように、特定の比較的狭いエリアのみのカバーを必要とする場合、指向性の強いアンテナを使用することで、カバーエリアを絞り、結果的に業務区域外であるにもかかわらずカバーエリア、調整対象区域となるエリアの最小化が行えた。

3.3 実施事項

3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化

(1) 実証の目的・目標

1) 背景となる技術的課題と実証目的

本実証では、ルーラルエリアの公共施設における医療分野のユースケースにおいて、公共施設内の研修室、および地域モビリティを駐車した公共施設の駐車場というフィールドにおいて、ローカル5Gを用いた遠隔医療というソリューションを適用させることを想定し、その電波伝搬モデルの精緻化を行うことを目的とした。日本全国において数多く存在する公共施設内および、公共施設の駐車場というフィールドにおいて、第4章で記載する、ルーラルエリアの住民が公共施設および自宅近辺の施設で都市型病院でのみ受診できる高度医療や検診を遠隔受診できるようなソリューションは、高度なスキルを持った医師や最先端医療機器が不足するルーラルエリアにも高度医療を提供し、地域の安全性を向上させ定住人口の増加という課題を解決する上で重要なものであると言える。しかし、このようなソリューションを適用するには公共施設内の研修室のみならず、将来的にルーラルエリアを巡回する地域モビリティ内においても遠隔医療を受診できるよう地域モビリティを駐車するエリアをローカル5Gカバーエリアとして確保する必要がある。公共施設内の研修室においては、ロボットアームの利用や8K映像の伝送が将来的に複数利用されることが想定（集団検診、集団実習など）され伝送容量が非常に大きい無線通信が必要となるため、28GHz帯を使用する必要があるが、公共施設内から屋外への電波漏洩を考慮する必要がある。また、地域モビリティが駐車する駐車場周辺は自動車に加え樹木や家屋等が散在する環境となっており、電波伝搬においてマルチパスの影響があることが想定される。これらの技術的課題に対して本実証では、ルーラルエリアの公共施設において28GHz帯でのエリア算出、4.7GHz帯でのエリア算出におけるパラメータの精緻化を実施したことで、本実証と似た環境のルーラルエリアにローカル5Gを用いた遠隔医療ユースケースを展開する際の、エリア設計の知見を提言することを目的とした。また、28GHz帯においては実測データが少なく、パラメータの精緻化と合わせ、実環境における実測データを蓄積することも本実証の目的の一つとした。



図 3.3.1 公共施設(毛陽交流センター)内研修室 実証環境 外観



図 3.3.2 公共施設(北村支所)駐車場 実証環境 外観



図 3.3.3 公共施設(毛陽交流センター)内研修室 実証環境 周辺環境



図 3.3.4 公共施設(北村支所)駐車場 実証環境 周辺環境



図 3.3.5 公共施設(毛陽交流センター)内研修室 実証環境 基地局設置位置



図 3.3.6 公共施設(北村支所)駐車場 実証環境 基地局設置位置

2) 実証目標

本実証では 28GHz 帯における精緻化パラメータ「R (基地局を屋内に設置する場合に、屋外に出る電波の侵入壁面の条件(素材、構造)ごとの伝搬損失を示すパラメータ)」と、4.7GHz 帯における精緻化パラメータ「S (市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正值であり、市街地(都市の中心部であって、2階建て以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など)については0、郊外地(樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など陸上移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域)については12.3、開放地(電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方300~400m以内が開けているような畑地・田地・野原など)については32.5とするパラメータ)」について検討を行い、精緻化することを本実証の目標とした。本業務区域はルーラルエリアの公共施設内の研修室および駐車場であるため、研修室内では壁や窓、什器等の遮蔽による電波伝搬への遮蔽影響を分析し、また駐車場内では駐車車両や樹木、家屋等の周辺環境によるマルチパスの影響を分析することを目標とした。

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

本実証では、屋内での 28GHz 帯におけるパラメータ R の精緻化と、屋外での 4.7GHz 帯におけるパラメータ S の精緻化を行った。屋内での 28GHz 帯におけるパラメータ R の精緻化については、令和3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 No.26「大都市病院における視覚情報共有・AI解析等を活用したオペレーション向上による医療提供体制の充実・強化の実現」における結果のみで、大都市病院内のパラメータ R=17.2 という値が算出された。本実証では、病院とは壁や材質が異なる公共施設における 28GHz 帯のパラメータ R を導出するという点、窓や様々な材質の什器による電波の遮蔽の影響を分析するという点において過年度技術実証から発展性・新規性がある。

また、屋外での 4.7GHz 帯におけるパラメータ S の精緻化については、過年度実証 No.3「ローカル5Gを用いた山間部林業現場での生産性向上および安全性向上のための実用化モデル検証」・No.19「スマートシティにおける移動体搭載カメラ・AI画像認識による見守りの高度化」にあった郊外地とは環境の異なる、畑地・田地・野原がありつつも近辺に住居や建物が存在するという環境において、公共施設利用者が駐車する自動車、樹木、積雪による雪の壁等というランダムな遮蔽物により電波伝搬にマルチパスの影響があるかを実証するという点において過年度技術実証から発展性・新規性がある。

(2) 実証仮説

1) 28GHz 帯 R 値の精緻化

本実証で使用する 28GHz 帯における建物侵入損を示すパラメータである R について、令和 3 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における No. 26 「大都市病院における視覚情報共有・AI 解析等を活用したオペレーション向上による医療提供体制の充実・強化の実現」における検討引用 R 値「28GHz 帯における建物侵入損を場所率 50%とし、Traditional 期待値 50%」を引用し、本業務区域である公共施設フロア内の建物素材は一般的な壁と仮定することで、 $R=20.1\text{dB}$ と仮定しシミュレーションを実施した。

本実証では、漏洩が懸念される屋外(調整対象区域)への漏洩電波(R-OUT)を屋外にて測定および検証を実施した。さらに、本実証では仮説 R 値の精度を高めるため、レイトレース法によるシミュレーションを使用した。レイトレース法とは電波を「光」に見立てて伝搬経路を求める計算手法のことで、この計算手法を用いたシミュレーションをレイトレースシミュレーションと言う。今回採用した「Wireless InSite」の 3D レイトレースシミュレーションは 3 次元光線追跡モデルとなり、エリア算出法ではできなかった遮蔽物による電波の損失・回折・反射等を再現可能なため、実環境での電波伝搬に近いシミュレーションが可能となる。このシミュレーションを用いて、エリア算出法 ($R=20.1\text{dB}$) に基づいたシミュレーション値との伝搬損失カーブの比較を行い、公共施設における新たな仮説建物侵入損(仮説 R)として「 $R=10.574\text{dB}$ 」を導出した。導出手順は以下の「表 3.3.1」に示した。

レイトレースシミュレーションの採用により、精度の高い仮説 R 値が得られることを期待する一方で、シミュレーション精度はシミュレーションに使用する 3D モデルの精度に依存するため、高精度の結果を得るには実環境の遮蔽物の位置や材質等をモデルとして正確に再現する必要がある。さらにシミュレーション時間も要することから、レイトレースシミュレーションの有効性については費用対効果の面からの考察も必要と考え、「(5) 実証結果及び考察」にて言及している。

表 3.3.1 仮説Rの導出手順

項番	大項目	小項目	対応図表
1	算出法エリア図の作成	・ エリア算出法シミュレーションでのカバーエリア/調整対象区域図を作成	・ 図 3.3.7 ・ 図 3.3.8
2	レイトレースシミュレーションの作成	・ (株)構造計画研究所が提供する「Wireless InSite」(開発元 Remcom 社)を利用してレイトレースシミュレーションを作成	・ 図 3.3.9 ・ 図 3.3.10
3	シミュレーション伝搬損失カーブの作成	・ シミュレーション結果から基地局からの距離に対する伝搬損失をプロットし、中央値からのシミュレーション伝搬損失カーブを作成	・ 図 3.3.11
4	仮説 R 値の導出	・ エリア算出法の伝搬損失計算式から基地局から	—

項番	大項目	小項目	対応図表
		の距離に対するエリア算出法伝搬損失カーブを作成 ・ エリア算出法伝搬損失カーブとシミュレーション伝搬損失カーブの差 (ΔR) は $R=20.1$ との差分であるため仮設 R 値 $=20.1-\Delta R$ によって導出する	

なお、人体吸収損について、エリア算出式上 4dB が指定されているが、測定結果のゆらぎを防止するため本実証では人体吸収の影響が生じないように測定を行うことから考慮しないものとする。上記より本実証において受信電力を計算する際の計算式は、次のとおりとする。

$$\text{受信電力}(P_r) = \text{送信電力}(P_t) + \text{送信アンテナ利得}(G_t) - \text{送信給電線損失}(L_f) - \text{伝搬損失}(L)$$

測定器では 100MHz 幅の電波測定を行うことから、100MHz システムの受信電力をもとにカバーエリア・調整対象区域の閾値を次のように置き換えて扱うものとした。

- ・ カバーエリアの閾値は -77.2 [dBm] ($=-81.2$ [dBm] : 電波法関係審査基準の値+4 [dB])
- ・ 調整対象区域の閾値は -86.0 [dBm] ($=-90.0$ [dBm] : 電波法関係審査基準の値+4 [dB])

また、本実証では受信電力に代えて SS-RSRP を測定し、100MHz 幅のとき、受信電力と SS-RSRP の換算は次の式で行う。

$$\text{SS-RSRP [dBm]} = \text{受信電力}(P_r) \text{ [dBm]} - 26.0 \text{ [dB]}$$

(※-26.0 [dB] は $1/(12 \times 66) \times 2$ を dB 表記したもの)

SS-RSRP に換算した際のエリアの閾値は次のとおりである。

- ・ カバーエリアの閾値は -103.2 [dBm] ($=-77.2$ [dBm] - 26.0 [dB])
- ・ 調整対象区域の閾値は -112.0 [dBm] ($=-86.0$ [dBm] - 26.0 [dB])

公共施設内研修室の屋外、屋内のエリア算出法によるカバーエリア及び調整対象区域を以下の算出法エリア図「図 3.3.7」～「図 3.3.8」のように図示する。

表 3.3.2 基地局パラメータ情報

	28GHz 基地局情報
基地局名	IOTA 5G mmWave (アンテナ一体型)
送信出力	17 [dBm/Port] (4 ポート合計 23 [dBm])
設置位置 緯度	43.152438
設置位置 経度	141.938529

28GHz 基地局情報	
アンテナ方位角	50[°]
アンテナチルト角	0[°]
利得	15[dBi] (給電線・コネクタ損失等を含む)
アンテナ高	地上 1.95[m]
計算メッシュ	屋外 : 10[m] 屋内 : 0.5[m]

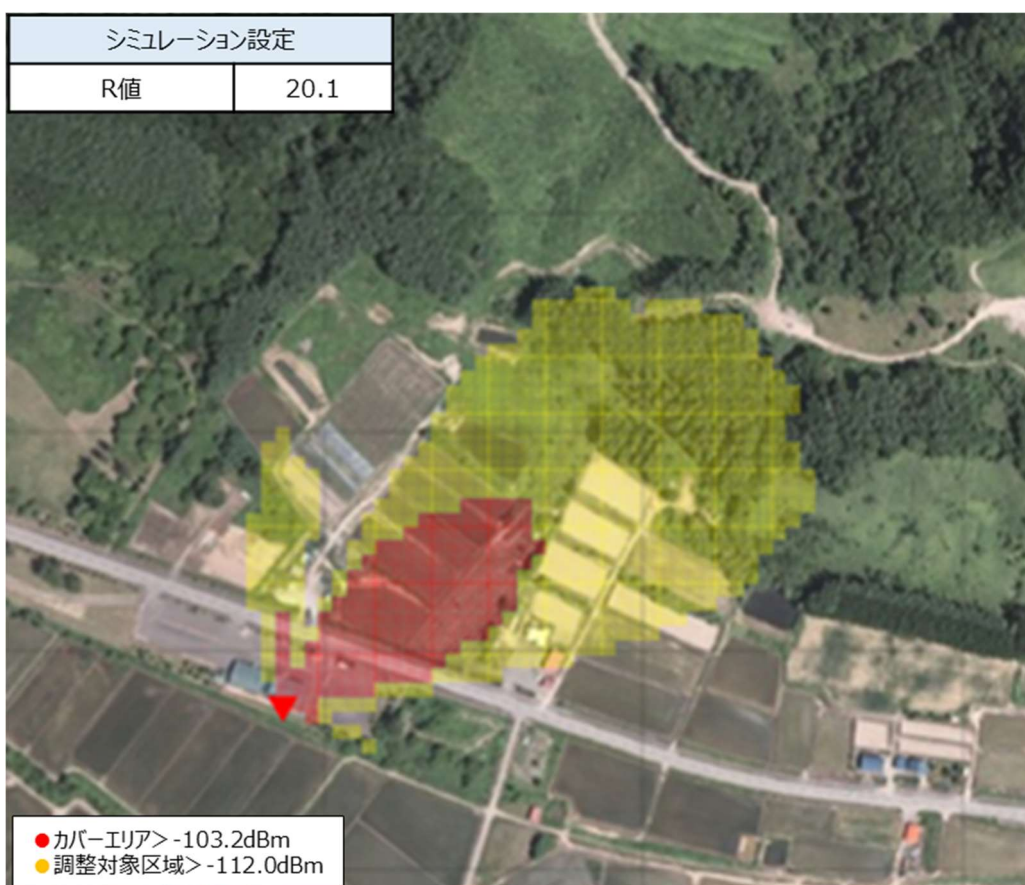


図 3.3.7 公共施設内研修室 屋外 算出法エリア図
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

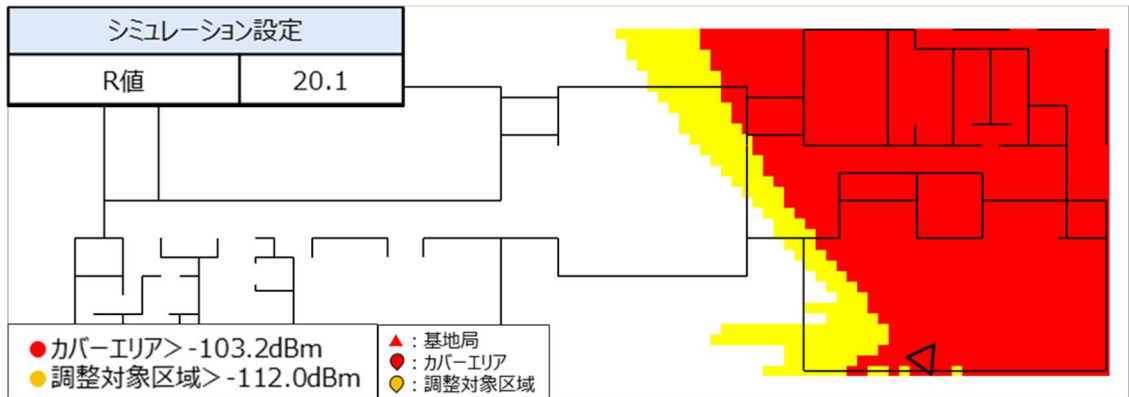


図 3.3.8 公共施設内研修室 屋内 算出法エリア図
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

続いてレイトレースシミュレーション図を「図 3.3.9」～「図 3.3.10」のように図示する。

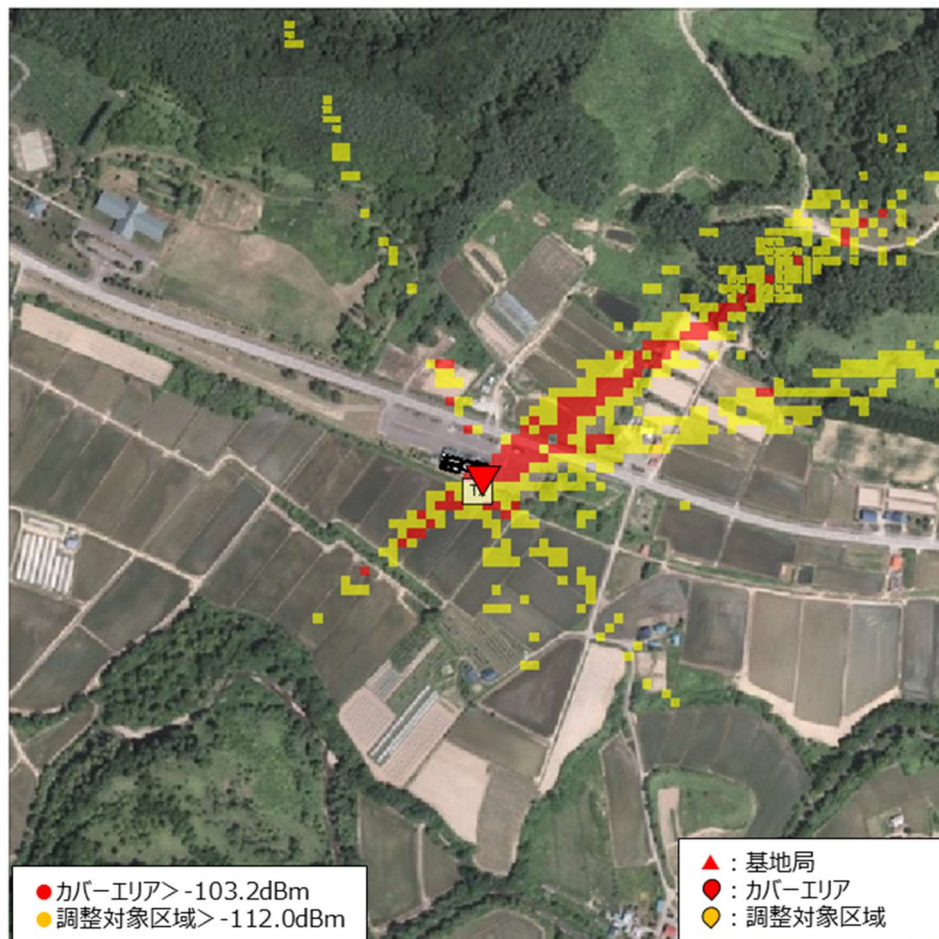


図 3.3.9 公共施設内研修室 屋外 レイトレースシミュレーション結果
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

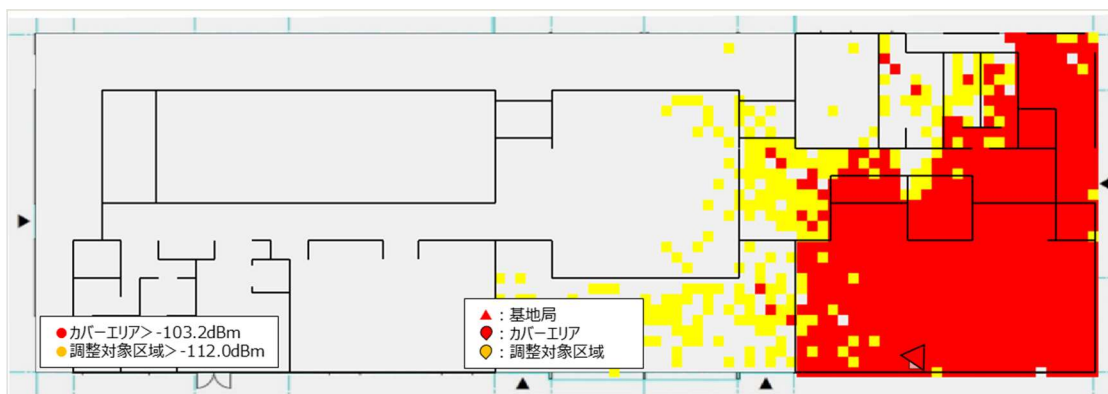


図 3.3.10 公共施設内研修室 屋内 レイトレースシミュレーション結果

レイトレースシミュレーション結果より、基地局から建物より出た距離に対する伝搬損失の特性についてシミュレーション伝搬損失カーブを作成した。また、エリア算出法の伝搬損失計算式からエリア算出法損失カーブを作成した。(図 3.3.11)

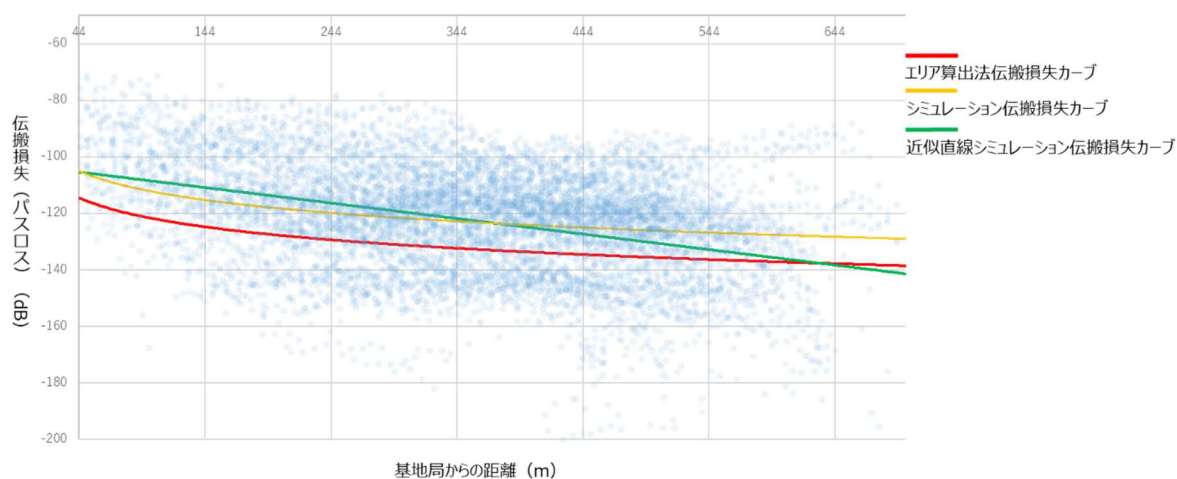


図 3.3.11 シミュレーション伝搬損失カーブ

建物外からの距離が同じ地点であっても伝搬損失値にバラつきが生じているが、これは各ポイントによる見通しまたは見通し外による差異であり、見通し外の中でもその方位ごと家屋、樹木の密集度によって大きく伝搬損失が変わるためである。

エリア算出法伝搬損失カーブとシミュレーション伝搬損失カーブの差 (ΔR) より、仮説 $R=20$ 、 $1-\Delta R$ によって導出し、公共施設内研修室は仮説 $R=10.5$ を導出した。仮説エリア図を以下の「図 3.3.12」「図 3.3.13」のように作成した。

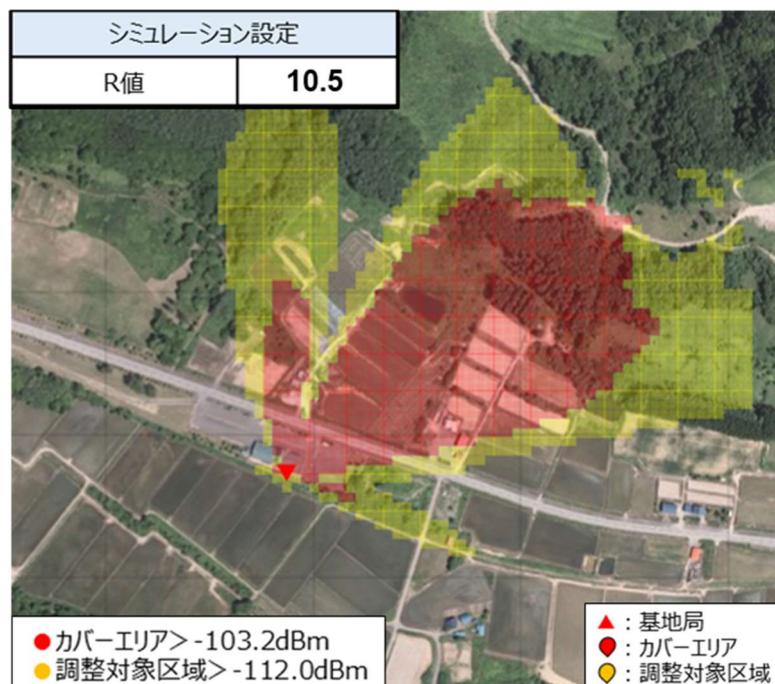


図 3.3.12 公共施設内研修室 屋外 仮説図

(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

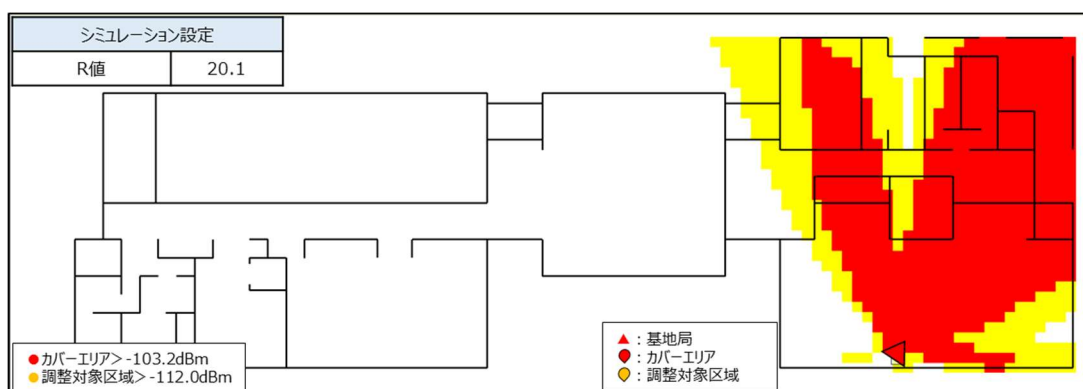


図 3.3.13 公共施設内研修室 屋内 仮説図

(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

2) 4.7GHz 帯 S 値の精緻化

本業務区域は立地条件が畑地・田地・野原エリアであるが、近隣に建物、家屋があるためパラメータ S 値について、郊外地におけるパラメータ S=12.3dB を引用しシミュレーションを実施した。令和3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 No.3「ローカル5Gを用いた山間部林業現場での生産性向上および安全性向上のための実用化モデル検証」・No.19「スマートシティにおける移動体搭載カメラ・AI画像認識による見守りの高度化」の結果において、本件

と類似環境での郊外地(S=12.3)は妥当との結果があるが、No.3における農園環境ではS=24.4、またはS=29.2という結果が得られており、本件と類似環境でのS値はエリア算出式における郊外地(S=12.3)と開放地(S=32.5)の中間に位置しているという結果も提示されている。このことから、本実証環境におけるS値は環境によって左右される事も推測できるので、エリア算出法シミュレーション値(S=12.3dB)とし、本実証では仮説S値の精度を高める目的で、R値同様にレイトレース法によるシミュレーション結果を用いて仮説のS値を定め仮説図を作成した。

表 3.3.3 仮説Sの導出手順

項番	大項目	小項目	対応図表
1	算出法エリア図の作成	・ エリア算出法シミュレーションでのカバーエリア/調整対象区域図を作成	・ 図 3.3.14
2	レイトレースシミュレーションの作成	・ (株)構造計画研究所が提供する「Wireless InSite」(開発元 Remcom 社)を利用してレイトレースシミュレーションを作成	・ 図 3.3.15
3	シミュレーション伝搬損失カーブの作成	・ シミュレーション結果から基地局からの距離に対する伝搬損失をプロットし、中央値からのシミュレーション伝搬損失カーブを作成	・ 図 3.3.16
4	仮説R値の導出	・ エリア算出法の伝搬損失計算式から基地局からの距離に対するエリア算出法伝搬損失カーブを作成 ・ エリア算出法伝搬損失カーブとシミュレーション伝搬損失カーブの差(ΔS)はS=12.3(郊外地)との差分であるため仮設S値=12.3- ΔS によって導出する	—

なお、本実証で使用する基地局は4ポートのうち2ポートのみSSB発射を行う装置であったため送信電力を半分の値である送信電力(P_t)-3[dB]として算出する。また、人体吸収損はエリア算出式上8dBが指定されているが、測定結果のゆらぎを防止するため本実証では人体吸収の影響が生じないように測定を行うことから考慮しないものとする。

上記より本実証において受信電力を計算する際の計算式は、次のとおりとする。

受信電力(P_r) = 送信電力(P_t) -3[dB] + 送信アンテナ利得(G_t) - 送信給電線損失(L_f) - 伝搬損失(L)

100MHz 幅のときカバーエリア・調整対象区域の閾値は次のように置き換えて扱うものとする。

- ・ カバーエリアの閾値は-79.6[dBm](=-84.6[dBm] : 電波法関係審査基準の値-3[dB]+8[dB])
- ・ 調整対象区域の閾値は-86.0[dBm](=-91.0[dBm] : 電波法関係審査基準の値-3[dB]+8[dB])

また、本実証では受信電力に代えて SS-RSRP を測定した。100MHz 幅のとき、受信電力と SS-RSRP の換算は次の式で行う。

$$\text{SS-RSRP}[\text{dBm}] = \text{受信電力}(P_r) [\text{dBm}] - 35.15[\text{dB}]$$

(※-35.15[dB]は $1/(12 \times 273)$ を dB 表記したもの)

SS-RSRP に換算した際のエリアの閾値は次のとおりである。

- カバーエリアの閾値は-114.75[dBm] (= -79.6[dBm] - 35.15 [dB])
- 調整対象区域の閾値は-121.15 [dBm] (= -86.0 [dBm] - 35.15 [dB])

公共施設駐車場のエリア算出法によるカバーエリアおよび調整対象区域を、以下の算出法エリア図「図 3.3.14」のように図示する。

表 3.3.4 基地局パラメータ情報

	公共施設駐車場
アンテナ名	X65-3545FTD
送信出力	14[dBm/Port] (2ポート合計 17[dBm])
設置位置 緯度	43.262465
設置位置 経度	141.695945
アンテナ方位角	90[°]
アンテナチルト角	10[°]
利得	8[dBi] (アンテナ利得・給電線損失・コネクタ損失等を含む)
アンテナ高	地上 11[m]
計算メッシュ	屋外：10[m]

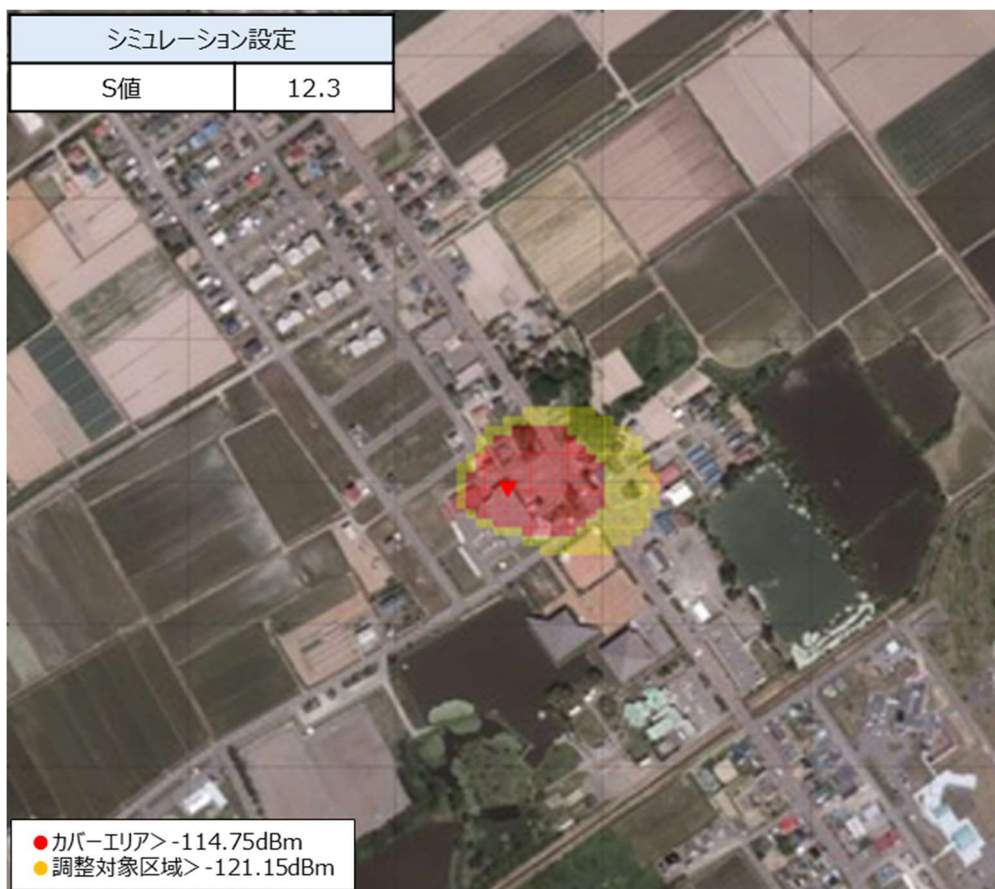


図 3.3.14 公共施設駐車場 算出法エリア図
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

続いてレイトレースシミュレーション図を「図 3.3.15」のように図示する。

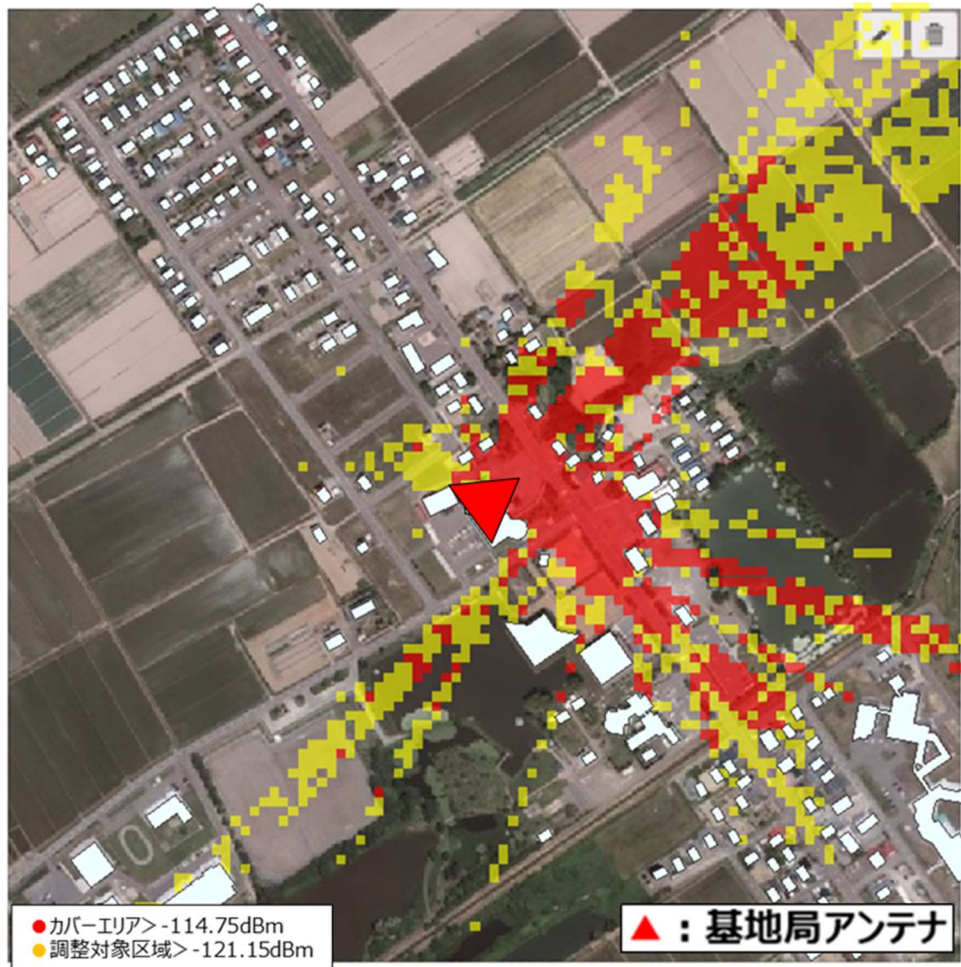


図 3.3.15 公共施設駐車場 レイトレースシミュレーション結果
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

レイトレースシミュレーション結果から基地局からの距離に対する伝搬損失の特性についてシミュレーション伝搬損失カーブを作成した。また、エリア算出法の伝搬損失計算式からエリア算出法損失カーブを作成した。

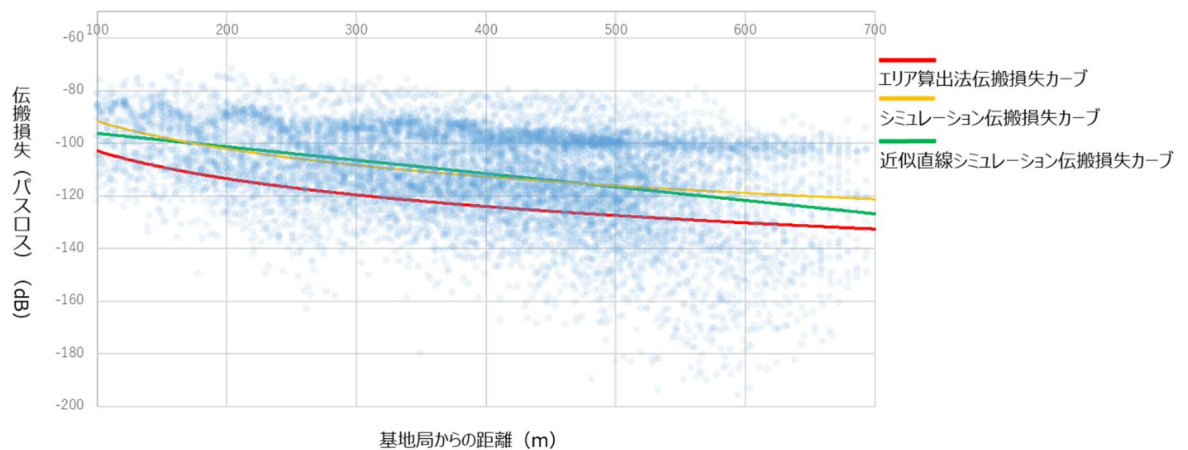


図 3.3.16 公共施設駐車場 シミュレーション伝搬損失カーブ

基地局からの距離が同じ地点であっても伝搬損失値にバラつきが生じているが、これは各ポイントが見通し内か見通し外による差異であり、見通し外の中でもその方位ごと建物や樹木の密集度によって大きく伝搬損失が変わるためである。

エリア算出法伝搬損失カーブとシミュレーション伝搬損失カーブの差 (ΔS) より、仮説 $S=12.3-\Delta S$ によって導出し公共施設駐車場は仮説 $S=23.6$ を導出した。仮説エリア図を以下の「図 3.3.17」のように作成した。

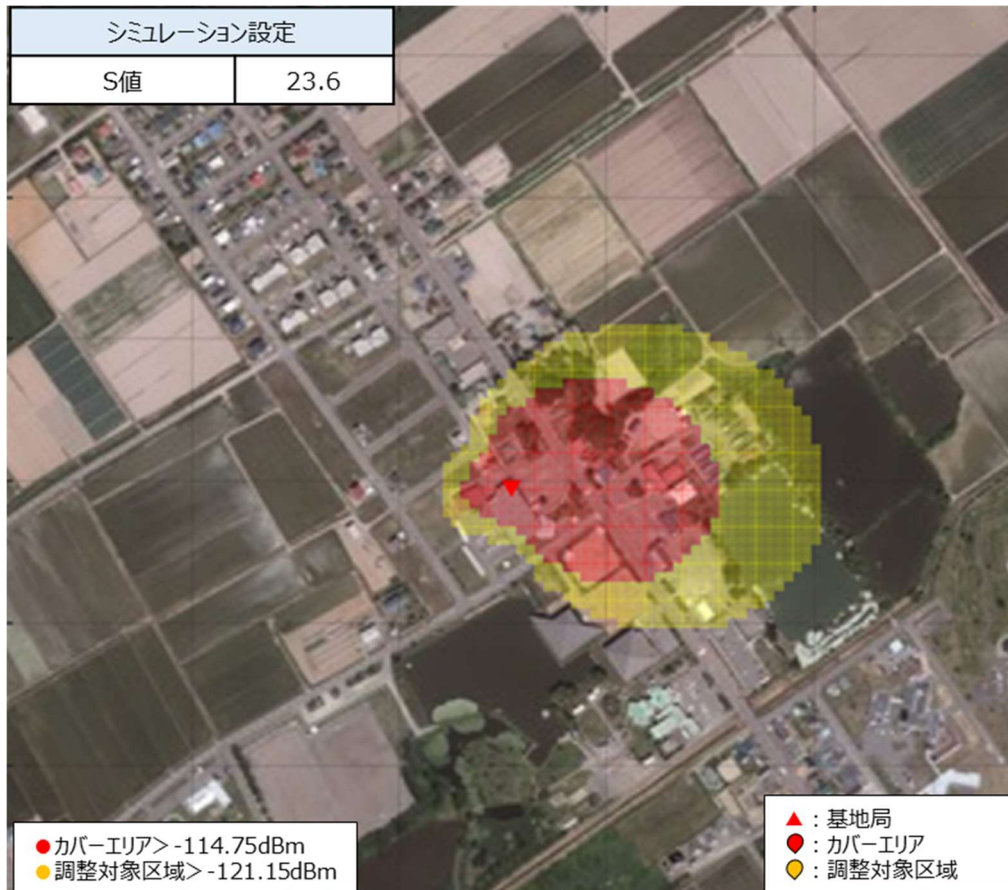


図 3.3.17 公共施設駐車場 仮説図

(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

(3) 評価・検証項目

1) 28GHz 帯 R 値の精緻化

本実証での 28GHz 帯の評価・検証項目は、以下の表 3.3.5 のとおりである。

表 3.3.5 28GHz 帯 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	R の精緻化	<ul style="list-style-type: none">・ 測定点における SS-RSRP シミュレーションと仮説 R 値の導出・ 定点測定点における SS-RSRP の測定・ 基地局と測定点の位置関係（距離・高さ）の確認・ 測定点から基地局までの見通し・主な遮蔽物 (LOS, NLOS (遮蔽 1 枚), NLOS (遮蔽 2 枚)) の確認・ 遮蔽物の進入損失値の測定（壁、開閉ドア、ガラス (R-OUT)、人体のいずれか 2 項目程度）・ 実測値から R 値の算出・ 実測値から得られた R 値と仮説 R 値の比較と、差分の要因分析・ R 値の精緻化・ レイトレースシミュレーション値と実測結果の比較 差分が生じる場合は要因分析

2) 4.7GHz 帯 S 値の精緻化

本実証での 4.7GHz 帯の評価・検証項目は、以下の表 3.3.6 のとおりである。

表 3.3.6 4.7GHz 帯 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	S の精緻化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測定点における SS-RSRP シミュレーションと仮説 S 値の導出 ・ 測定点における SS-RSRP の測定 ・ 基地局と測定点の位置関係（距離・高さ）の確認 ・ 測定点から基地局までの見通し・主な遮蔽物の確認 ・ 実測値から S 値の算出 ・ 実測値から得られた S 値と仮説 S 値の比較と、差分の要因分析 ・ S 値の精緻化 ・ レイトレースシミュレーション値と実測結果の比較 ・ 差分が生じる場合は要因分析
2	マルチパス	<ul style="list-style-type: none"> ・ マルチパス測定点における指向性アンテナでの基地局方向に向けた SS-RSRP の測定 ・ 測定点における指向性アンテナでの基地局方向以外による全方向の基地局方向 SS-RSRP 実測値より大きい値または近しい値の探索 ・ 上記値における SS-RSRP 実測 ・ 測定点から基地局までの見通し・主な遮蔽物の確認

(4) 評価・検証方法

1) 28GHz 帯 R 値の精緻化

「表 3.3.5 評価・検証項目」の項番 1 に関する評価・検証方法は以下の「表 3.3.7」のとおりである。

表 3.3.7 R 値の精緻化 評価・検証方法

工程	実施内容	対応図表
1	<p>【歩行測定によるヒートマップ作成および測定点の選定】</p> <p>実証環境エリアにおいて建物外での SS-RSRP の歩行測定を実施 歩行測定の結果より、実証環境エリアの SS-RSRP ヒートマップを作成 シミュレーション結果およびヒートマップから精緻化対象となる定 点測定の測定点を選定</p> <p>算出法エリア図と仮説エリア図のカバーエリアおよび調整対象区域 端における測定点を基地局からの距離、方向が異なる測定点 30 地点 以上選定</p> <p>複数の方位でのエリア算出法に定めるカバーエリアおよび調整対象 区域の閾値がそれぞれ実測される測定点を選定</p> <p>その他精緻化に有効と思われる測定点を選定</p>	図 3.3.18
2	<p>【定点測定】</p> <p>建物外での SS-RSRP を測定</p> <p>エリア算出式の条件に倣にて測定器は空中線利得 20dBi、給電線損失 0dB、空中線地上高 1.5m に設定し測定を実施定在波の影響を避けるた め、1つの測定点において 10λ（λは波長の範囲）で測定位置を動か しながら測定を実施</p> <p>屋内での測定ポイントの緯度経度情報は GPS 測位ができる地点から レーザー距離計を用いて距離・方位を算出し、そこから国土地理院地 図で緯度経度を算出</p> <p>人体吸収損の影響を除去するため、測定中は作業による人体遮蔽が 発生しない措置を講ずる</p> <p>1つの測定点において、1000 サンプル以上取得</p> <p>取得したサンプルから中央値、標準偏差、上位 10%値、下位 10%値を算 出</p> <p>SS-RSRP の中央値から受信電力を算出</p> <p>遮蔽物透過損 R 値を求める測定として、「R=遮蔽物外の電界強度[dB] －遮蔽物内の電界強度[dB]」を算出するため、測定対象の遮蔽物の外 と内にて受信電力の測定を実施（アンテナから測定ポイントの自由空</p>	図 3.3.19

工程	実施内容	対応図表
	間損失を減算 資料作成（定点測定後） <ul style="list-style-type: none"> ・測定結果（SS-RSRP） ・試験系統図および試験環境図等 	
3	【分析および考察】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 定点測定の結果から、建物外からの距離に対する伝搬損失の特性カーブ（実測値カーブ）を作成 ・ 実測結果の傾向によっては複数カーブを作成 ・ 実測値カーブから精緻化R値を算出 ・ 実測損失カーブとシミュレーション損失カーブ図を比較 ・ 精緻化後R値にてエリア算出法シミュレーションでのカバーエリアおよび調整対象区域図の作成（精緻化後エリア図） ・ 精緻化後エリア図と実測値を比較し、差異について検証・考察の実施 ・ レイトレースシミュレーション結果と実測結果を比較し、適合率を割り出す 	

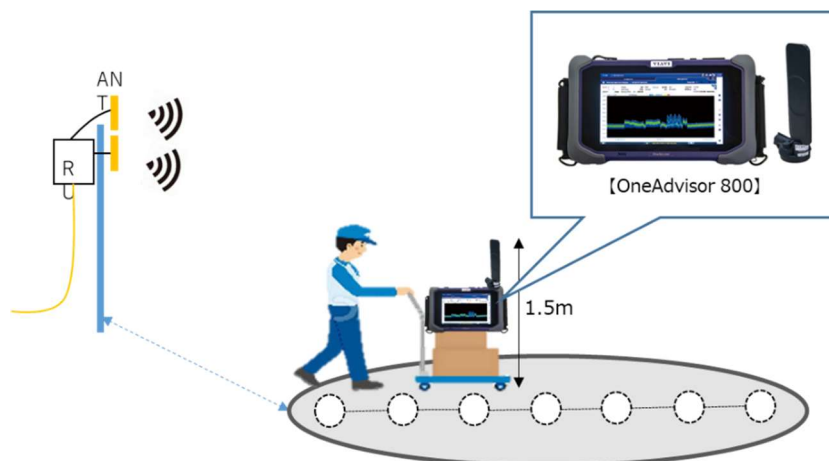


図 3.3.18 OneAdviSor800 を用いた歩行測定イメージ

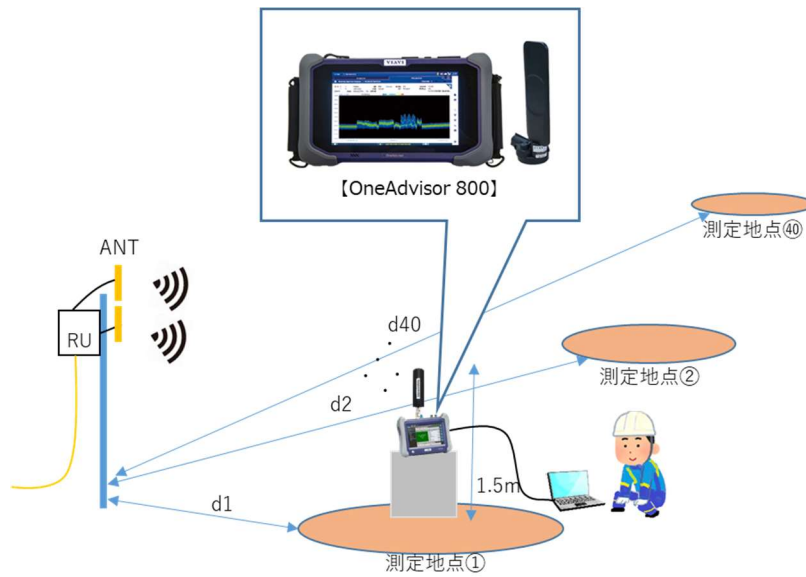


図 3.3.19 OneAdviSor800 を用いた定点測定イメージ

まず、「表 3.3.6」の工程 1 より、定点測定点を確定させるために実証環境エリアで歩行測定を実施し、SS-RSRP ヒートマップを作成する。

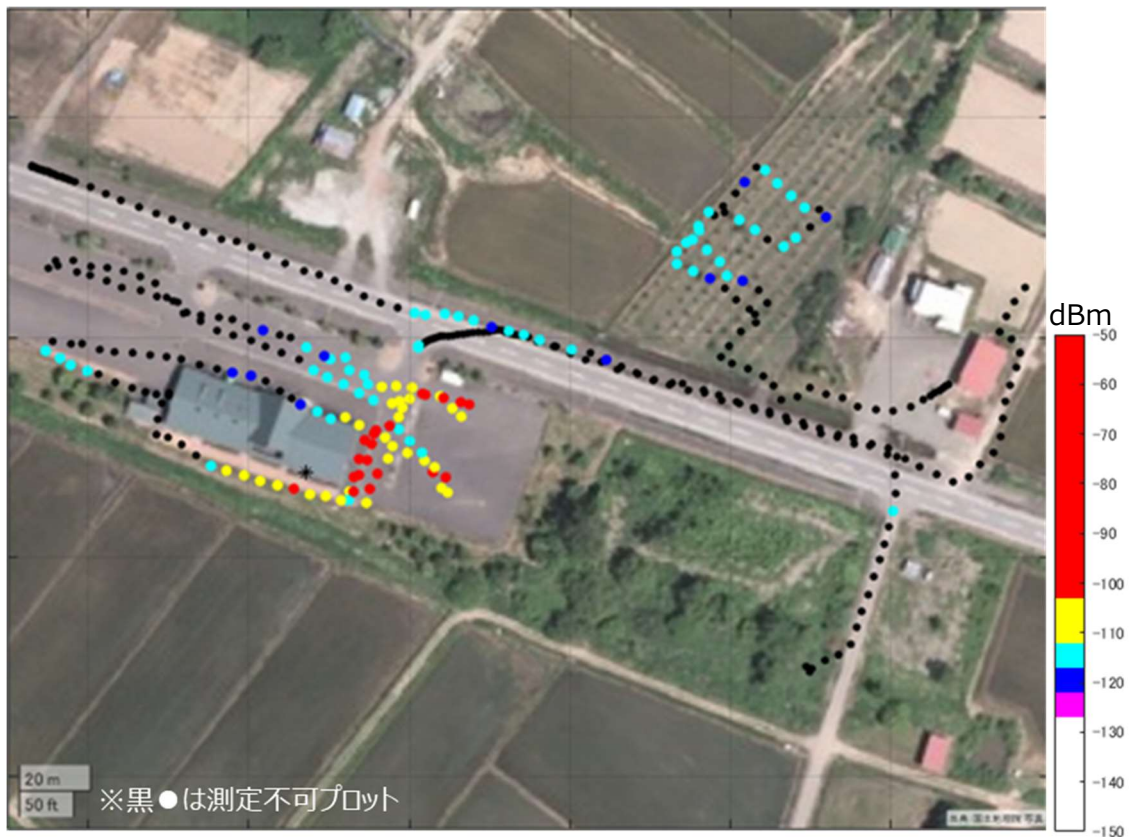


図 3.3.20 公共施設研修室屋外 SS-RSRP ヒートマップ測定結果
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <http://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

「図 3.3.20」ヒートマップ測定結果より、想定より屋外への漏洩電波が少なく、基地局に近い受信電力の実測値を確認できる立ち入り可能な算出法エリア図上のカバーエリア端 8 ポイント・調整対象区域端 8 ポイントを選定し、レイトレースシミュレーション結果より導出した仮説 $R=10.5$ を用いて作図した仮説エリア図上のカバーエリア端 7 ポイント、調整区域端 9 ポイントを選定する。



図 3.3.21 公共施設研修室屋外 算出法エリア図におけるカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

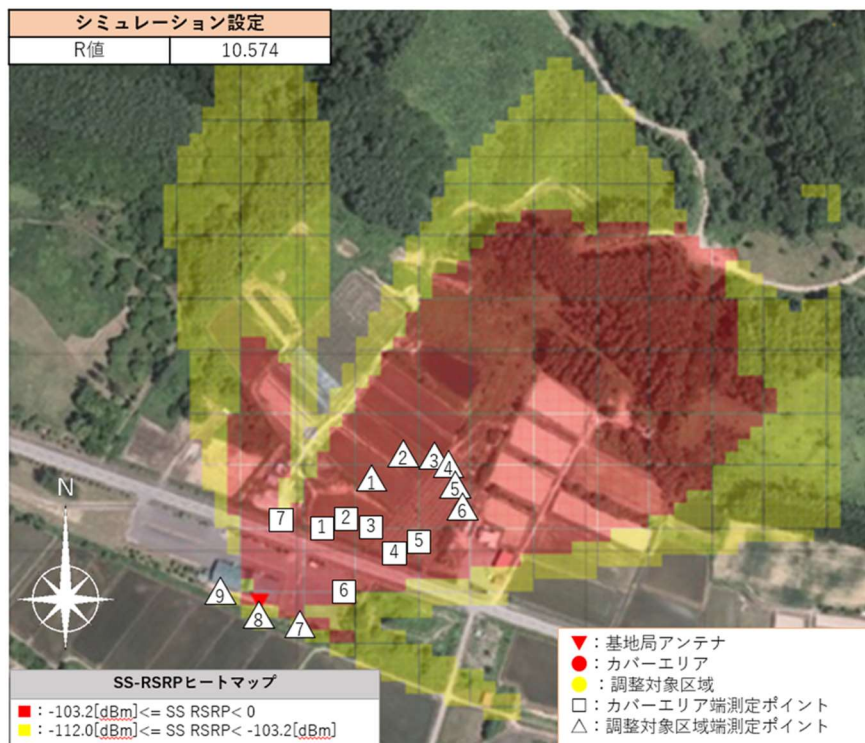


図 3.3.22 公共施設研修室屋外 仮説エリア図におけるカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <httpS://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

上記「図 3.3.21」、「図 3.3.22」で選定した測定点で実測値を測定する。測定点では測定情報として LOS/NLOS、基地局との水平・3D 距離、実測受信電力値を計測しエリア算出法で算出した受信電力と実測値の差分をまとめる。

また、公共施設研修室屋外においてエリア算出法上のカバーエリアの閾値、調整対象区域の閾値が実測される地点で定点測定を行い基地局から測定点の距離をまとめた。「図 3.3.23」は実測端のイメージ図である。

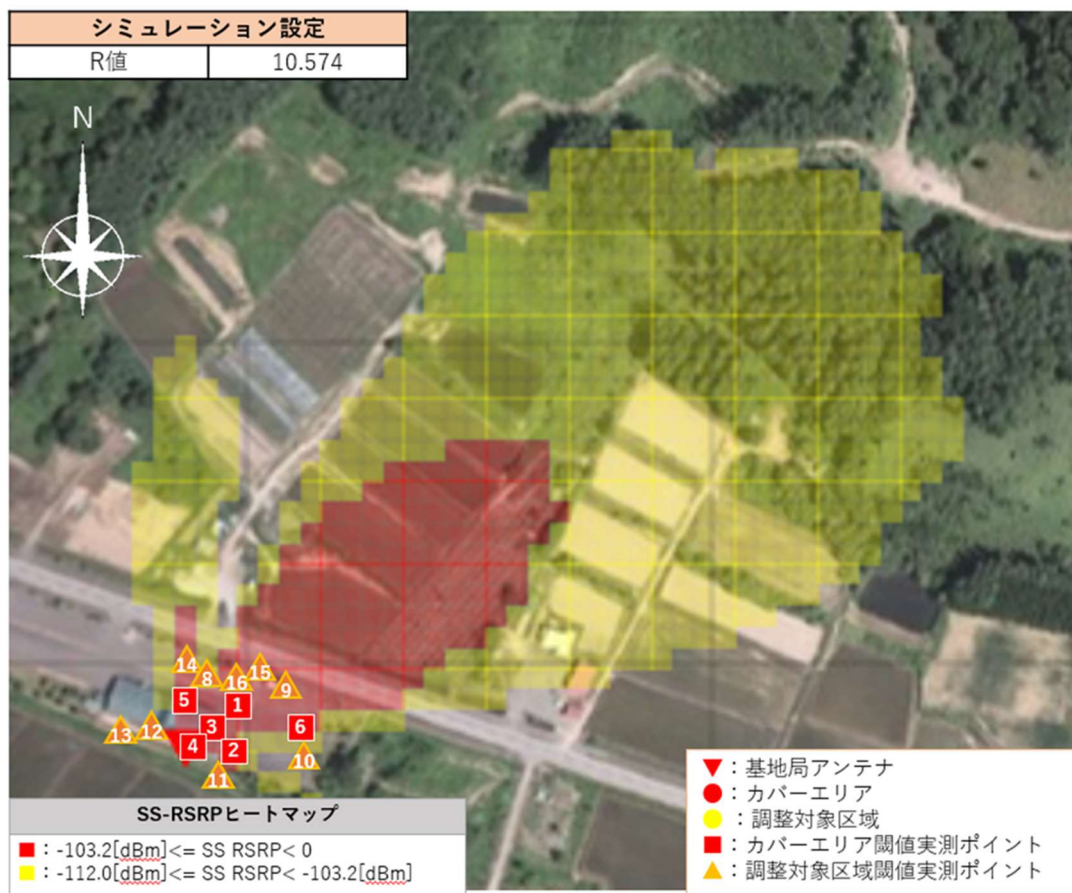


図 3.3.23 公共施設研修室屋外 カバーエリアおよび調整対象区域の閾値が実測された
基地局からの距離のイメージ

(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://mapS.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

建物内遮蔽物「表 3.3.7」の遮蔽物透過損失 R を求める測定として、「 $R = \text{遮蔽物外の電界強度 [dB]} - \text{遮蔽物内の電界強度 [dB]}$ 」を算出するため測定対象の遮蔽物の外と内 (2 項目程度) にて受信電力の測定を実施 (アンテナから測定ポイントの自由空間損失の減算も考慮)。

表 3.3.8 公共施設研修室 建物内遮蔽物

No,	用途	材質	厚み (mm)
①	外壁	フレキシブルボード+木材	248mm
②	窓 (外壁)	ガラス (ペアガラス)	3mm×2枚
③	スライド式扉 (トイレ)	木材	30mm
④	スライド式扉 (ホール)	木材 (すのこ扉) ※33mmの隙間複数あり	37mm
⑤	屋内壁	フレキシブルボード+ビニールクロス	142mm
⑥	自動ドア	ガラス	3mm
⑦	襖 (室内扉)	和紙	30mm

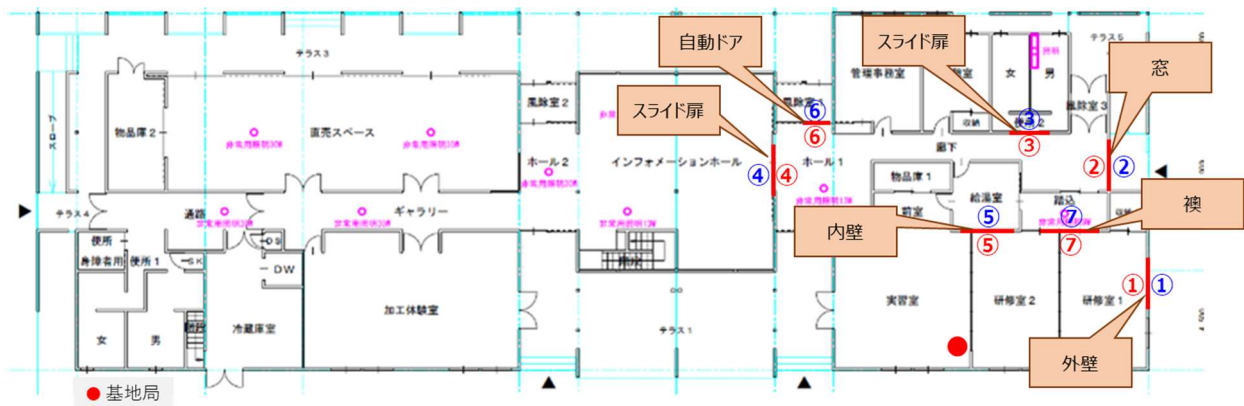


図 3.3.24 公共施設研修室における遮蔽物位置と測定ポイント

2) 4.7GHz 帯 S 値の精緻化

「表 3.3.6」の項番 1 に関する評価・検証方法は以下の「表 3.3.9」のとおりである。

表 3.3.9 S 値の精緻化 評価・検証方法

工程	実施内容	対応図表
1	<p>【歩行測定によるヒートマップ作成および測定点の選定】</p> <p>実証環境エリアにおいて建物外での SS-RSRP の歩行測定を実施 歩行測定の結果より、実証環境エリアの SS-RSRP ヒートマップを作成 シミュレーション結果およびヒートマップから精緻化対象となる定点測定の測定点を選定 算出法エリア図と仮説エリア図のカバーエリアおよび調整対象</p>	図 3.3.18

工程	実施内容	対応図表
	区域端における測定点を基地局からの距離、方向が異なる測定点 30 地点以上選定 複数の方位でのエリア算出法に定めるカバーエリアおよび調整対象区域の閾値がそれぞれ実測される測定点を選定 その他精緻化に有効と思われる測定点を選定	
2	【定点測定】 <ul style="list-style-type: none"> ・ SS-RSRP を測定 ・ エリア算出式の条件に倣にて測定器は空中線利得 0dBi、給電線損失 0dB、空中線地上高 1.5m に設定し測定を実施 ・ 定在波の影響を避けるため、1つの測定点において 10λ (λ は波長 の範囲) で測定位置を動かしながら測定を実施 ・ 人体吸収損の影響を除去するため、測定中は作業者による人体遮蔽が発生しない措置を講ずる ・ 1つの測定点において 1000 サンプル以上取得 ・ 取得したサンプルから中央値、標準偏差、上位 10%値、下位 10%値を算出 ・ SS-RSRP の中央値から受信電力を算出 ・ 資料作成 (定点測定後) <ul style="list-style-type: none"> ・ 測定結果 (SS-RSRP) ・ 試験系統図及び試験環境図等 	図 3.3.19
3	【分析および考察】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 定点測定の結果から、建物外からの距離に対する伝搬損失の特性カーブ (実測値カーブ) を作成 ・ 実測結果の傾向によっては複数カーブを作成 ・ 実測値カーブから精緻化R値を算出 ・ 実測損失カーブとシミュレーション損失カーブ図を比較 ・ 精緻化後S値にてエリア算出法シミュレーションでのカバーエリアおよび調整対象区域図の作成 (精緻化後エリア図) ・ 精緻化後エリア図と実測値を比較し、差異について検証・考察の実施 ・ レイトレースシミュレーション結果と実測結果を比較し、適合率を割り出す 	

表 3.3.10 マルチパスの試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	<p>【歩行測定によるヒートマップ作成および測定点の選定】</p> <p>「表 3.3.7」の工程1のSS-RSRP ヒートマップ結果より、各方位にて受信電力の実測値が高い見通し等電波伝搬の環境が異なる測定点6地点を選定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ S値精緻化と同じ内容で測定を行う。ただし、測定器のアンテナは指向性アンテナを使用 ・ 測定器のアンテナを基地局設置方向に向け、みなし直接波及び直接波以外の最大電力到来方向のSS-RSRPを測定 ・ 測定方法は以下のとおり実施する <ol style="list-style-type: none"> ① 基地局方向に指向性アンテナに向け、みなし直接波のSS-RSRP値の測定 ② 基地局方向以外の全方向に指向性アンテナに向け、項①で測定した値以外で最も電力が大きいまたは近しい電力の方向を探索 ・ 探索した最大電力到来方向の測定を実施 	表 3.3.11
2	<p>【分析考察】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アンテナ指向性による差分について、測定点の配置図にプロットし、測定点の環境と実測値の差分の傾向について分析 	

まず、「表 3.3.7」の工程1より、定点測定点を確定させるために実証環境エリアで歩行測定を実施し、SS-RSRP ヒートマップを作成した。立ち位置可能なエリアにて全方位満遍なく歩行測定し電波環境の確認を行う。

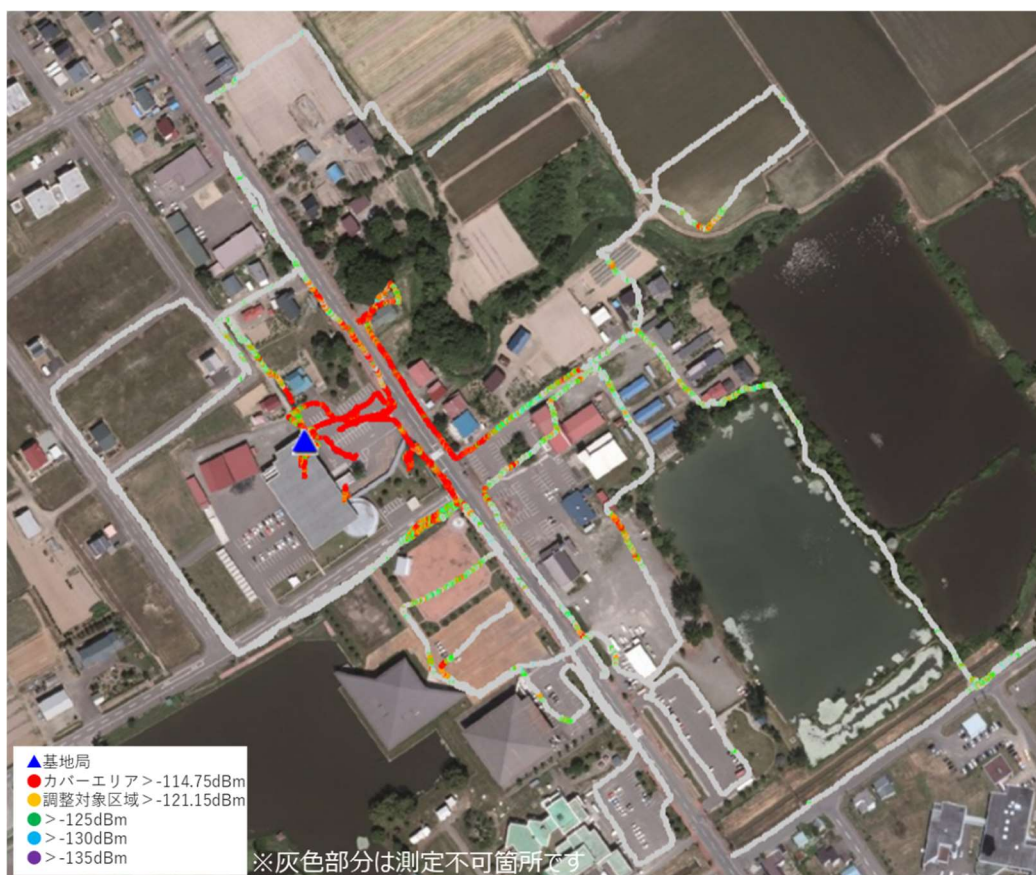


図 3.3.25 公共施設駐車場 SS-RSRP ヒートマップ測定結果
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <http://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

続いてシミュレーション結果と SS-RSRP ヒートマップを基に測定点を選定した。公共施設駐車場では算出エリア図上で指向方向へカバーエリア端 7 ポイント、調整対象区域端 9 ポイントを選定し、レイトレースシミュレーション結果より導出した仮説 $S=23.6$ を用いて作図した仮説エリア図上で指向方向へカバーエリア端 8 ポイント・調整対象区域端 8 ポイントを選定した。

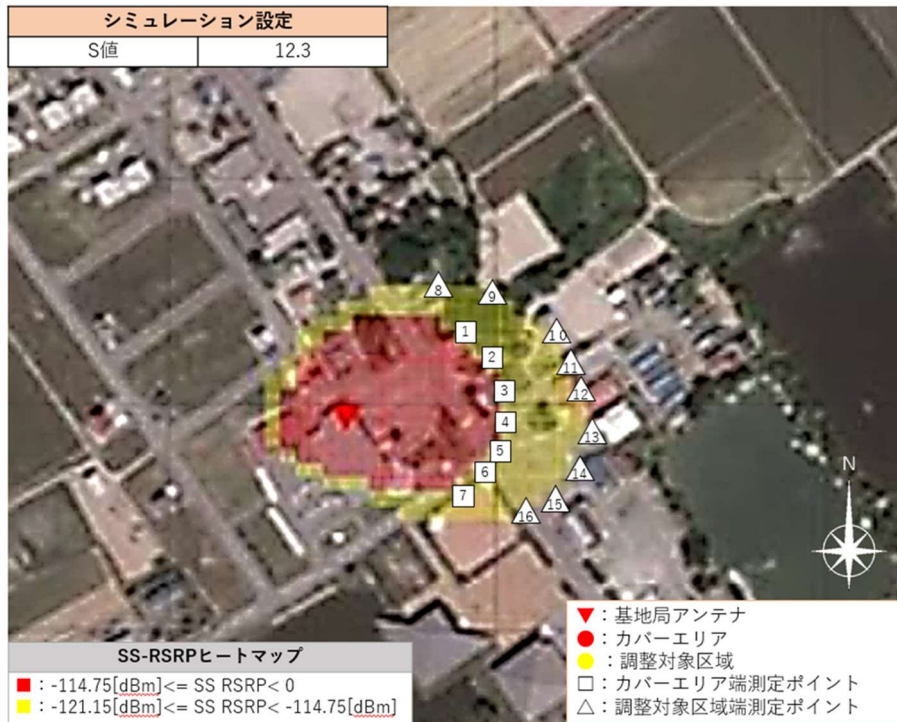


図 3.3.26 公共施設駐車場 算出法エリア図におけるカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

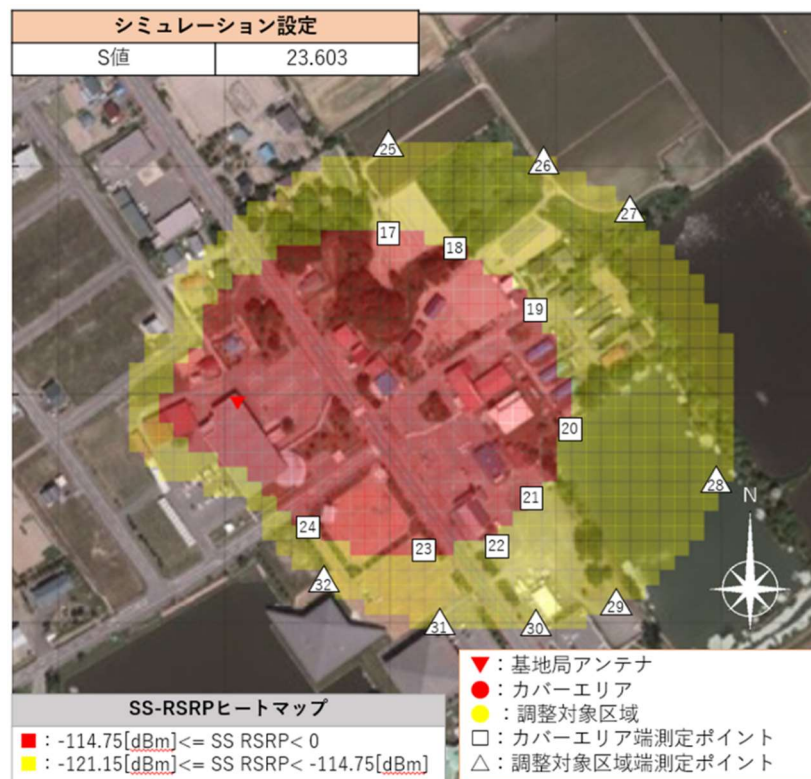


図 3.3.27 公共施設駐車場 仮説エリア図におけるカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

上記「図 3.3.26」、「図 3.3.27」で選定した測定点で実測値を測定する。測定点では測定点情報としてLOS/NLOS、基地局との水平・3D 距離、実測受信電力値を計測しエリア算出法で算出した受信電力と実測値の差分をまとめる。

また、公共施設駐車場においてエリア算出法上のカバーエリアの閾値、調整対象区域の閾値が実測される地点で定点測定を行い基地局から測定点の距離をまとめた。「図 3.3.28」は実測端のイメージ図である。

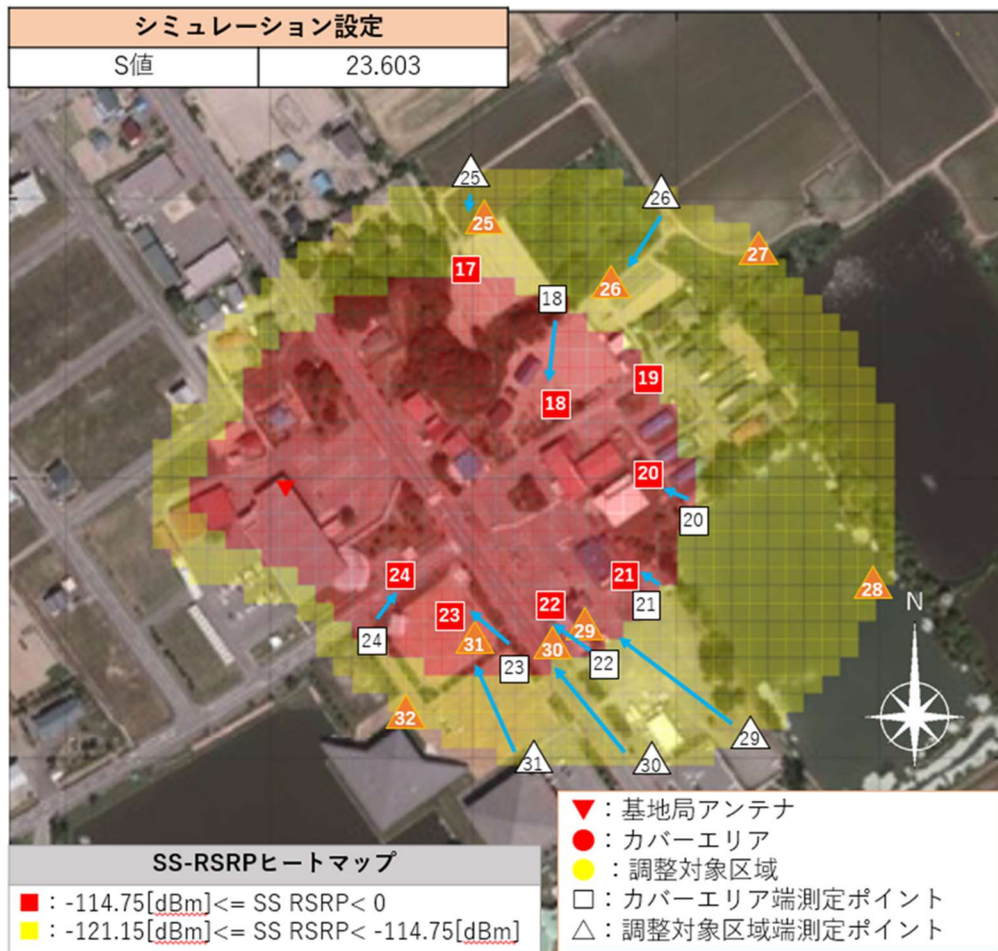


図 3.3.28 公共施設駐車場 カバーエリアおよび調整対象区域の閾値が実測された
基地局からの距離

(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <http://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

(5) 実証結果及び考察

1) 28GHz 帯 R 値の精緻化

評価・検証項目で定義した測定点の測定ポイント図「図 3.3.21」、「図 3.3.22」で定点測定を行い、各測定点の LOS/NLOS、基地局と測定点の 3D・水平距離、エリア算出法で算出した受信電力 (SS-RSRP)、実測値をまとめる。

まず、算出法エリア図「図 3.3.21」上のカバーエリア・調整対象区域端における実測結果を以下の「表 3.3.12」「表 3.3.13」に示す。

表 3.3.12 算出法エリア図におけるカバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
1	1	76.6	76.6	-74.8	-109.8	0.9	-108.4	-111.6
2	1	83.4	83.4	-75.6	-111.3	0.8	-110.1	-113.0
3	1	97.3	97.3	-78.4	-107.8	0.7	-106.6	-109.2
4	1	93.6	93.6	-80.1	-112.7	1.2	-110.9	-115.0
5	1	117.9	117.9	-81.1	-116.9	1.1	-115.5	-119.2
6	1	124.0	123.9	-79.9	-112.5	1.2	-111.3	-115.1
7	1	149.8	149.8	-81.0	-112.6	0.9	-111.6	-114.6
8	1	166.6	166.5	-81.5	-115.5	0.7	-114.4	-116.8

表 3.3.13 算出法エリア図における調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
9	1	169.9	169.8	-81.9	-116.2	1.8	-113.4	-119.4
10	1	173.7	173.7	-82.7	-115.9	1.1	-114.4	-118.1
11	1	168.1	168.0	-83.7	-115.2	0.9	-113.8	-116.8
12	1	35.0	35.0	-94.0	-107.6	1.8	-105.6	-111.6
13	1	2.1	2.0	-82.7	-106.1	3.5	-101.5	-111.6
14	1	27.2	27.2	-65.7	-107.4	4.1	-101.6	-113.0
15	1	63.0	63.0	-74.8	-111.9	1.3	-110.5	-114.8
16	1	44.6	44.6	-86.3	-91.2	0.6	-90.7	-92.3

続いて仮説エリア図「図 3.3.22」上のカバーエリア・調整対象区域端における実測結果を以下の「表 3.3.13」「表 3.3.14」に示す。

表 3.3.14 仮説エリア図におけるカバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
17	1	77.8	77.8	-75.1	-116.86	1.20	-114.81	-119.10
18	1	83.0	83.0	-75.4	-108.48	3.94	-107.31	-118.61
19	1	99.5	99.5	-78.4	-111.15	1.65	-108.55	-113.62
20	1	98.4	98.4	-81.1	-109.09	0.90	-107.79	-110.94
21	1	121.5	121.5	-81.2	-109.89	2.23	-108.60	-115.13
22	1	124.2	124.1	-80.4	-115.18	1.52	-113.18	-118.45
23	1	153.0	152.9	-81.3	-115.76	1.06	-114.32	-117.91
24	1	167.2	167.1	-81.4	-115.94	0.84	-114.69	-117.55

表 3.3.15 仮説エリア図における調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
25	1	171.7	171.6	-82.3	-113.55	1.09	-112.24	-115.91
26	1	172.0	171.9	-83.5	-113.68	1.04	-112.36	-115.86
27	1	165.7	165.7	-83.9	-116.22	1.21	-114.45	-118.61
28	1	51.8	51.8	-74.7	-105.38	0.47	-104.55	-106.19
29	1	64.9	64.9	-73.4	-107.05	1.58	-105.42	-110.28
30	1	16.8	16.8	-80.1	-97.17	0.33	-96.67	-97.82
31	1	52.9	52.9	-88.6	-104.73	0.55	-103.83	-105.70
32	1	43.5	43.5	-69.8	-105.21	2.20	-103.37	-110.11

続いてカバーエリアの閾値、調整対象区域の閾値が実測された地点の実測結果と、基地局からの距離について以下の「表 3.3.16」「表 3.3.17」に示す。

表 3.3.16 カバーエリアの閾値が実測された基地局からの距離

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
1	1	19.5	19.3	-103.2	2.3	-101.0	-108.1
2	1	15.5	15.2	-103.4	1.5	-100.4	-105.5
3	1	4.8	4.0	-104.2	2.7	-98.6	-108.1
4	1	6.3	5.8	-104.9	2.5	-103.1	-111.3
5	1	15.6	15.5	-107.5	2.8	-104.2	-113.8
6	1	52.9	52.8	-104.7	0.6	-103.8	-104.6
7	1	13.3	13.0	-106.0	3.1	-104.3	-106.3
8	1	28.4	28.3	-112.3	0.7	-111.0	-113.5

表 3.3.17 調整対象区域の閾値が実測された基地局からの距離

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
9	1	49.1	49.0	-111.8	1.5	-108.3	-113.7
10	1	58.0	57.9	-114.9	2.1	-109.7	-117.3
11	1	19.0	18.7	-112.1	1.6	-109.5	-115.3
12	1	17.0	16.8	-112.8	1.4	-110.2	-115.2
13	1	29.4	29.2	-116.1	1.2	-114.6	-118.7
14	1	31.8	31.6	-112.8	1.3	-111.5	-115.8
15	1	45.9	45.8	-111.1	1.8	-107.9	-110.4
16	1	22.8	22.6	-112.6	0.7	-111.3	-112.4

続いて、各遮蔽物前後での受信電力差分を確認するため、遮蔽物前後にて測定点を選定し、受信電力の実測値の比較を行った。各遮蔽物前後における自由空間損失分、電界強度差分、および透過損失を「表 3.3.18」に示す。

表 3.3.18 各遮蔽物内外での受信電力と差分

遮蔽物	実測平均値 SS-RSRP (dBm)		自由空間 損失差分 (dB)	電界強度 差分 (dB)	遮蔽物透 過損 (dB)
	遮蔽前測定点	遮蔽後測定点			
外壁(フレキシブルボード +木材)	-74.7	-80.6	2.0	5.9	3.9
窓(ガラス (ペアガラス))	-71.5	-78.7	1.2	7.2	6.0
スライド式扉 (木材)	-89.2	-79.1	0.6	10.2	9.6
スライド式扉 (木材(すのこ))	-80.5	-86.4	0.1	6.0	5.8
屋内壁(フレキシブルボード +ビニールクロス)	-75.6	-89.9	1.1	14.3	13.1
自動ドア (ガラス)	-104.9	-107.3	1.0	2.4	1.4
襖 (和紙)	-71.6	-89.0	0.3	17.5	17.1

実測結果より本実証環境における最適な R 値を導出する。「表 3.3.10」～「表 3.3.15」に示した屋外測定点の結果より、基地局からの距離に対する伝搬損失の特性カーブ（実測損失カーブ）を作成した。

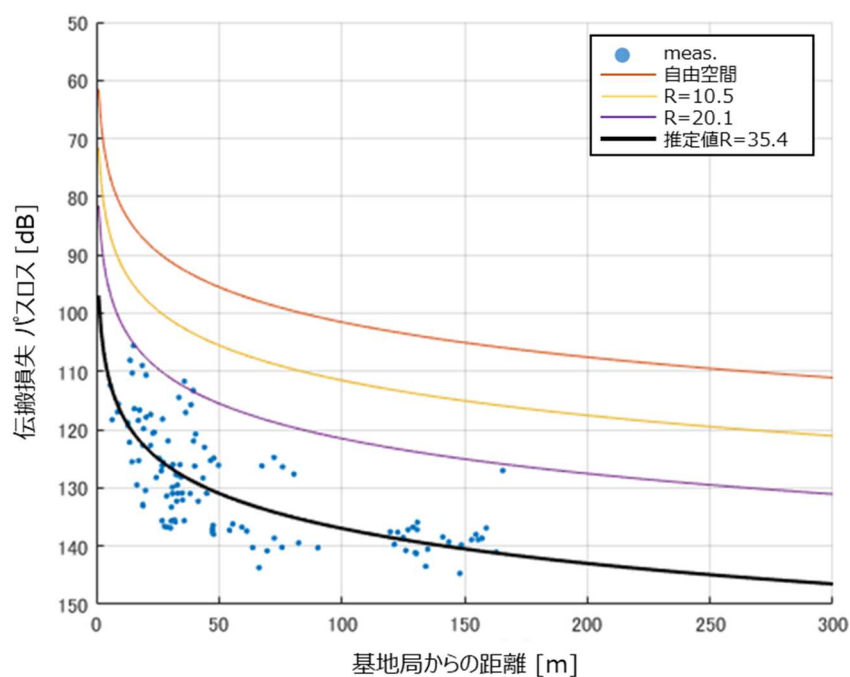


図 3.3.29 実測伝搬損失カーブ

エリア算出法伝搬損失カーブと「図 3.3.29」に図示した実測伝搬損失カーブの差 (ΔR) は、精緻化 R と規定 $R=20.1$ との差分であるため、「精緻化 $R = 20.1 - \Delta R$ 」の算出式より精緻化 R として、「 $R=35.4$ 」を導出した。

導出した精緻化 R の精度を評価するため、精緻化 R を用いたエリア算出法によるシミュレーション結果と、屋外測定点における実測値との比較を実施した。精緻化後の R 値 ($R=35.4$) を用いたエリア算出法によるシミュレーション結果を「図 3.3.30」に図示する。

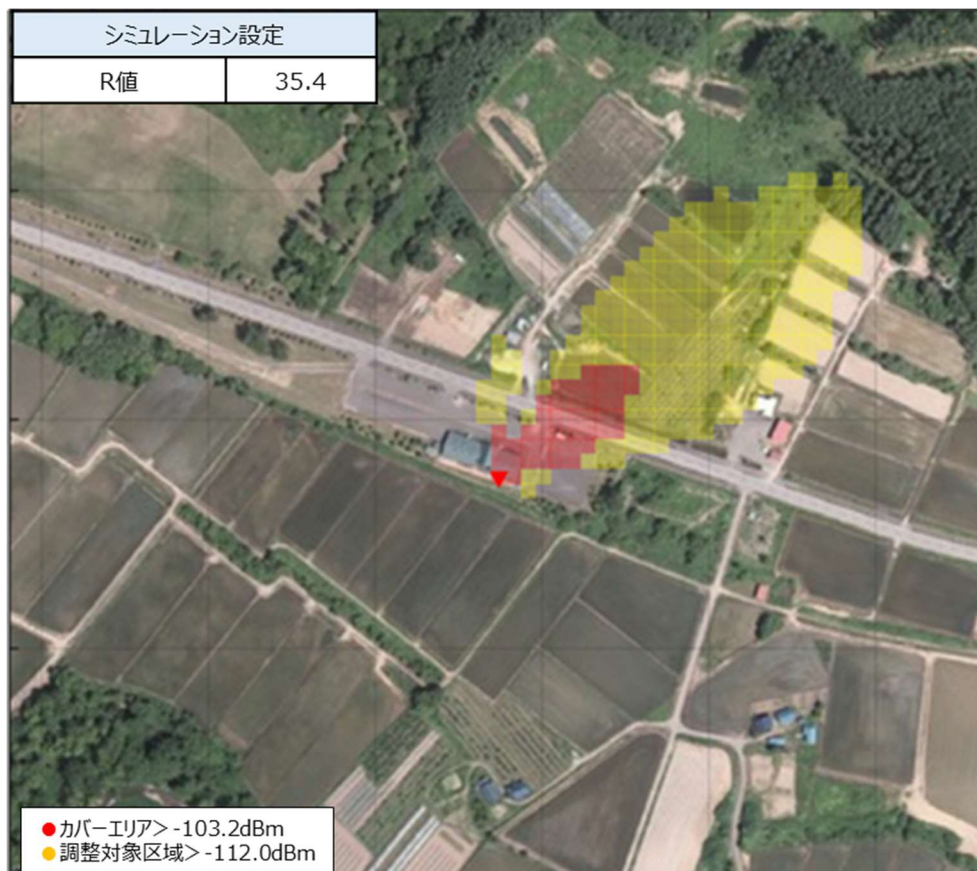


図 3.3.30 公共施設研修室 精緻化 $R=35.4$ におけるカバーエリアおよび調整対象区域
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <httpS://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

次に、精緻化 R を用いたエリア算出法の精度を評価するため、屋外測定点の計 16 ポイントにおける SS-RSRP 実測値と、規定 R、仮説 R、精緻化 R をそれぞれ用いたエリア算出値を比較する。

表 3.3.19 カバーエリアの閾値実測値と各種 R 値の算出式の比較

測定 ポイント	SS-RSRP 実測値 (dBm)	規定値 R のエリア 算出式による受信 電力 SS-RSRP (dBm)	仮説値 R のエリ ア算出式による 受信電力 SS-RSRP (dBm)	精緻化後のエリア 算出式による受信 電力 SS-RSRP (dBm)
1	-109.8	-74.8	-75.1	-99.65
2	-111.3	-75.6	-75.4	-100.46
3	-107.8	-78.4	-78.4	-103.30
4	-112.7	-80.1	-81.1	-104.94
5	-116.9	-81.1	-81.2	-105.97
6	-112.5	-79.9	-80.4	-104.78
7	-112.6	-81.0	-81.3	-105.81
8	-115.5	-81.5	-81.4	-106.38

表 3.3.20 調整対象区域の閾値実測値と各種 R 値の算出式の比較

測定 ポイント	SS-RSRP 実測値 (dBm)	規定値 R のエリア 算出式による受信 電力 SS-RSRP (dBm)	仮説値 R のエリ ア算出式による 受信電力 SS-RSRP (dBm)	精緻化後のエリア 算出式による受信 電力 SS-RSRP (dBm)
9	-116.20	-81.9	-82.3	-106.80
10	-115.89	-82.7	-83.5	-107.60
11	-115.21	-83.7	-83.9	-108.56
12	-107.55	-94.0	-74.7	-118.89
13	-106.07	-82.7	-73.4	-107.52
14	-107.40	-65.7	-80.1	-90.56
15	-111.89	-74.8	-88.6	-99.63
16	-91.19	-86.3	-69.8	-111.16

次に「表 3.3.19」、「表 3.3.20」より精緻化 R を用いたエリア算出式の精度を評価するため、計 16 ポイントの屋外測定点における SS-RSRP 実測値と規定 R、仮説 R、精緻化 R をそれぞれ用いたエリア算出値の比較を行った。

表 3.3.21 各R値のエリア算出値と実測値の比較

測定 ポイント	R 値	実測値との 平均差分 (dB)	実測値との差分 の最小値 (dB)	実測値との差分が ±6dB 以内である ポイント数
規定 R	20.1	-21.1	4.64	2
仮説 R	10.5	-30.6	-4.89	1
精緻化 R	35.4	5.5	1.46	6

「表 3.3.19」、「表 3.3.20」に示すとおり、規定 R・仮説 R によるエリア算出式の受信電力値は全体的に実測値より高く、精緻化 R によるエリア算出式の受信電力値は実測値と近似しているが、実測値±6dB 以内の差分は 6 ポイント確認されていることより、規定 R・仮説 R・精緻化 R の 3 補正值の中で最も実環境に近いエリア算出式の受信電力を導出する建物侵入損 R は、精緻化 R (R =35.4) であるといえる。

上記結果より、実測値と精緻化 R は近似する結果となったものの、規定 R、仮説 R では大きな差分が出た。この乖離理由としては、公共施設研修室内の素材の異なる複数の遮蔽物や外壁による侵入損失値の違いにより想定値(シミュレーション値)より伝搬損失が大きかったことが要因であると推測し、ミリ波帯の特徴である直進性、減衰性が如実に表れた結果となり、遮蔽物の材質・枚数によって大きく影響を及ぼす結果となった。



図 3.3.31 公共施設研修室 材質が異なる複数の遮蔽物



図 3.3.32 公共施設研修室 寒冷地仕様の風除室と凍害防止壁

また、岩見沢市は北海道の中でも豪雪エリアとなり、想定以上の積雪量となった。そのため、除雪した雪壁による季節的に発生する遮蔽物もシミュレーション結果との乖離が出た要因の1つと考えられる。



図 3.3.33 公共施設研修室の周辺雪壁と雪壁遮蔽による測定作業風景

また、季節的な遮蔽物である雪壁の発生による伝搬損失の影響があるため、全 32 ポイントの中で雪壁の影響の有り・無しによる測定ポイントを分類し、定点測定データから同様に基地局からの距離に対する伝搬損失カーブを作成し、雪壁の影響の有り・無しによる精緻化 R 値をそれぞれ導出した。

- 雪壁の影響無しポイント数：7 ポイント
- 雪壁の影響有りポイント数：25 ポイント

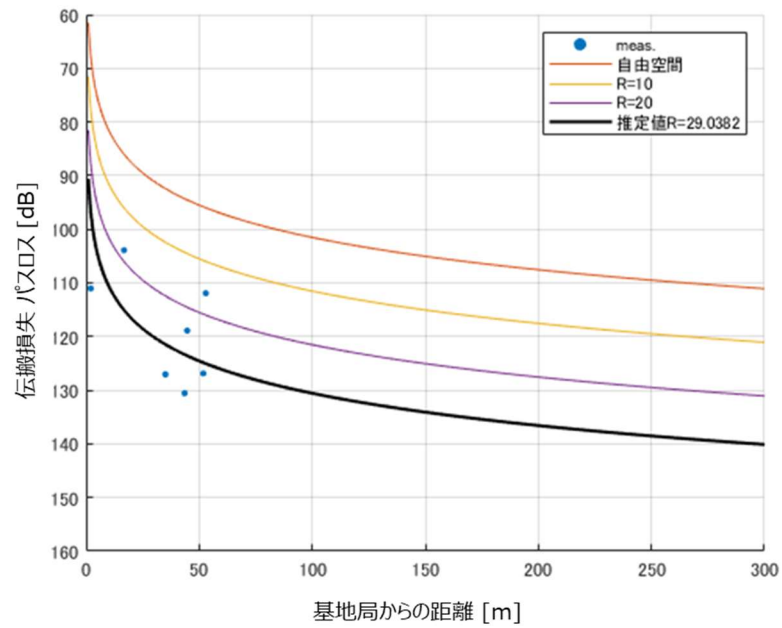


図 3.3.34 雪壁の影響無し 実測損失カーブ

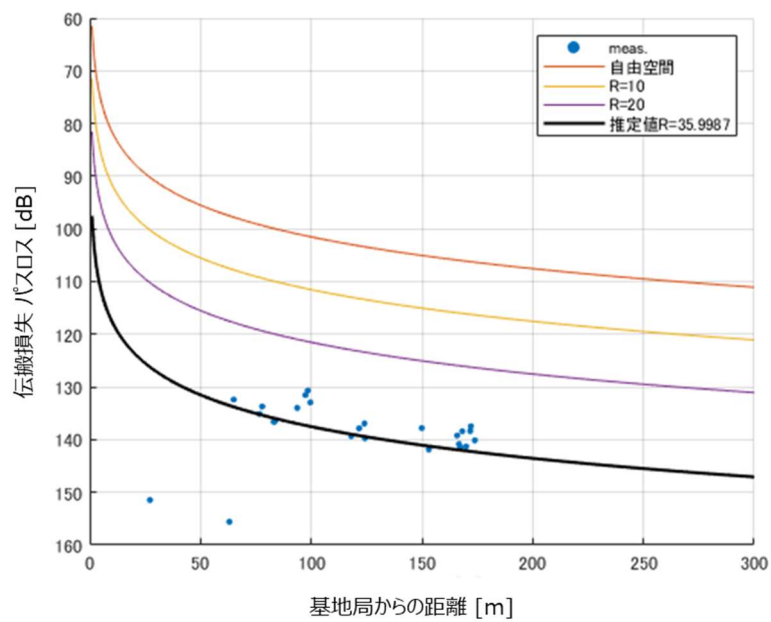


図 3.3.35 雪壁の影響有り 実測損失カーブ

- 雪壁の影響無し : $R=29.04$
- 雪壁の影響有り : $R=36.00$

上記の「図 3.3.34」「図 3.3.35」の結果より、屋外の定点測定地点までに漏洩電波が到達する際には、建物内構造物（窓、内外壁、襖）を透過する際の「構造物遮蔽」と、建物周辺による除雪した雪壁や屋根からの落雪による雪壁を透過する「季節的遮蔽」の2つの遮蔽影響を受けることが想定される。

雪壁の影響有り・無しの違いである 6.97dB においては、本実証環境における「季節的遮蔽」の建物侵入損に該当するものと考えられる。また、この季節的遮蔽については降雪のある冬季限定かつ豪雪地域など時期や地域限定の要因で変動すると言える。

よって、本実証で導出した精緻化 $R=35.4\text{dB}$ には、季節的遮蔽の影響も加味されていることから、本影響を除いた建物侵入損 R 値を適用することが望ましい。また、一般的な屋外環境における「季節的遮蔽」の建物侵入損については、異なる様々な環境での実証結果をもとに導出することが必要である。

これらの結果から、建物内に基地局設置となる場合、建物内の様々な遮蔽物の材質、枚数、面積、環境や地域特有の季節的遮蔽物を踏まえ面的に精緻化することで、より精密なカバーエリア、調整対象区域を算出することが可能と考えられる。他の実証で得られた精緻化の結果を元に、様々な遮蔽物 (XXdB)・遮蔽材 (YYdB) のように、遮蔽毎にカバーエリア、調整対象区域を算出し、それぞれの面積や距離を結合したエリア形成等の工夫が必要と考察できる。

最後にレイトレースシミュレーション結果と実測値を比較分析し、その適合率と平均差分を求める。

まず、レイトレースシミュレーション結果から導出した仮説 R と精緻化後 R は「表 3.3.20」のとおり、公共施設研修室では仮説の R と精緻化後の R の乖離は 24.9dB と乖離が見られた。レイトレースシミュレーションから導出した仮説 R との乖離を確認するため、レイトレースシミュレーション結果と実測値を比較し、差分が $\pm 6[\text{dB}]$ 以内であれば適合、それ以外であれば不適合としてレイトレースシミュレーションと実測値の適合率と平均差分を割り出した。

- 適合率：3.1[%] (1/32 ポイント適合)
- 平均差分：23.22[dB] (32 ポイント)

上記のとおり、適合率は低い値であった。適合率が低い原因としては、作成したモデルから実際の外壁、内壁、扉等についてのシミュレーションが考慮しきれていなかったことが想定値（シミュレーション値）より大きかったことが乖離であると推測できる。モデルで使用した内外壁の木の材質 ($t=0.05\text{m}$, 通過損-10dB) から、内外壁だけでなく遮蔽物を以下のとおり細分化した。

- ・外壁 (t=0.125m, 通過損-25dB)
- ・内壁 (t=0.05m, 通過損-10dB)
- ・扉 (t=0.025m, 通過損-5dB)

また、雪の壁も追加（高さ 1.7m, 5dB/m 通過損）し再シミュレーションを実施し、適合率は 6 割以上に向上し平均差分も小さくなった。

- 適合率：62.5[%] (20/32 ポイント適合)
- 平均差分：7.31[dB] (32 ポイント)

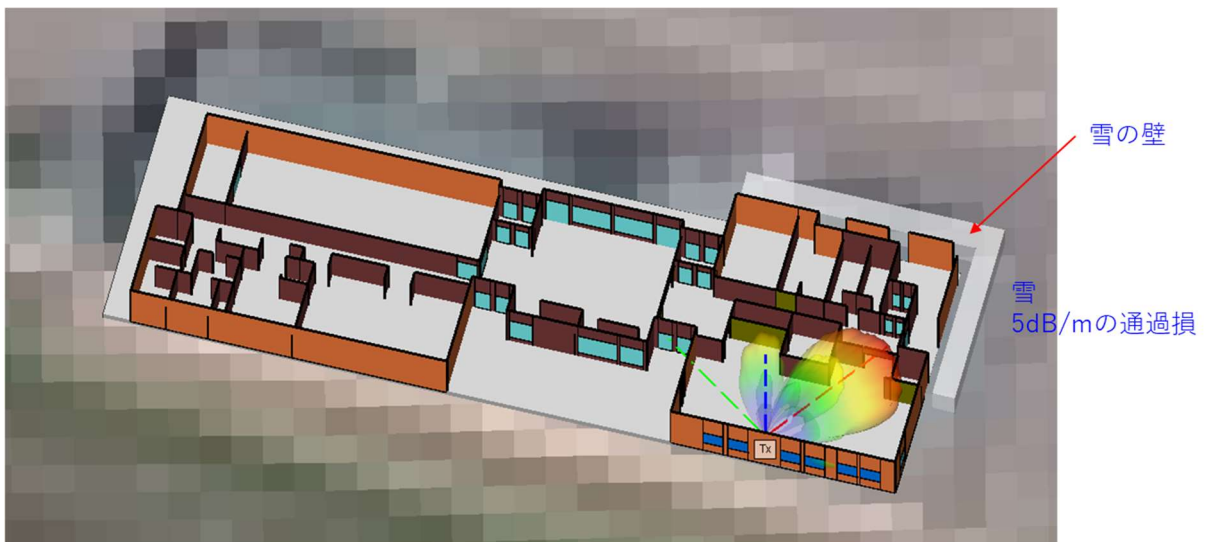


図 3.3.36 雪の壁追加による公共施設研修の 3D モデル図

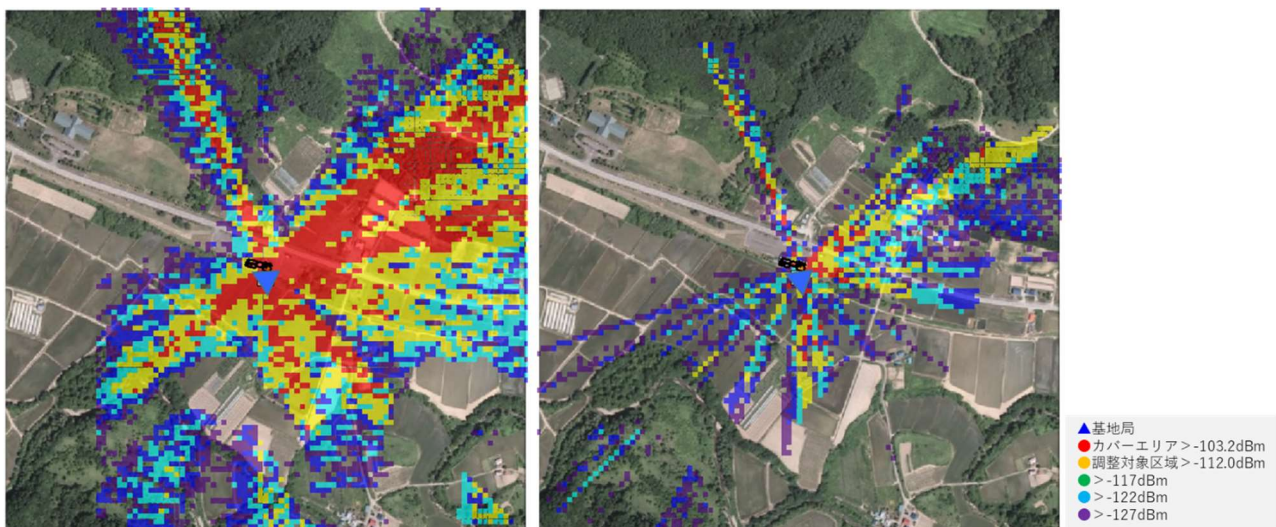


図 3.3.37 公共施設研修室 内外壁・雪壁の追加修正前後の
レイトレーシングシミュレーション結果

(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <httpS://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

本実証から得た知見より判明したレイトレースシミュレーションの普及・活用促進に向けた今後の課題について述べる。本実証環境のように屋内へ基地局を設置した場合、建物内の複数遮蔽物に囲まれている場合や地域特有の外壁など、建物構造や室内外遮蔽物などを考慮した机上検討を行う場合にはレイトレースシミュレーションが有用であるものの、レイトレースシミュレーションの活用には技術面・費用面の課題が存在している。

技術面については、本実証環境のように様々な遮蔽物が存在する建物環境においてレイトレースシミュレーションを実施するには、実際の電波伝搬状況を再現するために現地調査を事前に実施する必要がある。また、遮蔽物素材や厚さ、大きさ、位置関係などを現地調査時に確認した情報を元にシミュレーション時に正確に再現することが精度に大きく影響するため、シミュレーションソフトを扱うための3Dモデリング技術・知見が必要となる。

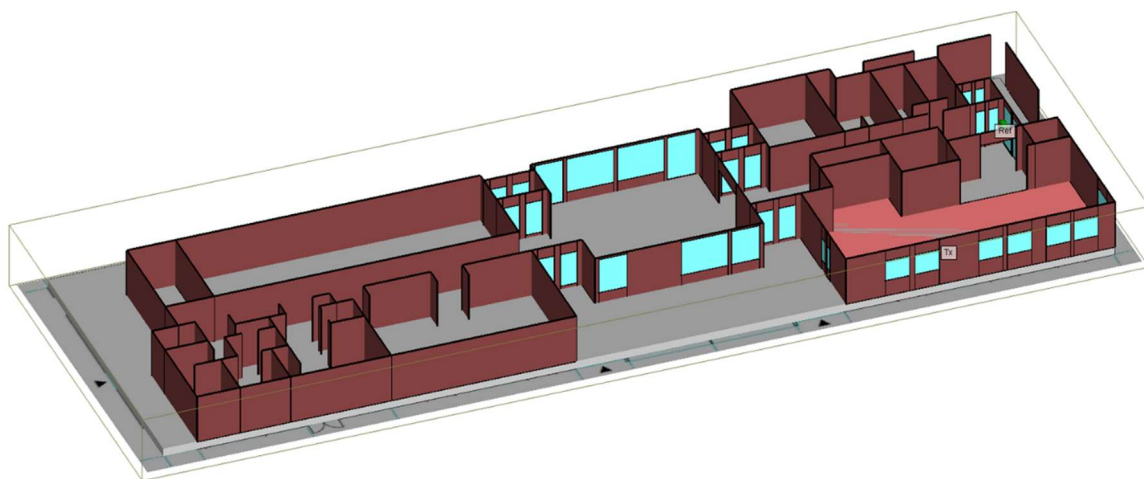


図 3.3.38 公共施設研修室 3D モデリング作成図

本実証におけるモデリングでは、屋内外による遮蔽物の侵入損失値を修正することで実測値に近似したシミュレーション結果を得ることができたものの、環境に応じて修正すべき環境パラメータが異なるため、レイトレースシミュレーションの精度向上のためには、様々な環境下の実証等を通じてパラメータ自体の精度を高めることが重要と言える。また、環境パラメータの設定・修正における知見を蓄積・共有する仕組みの整備が望まれる。

また、費用面についてもレイトレースシミュレーションにて使用するシミュレーションソフト・地図データは、一事業者が用意するには高額かつ高度な操作技術・知見が必要となるため、現実的に困難と考えられる。今後、エリア算出法よりも精緻なシミュレーションが求められるケースにおいては、専門組織によるシミュレーション代行やシミュレーションツールの提供、それに準じた干渉影響の判断手法の明示化等、普及に向けた支援体制の充足が望まれる。

2) 4.7GHz 帯 S 値の精緻化

評価・検証項目で定義した測定点の測定ポイント「図 3.3.26」、「図 3.3.27」で定点測定を行い、各測定点の LOS/NLOS、基地局と測定点の 3D・水平距離、エリア算出法で算出した受信電力 (SS-RSRP)、実測値をまとめる。

まず、算出法エリア図上「図 3.3.26」のカバーエリア・調整対象区域端における実測結果を以下の「表 3.3.22」「表 3.3.23」に示す。

表 3.3.22 算出法エリア図におけるカバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離 [m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
1	0	139.4	139.1	-114.8	-115.3	5.6	-105.0	-121.9
2	0	148.3	148.0	-114.8	-105.8	2.0	-101.9	-108.5
3	1	156.0	155.7	-115.8	-106.4	2.0	-103.4	-109.6
4	0	140.9	140.5	-114.7	-101.6	1.0	-99.8	-103.1
5	1	136.7	136.4	-115.4	-113.9	3.4	-111.1	-121.1
6	0	129.4	129.1	-114.8	-119.7	3.9	-115.8	-128.6
7	0	123.1	122.8	-117.0	-120.5	5.8	-112.4	-128.6

表 3.3.23 算出法エリア図における調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
8	1	111.9	111.5	-123.0	-125.5	2.2	-121.6	-129.2
9	1	123.2	122.8	-123.7	-121.7	3.3	-118.9	-129.3
10	1	195.8	195.5	-121.5	-125.7	2.3	-120.9	-128.6
11	1	245.3	245.1	-123.7	-127.1	1.4	-125.3	-129.3
12	0	251.3	251.1	-123.2	-118.0	2.4	-114.5	-122.3
13	1	223.1	222.9	-121.2	-121.2	2.5	-118.7	-125.5
14	0	225.0	224.8	-122.7	-109.6	2.1	-108.2	-113.1
15	1	284.1	283.9	-129.1	-125.6	1.9	-122.4	-128.5
16	1	239.2	239.0	-130.0	-128.1	1.7	-126.1	-130.6

続いて仮説エリア図「図 3.3.27」上のカバーエリア・調整対象区域端における実測結果を以下の「表 3.3.24」「表 3.3.25」に示す。

表 3.3.24 仮説エリア図におけるカバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
17	0	174.4	174.1	-117.6	-118.6	2.5	-114.2	-122.2
18	0	259.3	259.1	-116.8	-128.3	1.5	-127.0	-130.1
19	0	288.3	288.1	-115.6	-124.8	3.3	-120.0	-129.7
20	1	288.0	287.8	-113.7	-128.5	2.2	-127.0	-130.8
21	1	272.5	272.3	-113.7	-113.7	1.3	-112.1	-115.8
22	1	251.0	250.8	-115.2	-127.9	0	-127.9	-127.9
23	0	201.4	201.2	-114.9	-126.6	0.6	-125.5	-127.8
24	0	113.9	113.5	-113.6	-120.3	2.5	-117.2	-125.8

表 3.3.25 仮説エリア図における調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平 距離 [m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
25	0	205.0	204.7	-123.5	-126.0	3.2	-121.5	-129.4
26	1	321.2	321.0	-120.4	-127.8	1.9	-125.7	-130.3
27	1	357.0	356.9	-120.7	-122.4	3.2	-120.3	-129.3
28	1	486.9	486.8	-122.1	-122.8	1.8	-120.7	-125.6
29	0	358.4	358.3	-121.1	-129.8	3.0	-128.5	-133.3
30	1	328.8	328.7	-121.0	-130.8	2.4	-129.0	-134.6
31	0	217.3	217.1	-119.4	-119.2	1.7	-117.0	-121.8
32	0	133.2	132.9	-119.9	-125.7	2.5	-123.3	-130.6

続いてカバーエリアの閾値、調整対象区域の閾値が実測された地点の実測結果と、基地局からの距離について以下の「表 3.3.26」「表 3.3.27」に示す。

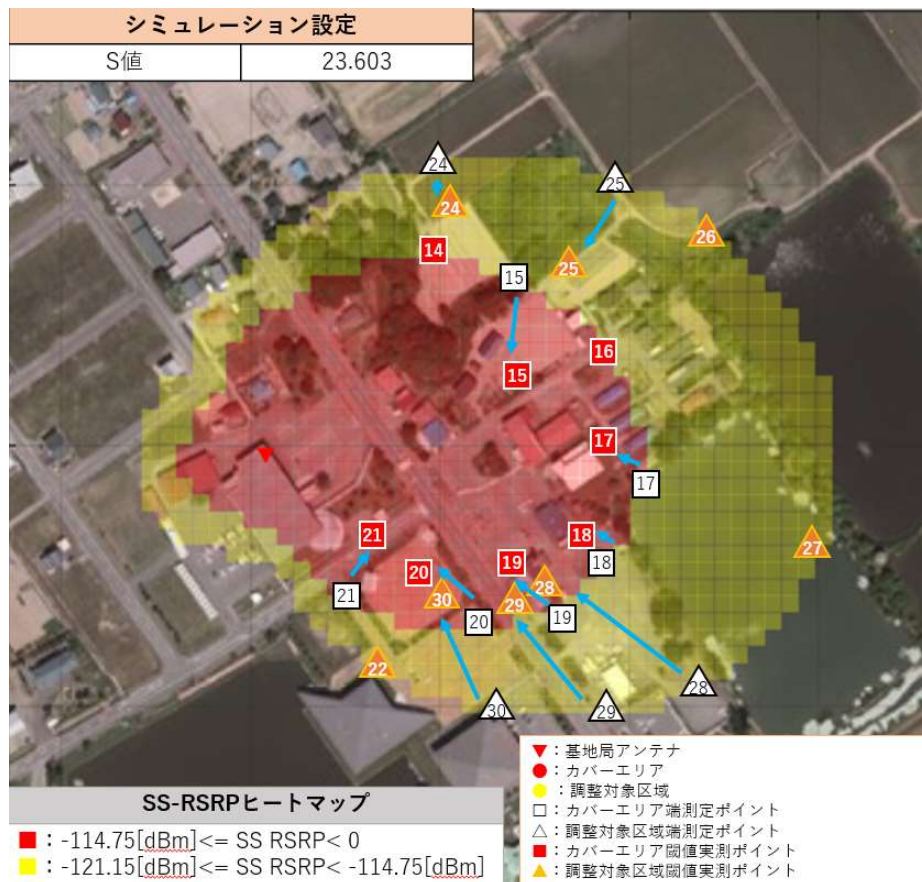


図 3.3.39 カバーエリアおよび調整対象区域の閾値が実測された基地局からの距離
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <http://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

表 3.3.26 カバーエリアの閾値が実測された基地局からの距離

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
17	1	156.0	155.7	-118.4	0.8	-117.2	-119.9
18	0	214.5	214.5	-117.9	1.1	-116.1	-119.9
19	1	136.7	136.4	-118.1	0.5	-117.3	-118.9
20	1	279.0	279.0	-118.1	1.2	-116.1	-120.1
21	1	218.3	218.3	-113.7	0.4	-113.1	-114.4
22	1	273.1	273.1	-115.7	0.7	-114.6	-117.0
23	0	179.9	179.9	-116.0	0.3	-115.5	-116.5
24	0	90.7	90.6	-116.6	0.6	-115.6	-117.6

表 3.3.27 調整対象区域の閾値が実測された基地局からの距離

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
25	0	185.0	185.0	-123.7	1.3	-121.9	-126.4
26	1	258.5	258.5	-122.6	1.6	-124.9	-128.6
27	1	357.0	356.9	-123.5	3.2	-120.3	-129.3
28	1	486.9	486.8	-122.7	1.8	-120.7	-125.6
29	0	213.8	213.8	-122.2	1.8	-120.3	-124.8
30	1	221.6	221.6	-121.0	1.9	-118.9	-123.9
31	0	214.1	214.1	-122.5	0.4	-121.8	-123.2
32	0	133.2	132.9	-121.4	0.8	-120.4	-122.7

実測結果から本実証環境における最適な S 値を導出する。公共施設駐車場において基地局から 100m以上の地点で取得した定点測定の実測結果から実測損失カーブを作成した。

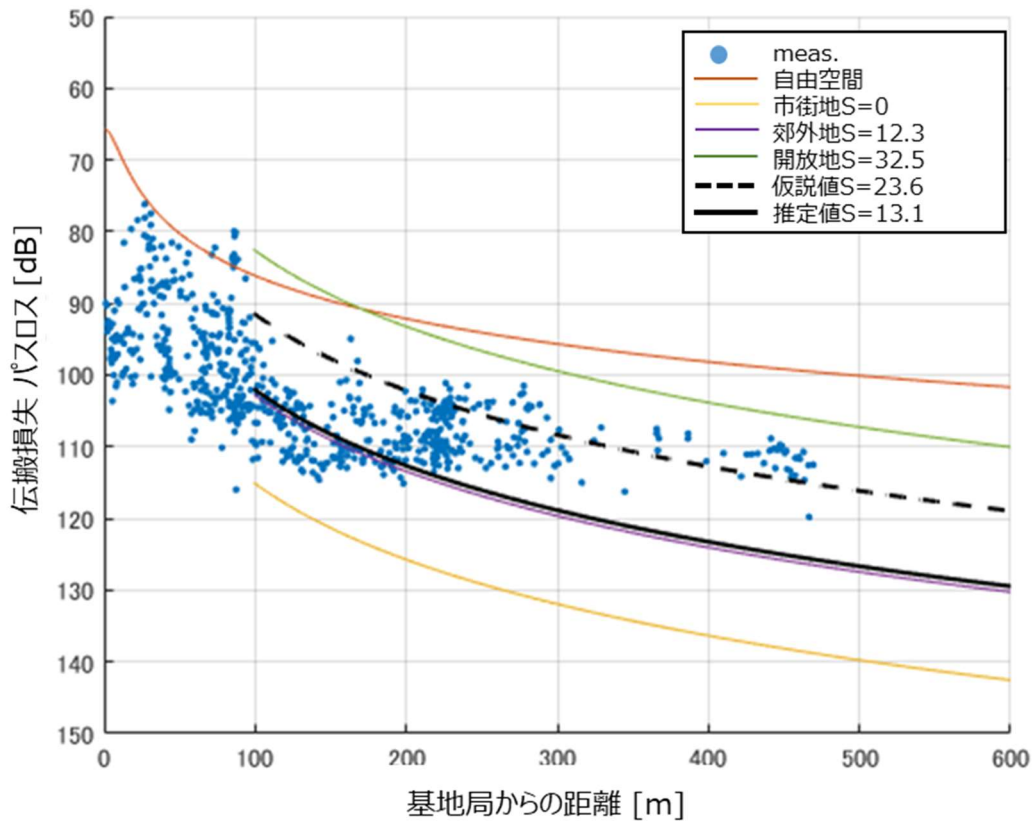


図 3.3.40 実測伝搬損失カーブ

エリア算出法伝搬損失カーブと「図 3.3.40」に図示した実測伝搬損失カーブの差 (ΔS) は、精緻化 S と規定 $S=12.3$ との差分であるため、「精緻化 $S = 12.3 - \Delta S$ 」の算出式より精緻化 S として、「 $S=13.08$ 」を導出した。

導出した精緻化 S の精度を評価するため、精緻化 S を用いたエリア算出法によるシミュレーション結果と、定点測定点における実測値との比較を実施した。

表 3.3.28 カバーエリアの閾値実測値と精緻化後(S=13.08)の算出式の比較

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平距離 [m]	実測値の 受信電力 SS-RSRP [dBm]	精緻化後の エリア算出式 による受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
17	1	156.0	155.7	-118.4	-116.3	2.1
18	0	214.5	214.5	-117.9	-114.0	3.9
19	1	136.7	136.4	-118.1	-114.0	4.1
20	1	279.0	279.0	-118.1	-114.0	4.1
21	1	218.3	218.3	-113.7	-115.0	1.3
22	1	273.1	273.1	-115.7	-114.0	1.7
23	0	179.9	179.9	-116.0	-115.0	1.0
24	0	90.7	90.6	-116.6	-110.6	6.0

表 3.3.29 調整対象区域の閾値実測値と精緻化後(S=13.08)の算出式の比較

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平距離 [m]	実測値の 受信電力 SS-RSRP [dBm]	精緻化後の エリア算出式 による受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
25	0	185.0	185.0	-123.7	-120.7	3.0
26	1	258.5	258.5	-122.6	-122.5	0.1
27	1	357.0	356.9	-123.5	-122.2	1.3
28	1	486.9	486.8	-122.7	-129.3	6.6
29	0	213.8	213.8	-122.2	-121.9	0.3
30	1	221.6	221.6	-121.0	-120.4	0.6
31	0	214.1	214.1	-122.5	-122.9	0.4
32	0	133.2	132.9	-121.4	-122.9	1.5
25	0	185.0	185.0	-123.7	-128.3	4.6

精緻化後の算出式と実測値を比較した結果、平均差分は下記のとおりとなった。

- ・ 公共施設駐車場の平均差分：0.81[dB]

上記平均差分のとおり公共施設駐車場は近似する結果となった。以上の精緻化 S 値の結果から、サンプル数 16 と少ない定点測定データだが、実測値に近い値が確認できたため S 値の精緻化結果とする。

精緻化後の S 値を用いたエリア算出法に基づくカバーエリアおよび調整対象区域を算出し図示する。

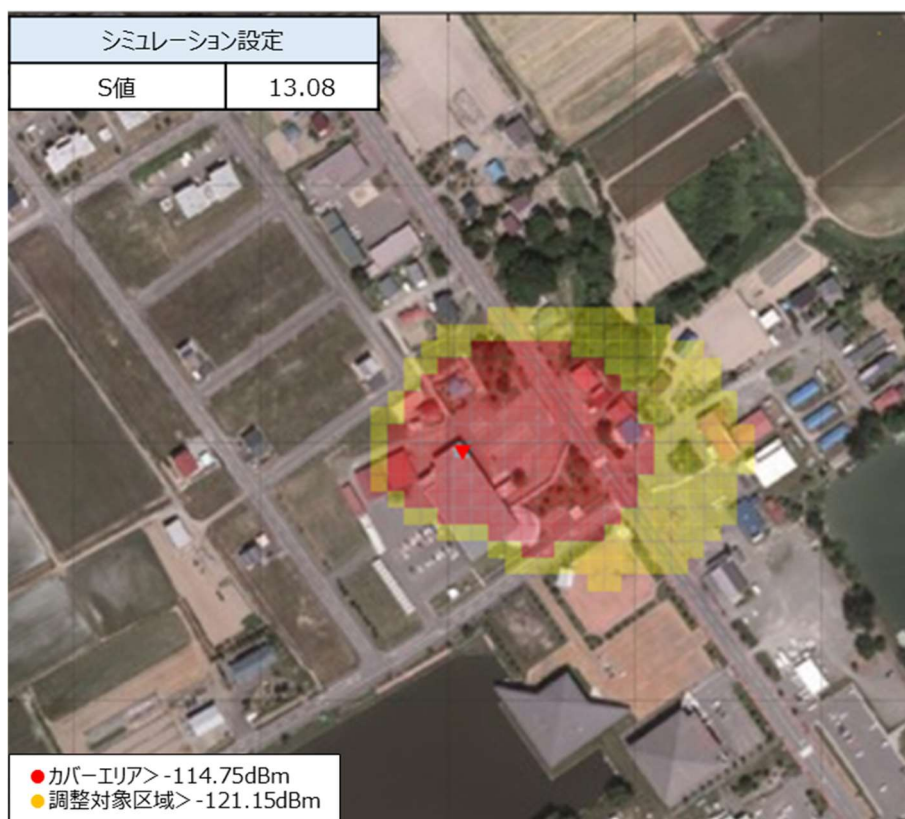


図 3.3.41 公共施設駐車場 精緻化 S=13.08 におけるカバーエリアおよび調整対象区域
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <http://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

エリア算出法規定値の S 値、レイトレースシミュレーション結果から導出した仮説の S 値、実測結果から導出した精緻化後の S 値を比較し表にまとめた。

表 3.3.30 公共施設駐車場における S 値の比較

実証拠点	規定値 [dB]	仮説 S 値 [dB]	精緻化後の S 値 [dB]
公共施設駐車場	12.3	23.6	13.08

次に(4)評価・検証方法にて定義したマルチパス測定を行った。「表 3.3.7」の工程 1 の SS-RSRP ヒートマップ結果より、各方位にて受信電力の実測値が高い見通し等電波伝搬の環境が異なる測定点 6 地点を選定した。

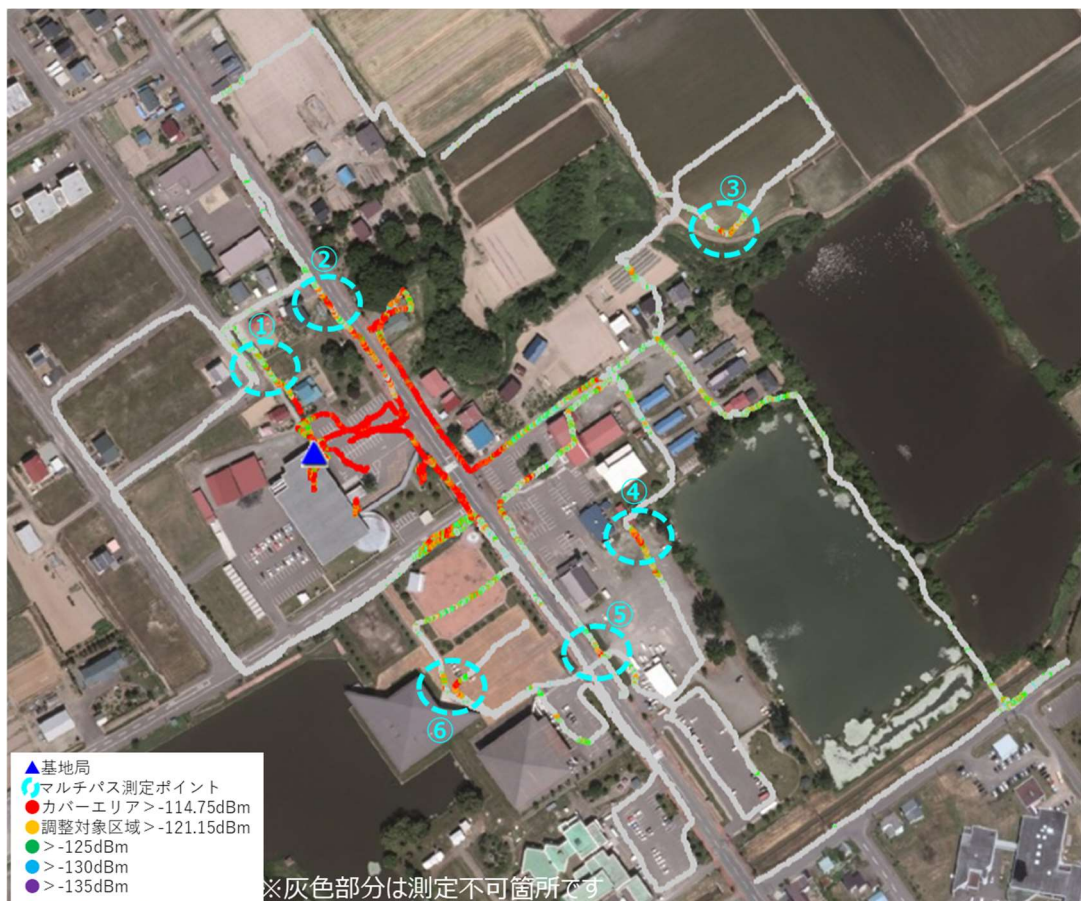


図 3.3.42 SS-RSRP ヒートマップより各方位で高い受信電力を実測した 6 地点
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <http://mapS.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

測定点情報として LOS/NLOS、基地局との 3D 距離、みなし直接波、マルチパス波、マルチパス方

向遮蔽物を計測し、みなし直接波とマルチパス波の差分を「表 3.3.31」にまとめる。

表 3.3.31 マルチパス実測値一覧

測定 ID	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	みなし直接波 (dBm)	みなし直接波の方位角 (真北 0 度)	マルチパス波 (dBm)	マルチパス波の方位角 (真北 0 度)	差分マルチパス波-みなし直接波 (dB)	マルチパス方向遮蔽物	基地局-測定点間の遮蔽物および測定点付近の環境
1	0	61.24	-109.84	331.0	-118.96	161.0	-9.12	2 階立て家屋	・ LOS 環境 ・ 周辺に建造物なし
2	0	96.55	-108.78	1.0	-127.45	136.0	-18.67	2 階立て家屋とトラクター	・ LOS 環境 ・ 2 階立て家屋
3	1	281.32	-108.76	62.0	-118.39	124.0	-9.61	雑木林	・ 2 階立て家屋 ・ 周辺に建造物なし
4	0	210.58	-108.65	107.0	-127.43	163.0	-18.78	鉄塔	・ LOS 環境 ・ 周辺に建造物なし
5	1	204.54	-110.61	125.0	-115.69	142.0	-5.08	2 階立て車庫と電柱	・ 2 階立て建造物 ・ 左側に 2 階立て建造物あり
6	1	159.61	-113.63	146.0	-110.10	216.0	3.53	家屋と鉄塔	・ 2 階立て建造物 ・ 後ろ側に 2 階立て建造物あり

上記の結果より、測定 ID 6 を除くマルチパス測定ポイントでは、みなし直接波の方が平均 11dB 近く高い値を出していることが示されており、みなし直接波が強い環境としては「基地局と測定点との間に遮蔽物がない（または遮蔽物があっても遮蔽物と測定点との距離がある）」「測定点環境周辺が開放的な環境」の 2 つの条件を満たすことで、みなし直接波が強い傾向があると推測できる。

一方で測定 ID 6 のみ、マルチパス波とされる方向にて測定結果がみなし直接波より 3.5dB 高い結果となった。



左図：基地局方向によるみなし波



右図：基地局方向より東に向けたマルチパス

測定 ID 6 のみなし直接波については、一見 LOS 環境に見えるが基地局－測定点の間に遮蔽物（屋根）が存在し、屋根に反射した電波が反射あるいは回折することで弱まったと想定される。

比べてマルチパス波については、基地局の指向方向（LOS 環境）の先に反射される遮蔽物の存在および遮蔽物から測定点方向（LOS 環境）となり、遮蔽物を介した LOS 環境より反射波（マルチパス波）が飛来し、距離と遮蔽損、伝搬損失の要因がみなし直接波に比べて少なく、マルチパス波が大きくなったと想定される。

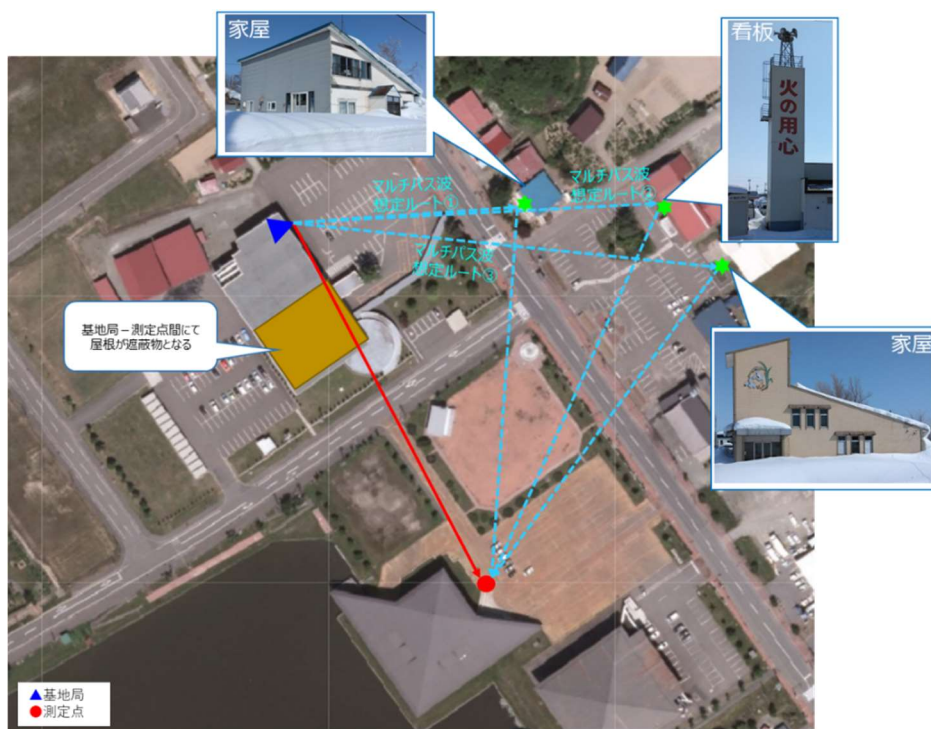


図 3.3.43 基地局—遮蔽物—測定点による想定マルチパス波の経路

上記の結果より、ルーラルエリアでは市街地と違い、高い場所へ基地局を設置するのではなく、2階屋上程度の高さで満遍なくカバーエリア化が可能のため、マルチパス発生 of 静的要因である「密集した構造物」「高層建物」「外看板」等の反射する遮蔽物が少ないかつ周辺が見通し内環境であるため、本実証ではマルチパスの影響を受けないものと考察する。

最後にレイトレースシミュレーション結果と実測値を比較分析し、その適合率を求める。

まず、レイトレースシミュレーション結果から導出した仮説Sと精緻化Sは「図 3.3.40」のとおり、公共施設駐車場では仮説のSと精緻化後のSの乖離は10.5dBと乖離が見られた。レイトレースシミュレーションから導出した仮説Sの乖離を確認するため、レイトレースシミュレーション結果と実測値を比較し、差分が±6[dB]以内であれば適合、それ以外であれば不適合としてレイトレースシミュレーションと実測値の適合率と平均差分を割り出した。

- 適合率：34.4[%] (11/32ポイント適合)
- 平均差分：8.75[dB] (計32ポイント)

上記のとおり、適合率は低い値であった。適合率が低い原因としては、作成したモデルから実際の遮蔽物となる樹木の面積・建物の高さ、歩道の有無等の環境設定情報の違いにより想定値(シミュレーション値)より伝搬損失が大きかったことが要因であると推測できる。また、岩見沢市は北海道の中でも豪雪エリアとなり、想定以上の積雪量となった。そのため、除雪した雪壁による季節的に発生する遮蔽物もシミュレーション結果との乖離が出た要因の1つと考えられる。



図 3.3.44 公共施設駐車場近隣の雪壁と除雪した壁

建物の高さ変更、遮蔽物となりうる樹木と雪壁の追加、建物周囲の小道を追加させることで適合率は6割以上に向上した。具体的には、公共施設駐車場の周辺建物の高さを低く変更、駐車場周辺の小面積の樹木を追加し木・林のモデリングをFoliage（通過減衰：3dB/m）、駐車場脇の歩道の追加・変更し再シミュレーションを実施した。

- 適合率：64.7[%]（22/32 ポイント適合）
- 平均差分：6.37[dB]（32 ポイント）

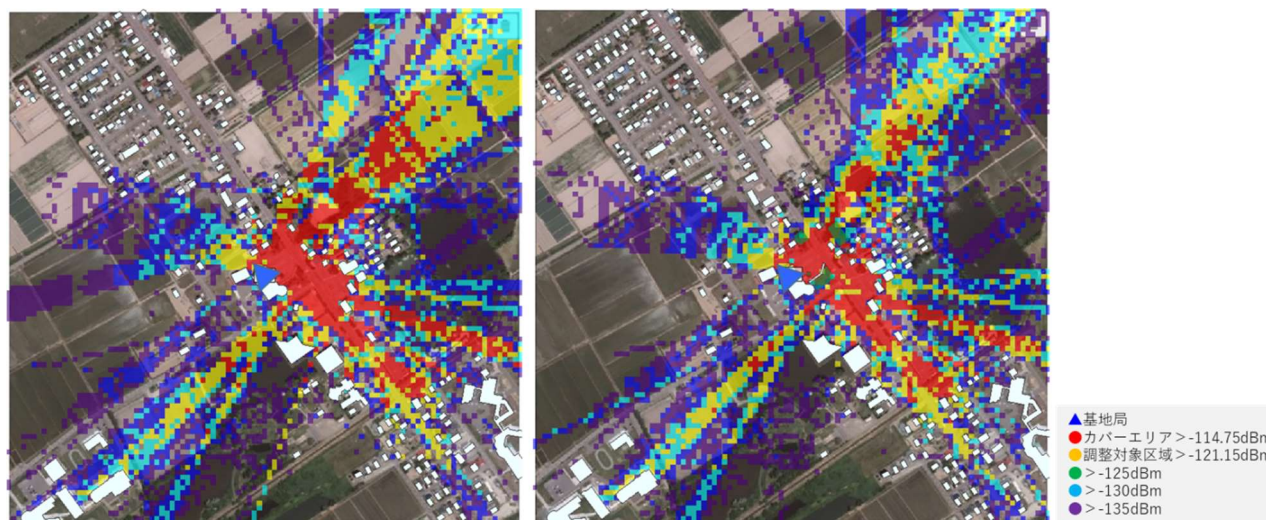


図 3.3.45 公共施設駐車場 建物高さ変更、樹木・小道追加修正前後のレイトレーシミュレーション結果

（国土地理院（電子国土 Web）（URL：<http://mapS.gSi.go.jp/>）のデータを使用して作成）

今回は雪壁等の季節的な遮蔽物の影響を受け、公共施設駐車場では $S=13.08$ と郊外地相当の S を導出したが、雪壁等の影響のない夏等については電波が飛ぶ想定となる。また、各環境による樹木や周辺建物等の遮蔽物の大小や数に応じて適切な S 値を見極めることが可能であると考え、季節的な遮蔽物を除いた公共施設駐車場における遮蔽物面積率を割り出し、 S 値との関係性を確認するため、下図の黄色の調整対象区域内のエリアにおける建物・樹木の遮蔽物面積率を算出した。

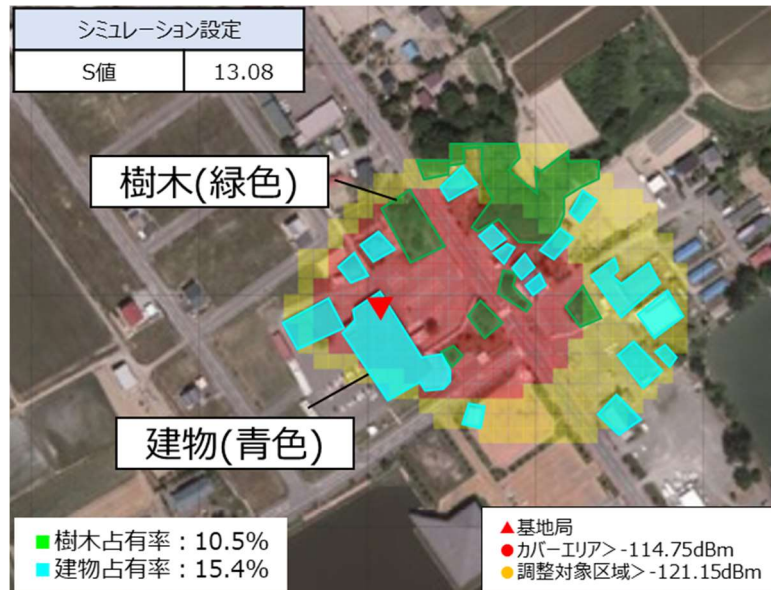


図 3.3.46 公共施設駐車場 遮蔽物面積率導出の結果図

(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

表 3.3.32 遮蔽物面積率

実証拠点	精緻化後 S 値 [dB]	樹木遮蔽率 [%]	建屋遮蔽率 [%]
公共施設駐車場及び周辺環境	13.08	10.5	15.4

公共施設駐車場では樹木・建屋の遮蔽率を合算し遮蔽物面積率は 25.9%の条件下で、郊外地相当の S を導出している。今後、類似のルーラルエリアにおける適切な S 値を選択する際には、上述した樹木・建屋の遮蔽率を事前に参照し S 値を選択することで実測との乖離を減らすことができると考えられる。

なお、本実証結果では公共施設駐車場のフィールドを対象に遮蔽物面積率と S 値の比較を行ったが、今後の課題として様々な異なる環境下の実証等を通じて遮蔽物面積率に応じた精緻化後 S 値のサンプルデータを収集し類似環境から適切な S 値を判断し選択できるよう知見を蓄積していくことが望まれる。

一方で、ルーラルエリア環境であっても本実証のように建造物の密集率や高さ、樹木の密集率の大小、季節的な遮蔽物に応じてSの値は変動するため、エリア算出法のように一概に決められたパラメータSを使用しても実測とは乖離が生じてしまうことが懸念される。より詳細に方位ごとに遮蔽物を考慮し机上検討を行う場合にはレイトレースシミュレーションが有用だが、レイトレースシミュレーションの活用には技術面・費用面の課題がある。本実証で得た知見からレイトレースシミュレーションの普及・活用促進に向けた今後の課題について記す。

まず技術面については、本実証環境のようなルーラルエリアの公共施設においてレイトレースシミュレーションを実施する際には、実際の電波環境を再現するために現地調査を事前に実施し建造物や樹木の種別（落葉樹か否か）、密集度・高さ、季節的な遮蔽物等を確認しシミュレーション時に再現することが重要である。本実証でも建物の高さや樹木面積や雪壁を追加修正することで現地環境の再現性が高まり実測値とシミュレーション結果の適合率が向上していた。このようにシミュレーションソフトの扱いには、現地環境を考慮したシミュレーターの各種パラメータの調整や遮蔽物の3Dモデリング技術が必要となる。本実証では建物の高さや樹木・雪面積の追加の割合を調整したが、シミュレーションを行うエリアに応じて調整すべき環境パラメータが異なるため、レイトレースシミュレーションの精度向上のために様々な環境下の実証等を通じてパラメータ自体の精度を高めることが重要である。また、このような環境下では環境パラメータをXからYに変更し近似した、といった検証結果から得た知見を蓄積・共有する仕組みの整備が期待される。

費用面に関しては、シミュレーションソフト・地図データは一事業者が用意するには高額でありサブスクリプション型のサービス等を利用する場合でも、本実証で想定される医療従事者等、一免許主体がシミュレーションのために費用を負担することは現実的に困難である。今後エリア算出法以上に精緻にシミュレーションを実施するためには、専門組織によるシミュレーション代行やシミュレーションツールの提供、それに準じた干渉影響の判断手法の明示化等、普及に向けた支援体制の充足が望まれる。

3.3.2 エリア構築の柔軟性向上

(1) 実証の目的・目標

1) 背景となる技術的課題と実証目的

本件で使用する 28GHz 帯の周波数帯域は、直進性が強く遮蔽に弱いことが課題となっている。本業務区域の公共施設内には壁や廊下が存在し、それらが電波を遮蔽し、下図「図 3.3.47」のように不感地帯が発生することが考えられる。このような環境において、基地局を追加する以外の方法として本実証では、反射角を設計し製作できる費用的に安価であるメタマテリアル反射板、及び反射シートを用い、その有効性を評価した。なお、メタマテリアル反射板、反射シートは独立して使用し、それぞれの結果から有効性の比較を行った。また、いずれも反射する電波には一定の制限(指向性ビームが狭い)があるため、これによる改善の是非について実証・評価を行った。なお、反射板設置あり/なしそれぞれの垂直図を「図 3.3.51」「図 3.3.52」に示す。

反射板を利用する優位性について、中継器・DAS・LCX 等の利用が難しいケース（バックホール回線が引けない場所や電源が確保できない場所）及び、スポット的にローカル 5 G の電波を到達させている場合においても、反射板によりローカル 5 G のエリア確保が可能となる有効性を実証・評価をした。

また、本ユースケースにおける所要性能である UL スループット：80Mbps、伝送遅延：30ms をメタマテリアル反射板、及び反射シートの活用によって達成するための方策、および、メタマテリアル反射板、及び反射シートを活用したエリア構築方法について取りまとめることを目的とした。

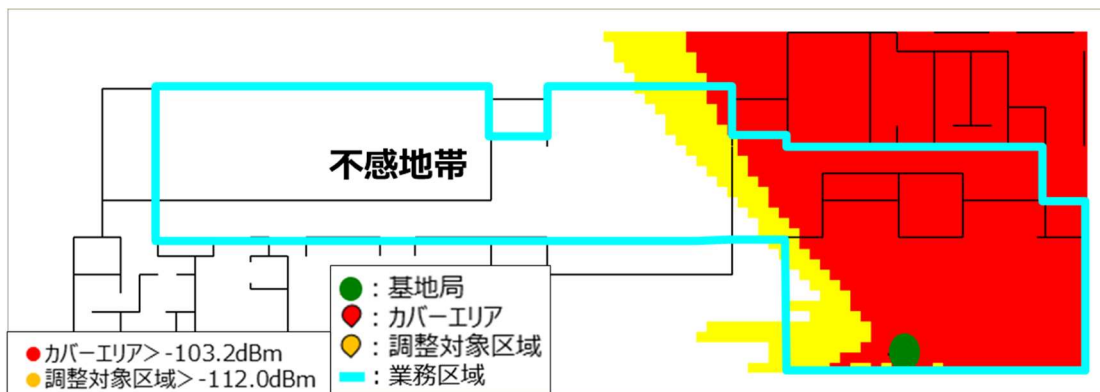


図 3.3.47 カバーエリアおよび調整対象区域と想定される不感地帯イメージ

2) 実証目標

本実証項目の目標としては、基地局からの直接波よりもメタマテリアル反射板、及び反射シートを利用したほうが不感地帯での受信電力(RSRP 値)が改善することを目標とした。具体的には反射板利用時の不感地帯にて、受信電力についてはカバーエリアの閾値となる -77.2 dBm(SS-RSRP 換算で -103.2 dBm)以上を目標とし、伝送性能についてはUL スループット：80Mbps、伝送遅延：30ms を達成できることを目標とした。

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

本実証と似た環境においてエリア構築の柔軟化に取り組んだ実証としては、令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証 No. 26「大都市病院における視覚情報共有・AI 解析等を活用したオペレーション向上による医療提供体制の充実・強化の実現」がある。そちらの実証では、メタマテリアル反射板と金属反射板を用いていたが、本実証では、メタマテリアル反射板と反射シートを用いてエリア構築の柔軟性向上を目指した。反射シートは、ロール形態で持ち運びが容易、現場で必要なサイズに加工することが可能、簡単に貼って剥がすことが容易、安価であることから、通常の金属反射板と比較して加工や導入が容易である。そのため、反射シートによる不感地帯のエリア改善の有効性が確認できれば、エリア構築の柔軟性向上に貢献することができると考えた。

(2) 実証仮説

使用するアンテナの指向性、エリア化する研修室からインフォメーションホールまでの経路には廊下や壁といった遮蔽物があることを踏まえると、「図 3.3.47」のように不感地帯が発生すると想定した。本ユースケースにおけるソリューションである8Kカメラ等が不感地帯でも使用されることを考慮すると、メタマテリアル反射板、及び反射シートによるエリア化により不感地帯の受信電力が改善されることは本ユースケースにおいて重要な要素であるといえる。

メタマテリアル反射板、及び反射シートによって不感地帯の受信電力が改善されることをエリア算出式およびレイトレースシミュレーションにより確認した。その結果を下図(図 3.3.48、図 3.3.49)に示す。メタマテリアル反射板、または反射シートの設置により、不感地帯が解消し、公共施設インフォメーションホールをエリアカバーすることで、ユースケースにおけるソリューションが正常に動作可能となり、本実証と同様なフィールドが抱える課題の解決に与ることが期待される。

反射板によって不感地帯の受信電力が改善される場合の模式図を下図に示す。

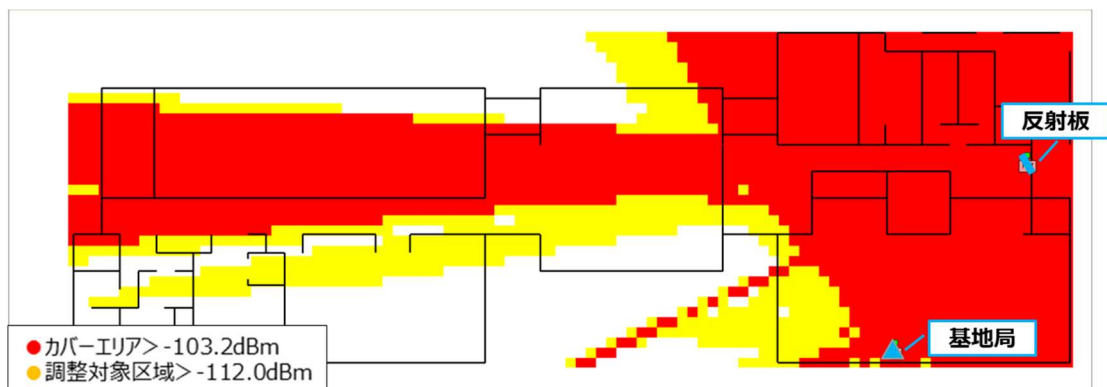


図 3.3.48 反射板設置後のカバーエリアと調整対象区域(エリア算出式、受信アンテナ利得 20dBi)

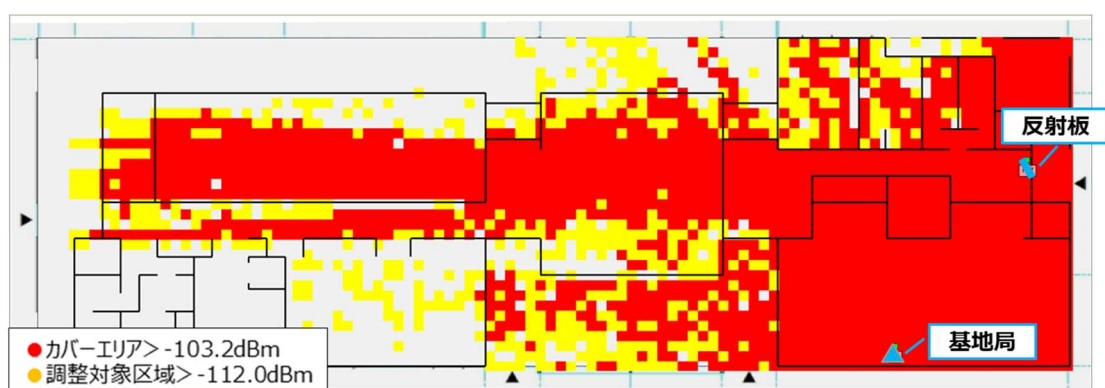
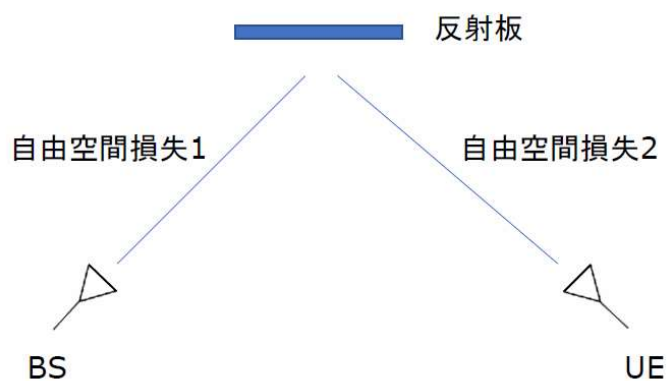


図 3.3.49 反射板設置後のカバーエリアと調整対象区域図(レイトレースシミュレーション、受信アンテナ利得 20dBi)

また、反射板の反射波による受信電力の計算式については、受信電力 (dBm) = 送信電力 (dBm) + 送信アンテナ利得 (dBi) - 自由空間損失 1 (dB) + 反射板利得 (dBi) - 反射板損失 (dB) - 自由空間損失 2 (dB) + 受信アンテナ利得 (dBi) にて算出した。



※反射板損失は 1.41dB とする (効率 85%)

反射板によるエリア改善の効果について、「図 3.3.47」で示した不感地帯におけるアンテナからの直接波(自由空間損失を計算)受信電力の算出と、反射板からの反射波(反射板計算)受信電力の算出を行い、反射板による推定改善エリアを示した。

※反射板設計は見通し通信を前提で行うため、自由空間伝搬損をベースとした設計となる。

なお、反射板損失については、電波法関係審査基準(平成13年総務省訓令67号改正:別紙1、別図第30号の2)より、反射板の効率を85%(反射板1枚時)と定めた。そこから以下計算式のとおり反射板損失を算出した。

$$20\log(0.85) = -1.41162 \dots \approx -1.41\text{dB}$$

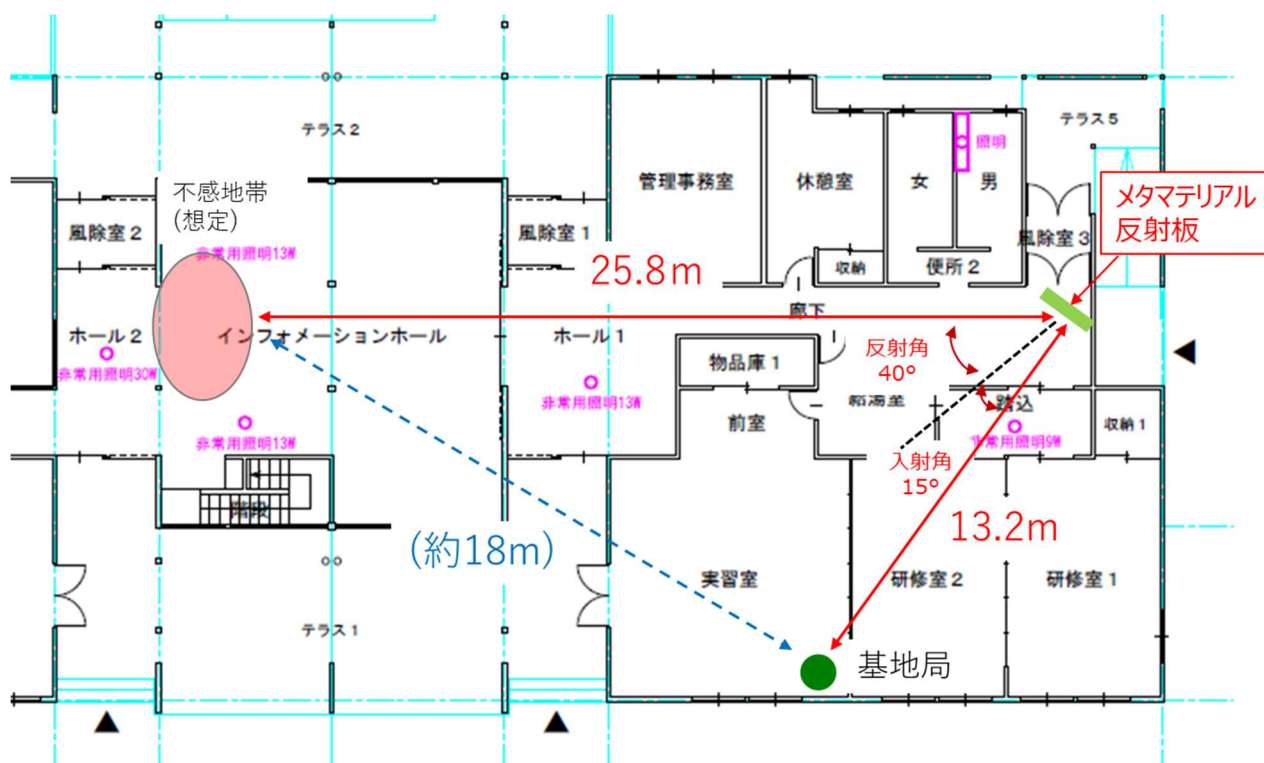


図 3.3.50 メタマテリアル反射板による推定改善エリア

想定する不感地帯の受信電力は、基地局から直線距離約18m離れた不感地帯(直接波)までをエリア算出式にて算出した。なお、実施要領にて28GHz帯の受信アンテナ利得は20dBiと定められているため、カバーエリア図はエリア算出式の受信アンテナ利得20dBiとUEの受信アンテナ利得7dBiの2パターンを算出した。

表 3.3.33 不感地帯の受信電力

項目	値	
送信電力(dBm)	23	(dBm)
送信アンテナ利得(dBi)	15	(dBi)
指向性による減衰(dB)	20	(dB)

項目	値	
給電線損失 (dB)	0	(dB)
受信アンテナ利得	7	(dBi)
距離	18	(m)
伝搬損失(自由空間損失)	86.64	(dB)
建物侵入損 (dB)	20.1	(dB)
人体吸収損 (dB)	4	(dB)

不感地帯の受信電力 (dBm) = -85.74dBm

※SS-RSRP 換算値=-111.74dBm

反射板による反射波受信電力値は、基地局から反射板を経由した不感地帯の距離（反射波）を算出し、エリア算出式にて算出した。

表 3.3.34 反射板による反射波受信電力値

項目	値	
送信電力 (dBm)	23	(dBm)
送信アンテナ利得 (dBi)	15	(dBi)
自由空間損失 1 (dB)	83.95	(dB)
反射板利得 (dBi)	70	(dBi)
反射板損失 (dB)	1.41	(dB)
自由空間損失 2 (dB)	89.77	(dB)
受信アンテナ利得 (dBi)	7	(dBi)
人体吸収損 (dB)	4	(dB)

反射波による受信電力 (dBm) = -64.13dBm

※SS-RSRP 換算値=-90.13dBm

本実証で使用する基地局、メタマテリアル反射板、基地局は床面からの高さが一致するように設計する。

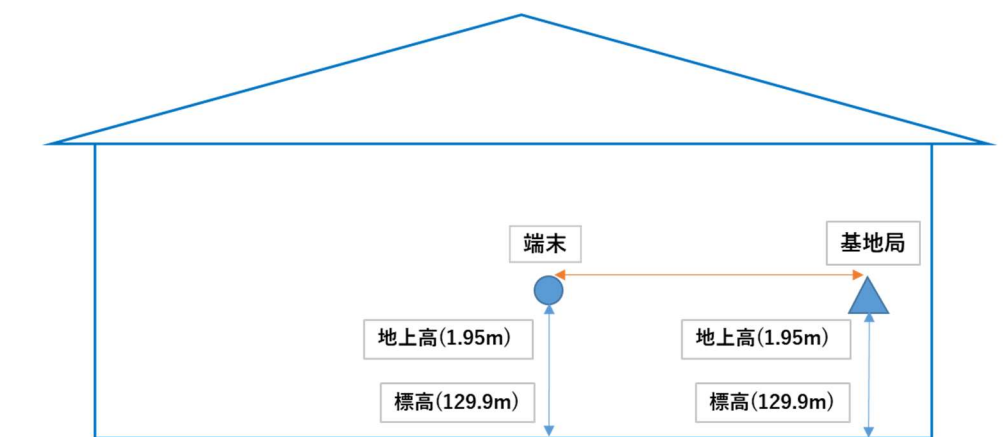


図 3.3.51 垂直図(反射板なし)

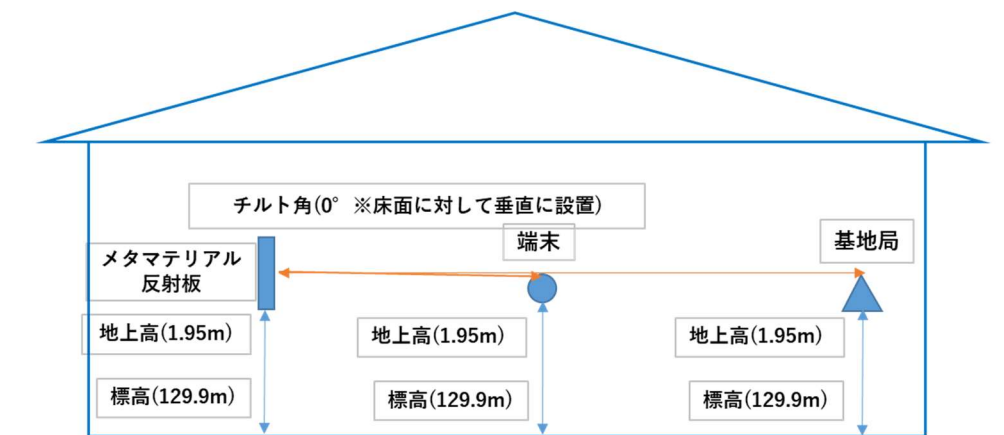


図 3.3.52 垂直図(反射板あり)

レイトレース法を用いたエリアシミュレーターについては、(株)構造計画研究所が提供する「Wireless InSite」(開発元 Remcom 社)を活用した。なお、本シミュレーターはメタマテリアル等の電波反射特性を変化させるような構造物には対応していないため、今回は反射板を等価的なアンテナに置き換えてシミュレーションを行った。反射板は、等価的に電波の入射方向に対する受信アンテナと反射方向に対する送信アンテナの2つに置き換えるが、その際、反射板利得を等価受信アンテナの利得と等価送信アンテナの利得にそれぞれ割当てた。反射パターンは、反射板上の電界分布が一様であると仮定して算出し、アンテナパターンとして入力した。また、等価送信アンテナの送信電力は、その地点における等価受信アンテナの受信電力と反射板効率を考慮して算出した。

次に、メタマテリアル反射板による不感地帯の改善見込みエリアを仮説する。

本実証で使用する反射板の設計仕様は入射角 30 度、反射角 60 度の場合、反射波のビーム幅 15 度である。「図 3.3.53」で示すとおり本実証ではメタマテリアル反射板の反射波が施設内の廊下をとおり不感地帯に届く環境のため、反射波のビーム幅が適切な値は約 8 度であった。反射波のビーム幅が 8 度となるように製品仕様から入射角 15 度、反射角 40 度となるように基地局とメタマテリアル反射板を設置した。この条件においてエリア改善見込みの面積を算出した。反射板から 25.8m の地点 (インフォメーションホール左端) でビーム幅 8 度の電波が到達する場合、到達エリアの長さは角度と距離の関係より 3.6m となる。インフォメーションホールの横幅は 10m であるため、反射板からインフォメーションホール右端までの距離は 15.8m となり、ビーム幅 8 度と距離の関係よりホール右端の電波到達エリアの長さは 2.2m となる。ホール横幅およびホール右端、左端の距離関係より、エリア改善見込みの面積は 29 m² と算出した。本実証では、後述する受信電力等の測定を行うことで本実証環境における改善エリアの拡がり方を検証した。

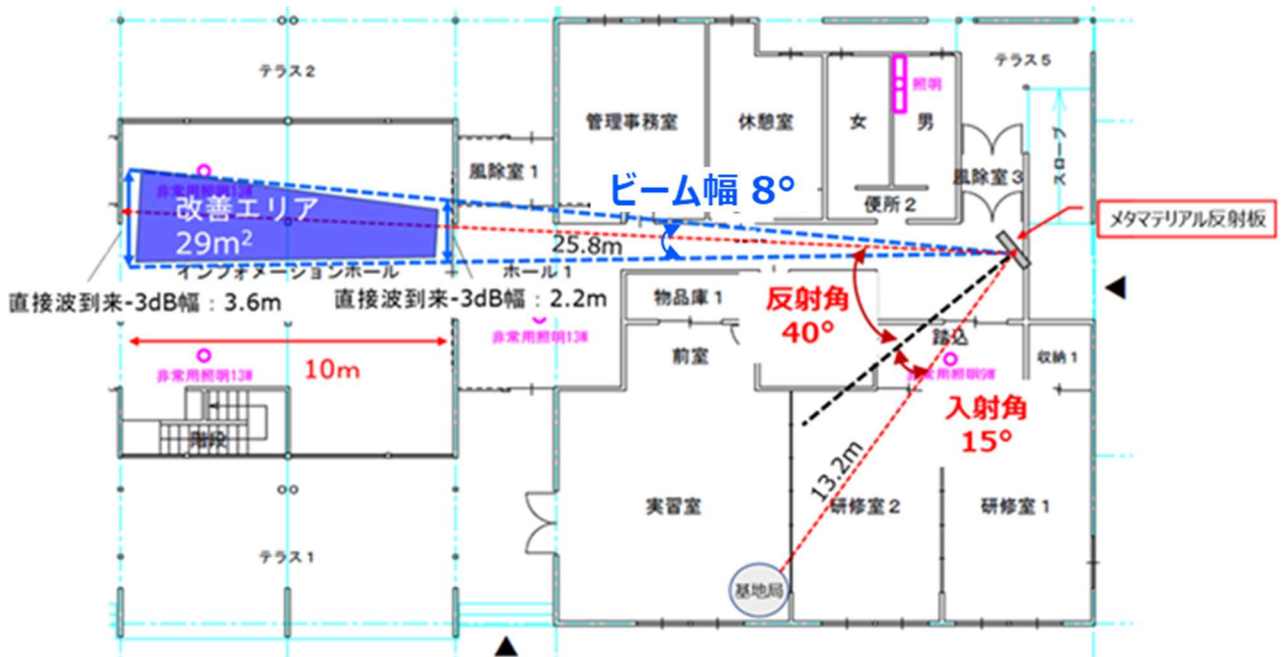
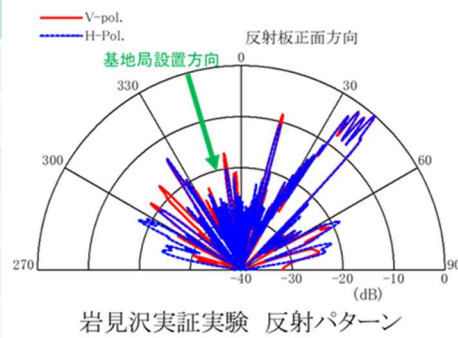


図 3.3.53 メタマテリアル反射板によるエリア改善面積のイメージ図

項目	仕様
周波数	28.2~29.1GHz
利得	約70dB
入射角	-15°
反射角	40°
ビーム幅	約8°
反射板寸法	約700×400mm



岩見沢実証実験 反射パターン

図 3.3.54 ビーム幅を8度にする場合のメタマテリアル反射板仕様

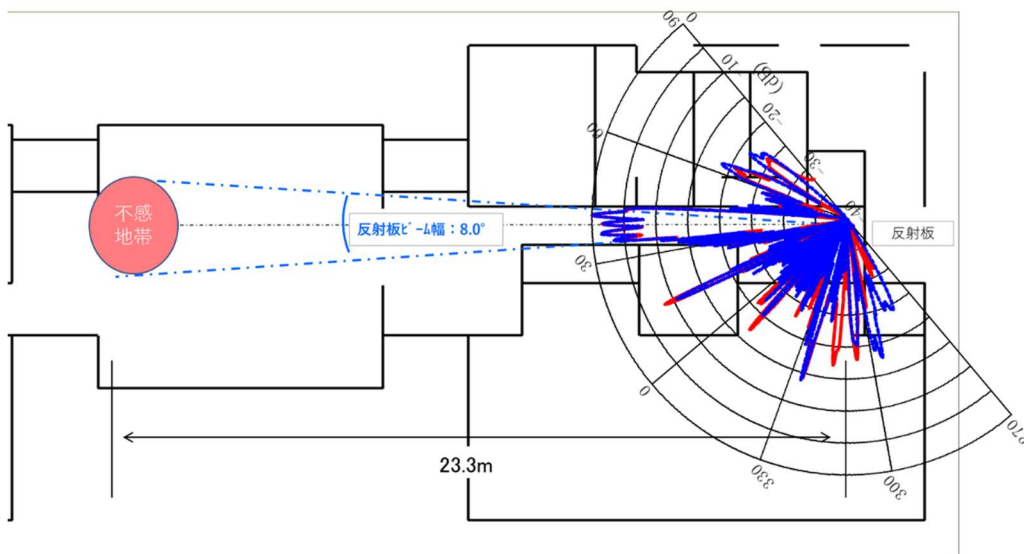


図 3.3.55 メタマテリアル反射板エリア設計とビーム幅設計

次に、不感地帯を事前に机上検討するため、エリア算出法に加えレイトレースシミュレーションによって反射板設置前後での不感地帯の位置や受信レベルを算出した。エリア算出法・レイトレースシミュレーションに用いた基地局の設定値および反射板入力パラメータは以下の「表 3.3.35」、「表 3.3.36」のとおりである。

表 3.3.35 基地局パラメータ情報

緯度・経度	43.152438, 141.938529
周波数	28449.960MHz
送信電力	17dBm/装置 (4装置合計：23dBm)
給電線損失	0dB
送信アンテナ	型名：IOTA 利得：15dBi 高さ：1.95m (地上から), 1.5m (床から) 方位：東から反時計回りに40° チルト：0° 偏波：右旋円偏波
受信アンテナ	無指向性 利得：20dBi 高さ：1.5m
計算範囲・精度	毛陽交流センター内, 0.5mメッシュ

表 3.3.36 反射板入力パラメータ情報

周波数	28449.960MHz
帯域	1CC
送信電力	-52.22dBm (回線設計による反射板受信電力)
給電線損失	0dB
反射板	利得：76.8dBi 高さ：1.95m (地上から), 1.5m (床から) 方位：x軸から反時計回りに225° チルト：0°
受信アンテナ	無指向性 利得：20dBi (算出式), 7dBi (実機) 高さ：1.5m
パラメータR	R=20.1 (基地局を屋内に設置する場合)
計算範囲・精度	毛陽交流センター内, 0.5mメッシュ

エリア算出式による毛陽交流センター内カバーエリアおよび調整対象区域図は下図のとおりとなった。



図 3.3.56 エリア算出式によるカバーエリアおよび調整対象区域図(反射板なし、受信アンテナ利得 20dBi)

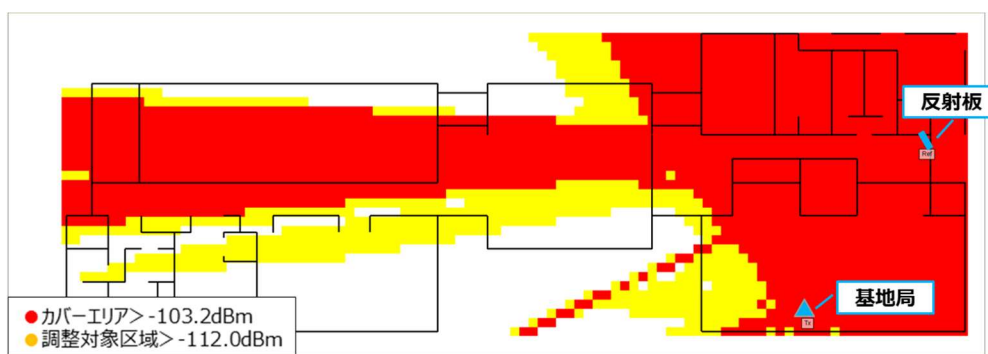


図 3.3.57 エリア算出式によるカバーエリアおよび調整対象区域図(反射板あり、受信アンテナ利得 20dBi)(再掲)

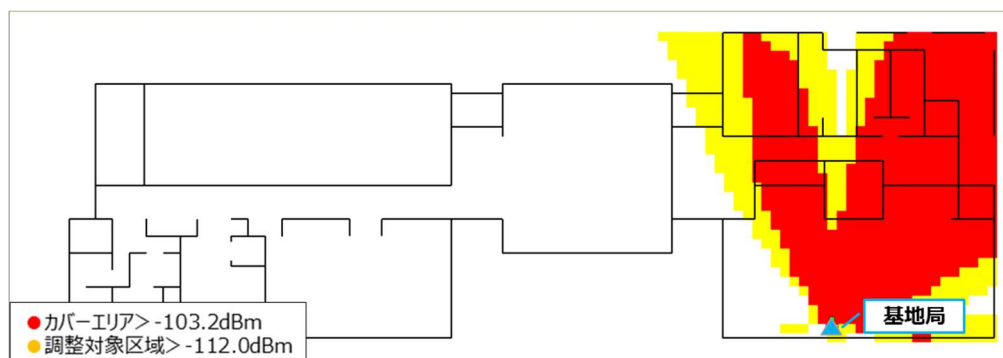


図 3.3.58 エリア算出式によるカバーエリアおよび調整対象区域図(反射板なし、受信アンテナ利得 7dBi)

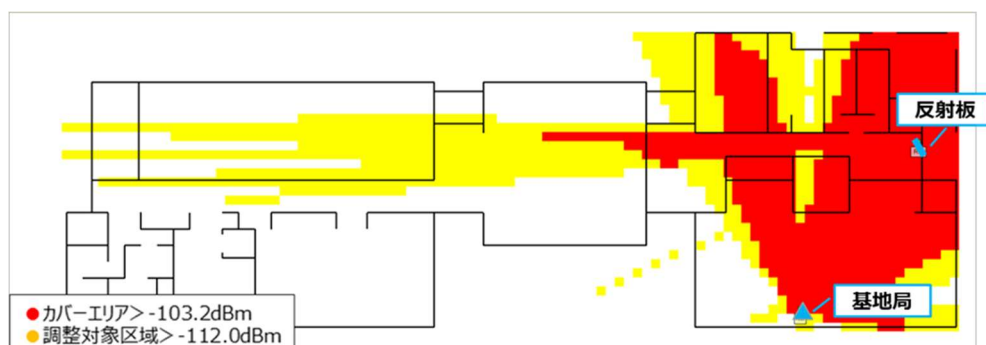


図 3.3.59 エリア算出式によるカバーエリアおよび調整対象区域図(反射板あり、受信アンテナ利得 7dBi)

続いて、仮説の精度を向上させるためレイトレースシミュレーションを実施した。その結果、カバーエリアおよび調整対象区域図は下図のとおりとなり、インフォメーションホール内に不感地帯が発生すること、ならびに反射板設置により不感地帯が改善する見込みがあることを確認した。

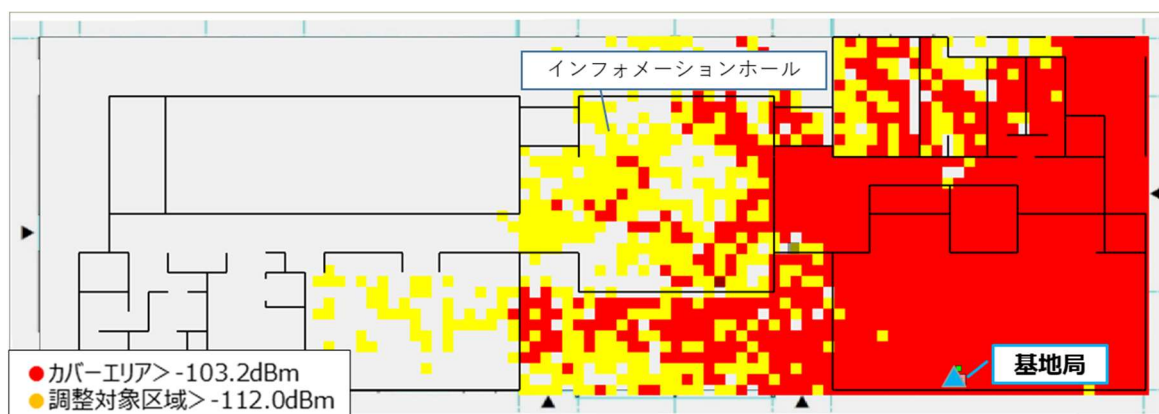


図 3.3.60 レイトレースシミュレーションによるカバーエリアおよび調整対象区域図(反射板なし、受信アンテナ利得 20dBi)

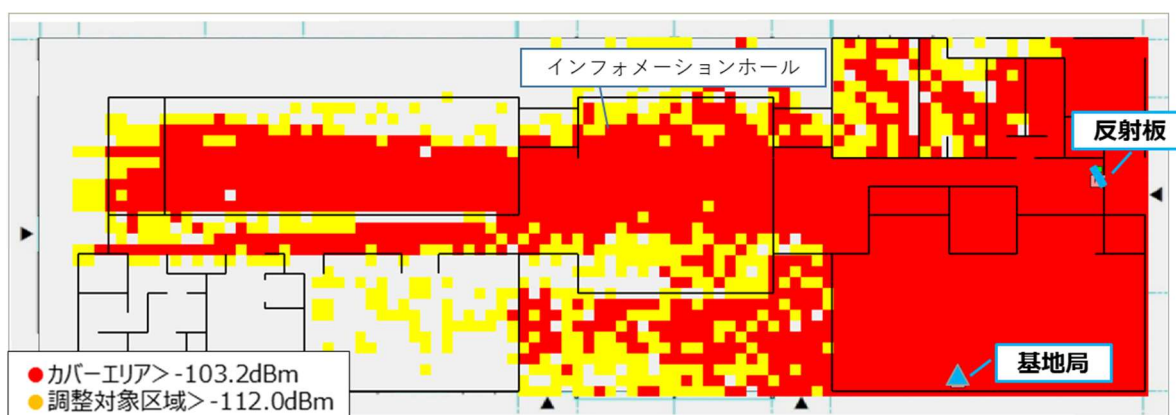


図 3.3.61 レイトレースシミュレーションによるカバーエリアおよび調整対象区域(反射板あり、アンテナ利得 20dBi)(再掲)

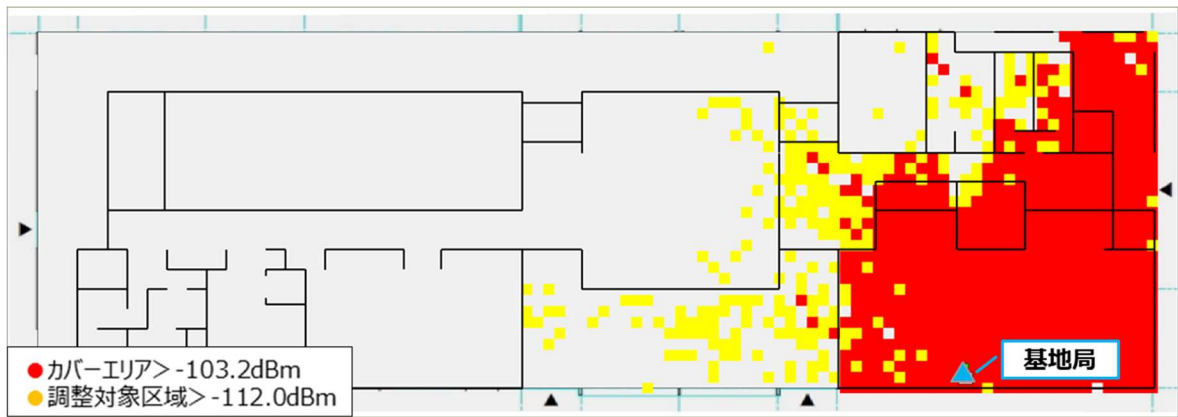


図 3.3.62 レイトレースシミュレーションによるカバーエリアおよび調整対象区域(反射板なし、アンテナ利得 7dBi)(再掲)

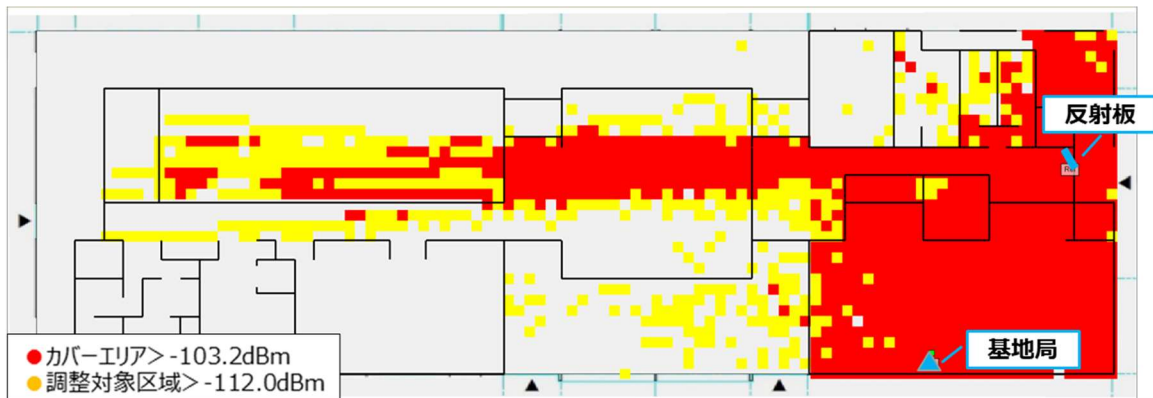


図 3.3.63 レイトレースシミュレーションによるカバーエリアおよび調整対象区域(反射板あり、アンテナ利得 7dBi)(再掲)

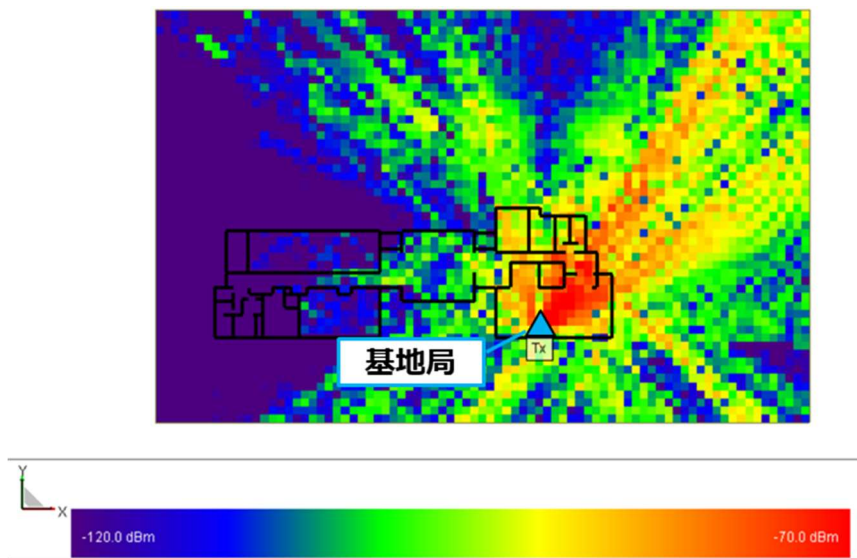


図 3.3.64 レイトレースシミュレーションによるカバーエリアおよび調整対象区域(反射シートなし、アンテナ利得 7dBi)

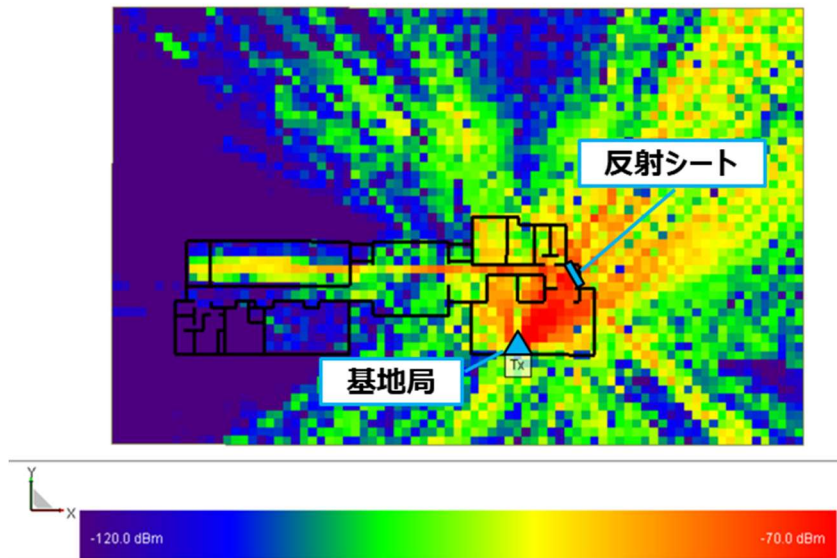


図 3.3.65 レイトレースシミュレーションによるカバーエリアおよび調整対象区域(反射シートあり、アンテナ利得7dBi)

以上の机上検討の結果、反射板設置前後のエリア改善効果を把握するため、「図 3.3.66」、および「図 3.3.67」のとおり業務区域内に満遍なく測定点をプロットし検証を行った。

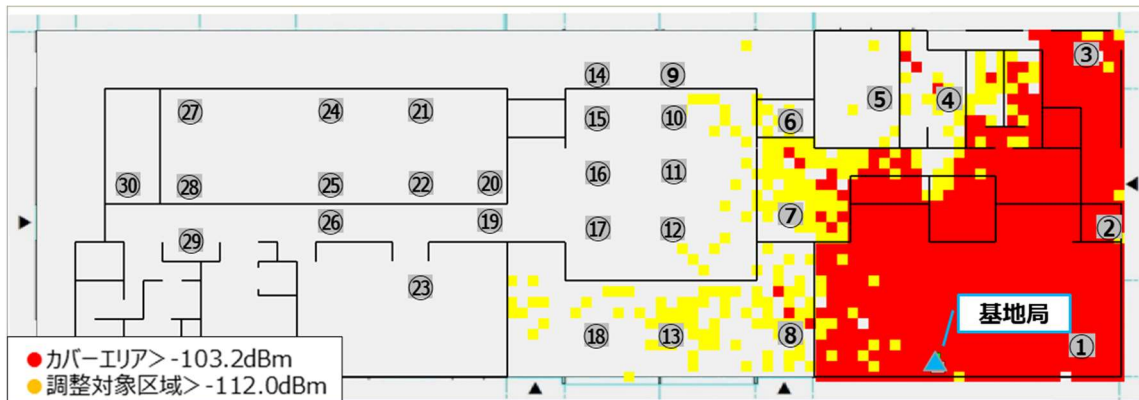


図 3.3.66 メタマテリアル反射板設置前の測定ポイント

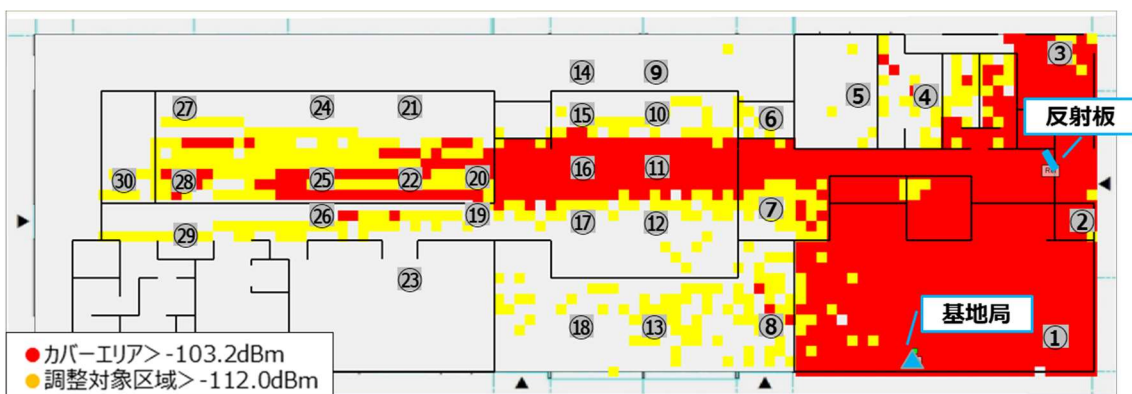


図 3.3.67 メタマテリアル反射板設置後の測定ポイント

(3) 評価・検証項目

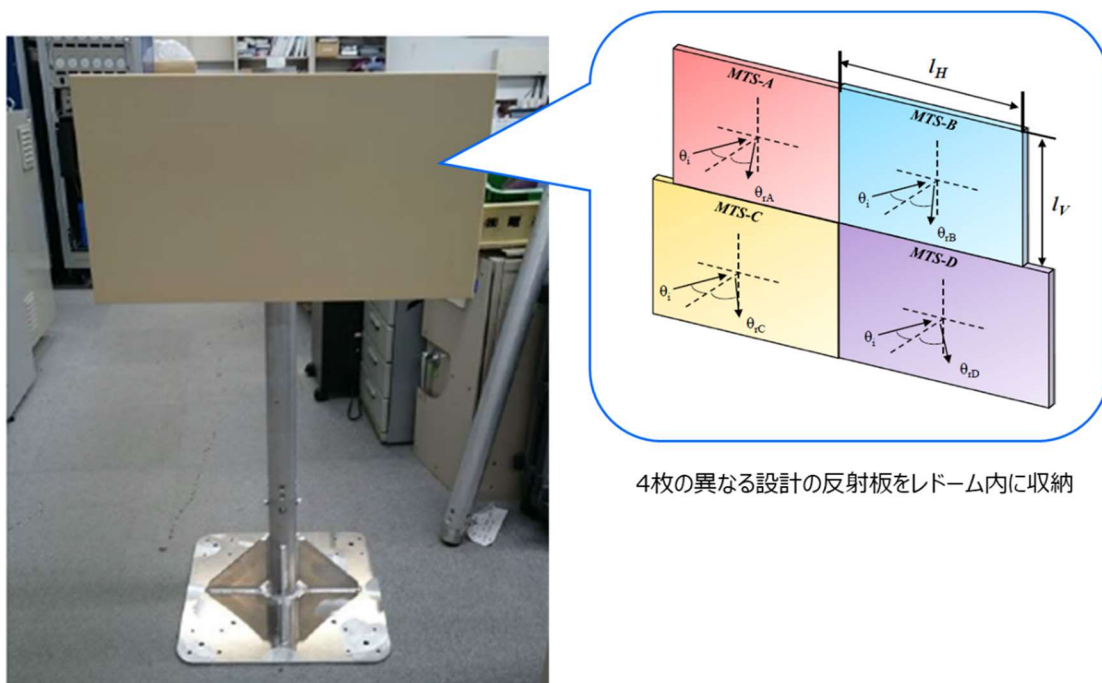
本実証での評価・検証項目は、以下の表のとおりである。

表 3.3.37 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	メタマテリアル反射板、及び反射シート有無によるカバーエリアおよび調整対象区域の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ メタマテリアル反射板、及び反射シート設置前後のカバーエリアおよび調整対象区域における各測定ポイントでの受信電力 (RSRP)、通信品質 (SIR または SINR)、及び伝送性能 (UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延) の測定 ・ 机上検討 (エリア算出式/レイトレースシミュレーション) のカバーエリアおよび調整対象区域の閾値と実測値の比較 ・ 測定点と基地局、メタマテリアル反射板、及び反射シートとの位置関係の確認 (距離・高さ) ・ 測定点と基地局、メタマテリアル反射板、及び反射シートまでの見通し、遮蔽物の確認 ・ 全方位 (45° 方向毎ごとの 8 方向) でのエリア算出方法に定めるカバーエリアおよび調整対象区域の閾値がそれぞれ実測される基地局からの距離を確認

(4) 評価・検証方法

本実証では下図のメタマテリアル反射板、及び反射シートを利用した。



4枚の異なる設計の反射板をレドーム内に収納

図 3.3.68 メタマテリアル反射板イメージ

表 3.3.38 メタマテリアル反射板諸元

項目	仕様
形式	メタマテリアル構造
周波数	28.2-29.1GHz
入射角	AZ: -30° /EL: 0°
反射角	AZ: 60° /EL: 0°
ビーム幅	AZ: 約15° /EL: 約3°
角度調整	AZ: ±15° /EL: ±15°
反射板寸法	約700×400mm
反射板利得	約70dB
反射板重量	4.0kg

今回の実証実験では、反射板を1.5m (UEと同じ高さ) に設置することを想定し、反射板からの反射波は水平方向 (床と並行) に反射させた。



図 3.3.69 反射シートをプラスチック段ボールに貼り付けた状態のイメージ

表 3.3.39 反射シート諸元

項目	仕様
厚み	125 μ m
シート抵抗値	40 Ω
光透過率	83.2%
透過色相	8.2
へイズ	1.3%
電波遮蔽	15dB
反射損失	-1.7dB
最大有効幅	~1500mm
サイズ	約1mx2m
素材	ポリエチレンテレフタレート
反射板利得	約105dB
ビーム幅	約0.3°

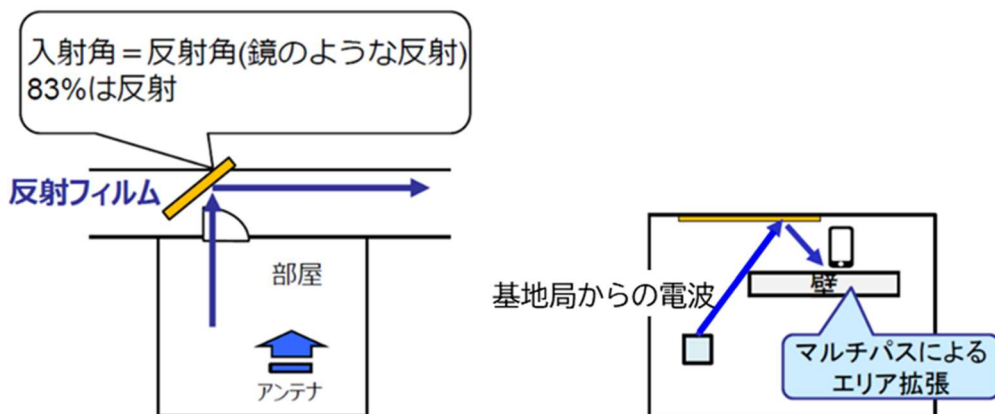


図 3.3.70 反射シートの利用環境イメージ

本実証にて想定している試験の手順は、下の表のとおりである。

表 3.3.40 試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	<p>シミュレーションと測定ポイントの定義</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ メタマテリアル反射板設置前後のエリア設計手法を考慮したエリア算出式シミュレーションによるカバーエリア・調整対象区域図の作図 ・ メタマテリアル反射板、及び反射シート設置前後のエリア設計手法を考慮したレイトレースシミュレーションの作成及びエリア算出法結果との比較（受信電力） ・ エリア算出法のカバーエリア・調整対象区域図の閾値と実測値の比較する測定ポイント定義 	<p>図 3.3.47 図 3.3.66</p>
2	<p>測定</p> <p>定義した測定ポイント（30ポイント）にて測定器を用いて受信電力、通信品質、伝送性能の測定（エリアスキャナーにてSS-RSRP、RSRQ、SINR、DL/ULスループット、伝送遅延を測定）、メタマテリアル反射板、及び反射シート設置後、定義した測定ポイント（30ポイント）にて同様の測定を実施。</p> <p>測定方法については、図3.3.23「測定イメージ」および図3.3.24「スループット・遅延時間の測定」のとおり測定を行う</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 反射板による反射ビーム幅の測定 ・ シミュレーションの閾値と実測値が異なっている場合、閾値が実測されるメタマテリアル反射板からの距離を確認 ・ 屋内での測定ポイントの緯度経度情報はGPS測位ができる地点からレーザー距離計を用いて距離・方位を算出しそこから国土地理院の地図で緯度経度情報を算出する。レーザー距離計の測定精度は± 2.0 mm、GPSの測定精度は±2.0mである ・ メタマテリアル反射板および反射シート設置前後の受信電力、伝送性能（スループット、遅延時間）の実測値の比較を行う ・ 測定器は、VIAVI社のOneAdviSor800測定器を使用する。 ・ 測定精度は、±100Hz 信頼水準 99%である 	<p>図 3.3.71 図 3.3.72 図 3.3.73 図 3.3.74</p>
3	<p>評価・分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 測定結果の取りまとめとシミュレーションと実測データとの比較および差分要因の分析と考察 ・ 分析と考察結果より、実施環境および実測値によるエリア設計手法のモデル化検討 	

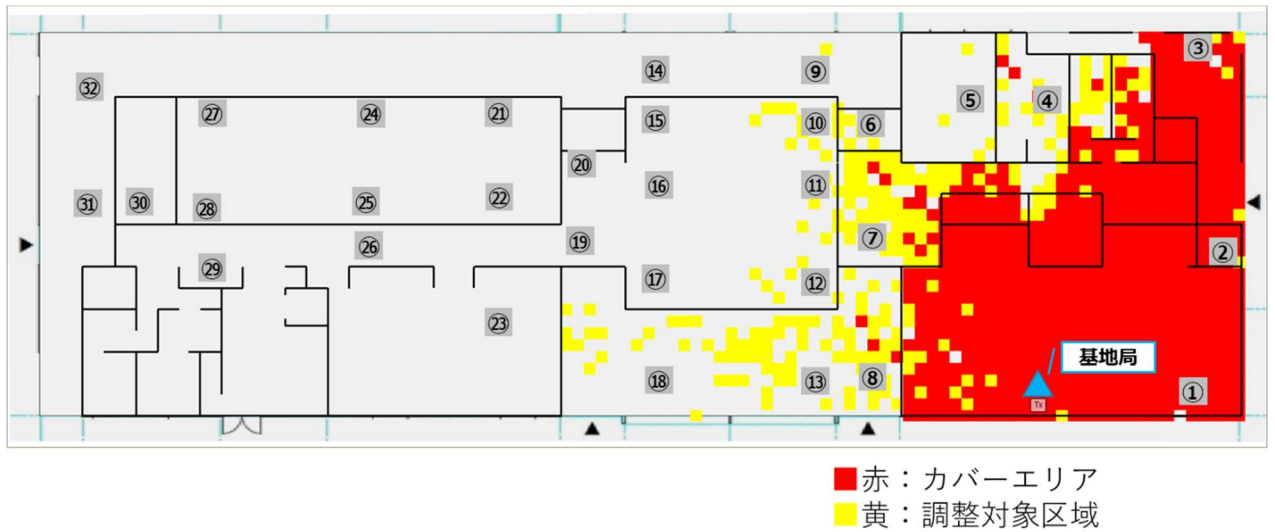


図 3.3.71 メタマテリアル反射板、及び反射シート設置前の業務区域内カバーエリア及び調整対象区域内の測定ポイント(再掲)

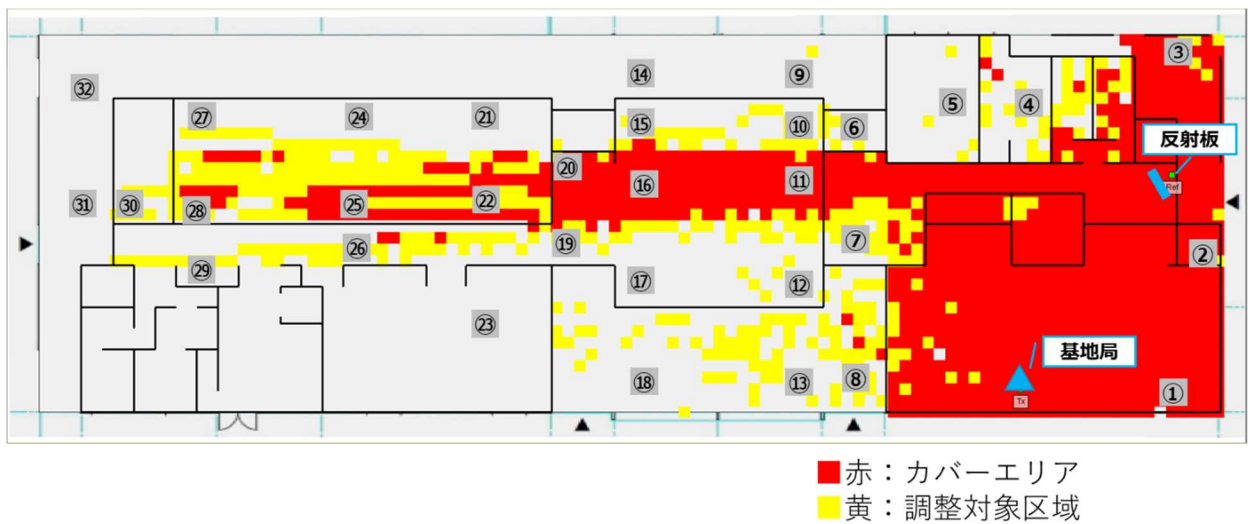


図 3.3.72 メタマテリアル反射板、及び反射シート設置後の業務区域内カバーエリア及び調整対象区域内の測定ポイント(再掲)

受信電力の測定は OneAdviSor800 を使用して「図 3.3.73」のように実施した。伝送性能の測定は MTS5800 を用いて「図 3.3.74」のように測定した。

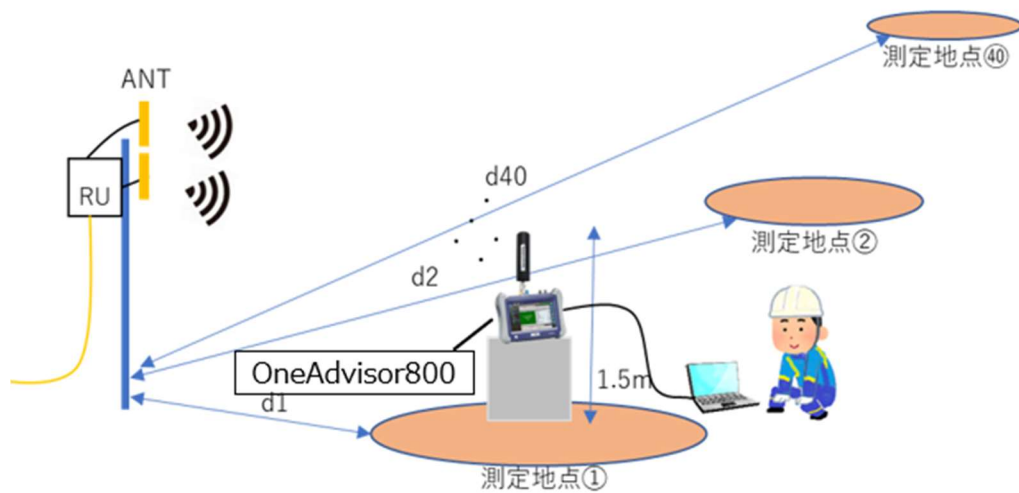


図 3.3.73 OneAdviSor800 を用いた測定イメージ



図 3.3.74 「スループット・遅延時間の測定区間」

(5) 実証結果及び考察

1) 反射板設置前後の受信電力・伝送性能の比較

施設内 30 ポイントで測定した反射板設置後の受信電力・伝送性能の測定結果を下記の表にまとめた。

表 3.3.41 メタマテリアル反射板設置前の電波性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	SINR[dB]	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
1	-83.44	12.36	58.20	901.88	8.79	8.19
2	-79.00	18.48	61.77	903.73	8.82	8.04
3	-97.06	14.73	4.06	928.09	88.20	97.75
4	-109.02	5.52	1.11	313.88	6473.39	439.39
5	-112.97	4.45	0.25	161.56	5128.31	48.40
6	-103.39	6.53	1.60	910.37	7.77	7.89
7	-101.17	9.61	8.74	903.30	255.04	9.51
8	-109.45	4.74	No data	No data	No data	No data
9	-117.82	3.82	0.25	142.85	7350.00	3312.02
10	-109.27	4.96	0.49	422.03	2820.00	2231.00
11	-105.13	8.05	1.60	530.30	5310.98	3135.29
12	-113.55	4.16	0.25	102.49	4992.01	6221.63
13	-111.92	4.45	No data	No data	No data	No data
14	-117.87	3.38	0.25	85.14	5280.13	5623.62
15	-105.66	5.99	1.11	326.06	197.84	5750.00
16	-110.24	5.26	0.25	246.70	4659.93	4659.39
17	-110.65	4.73	0.12	180.38	2715.00	104.70
18	-113.06	4.35	No data	No data	No data	No data
19	-113.12	4.36	0.25	132.02	6250.00	7050.00
20	-112.78	4.36	No data	No data	No data	No data
21	No data	No data	No data	No data	No data	No data
22	-111.94	4.62	No data	No data	No data	No data
23	No data	No data	No data	No data	No data	No data
24	No data	No data	No data	No data	No data	No data
25	-117.57	3.75	No data	No data	No data	No data
26	-117.75	No data	No data	No data	No data	No data

測定ポイント	受信電力 (dBm)	SINR[dB]	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
27	No data	No data	No data	No data	No data	No data
28	No data	No data	No data	No data	No data	No data
29	-120.96	No data	No data	No data	No data	No data
30	No data	No data	No data	No data	No data	No data

※表の受信電力と SINR における「No data」記載箇所は測定器の受信電力下限値が SS-RSRP - 132dBm であるため、下限値を下回り測定不可となったポイント。スループットと遅延における「No data」記載箇所は UE の通信方式が 4G となり測定不可となったポイント。以降も同様である。

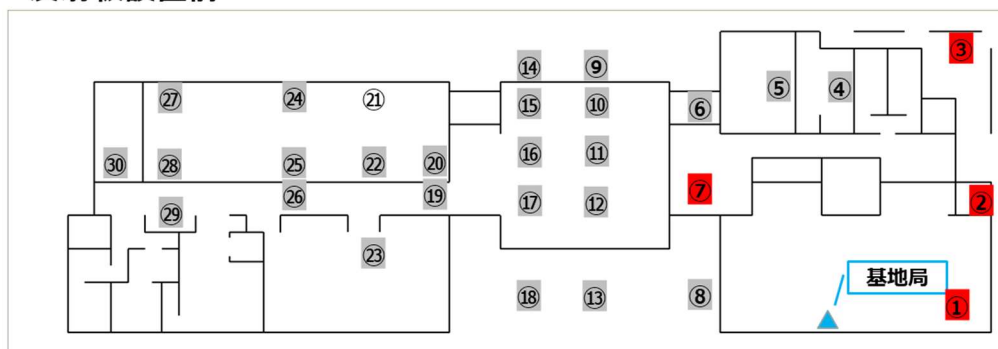
表 3.3.42 メタマテリアル反射板設置後の電波性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	SINR [dB]	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
1	-79.58	10.12	62.75	889.70	8.40	8.16
2	-76.15	16.96	57.58	917.88	8.39	8.06
3	-94.58	6.98	10.58	919.48	9.47	63.67
4	-103.00	7.74	9.97	905.08	20.25	512.08
5	-107.01	6.42	4.43	910.37	81.76	656.79
6	-100.80	6.18	8.98	999.95	9.26	7.89
7	-101.65	7.91	5.78	912.83	9.15	8.62
8	-104.08	6.79	2.58	920.34	136.71	3634.85
9	-111.10	4.37	1.50	211.14	80.26	218.35
10	-103.86	7.55	7.63	913.57	293.44	354.17
11	-97.61	7.06	18.33	917.57	8.84	49.98
12	-98.17	6.77	7.51	920.34	11.55	41.33
13	-111.91	4.27	0.37	353.37	508.62	1543.18
14	-109.59	4.59	3.72	296.90	46.53	215.40
15	-101.78	11.02	5.48	926.98	91.81	195.18
16	-98.03	7.96	10.58	900.04	9.26	9.92
17	-98.02	9.06	8.37	923.42	61.43	225.74
18	-114.42	3.96	0.49	233.78	3235.62	78955.87
19	-99.56	12.18	4.80	686.93	67.59	68.98
20	-103.18	9.43	1.11	918.25	16.56	28.04
21	-112.31	4.19	1.66	840.49	705.81	115.91
22	-101.74	9.54	1.60	893.52	99.61	26.88
23	-113.96	3.84	No data	No data	No data	No data
24	-111.66	4.54	0.98	196.86	184.20	27.57
25	-106.53	6.59	1.40	505.08	385.92	43.99
26	-99.93	11.81	4.43	922.43	23.74	22.78
27	-110.90	4.85	No data	No data	No data	No data
28	-104.51	7.38	No data	No data	No data	No data
29	-105.76	7.58	No data	No data	No data	No data
30	-110.66	5.47	No data	No data	No data	No data

上記の結果から、実証目的である不感地帯での受信電力・伝送性能改善に対するメタマテリアル反射板の有効性を以下で評価する。

メタマテリアル反射板設置前の「表 3.3.41」とメタマテリアル反射板設置後の「表 3.3.42」の結果より、11ポイントにおいてメタマテリアル反射板設置後に受信電力および伝送性能の改善が見られた。

・反射板設置前



・反射板設置後

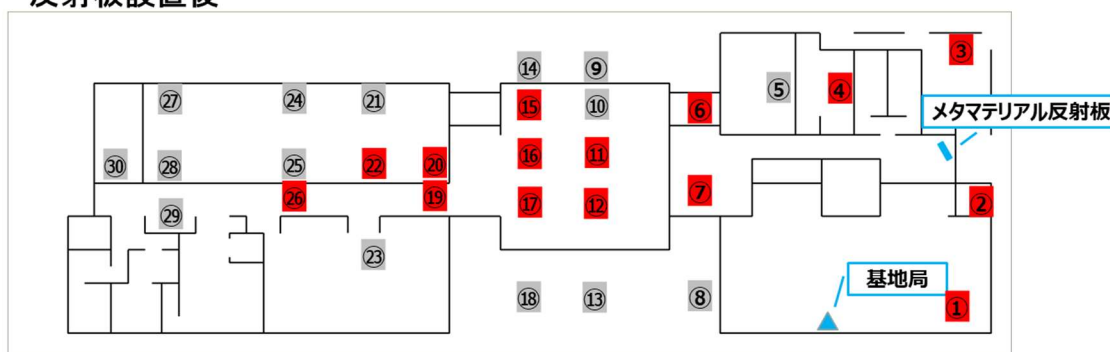


図 3.3.75 メタマテリアル反射板設置前後の定点改善結果

上記定点測定結果に図 3.3.76、図 3.3.77 に示す歩行測定結果を追加したメタマテリアル反射板設置前後の施設内における不感地帯の割合を図 3.3.78、図 3.3.79 に示す。メタマテリアル反射板設置前施設内の灰色のエリア 56.3%が不感地帯に該当していたが、メタマテリアル反射板設置後 83.3%のエリアが赤色カバーエリア閾値以上の受信電力となり不感地帯 16.7%へ解消された。

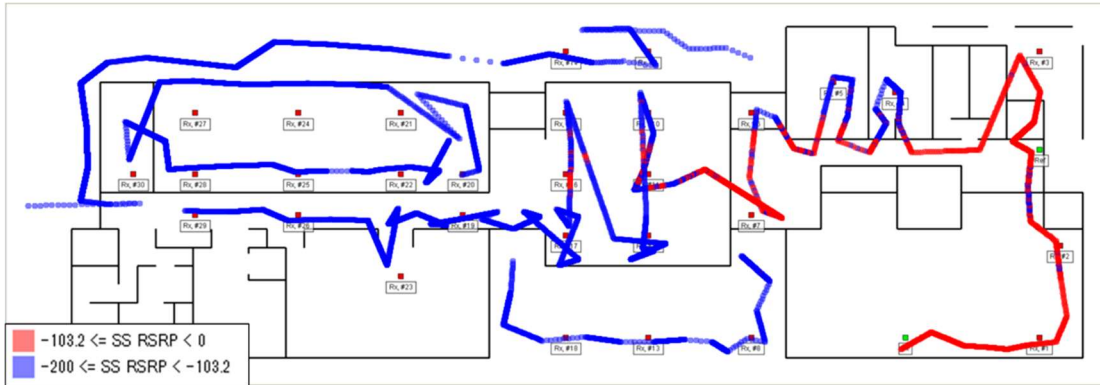


図 3.3.76 歩行測定によるヒートマップ結果(反射板なし)



図 3.3.77 歩行測定によるヒートマップ結果(反射板あり)

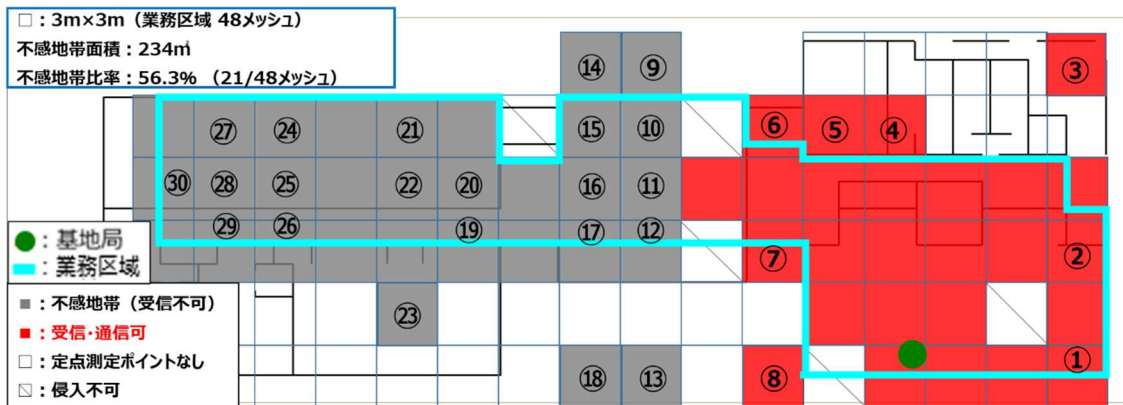


図 3.3.78 メタマテリアル反射板設置前の不感地帯確認結果

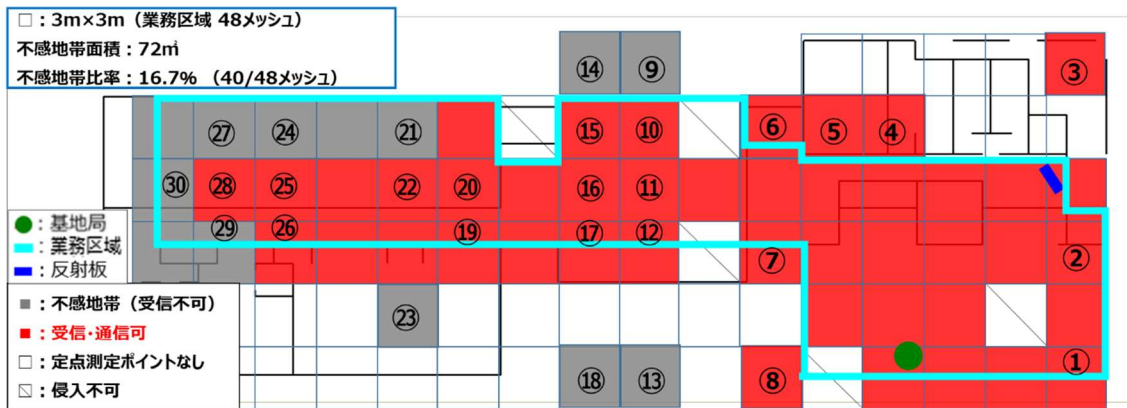


図 3.3.79 メタマテリアル反射板設置後の不感地帯確認結果

以降のグラフに反射板設置前後の受信電力・伝送性能の変化を示す。

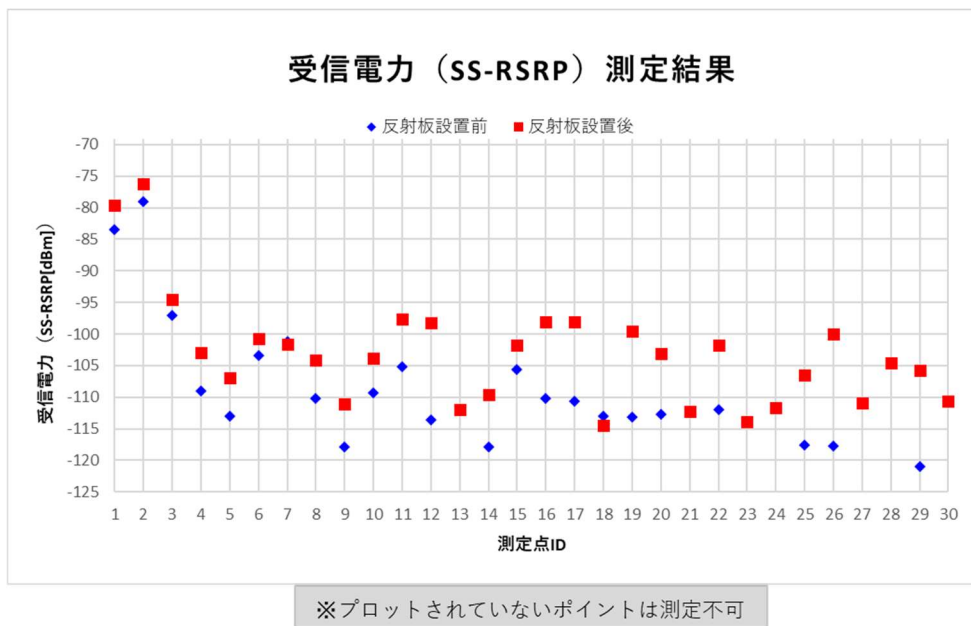
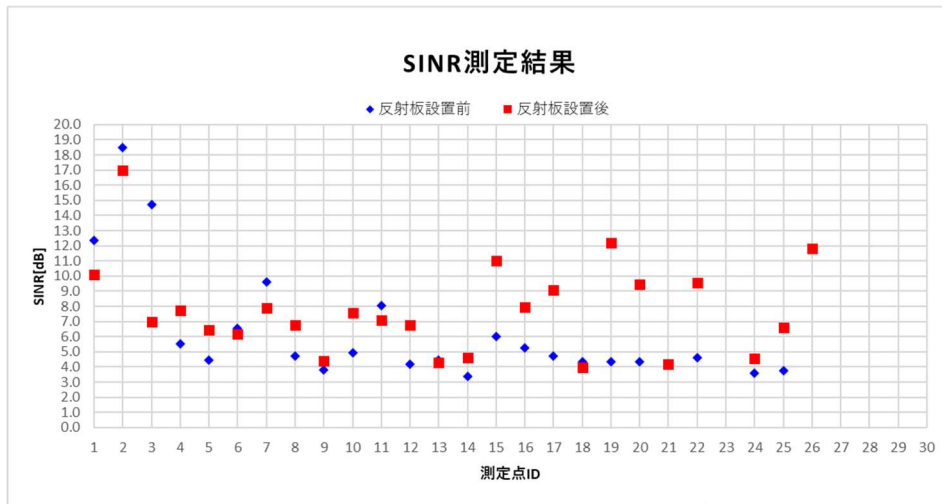
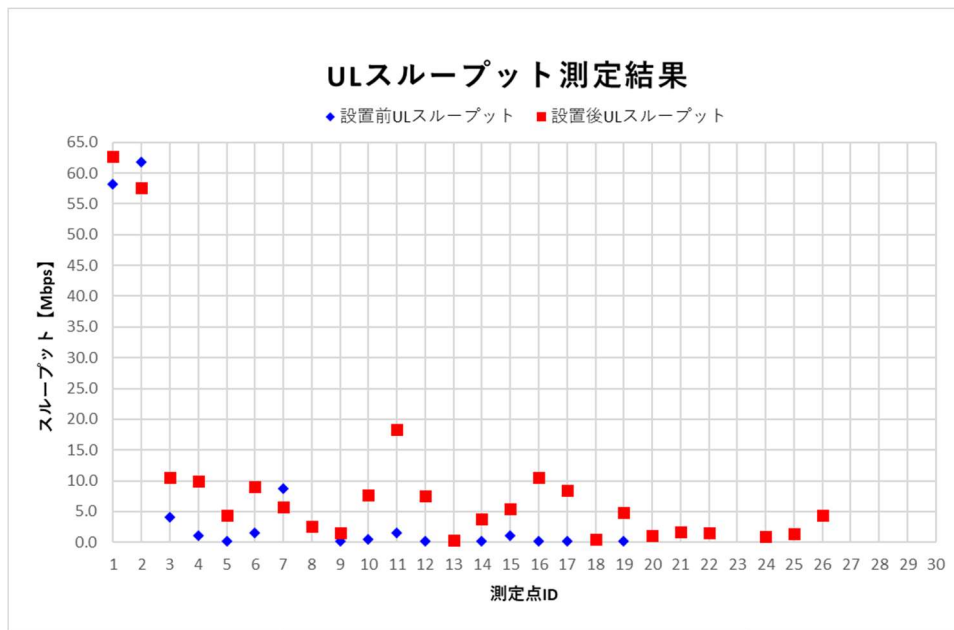


図 3.3.80 反射板設置前後の受信電力測定結果



※プロットされていないポイントは測定不可

図 3.3.81 反射板設置前後の SINR 測定結果



※プロットされていないポイントは測定不可

図 3.3.82 反射板設置前後の UL スループット測定結果

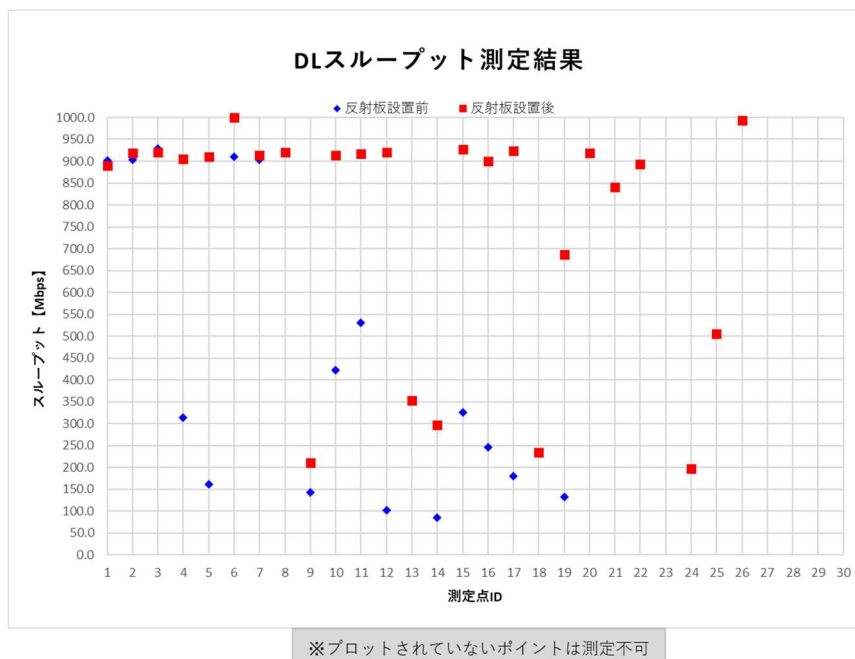


図 3.3.83 反射板設置前後の DL スループット測定結果

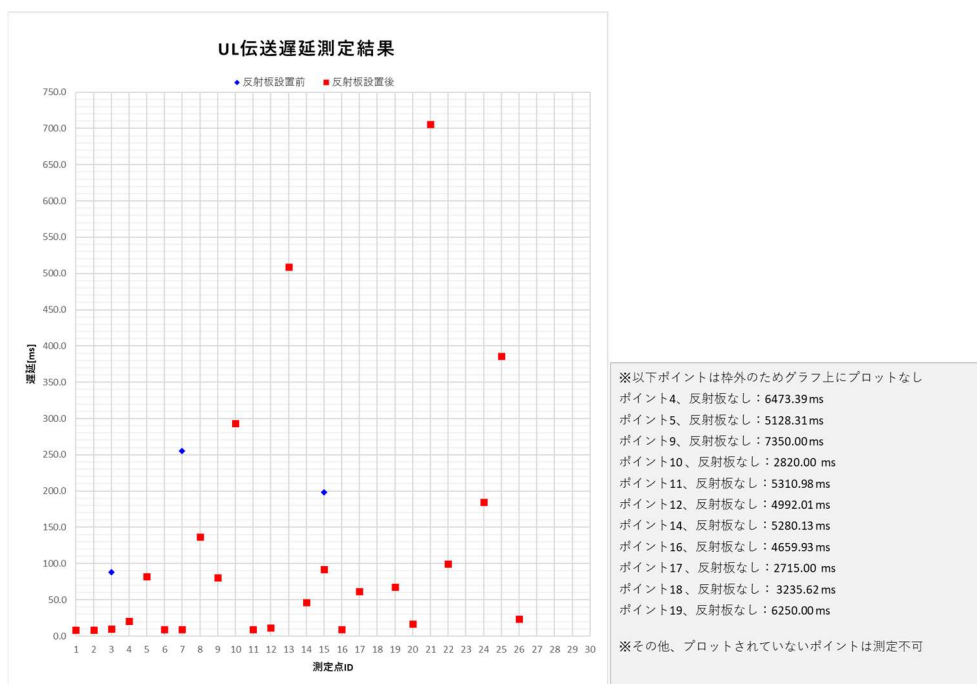


図 3.3.84 反射板設置前後の UL 伝送遅延測定結果

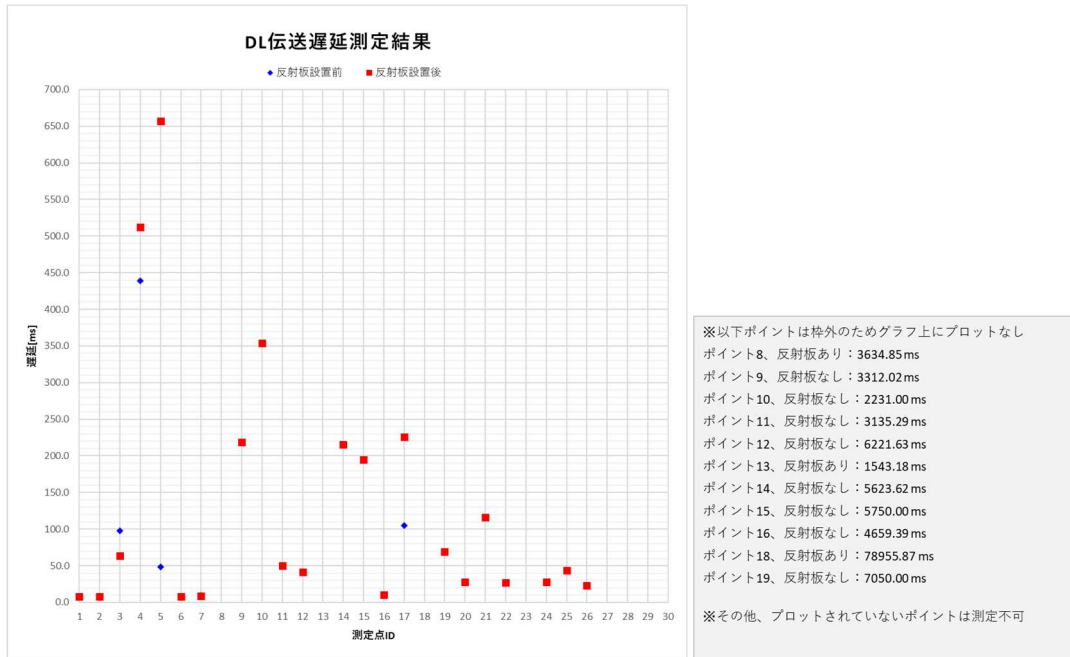


図 3.3.85 反射板設置前後の DL 伝送遅延測定結果

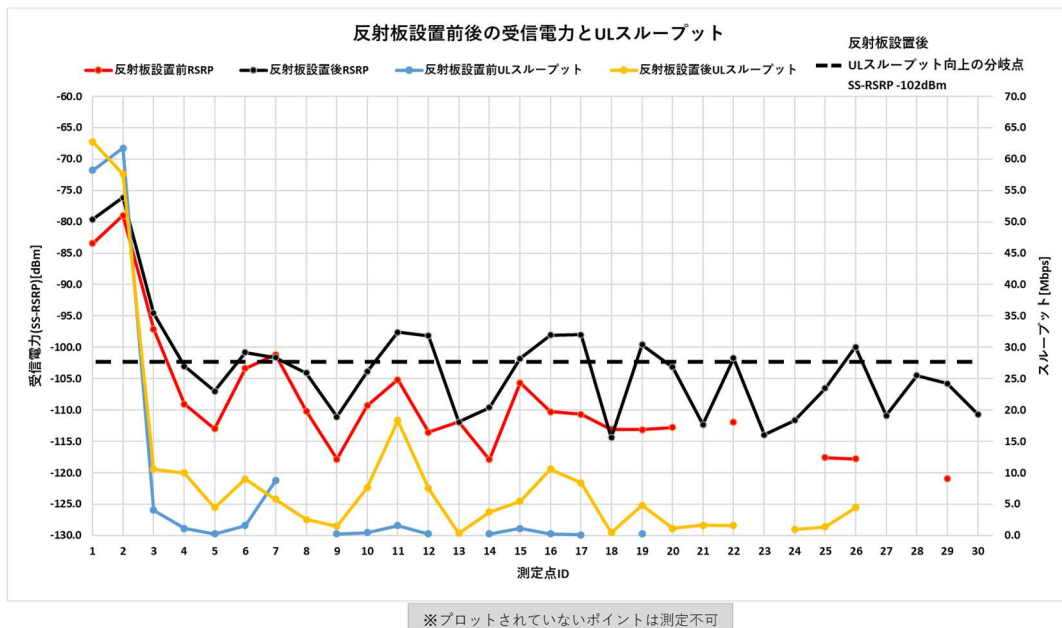


図 3.3.86 受信電力(SS-RSRP)と UL 伝送スループットの比較

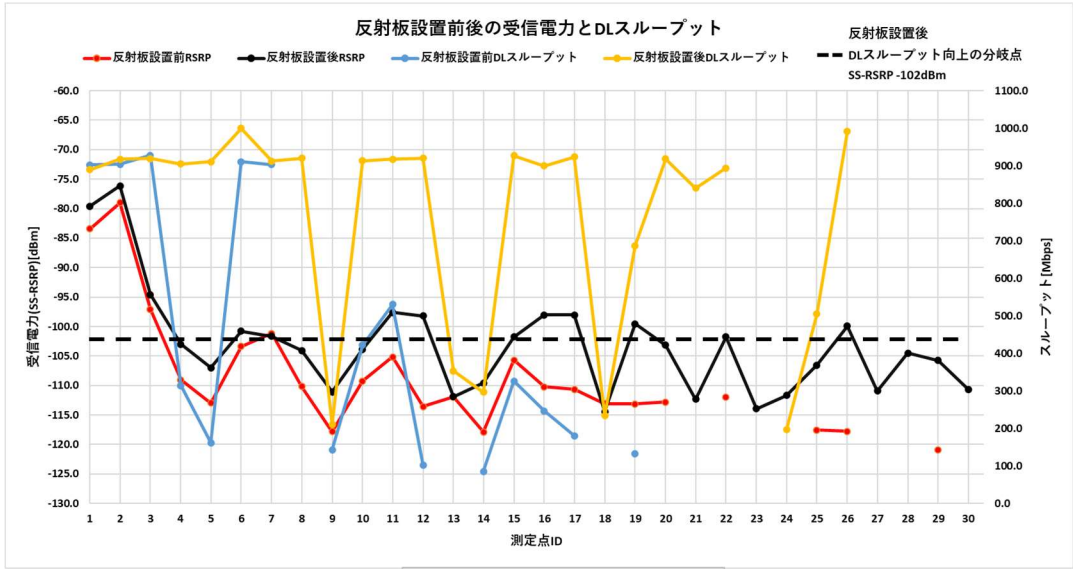


図 3.3.87 受信電力(SS-RSRP)と DL 伝送スループットの比較

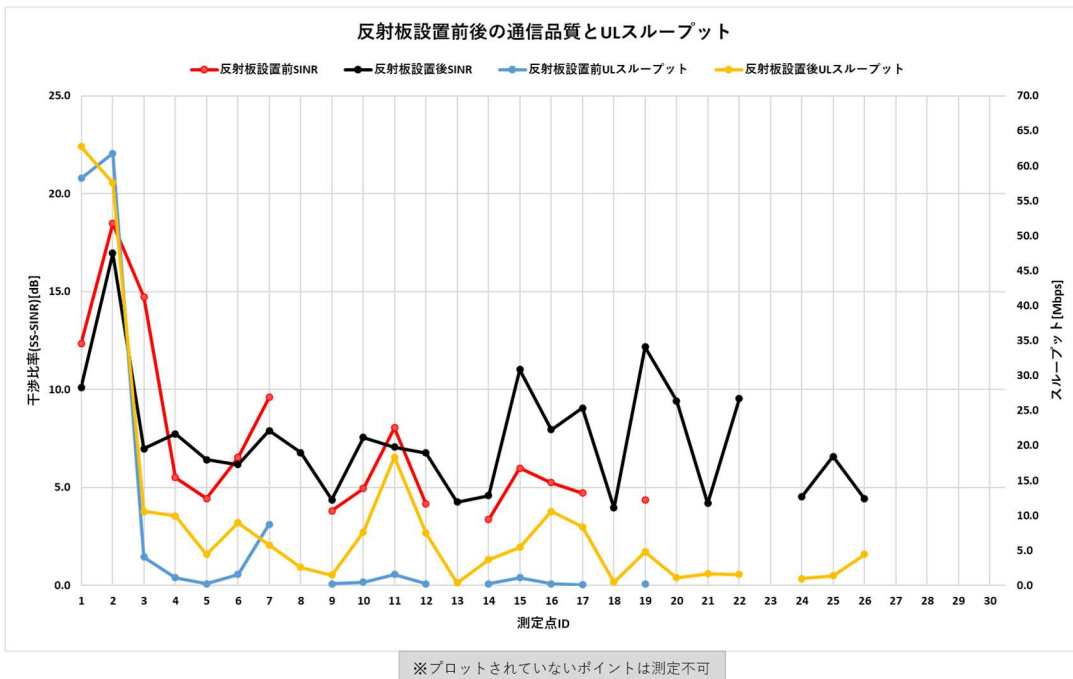


図 3.3.88 SINR と UL 伝送スループットの比較

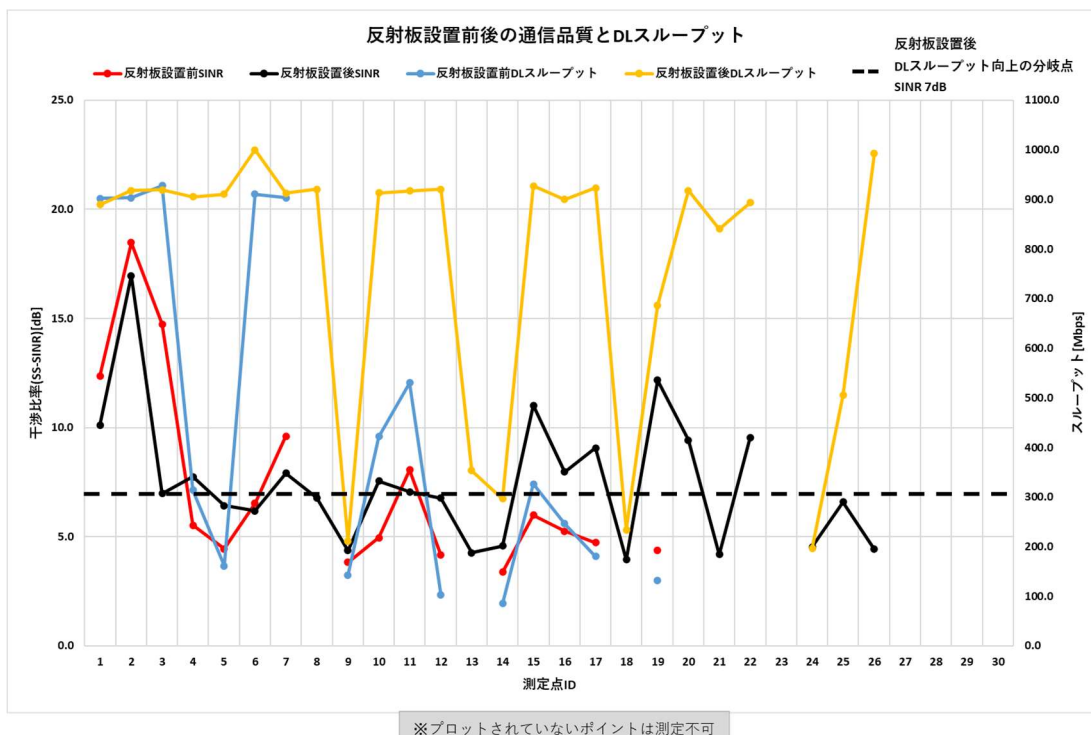


図 3.389 SINR と DL 伝送スループットの比較

本実証結果では上記のグラフに示したとおり、メタマテリアル反射板設置後に 30 ポイント中 28 ポイントで受信電力が向上し、カバーエリア閾値未満 (SS-RSRP -103.2dBm) が設置前 26 ポイントから設置後 15 ポイントに改善させることができた。受信電力の改善に伴い改善幅が大きいポイント 12 では受信電力 $+15.37\text{dB}$ 、DL スループット $+817.35\text{Mbps}$ の改善が見られ、DL スループット平均値は $+430.6\text{Mbps}$ と大きな改善幅となった。

伝送遅延については反射板設置前に 10000ms を超える遅延が発生しているポイントが多くあったが (UL は 10 ポイント、DL は 7 ポイント) 反射板設置後は遅延値が改善し 1000ms を超える遅延が発生するポイントを減らすこと (UL は 1 ポイント、DL は 3 ポイント) を実現することができた。しかし、メタマテリアル反射板設置後の UL スループット平均値は $+5.5\text{Mbps}$ の改善幅に留まり今回実証で掲げている所要性能 (UL スループット 80Mbps /伝送遅延 30ms) との差分という点については改善効果が達成しきれていない点については、メタマテリアル反射板を用いたエリア設計手法のモデル化にて考察をする。

次に伝送スループットと受信電力 (SS-RSRP)、SINR との比較について考察する。メタマテリアル反射板設置前は基地局近傍の強電界 (SS-RSRP $-80\sim-70\text{dBm}$ 程度) のポイント 1、2 では UL スループット 60Mbps 以上の高い伝送性能を得ることができた。しかし、基地局から離れ SS-RSRP -102dBm 以下になると UL スループットは $0\sim10\text{Mbps}$ に下がり、通信不可のポイントがあった。メタマテリアル反射板設置後の改善幅は大きくないが SS-RSRP -102dBm を超えると UL スループット 10Mbps 程度に改善される結果となり、また 10Mbps 以下のポイントにおいてもメタマテリアル反射板前 $0.1\sim0.2\text{Mbps}$ 程度からメタマテリアル反射板設置後 $4.8\sim8.4\text{Mbps}$ の改善効果を得ることができた。

UL スループットに対して DL スループットはメタマテリアル反射板設置による改善幅が大きく、SS-RSRP-102dBm 以上に改善したポイントはメタマテリアル反射板設置前 200Mbps 程度からメタマテリアル反射板設置後 900Mbps 程度の改善効果が得られ基地局近傍と同様の高スループットを得ることができた。

UL スループットと SINR の比較については、スループットは UL 方向の測定値であり SINR は DL 方向の測定値のため比較対象が異なることから相関する関係ではないと考える。DL スループットと SINR については、SINR7dB 以上のポイントにおいて、900Mbps 程度の改善効果が得られた。以上のことから伝送スループットを改善させるためには受信電力(SS-RSRP)を-102dBm 以上、SINR7dB 以上に改善させることが重要であることが考えられる

また、メタマテリアル反射板設置により SINR が低下した理由について考察をする。ポイント 1, 2, 3, 6, 7, 11 にて設置前後の SINR 差分が比較的大きい本ポイントは、差分が-1.52～ - 7.75dB となっている。これらのポイントは基地局からの直接波またはサイドローブの影響が支配的な位置関係となり、反射板設置による反射・回折によって干渉が生じることで SINR が低下したと考えられる。反射板設置前でも SS-RSRP-105～-79dBm のレベルで受信できていることから、直接波との干渉が SINR に関係したと考えられる。

ポイント 16, 17, 19, 20, 22, 25, 26, 28～30 は反射波ビーム幅の中心方向であり、建物奥側の本ポイントでは SINR がすべて改善している。最大改善量はポイント 19 では 7.82dB、ポイント 26 では取得不可から 11.81dB と大きく改善している。反射板設置前の SS-RSRP は-110dBm 以下～取得不可であり、前述のような直接波の受信が小さいポイントであるため、逆説的に直接波の到来が SINR の低下に影響していると考えられる。本来、反射板自体の遅延量は極僅か(30～40psec)であることから直接波との干渉原因となることは想定しづらいが、現地の環境要因等により本結果が得られていると推察する。

前述の内容から、直接波と反射波が混ざることが要因である場合、反射板設置の際、反射板による利用エリアに入射波(直接波)が到来しないようにすることが重要であると考えられる。具体的には、反射波以外の電波が到達しないように、入射方向以外に電波吸収材等によって入射波を弱める、反射波の伝搬経路上に、反射波以外が来ないように電波吸収できる材質で区画を設ける等の方法が考えられ。

メタマテリアル反射板設置により UL スループットの改善効果が達成しきれていない点は、先述したとおりエリア設計手法のモデル化にて考察をする。

また、SS-RSRP, SINR から所望波 S と雑音電力 N・干渉波 I の電力を推定し、UL/DL スループットの成り立ちを比較して分析する。なお、本実証環境では周辺地域において衛星通信等の 28GHz 帯が存在するか現地測定にて確認ができていないため、干渉波 I と雑音成分 N を含め検討した。

表 3.3.43 干渉波 I と雑音成分 N の表

測定点 ID	受信電力 [dBm]	SINR [dB]	I・N[dBm]	UL スループット [Mbps]	DL スループット [Mbps]
1	-79.58	10.12	-89.71	62.75	889.70
2	-76.15	16.96	-93.11	57.58	917.88
3	-94.58	6.98	-101.56	10.58	919.48
4	-103.00	7.74	-110.74	9.97	905.08
5	-107.01	6.42	-113.43	4.43	910.37
6	-100.80	6.18	-106.98	8.98	999.95
7	-101.65	7.91	-109.56	5.78	912.83
8	-104.08	6.79	-110.87	2.58	920.34
9	-111.10	4.37	-115.47	1.50	211.14
10	-103.86	7.55	-111.41	7.63	913.57
11	-97.61	7.06	-104.67	18.33	917.57
12	-98.17	6.77	-104.95	7.51	920.34
13	-111.91	4.27	-116.18	0.37	353.37
14	-109.59	4.59	-114.17	3.72	296.90
15	-101.78	11.02	-112.80	5.48	926.98
16	-98.03	7.96	-105.99	10.58	900.04
17	-98.02	9.06	-107.08	8.37	923.42
18	-114.42	3.96	-118.38	0.49	233.78
19	-99.56	12.18	-111.74	4.80	686.93
20	-103.18	9.43	-112.61	1.11	918.25
21	-112.31	4.19	-116.50	1.66	840.49
22	-101.74	9.54	-111.28	1.60	893.52
23	-113.96	No data	No data	No data	No data
24	-111.66	4.54	-116.19	0.98	196.86
25	-106.53	6.59	-113.11	1.40	505.08
26	-99.93	11.81	-111.74	4.43	992.43
27	-110.90	No data	No data	No data	No data
28	-104.51	No data	No data	No data	No data
29	-105.76	No data	No data	No data	No data
30	-110.66	No data	No data	No data	No data

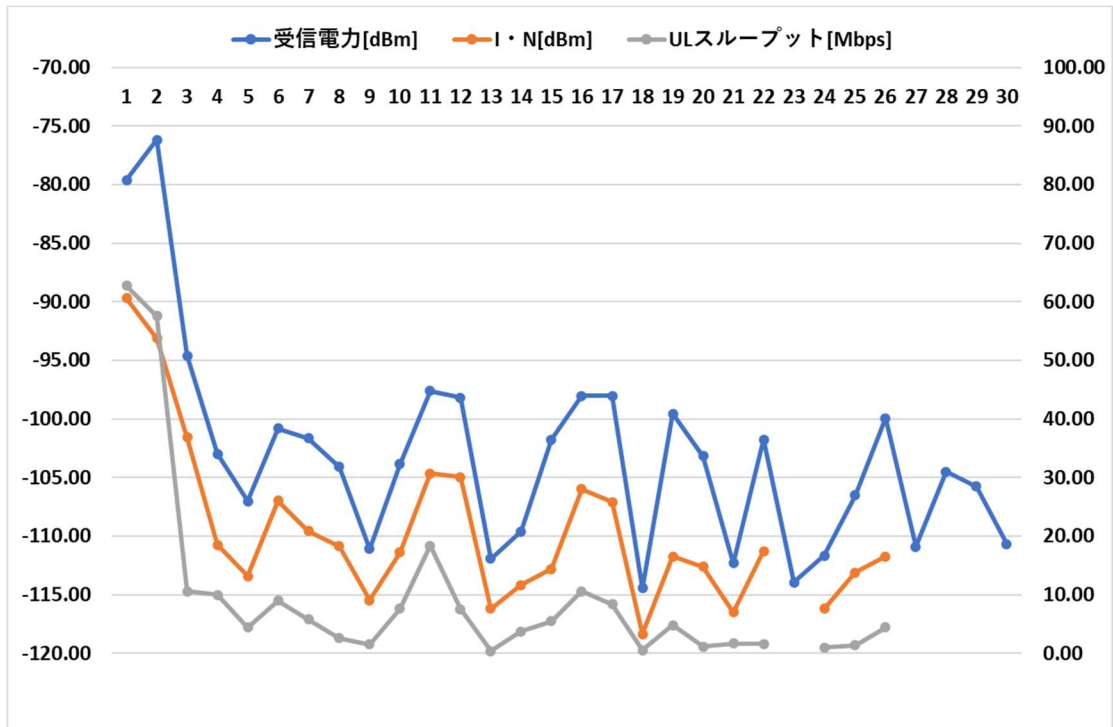


図 3.3.90 受信電力とI・NとULスループットの比較

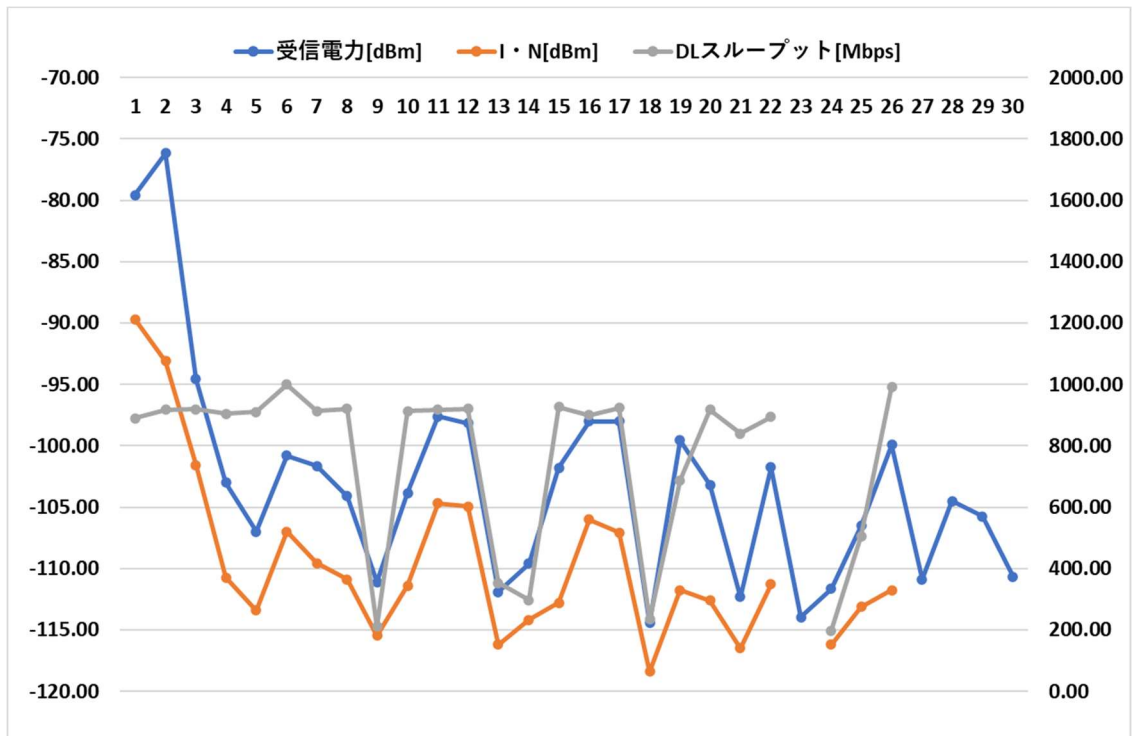


図 3.3.91 受信電力とI・NとDLスループットの比較

各測定点の SINR 差分が少ないため、受信電力が高い測定点で干渉波 I・雑音電力 N も高く、受信電力が低い測定点では干渉波 I・雑音電力 N も低く受信電力に追随するように変動する結果となった。干渉波 I・雑音電力 N とスループットの相関関係は本実証では確認できなかった。スループットの相関性は、受信電力が支配的な影響要素となっており受信電力とスループットの相関関係については前述のとおりである。

なお、本実証で使用したローカル 5G システムは Dynamic Modulation and Coding Scheme (DMCS) を採用しているおり、各測定点における理論値との詳細な比較は実施できないため、システム諸元から想定される MCS 値、理論値を算出した。

【計算パラメータ】

Band	mmWAVE	mmWAVE
Direction	Downlink	Uplink
MIMO	2	1
f	1	1
N-RB	66	66
T-Symbol	0.00000893	0.00000893
R-OH	0.2	0.1
R-UL/DL	0.743	0.228

MCS Index I_{MCS}	Modulation Order Q_m	Target code Rate $R \times [1024]$	Spectral efficiency	DLスループット	ULスループット
				mmWAVE	mmWAVE
				28GHz	28GHz
0	2	120	0.2344	98.8	8.5
1	2	157	0.3066	129.3	11.2
2	2	193	0.3770	159.0	13.7
3	2	251	0.4902	206.8	17.8
4	2	308	0.6016	253.7	21.9
5	2	379	0.7402	312.2	26.9
6	2	449	0.8770	369.8	31.9
7	2	526	1.0273	433.3	37.4
8	2	602	1.1758	495.9	42.8
9	2	679	1.3262	559.3	48.3
10	4	340	1.3281	560.1	48.3
11	4	378	1.4766	622.7	53.7
12	4	434	1.6953	715.0	61.7
13	4	490	1.9141	807.2	69.7
14	4	553	2.1602	911.0	78.6
15	4	616	2.4063	1014.8	87.6
16	4	658	2.5703	1084.0	93.6
17	6	438	2.5664	1082.4	93.4
18	6	466	2.7305	1151.5	99.4
19	6	517	3.0293	1277.6	110.3
20	6	567	3.3223	1401.1	120.9
21	6	616	3.6094	1522.2	131.4
22	6	666	3.9023	1645.8	142.0
23	6	719	4.2129	1776.7	153.3
24	6	772	4.5234	1907.7	164.6
25	6	822	4.8164	2031.3	175.3
26	6	873	5.1152	2157.3	186.2
27	6	910	5.3320	2248.7	194.1
28	6	948	5.5547	2342.6	202.2

図 3.3.92 スループット理論値計算結果

上図、および実測スループットより、メタマテリアル反射板設置前の UL スループットは 0.25～61.8Mbps、DL スループットが 85.1～928.1Mbps であったことから MCS 値は UL で 0～15 程、理論値は表より 8.5Mbps～87.6Mbps と推測される。DL は MCS 値 1～19 程、理論値は表より 98.8Mbps～1277.6Mbps である。

同様にメタマテリアル反射板設置後の UL スループットは平均 5.5Mbps の改善が見られたが測定結果の各ポイントの値は 1.5～62.8Mbps となりメタマテリアル反射板設置前と変わらない結果であった。DL スループットは 211.1～1000.0Mbps であったことから MCS 値は DL で 4～19 程、理論値は 253.7～1277.6Mbps と推測される。

また、基地局直下での UL スループットが 70～80Mbps(参考値)であることから、測定結果の妥当性は確認でき、実証目標を下回ったことの要因であると考ええる。

UL/DL 別に MIMO のストリーム数について、反射板設置後に代表としてポイント 16 にて考察する。DL は 246.7Mbps から基地局直下同等の 900.0Mbps へ改善した。スペック通り MIMO が形成できていなければ基地局直下同等値のスループットが出ないため、反射板を介した際も MIMO が形成できたと考察した。UL は 0.3Mbps から 10.6Mbps と改善効果が大きく見られなかったが、無指向性アンテナのため電波が微弱になったことによる影響と推定する。以上のことから反射板による MIMO の電波伝搬は問題無いと確認した。

2) 反射シート設置前後の受信電力・伝送性能の比較

施設内 30 ポイントで測定した反射シート設置後の受信電力・伝送性能の測定結果を下記の表にまとめた。

表 3.3.44 反射シート設置前の電波性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	SINR[dB]	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
1	-83.44	12.36	58.20	901.88	8.79	8.19
2	-79.00	18.48	61.77	903.73	8.82	8.04
3	-97.06	14.73	4.06	928.09	88.20	97.75
4	-109.02	5.52	1.11	313.88	6473.39	439.39
5	-112.97	4.45	0.25	161.56	5128.31	48.40
6	-103.39	6.53	1.60	910.37	7.77	7.89
7	-101.17	9.61	8.74	903.30	255.04	9.51
8	-109.45	4.74	No data	No data	No data	No data
9	-117.82	3.82	0.25	142.85	7350.00	3312.02
10	-109.27	4.96	0.49	422.03	2820.00	2231.00
11	-105.13	8.05	1.60	530.30	5310.98	3135.29

測定ポイント	受信電力 (dBm)	SINR[dB]	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
12	-113.55	4.16	0.25	102.49	4992.01	6221.63
13	-111.92	4.45	No data	No data	No data	No data
14	-117.87	3.38	0.25	85.14	5280.13	5623.62
15	-105.66	5.99	1.11	326.06	197.84	5750.00
16	-110.24	5.26	0.25	246.70	4659.93	4659.39
17	-110.65	4.73	0.12	180.38	2715.00	104.70
18	-113.06	4.35	No data	No data	No data	No data
19	-113.12	4.36	0.25	132.02	6250.00	7050.00
20	-112.78	4.36	No data	No data	No data	No data
21	No data	No data	No data	No data	No data	No data
22	-111.94	4.62	No data	No data	No data	No data
23	No data	No data	No data	No data	No data	No data
24	No data	No data	No data	No data	No data	No data
25	-117.57	3.75	No data	No data	No data	No data
26	-117.75	No data	No data	No data	No data	No data
27	No data	No data	No data	No data	No data	No data
28	No data	No data	No data	No data	No data	No data
29	-120.96	No data	No data	No data	No data	No data
30	No data	No data	No data	No data	No data	No data

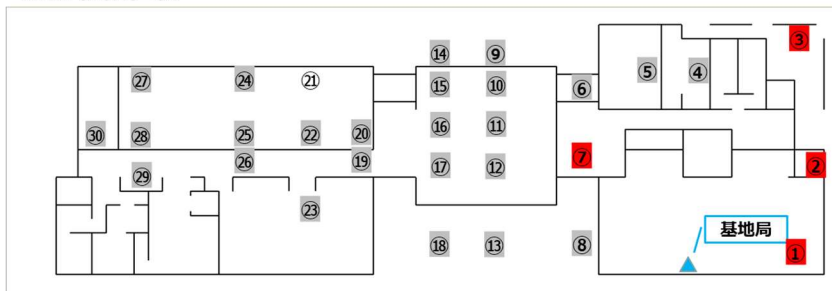
表 3.3.45 反射シート設置後の電波性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	SINR [dB]	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
1	-83.52	9.25	60.54	908.04	8.49	8.32
2	-73.6	18.42	59.18	908.90	8.51	8.01
3	-97.56	7.04	3.69	908.16	11.84	11.68
4	-101.2	6.63	1.72	300.46	5668.28	295.93
5	-110.44	4.97	3.69	202.77	25.60	4751.51
6	-100.48	8.94	2.71	909.39	10.91	8.51
7	-99.96	7.70	5.66	924.65	11.67	8.99
8	-112.31	4.56	0.25	185.11	928.83	3634.85
9	-113.72	4.41	0.37	395.70	2080.70	4327.71
10	-106.91	6.50	1.72	405.79	37.94	69.38
11	-89.39	10.21	22.89	906.56	8.64	8.32
12	-108.13	6.18	2.95	330.61	3544.03	10460.13
13	-113.27	4.38	0.25	271.67	1954.66	1543.18
14	-114.73	3.84	0.37	254.32	788.82	1689.25
15	-108.66	6.12	2.83	327.78	1663.86	8.54
16	-94.98	7.23	8.49	900.04	8.65	8.37
17	-108.86	6.28	1.60	300.46	5085.30	14.94
18	-114.17	4.16	0.62	214.71	4011.59	1296.87
19	-111.51	4.86	0.25	147.53	4852.92	5170.55
20	-112.26	4.59	2.95	300.34	11.83	3762.64
21	-114.46	3.97	0.25	201.05	5555.50	4587.39
22	-110.71	5.12	0.98	251.00	5121.10	5706.00
23	No data	No data	No data	No data	No data	No data
24	-112.25	4.42	4.18	295.30	1497.30	108.17
25	-109.83	5.32	1.11	269.95	10.27	9.56
26	-112.21	4.47	No data	No data	No data	No data
27	-112.48	4.54	0.25	90.68	5460.85	3415.37
28	-110.01	5.33	0.98	261.21	5297.20	10276.15
29	-114.69	4.01	No data	No data	No data	No data
30	-112.14	4.91	0.37	178.78	8634.00	3950.98

上記の結果から、実証目的である不感地帯での受信電力・伝送性能改善に対する反射シートの有効性を以下で評価する。

反射シート設置前の「表 3.3.44」と反射シート設置後の「表 3.3.45」の結果より、反射シート設置後に3ポイントがカバーエリア閾値(SS-RSRP -103.2dbm)以上に改善することができた。

・反射板設置前



・反射シート設置後

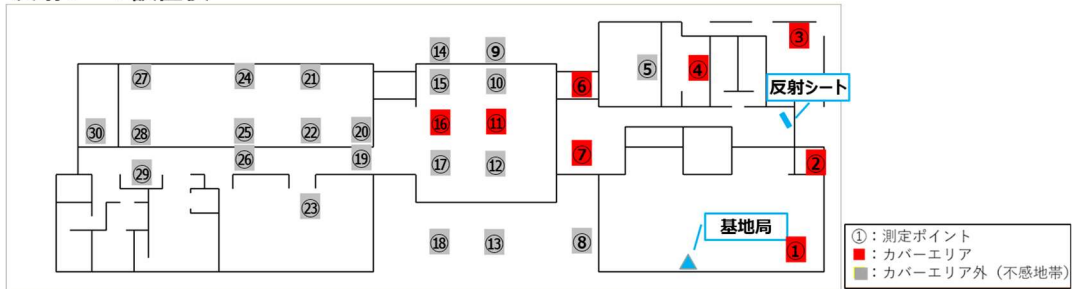


図 3.3.93 反射シート設置前後の定点改善結果

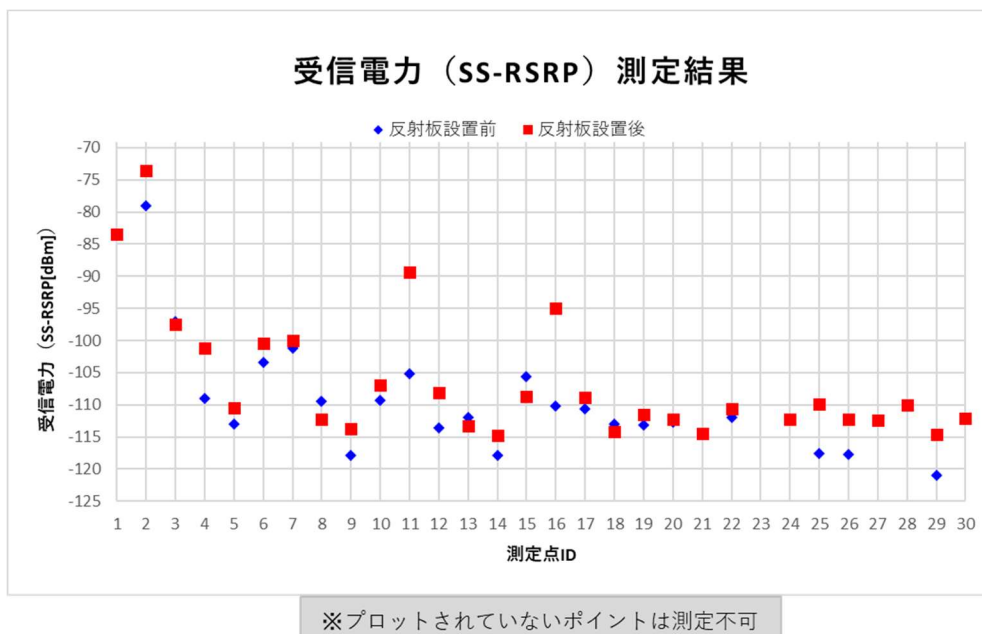
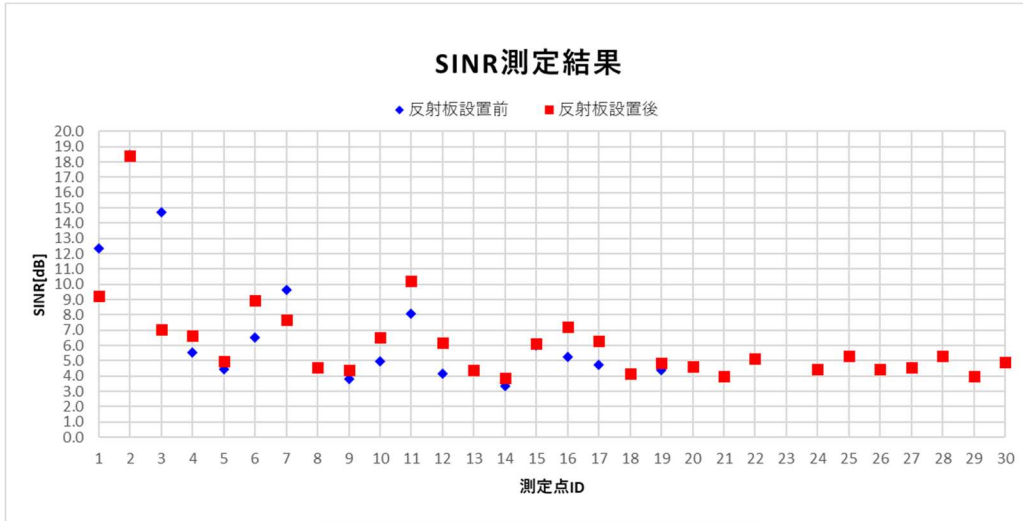
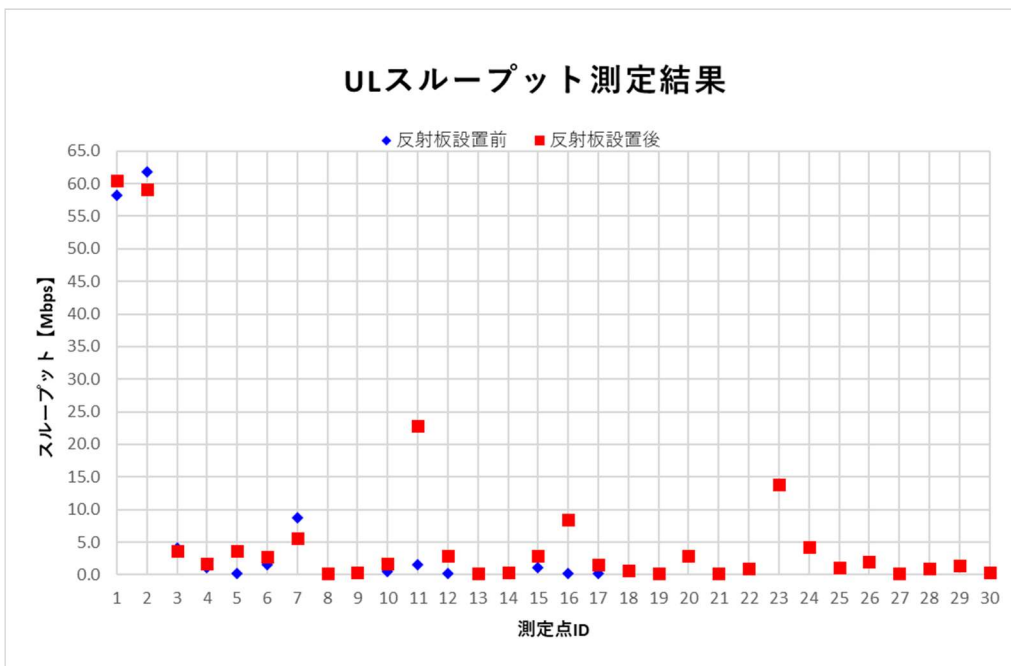


図 3.3.94 反射シート設置前後の受信電力測定結果



※プロットされていないポイントは測定不可

図 3.3.95 反射シート設置前後の SINR 測定結果



※プロットされていないポイントは測定不可

図 3.3.96 反射シート設置前後の UL スループット測定結果

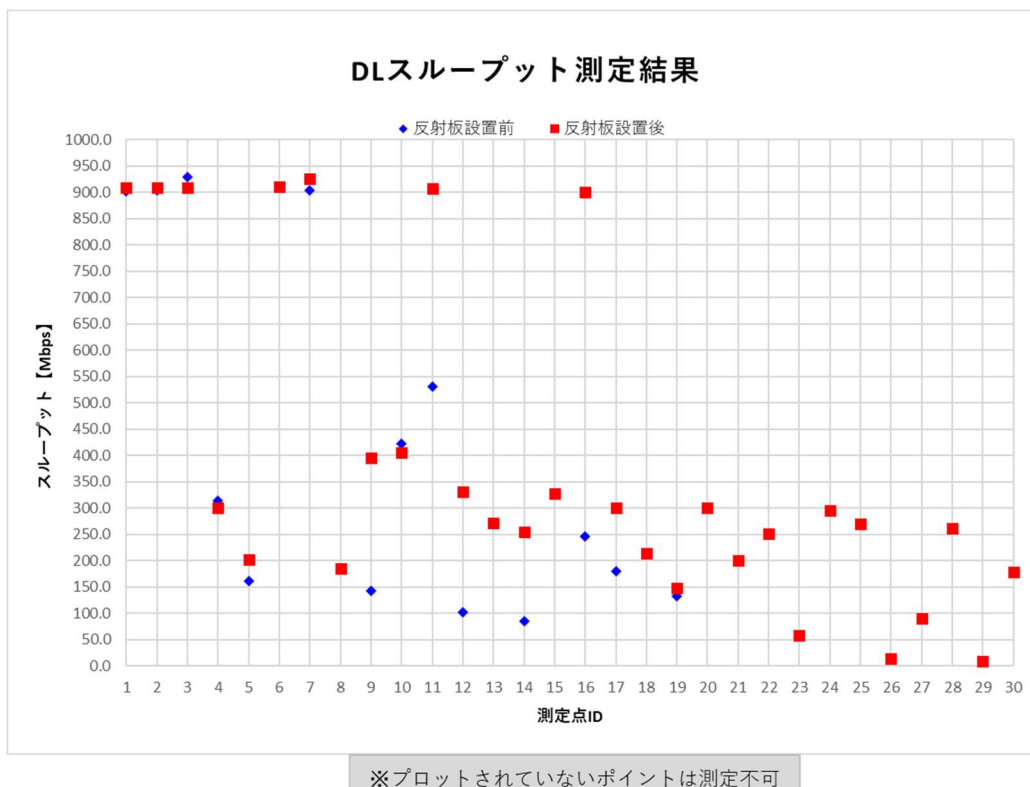


図 3.3.97 反射シート設置前後の DL スループット測定結果

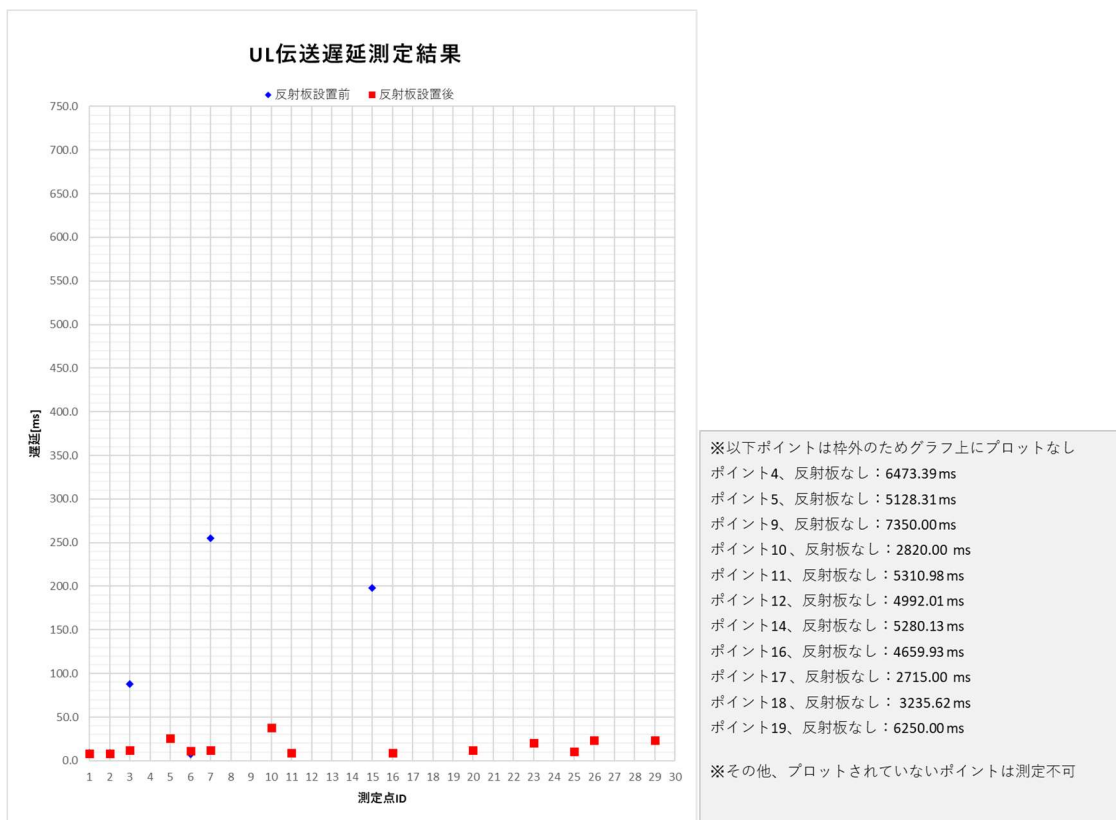


図 3.3.98 反射シート設置前後の UL 伝送遅延測定結果

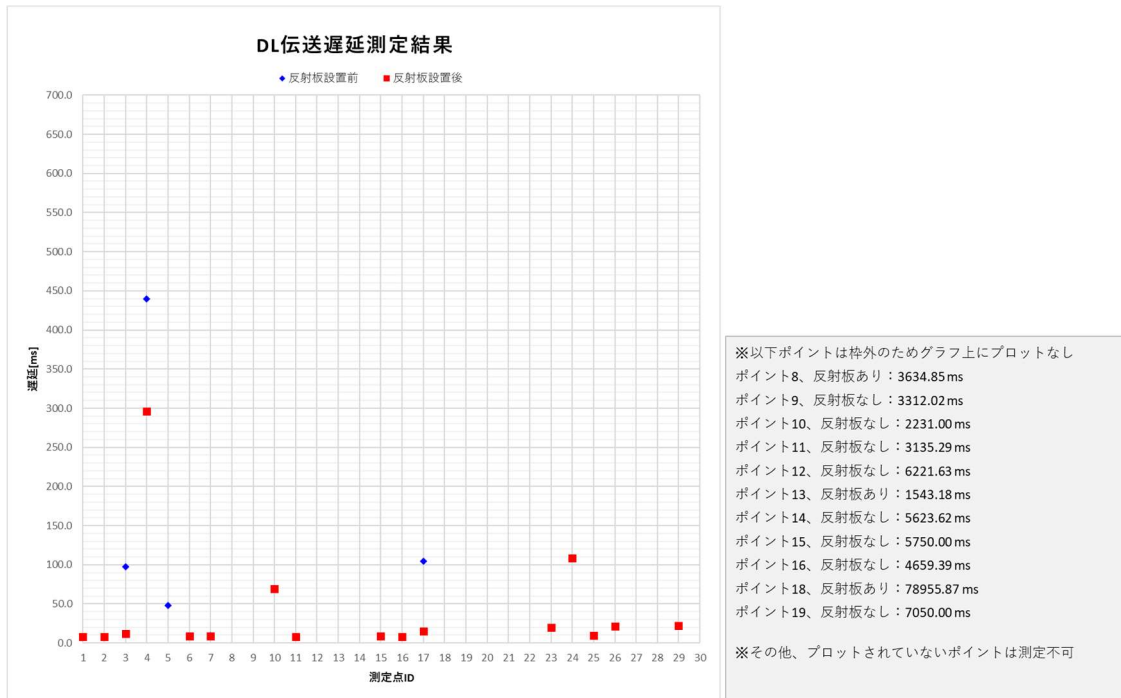


図 3.3.99 反射シート設置前後の DL 伝送遅延測定結果

本実証結果では上記のグラフに示したとおり、反射シート設置後に 30 ポイント中 23 ポイントで受信電力が向上したが、カバーエリア閾値未満 (SS-RSRP-103.2dBm) 箇所は設置前 26 ポイントから設置後 22 ポイントの改善に留まった。受信電力の改善に伴い改善幅が大きいポイント 12 では受信電力+15.26dB、DL スループット+653MbpsDL とメタマテリアル反射板と同様の改善が見られた。しかし、DL スループット平均値は+115.0Mbps とメタマテリアル反射板と比べ改善幅が少ない結果となった。UL スループット平均値は+2.2Mbps の改善となった。UL スループットの改善が少ない点は、4) 反射板を用いたエリア設計手法のモデル化にて後述するように、メタマテリアル反射板と同様に基地局～反射シート～不感地帯の間に完全な見通しが無かったことが要因と考えられる。

3) メタマテリアル反射板と反射シートの特性比較

メタマテリアル反射板と反射シートの特性の違いについて考察する。下図のように反射波が届くインフォメーションホール内 (図 3.3.101) でメタマテリアル反射板と反射シートの受信電力を測定しビーム幅を求めた。メタマテリアル反射板はインフォメーション端でのビーム幅が設計値 3.6m に対して 2.1m、反射シートは設計値 0.39m に対して 0.3m であった。受信電力の最大値はメタマテリアル反射板が SS-RSRP -99.4dBm、反射シートは SS-RSRP -84.0dBm と反射シートが 15.4dB 高い結果となった。特性としてメタマテリアル反射板はビーム幅が広く広範囲を対策する手法に適しており、反射シートは特定のポイントのみに改善させる場合に適していると考えられる。

また、反射シートのビーム幅は設計値と同等であったが、メタマテリアル反射板のビーム幅が設計値より小さくなった点は見通しのある範囲が限られたためと推察される。詳細は反射板を用いたエリア設計手法のモデル化にて記載する。

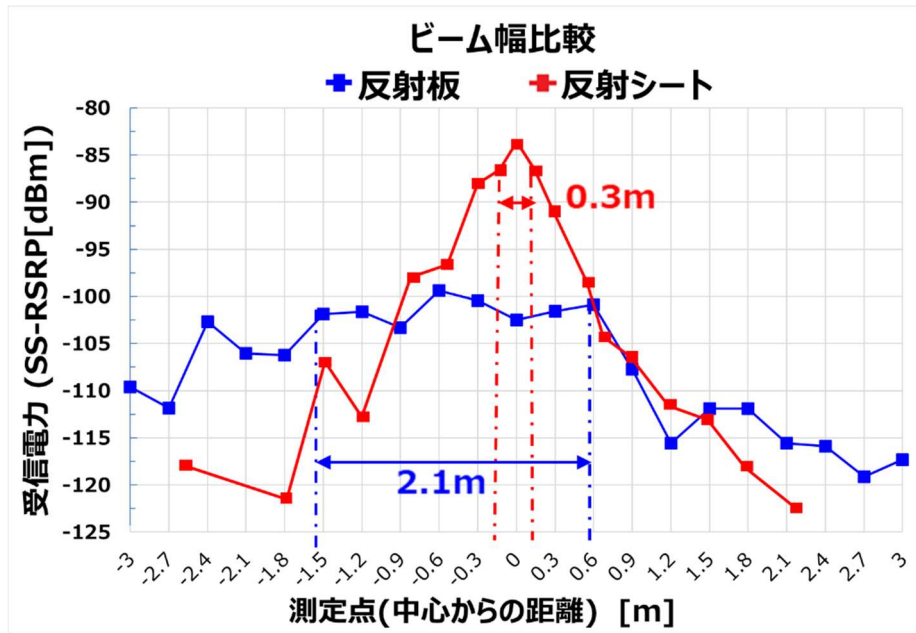


図 3.3.100 インフォメーション端でのメタマテリアル反射板と反射シートのビーム幅、受信電力の比較

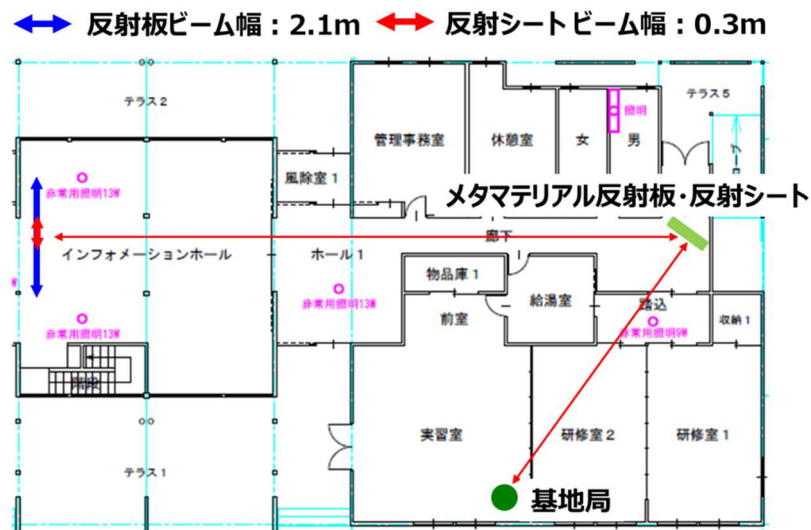
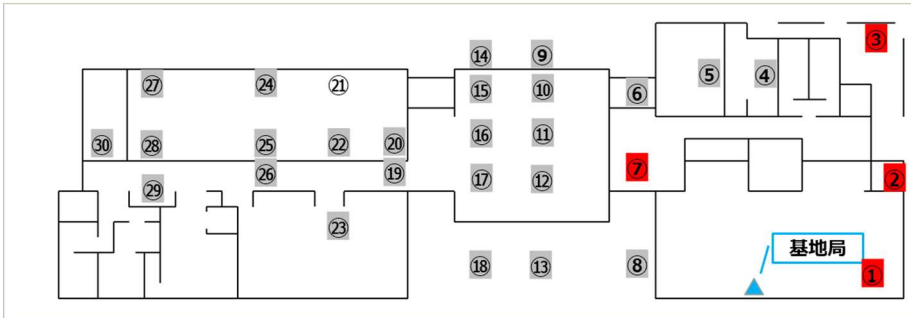
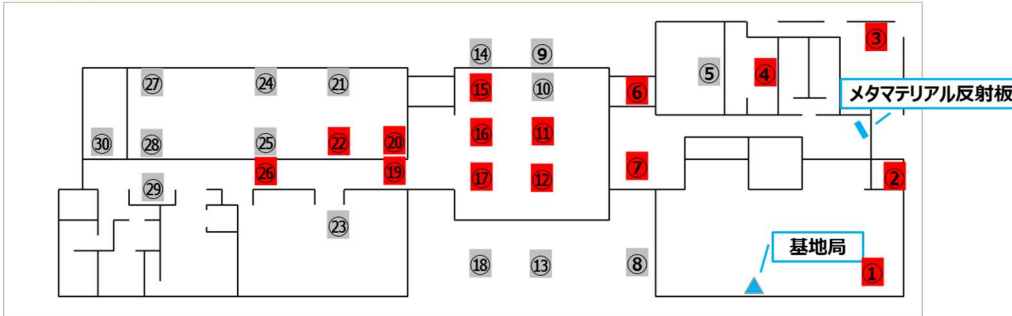


図 3.3.101 基地局～メタマテリアル反射板・反射シート～ビーム幅測定点間の電波経路イメージ図

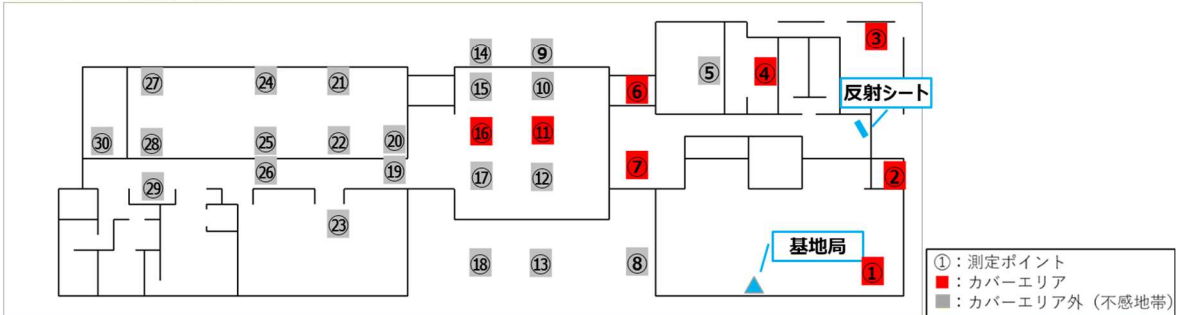
・反射板設置前



・反射板設置後



・反射シート設置後



①：測定ポイント
 ■：カバーエリア
 □：カバーエリア外（不感地帯）

図 3.3.102 メタマテリアル反射板、反射シート設置後の改善されたポイント

4) メタマテリアル反射板設置前後のエリア端の確認

続いてエリア算出式 ($R=20.1$) で示したカバーエリアと調整対象区域と実測データを比較した結果を下記に示す。

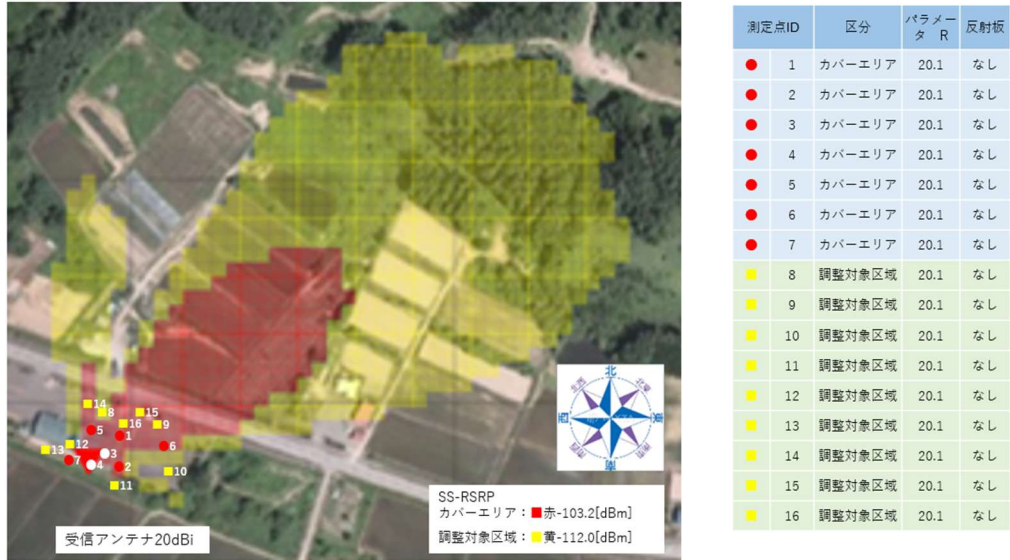


図 3.3.103 メタマテリアル反射板設置前のカバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイント (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

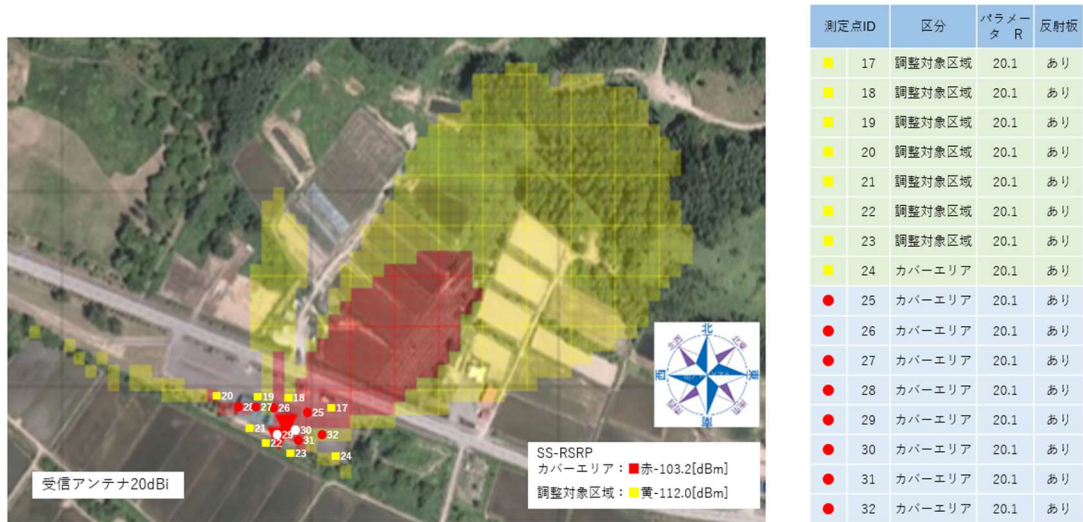


図 3.3.104 メタマテリアル反射板設置後のカバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイント (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

表 3.3.46 メタマテリアル反射板設置前にカバーエリアの閾値が実測された基地局からの距離

測定ポイント	LOS(0:LOS 1:NLOS)	基地局との3D 距離[m]	基地局との 水平距離 [m]	実測値 SS-RSRP 中央値[dBm]	標準偏差	実測値上位 10%[dbm]	実測値下位 10%[dbm]
1	1	19.5	19.3	-103.2	2.3	-101.0	-108.1
2	1	15.5	15.2	-103.4	1.5	-100.4	-105.5
3	1	4.8	4.0	-104.2	2.7	-98.6	-108.1
4	1	6.3	5.8	-104.9	2.5	-103.1	-111.3
5	1	15.6	15.5	-107.5	2.8	-104.2	-113.8
6	1	52.9	52.8	-104.7	0.6	-103.8	-104.6
7	1	13.3	13.0	-106.0	3.1	-104.3	-106.3

表 3.3.47 メタマテリアル反射板設置前に調整対象区域の閾値が実測された基地局からの距離

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	標準偏差	実測値 上位 10% [dbm]	実測値 下位 10% [dbm]
8	1	28.4	28.3	-112.3	0.7	-111.0	-113.5
9	1	49.1	49.0	-111.8	1.5	-108.3	-113.7
10	1	58.0	57.9	-114.9	2.1	-109.7	-117.3
11	1	19.0	18.7	-112.1	1.6	-109.5	-115.3
12	1	17.0	16.8	-112.8	1.4	-110.2	-115.2
13	1	29.4	29.2	-116.1	1.2	-114.6	-118.7
14	1	31.8	31.6	-112.8	1.3	-111.5	-115.8
15	1	45.9	45.8	-111.1	1.8	-107.9	-110.4
16	1	22.8	22.6	-112.6	0.7	-111.3	-112.4

表 3.3.48 メタマテリアル反射板設置後にカバーエリアの閾値が実測されたポイントと基地局との距離

測定ポイント	LOS(0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離[m]	基地局との 水平距離 [m]	実測値 SS- RSRP 中央 値[dBm]	標準偏差	実測値上位 10% [dbm]	実測値下位 10% [dbm]
25	1	19.9	19.9	-101.0	1.6	-100.5	-105.2
26	1	19.3	19.3	-104.9	0.6	-104.1	-106.2
27	1	29.2	29.2	-105.0	0.2	-104.6	-105.4
28	1	42.4	42.4	-102.9	1.2	-101.4	-104.5
29	1	6.6	6.6	-104.9	2.5	-103.1	-111.3
30	1	17.5	17.5	-104.2	2.7	-98.6	-108.1
31	1	16.3	16.3	-103.4	1.5	-100.4	-105.5
32	1	45.0	45.0	-101.8	3.9	-94.9	-109.1

表 3.3.49 メタマテリアル反射板設置後に調整対象区域の閾値が実測されたポイントと基地局との距離

測定ポイント	LOS(0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離[m]	基地局との 水平距離 [m]	実測値 SS- RSRP 中央 値[dBm]	標準偏差	実測値上位 10% [dbm]	実測値下位 10% [dbm]
17	1	46.0	46.0	-112.4	2.6	-105.3	-114.9
18	1	29.1	29.1	-114.5	1.3	-113.2	-117.7
19	1	33.0	33.0	-115.3	1.1	-113.6	-117.4
20	1	64.4	64.3	-115.0	0.8	-113.8	-116.5
21	1	23.0	23.0	-117.6	1.3	-116.1	-120.5
22	1	15.8	15.7	-111.9	1.8	-108.4	-114.8
23	1	19.7	19.4	-112.1	1.6	-109.5	-115.3
24	1	58.5	58.3	-112.6	2.9	-105.5	-116.6

表 3.3.50 反射板設置前後の
カバーエリア・調整対象区域の閾値が実測される地点の距離の変化

方位角 (基地局から 真北を 0°)	カバーエリアの閾値を実測した距離[m]		調整対象区域の閾値を実測した距離[m]	
	提案手法実施前	提案手法実施後	提案手法実施前	提案手法実施後
0°	15.6	19.3	31.8	33.0
45°	19.5	19.3	45.9	46.0
90°	52.9	45.0	49.1	46.0
135°	15.5	16.3	58.0	58.5
180°	6.3	6.6	19.0	19.7
225°	13.3	14.5	19.5	15.8
270°	13.3	10.7	29.2	23.0
315°	-	42.4	-	64.4

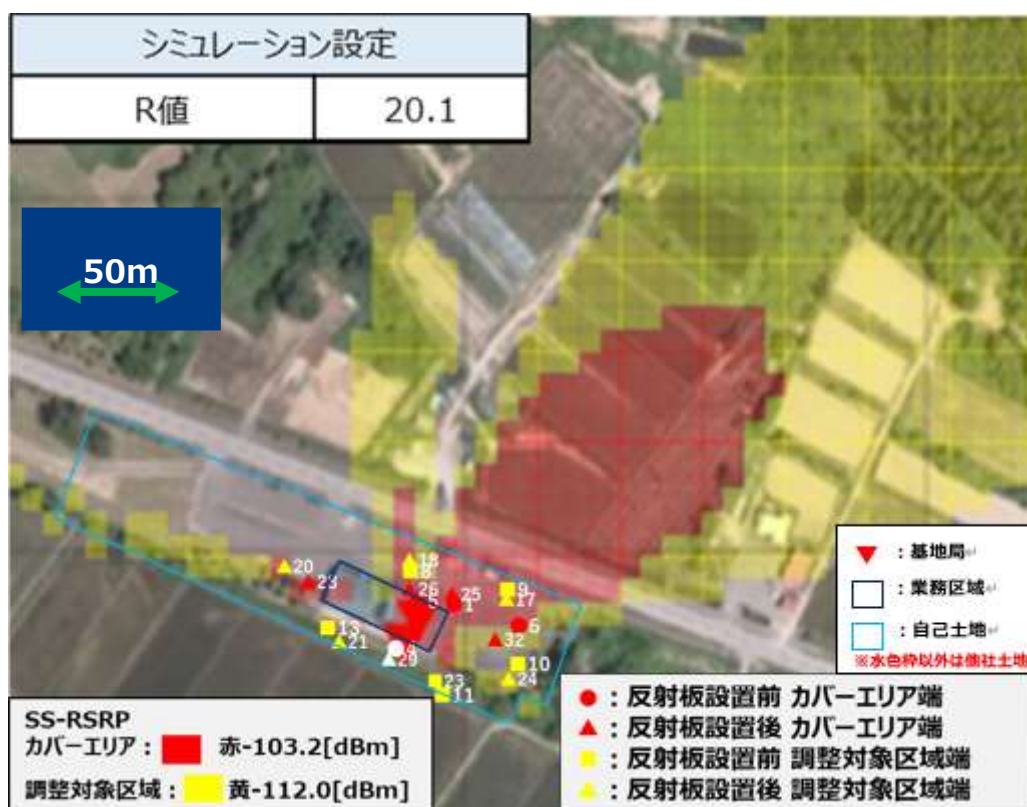


図 3.3.105 メタマテリアル反射板設置後のエリア算出式の図と
反射板設置前後のカバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイントの変化
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <httpS://mapS.gSi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

メタマテリアル反射板設置によってカバーエリアおよび調整対象区域にほとんど変化は無かったが、メタマテリアル反射板による反射波方向、基地局から見て北西方向にメタマテリアル反射板設置前に確認できなかった反射波の到来が確認された。メタマテリアル反射板設置前後のエリア算出法では確認できなかった電波の到来が、レイトレースシミュレーションでは測定結果と同様に反射波の確認ができたため、メタマテリアル反射板設置前後におけるレイトレースシミュレーションの活用は有効性が高いと考えられる。

続いて、施設内部の受信電力結果から本実証におけるレイトレースシミュレーションの有用性を評価する。(2)実証仮説で作図したレイトレースシミュレーション結果と実測結果の適合率を±6dB以内の差分であれば適合とし算出した。メタマテリアル反射板設置前は適合率33.3%、メタマテリアル反射板設置後で46.7%と低い適合率となった。適合率が低い原因としては、作成したモデルから実際の外壁、内壁、扉等についてのシミュレーションが考慮しきれていなかったことが想定値（シミュレーション値）より大きかったことが乖離であると推測できる。モデルで使用した内外壁の木の材質（ $t=0.05\text{m}$ 、通過損-10dB）から、内外壁だけでなく遮蔽物を以下のとおり細分化した。

- ・外壁（木、 $t=0.125\text{m}$ ）通過損-25dB
- ・内壁（木、 $t=0.05\text{m}$ ）通過損-10dB
- ・扉（木、 $t=0.025\text{m}$ ）通過損-5dB

また、ガラス窓を追加し再シミュレーションを実施した。その結果、メタマテリアル反射板設置前で62.5%、メタマテリアル反射板設置後で60%と適合率が向上することを確認できた。適合率は6割以上に向上し平均差分も小さくなった。

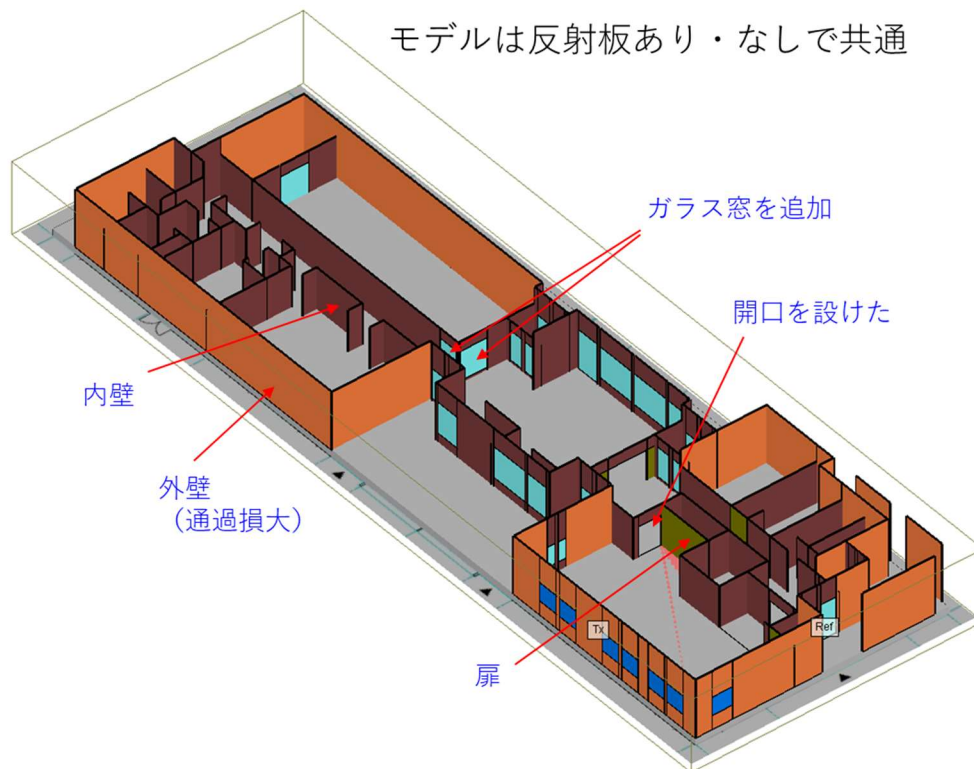


図 3.3.106 再シミュレーション時の公共施設研修の 3D モデル図

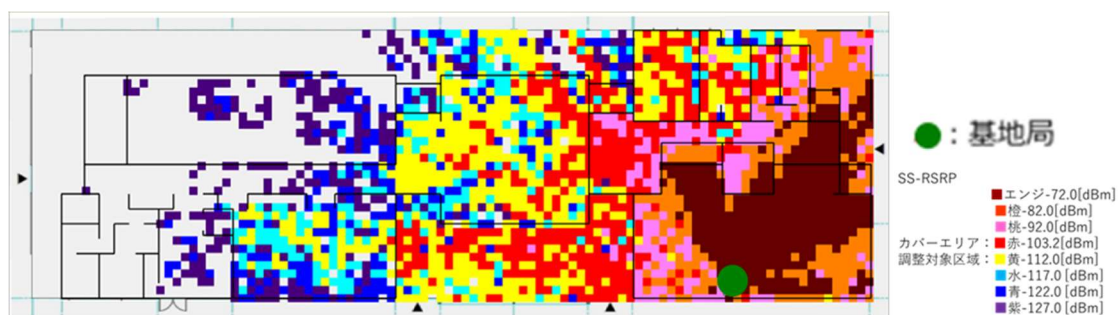


図 3.3.107 メタマテリアル反射板設置前のレイトレースシミュレーション結果

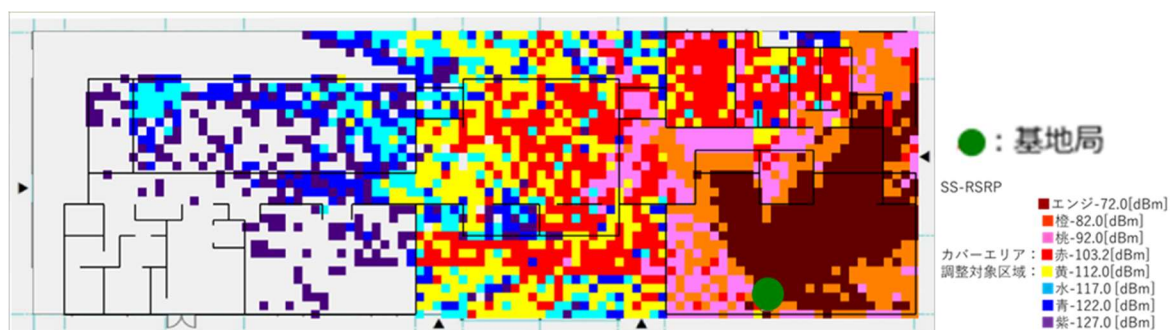


図 3.3.108 メタマテリアル反射板設置前の再レイトレースシミュレーション結果

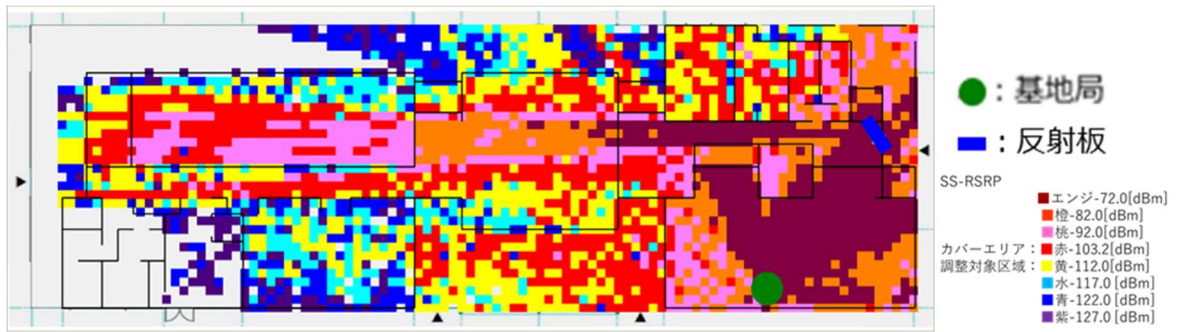


図 3.3.109 メタマテリアル反射板設置後のレイトレースシミュレーション結果

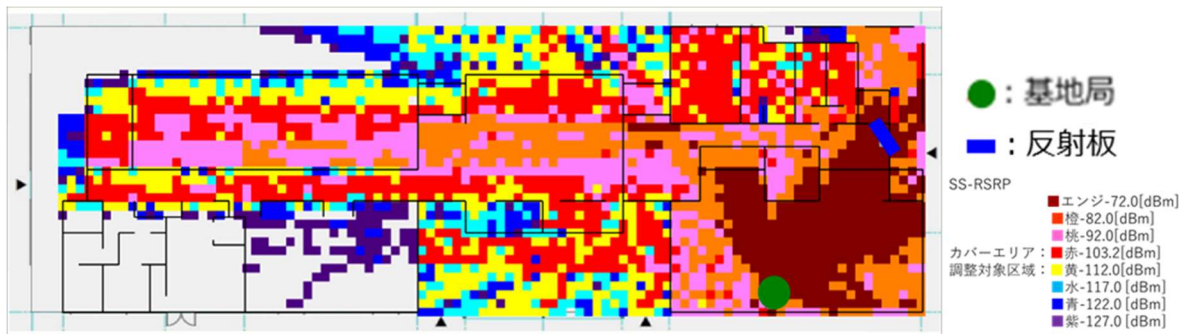


図 3.3.110 メタマテリアル反射板設置後の再レイトレースシミュレーション結果

5) 設置容易性・コスト比較

設置の容易性やコストについてメタマテリアル反射板を使用しない解決方法（反射シート、中継局）と比較し、反射板が有効となる条件や使い方を導出した。なお、28GHz 帯の分散アンテナシステム(DAS)、漏洩同軸ケーブル(LCX)は現在（2023年3月時点）で存在が確認できないため本検討から除外をした。

表 3.3.51 設置の容易性比較

評価項目	電波反射板 (反射板材質：メタマテリアル反射板)	反射シート	中継局
設置位置(アクセス容易、面積)	アクセス容易性： 容易 面積：最低1m角の面積の空きスペースがあり、かつ反射板の取付金具が支持可能な鋼材がある事 ※不感地帯の大きさ次第で反射板サイズも大きくなる	アクセス容易性： 容易 面積：数十cm～数m×数十cm～数mのガラス・壁面に貼れるスペースがある事 ※不感地帯の大きさ次第でシートサイズも大きくなる	アクセス容易性： 比較的容易(平地の場合) 高所の場合は別途、高所作業車必要 面積：数m×数mの空きスペースが必要
付帯設備(電源・バッテリー等)の必要性	不要	不要	必要(AC電源)
伝送路の必要性	不要：自由空間	不要：自由空間	必要(電気、同軸の伝送路)
施工の容易性	難易度低 (平地、地面から1.5m程度の高さを想定)	難易度低 (平地、地面から1.5m程度の高さを想定)	難易度中
導入リードタイム	設計～製作まで 3～4か月程度	数十日程度	設計～製作まで 半年～1年以上
移設の容易性	容易	容易	比較的容易
総合評価	○	○	△
メタマテリアル反射板が有効となる条件や使い方	①屋外設置：電源を必要としない場所に中継地点を設置したいケース（山中・海岸等） ②スポット対策：屋外でビルの陰となる箇所、屋内施設で廊下の曲がり角など改善させたい不感地帯がピンポイントになるケース ③広大・巨大な施設：工場や研究施設、壁面が少ないもしくは広い（高い）部屋が多い場所などに、天井面の鋼材などを利用した吊金具・独立架台による設置にて対応		

表 3.3.52 設置のコスト比較

評価項目	電波反射板 (反射板材質：メタマテリアル反射板)	反射シート	中継局
設備費用	50万～数百万程度	数千円～数万円程度	100万～数百万程度
設備施工費用	10万～数十万程度	数千円～数万円程度	数十万～100万程度
付帯設備費用(電源、バッテリー等)	不要 ※反射板を支持する鋼材が存在する想定	不要	数十万～100万程度
付帯設備施工費用(電源、バッテリー等)	不要 ※反射板を支持する鋼材が存在する想定	不要	数十万～100万程度
伝送設備費用(光、無線)	不要	不要	10万～数十万程度
伝送設備施工費用(光、無線)	不要	不要	数十万～100万程度
運用・保守費用	50万～100万 ※反射板が破損、故障想定	数万円程度 ※反射シートが破損、故障想定	100万～数百万程度 ※設置箇所が高所で、高所作業車を利用して交換を実施する想定
概算合計金額	100万～数百万程度	数万円程度	数百万程度～1千万程度
総合評価	○	◎	△
メタマテリアル反射板が有効となる条件や使い方	<p>予算の上限が数百万程度で、新規で基地局開設が困難な場合。</p> <p>設置環境において伝送路、付帯設備構築の難易度が高く、コストがかかることが想定される場合。運用費(ランニングコスト)、保守費を抑えたい場合。ただし、利用エリアを拡大するにつれ反射板が巨大になり、比例してコストが高くなるため、改善範囲によって、中継器のほうがコスト安になることがある</p>		

メタマテリアル反射板を用いたエリア構築の柔軟化策について、最適なユースケースを検討した。28GHz帯は4.8GHz帯と比較し電波の回り込みが少なく直進性が強い特性がある。そのため、メタマテリアル反射板は基地局～メタマテリアル反射板～対策エリアの間に見通しがある環境において、低コストかつ電源が用意できない環境でのエリア構築に設置容易性・コスト面で有効な対策手法であると考えられる。不感地帯の対策範囲は50～200㎡を目安とし、屋外ではビルの陰になる地点等へのスポット対策や電源取得困難な山中や海岸の対策、屋内では廊下の曲がり角など基地局からの見通しが無くなる地点においてメタマテリアル反射板による不感地帯の対策が有効と考えられる。また、小規模な建物は人体や什器等の遮蔽が生じる可能性が高いため、下図のよう

に大規模工場や大型施設のような広い空間において、反射板を高所や天井に配置する方法も設置場所として効果的であると考えられる。

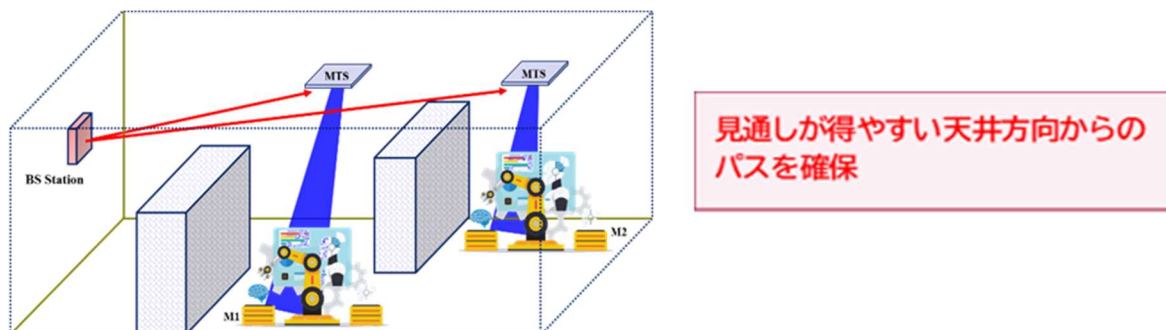


図 3.3.111 メタマテリアル反射板の有用なユースケース一例

6) メタマテリアル反射板を用いたエリア設計手法のモデル化

前項までの測定結果を鑑みて、メタマテリアル反射板の設置する際のエリア設計手法を検討した。メタマテリアル反射板を用いたエリア設計について、その特性を活かすための最適なエリア設計手法のモデル化に向け以降に設計手順を記す。

表 3.3.53 エリア設計手法のモデル化手順

手順	項目	内容
①	不感地帯の把握	<ul style="list-style-type: none"> ・レイトレースシミュレーションの実施 ・遮蔽物に応じた補正值 (S, R) の適用
②	解決方策の検討	メタマテリアル反射板/中継器/DAS/LCX 等から最適な解決方策を選定
③	設備・設置仕様の検討 ※手順③以降はメタマテリアル反射板を選定した場合について記載	<ul style="list-style-type: none"> ・メタマテリアル反射板に求められる仕様の確認 ・メタマテリアル反射板対策位置の要件整理
④	解決方策の適応	・メタマテリアル反射板利用時の留意事項の確認
⑤	次回設計へのフィードバック	・手順③, 手順④の結果を比較し、次回設計へのフィードバックを検討

◆ 手順①：不感地帯の把握

実施環境において机上検討で事前に不感地帯の把握・他者土地への電波漏洩レベルを予測する際には、本実証のようにレイトレースシミュレーションを実施する手法を推奨する。

レイトレースシミュレーションを用いた事前検討時には「3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化」の実証結果及び考察、ならびに「3.3.2 エリア構築の柔軟性向上」実証仮説で記したように、屋内環境における壁、ドア、窓(ガラス)、什器といった反射物、遮蔽物を考慮した3Dモデリングの作成・パラメータ調整を行い、現地環境を模してシミュレーションを実施する。シミュレーション結果より、不感地帯の受信レベルを確認し発生する位置・大きさの確認を実施する。

なお、レイトレースシミュレーションは1事業者が調達するには費用負担が大きいことや、3Dモデリング等の技術的知見が必要となるため、レイトレースを実施しない場合の事前検討手法としては、エリア算出式を用いて環境に応じた遮蔽物透過損を引用し机上検討を行う手法を推奨する。本実証環境と類似する一般的な木造建屋において、エリア算出式を用いて机上検討を行う場合に考慮すべきパラメータ(補正值R)は、「3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化」の実証結果を参照し、「R=35.4」を選択することが望ましいと考える。

◆ 手順②：解決方策の検討

手順①の机上検討の結果より、反射板/中継局/DAS/LCX等の中から、不感地帯の解消に最適な解決方策を検討する。その際、不感地帯が発生する位置や大きさから表をもとに選定する。

表 3.3.54 解決方策の検討

評価項目	電波反射板 (反射板材質： 金属板(アルミ 合金板))	メタマテリ アル反射板	中継局	分散アンテナ システム	漏洩同軸ケー ブル (LCX)
対応周波数帯	Sub6・ミリ波	ミリ波	Sub6・ミリ波	Sub6	Sub6
不感地帯の 分布	単一箇所	単一箇所	単一箇所	散在	散在
不感地帯の 範囲	1~20 m ²	50~200 m ²	100~2000 m ²	100~1000 m ² (1基あたり)	100~2000 m ² (ケーブル長 100m程度の場合・線状型エリ ア)
基地局からの クリアランス	必要	必要	基地局一ド ナーアンテナ 間は必要	不要	不要
伝送路の必要 性	不要	不要	・基地局~ド ナーアンテナ 間は不要 ・中継局~ サービスアン テナ間は必要 (電気、同軸 の伝送路)	必要(電気、 同軸の伝送 路)	必要(同軸の 伝送路)
付帯設備(電 源・バッテ リー等)の必 要性	不要	不要	必要(AC電源)	必要(AC電 源)	不要
設置制約	・基地局一反 射板間で強電	・最低1m角 の面積	・基地局~ド ナーアンテナ	・基地局から 張り出しアン	・基地局から の同軸配線が

評価項目	電波反射板 (反射板材質： 金属板(アルミ 合金板))	メタマテリ アル反射板	中継局	分散アンテナ システム	漏洩同軸ケー ブル (LCX)
	界を得られる こと ・数m×数m の取付金具が 支持可能な鋼 材があること ・基地局～反 射板～不感地 帯の3ポイン トの角度を考 慮し設置位置 検討が必要	※反射させ て利用する 無線エリア が広がる ほど大型化 ・反射板設 置位置～基 地局、反射 板～対象エ リアが見通 し環境であ ること ・フレネル ゾーンを確 保できるこ と	間で強電界を 得られること ・ドナー～中 継局・中継局 ～サービスア ンテナ間の同 軸配線が物理 的に可能であ ること	テナまでの同 軸配線が物理 的に可能であ ること ・同軸の給電 線損失が許容 できる距離で の配線	物理的に可能 であること ・同軸の給電 線損失が許容 できる距離で の配線

上記表より、本実証環境のようにミリ波帯の周波数を使用する場合には、金属反射板、メタマテリアル反射板、中継局が該当する。金属反射板については鏡面反射であり、反射波が狭ビームとなるため、エリア改善効果が限定的であることが、令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証のNo.3「新型コロナからの経済復興に向けたローカル5Gを活用したイチゴ栽培の知能化・自動化の実現」の結果からも明らかになっている。また中継局については、指向性選択の自由度があることや増幅装置により不感地帯面積の大幅な改善が期待できるが、電源、同軸ケーブルの伝送路の確保が必要であるため、設置容易性の観点からは反射板に劣る点がある。

メタマテリアル反射板は、電源が不要で取付金具・架台のみで設置可能であるため、設置環境において伝送路・付帯設備の構築の難易度が高いケースやコスト増加が想定されるケースでは優位性がある。本実証環境のように不感地帯想定面積が100㎡前後であり、単一方向に対する設置の場合には、伝送路の確保等が不要かつ反射波のビーム幅も任意に設計することができるメタマテリアル反射板の利用が有効であると考えられる。

◆ 手順③：設備・設置仕様の検討

手順②解決手法の検討結果、メタマテリアル反射板が最適な解決方策である場合について以降記述する。なお、本項ではメタマテリアル反射板を複数枚組み合わせて1枚の反射板に見立てた場合の設計手法について記述する。

まず設置条件として、今回利用するメタマテリアル反射板は入射波を反射させることによって、疑似的に LOS 環境を構築する製品であることから、設置条件として下記が挙げられる。

- 反射板設置位置～基地局が LOS 環境であること
- 反射板～対象エリアが LOS 環境であること
- フレネルゾーンを確保できること（特に基地局-反射板間が重要）
- マルチパスは考慮しないこと（反射板においては、基地局からの直接波が支配的であること）
- 上記に加え、電界強度が高いエリアに設置すると効果的

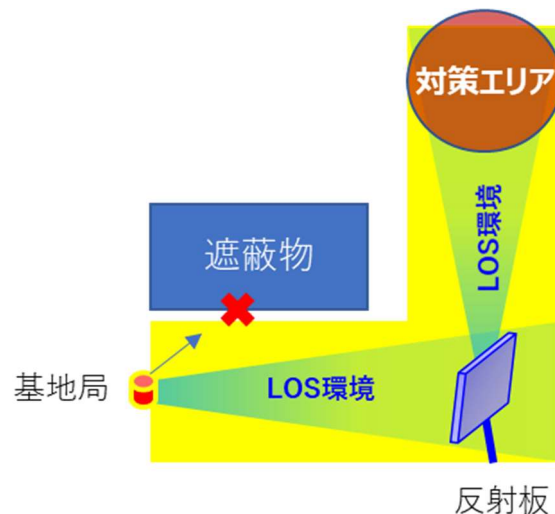


図 3.3.112 基地局・反射板・対象エリアの設置関係

エリア設計モデルにおけるパラメータは以下表のとおりである。

表 3.3.55 反射板エリア設計 パラメータ

基地局(RU)	陸上移動局(UE)	反射板	距離
使用周波数[MHz]	受信アンテナ利得[dBi]	横の寸法[m]	基地局から反射板まで[m]
送信電力[dBm]		縦の寸法[m]	反射板から反射板でカバーするエリアまで[m]
送信アンテナ利得[dBi]		設置Azimuth角[度]	
送信指向性にかかる減衰[dB]		設置Elevation角[度]	
給電線損失[dB]		反射効率[%]	
		入射波角度 [度]	
		反射波角度 [度]	
		反射板枚数	

次に基地局-反射板、反射板-対策エリアの中心を結ぶ 2 本の直線のなす角度を入反射角度とし、入反射角度を決定する。

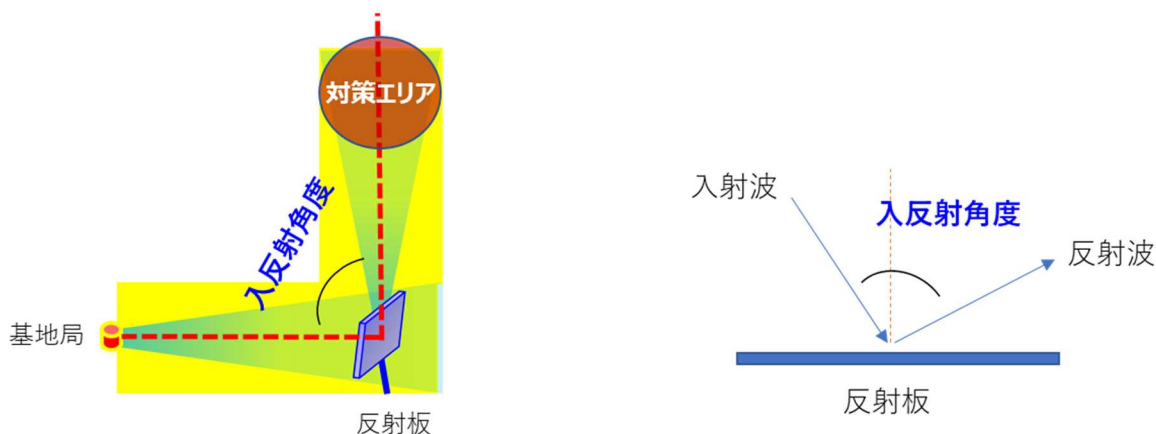
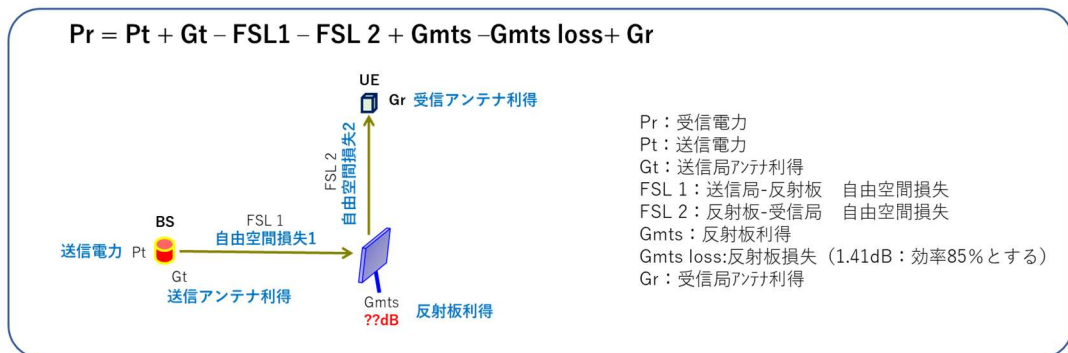


図 3.3.113 入反射角の決定

上記が決定したら、反射板を用いたエリア設計として、反射板利得・ビーム幅(カバレッジエリア)を考慮する。この2つの要素によって反射板の枚数・サイズが決定され、設置場所にも影響するため、前述までの要素を考慮しながら利得とビーム幅を検討する。

反射板利得については下記にて計算することができる。



$Gm_{ts} = Pr - Pt - Gt + FSL1 + FSL2 + Gm_{ts\ loss} - Gr$

※反射板の必要利得 (Gm_{ts}) は、必要な最低受信感度をPrとして下記式より算出
 自由空間損失2 (FSL2) は対策エリアのエリア端 (最も遠い場所) までの距離で算出すること

図 3.3.114 反射板利得算出式

ここで上図に基づき UL および DL のリンクバジェットの計算例としてポイント 16 を選定し、図 3.3.116 に計算結果を示す。

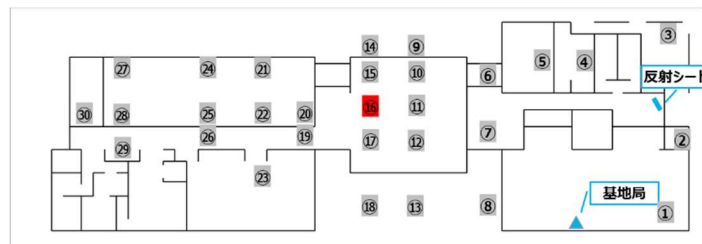


図 3.3.115 反射板利得算出式

基地局の送信電力は 400MHz で 23dBm となるが、測定器は 100MHz 帯域での測定となるため、1 ポート当たり出力の 17dBm で計算する。

$$Pr = Pt + Gt - FSL1 - FSL2 + Gmts - Gmts\ loss + Gr$$

【DL反射板なし】

Pt	17.0	1ポートの出力値 ※4ポート合計値は23dBm
Gt	-26.86	
FSL1	86.6	18mで計算 ※ 基地局からポイント16まで
Gmts		
Gmts_loss		
FSL2		
Gr	7.0	
loss	10.0	内壁の遮蔽損

受信電力 = -99.6dBm

【DL反射板あり】

Pt	17.0	1ポートの出力値 ※4ポート合計値は23dBm
Gt	15.0	
FSL1	83.9	13.2mで計算 ※ 基地局から反射板まで
Gmts	70.0	
Gmts_loss	1.41	効率85%
FSL2	88.9	23.3mで計算 ※ 反射板からポイント16まで
Gr	7.0	

受信電力 = -65.2dBm

【UL反射板なし】

Pt	23.0	
Gt	7.0	
FSL1	86.6	18mで計算 ※ 基地局からポイント16まで
Gmts		
Gmts_loss		
FSL2		
Gr	-26.86	
loss	10.0	内壁の遮蔽損

受信電力 = -93.6dBm

【UL反射板あり】

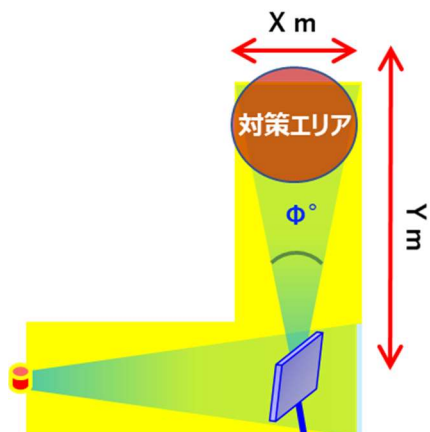
Pt	23.0	
Gt	7.0	
FSL1	83.9	13.2mで計算 ※ 基地局から反射板まで
Gmts	70.0	
Gmts_loss	1.41	効率85%
FSL2	88.9	23.3mで計算 ※ 反射板からポイント16まで
Gr	15.0	

受信電力 = -59.2dBm

図 3.3.116 ポイント 16 におけるリンクバジェット計算値

上記より、設定した入反射角を基に反射板の必要利得を算出し、利得と入反射角に応じた反射板を選定することで1枚あたりの反射板の面積とビーム幅が決定される。1枚あたりの反射板面積と

ビーム幅が確定したら、対策エリアに対して必要なビーム幅を算出する。



対策エリアの幅：X m
 反射板-対策エリア端の距離：Y m

必要なビーム幅

$$\Phi = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{X/2}{Y} \right)$$

図 3.3.117 対策エリアのビーム幅算出方法

算出したビーム幅から、反射板が何枚必要かを計算し、複数枚並べることで必要ビーム幅に対応できる反射板を算出・設計する。本実証では上記の設計手法から、下記の反射板によるエリア設計を実施した。

項目	仕様	
周波数	28.2~29.1GHz	
利得	約70dB	
入射角	AZ: -15°	EL: 0°
反射角	AZ: 40°	EL: 0°
ビーム幅	AZ: 約8°	EL: 約3°
角度調整	AZ: ±15°	EL: ±15°
反射板寸法	約700×400mm	

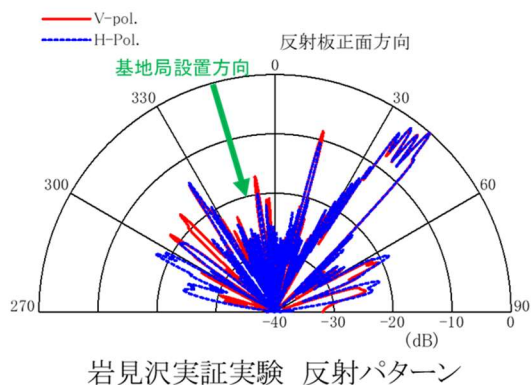


図 3.3.118 反射板性能

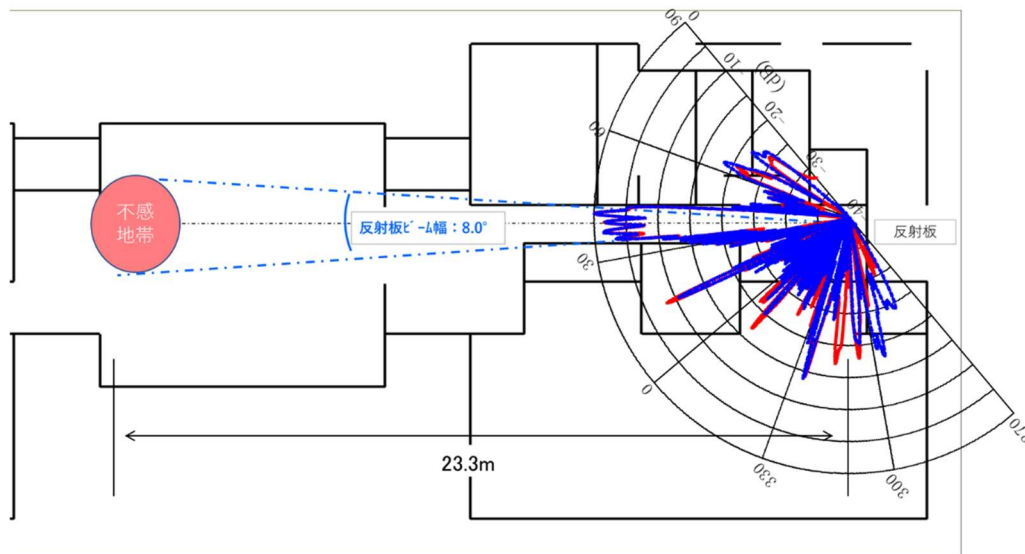


図 3.3.119 反射板エリア設計とビーム幅設計

$Pr = Pt + Gt - FSL1 - FSL2 + Gmts - Gmts\ loss + Gr$		
Pt	17.0	
Gt	15.0	
FSL1	83.9	13.2mで計算
Gmts	70.0	
Gmts loss	1.4	効率85%
FSL2	88.9	23.3mで計算
Gr	20.0	※測定器でオフセット設定しているため
Pr	-52.2	
RSRP換算	-78.2	

Pr : 受信電力
 Pt : 送信電力
 Gt : 送信局アンテナ利得
 FSL 1 : 送信局-反射板 自由空間損失
 FSL 2 : 反射板-受信局 自由空間損失
 Gmts : 反射板利得
 Gmts loss:反射板損失 (1.41dB : 効率85%とする)
 Gr : 受信局アンテナ利得

図 3.3.120 設計したビーム幅

◆ 手順④：解決方策の適応

手順③で設計した反射板および反射シートにおいて、設置前とそれぞれで電波測定・伝送性能測定を実施した。測定結果一覧は「(6)実証結果及び考察」の 1)、2)項で記載したとおりである。また、本実証において反射板によるエリア改善効果が明らかになると想定して選定した測定点は以下図のとおり。

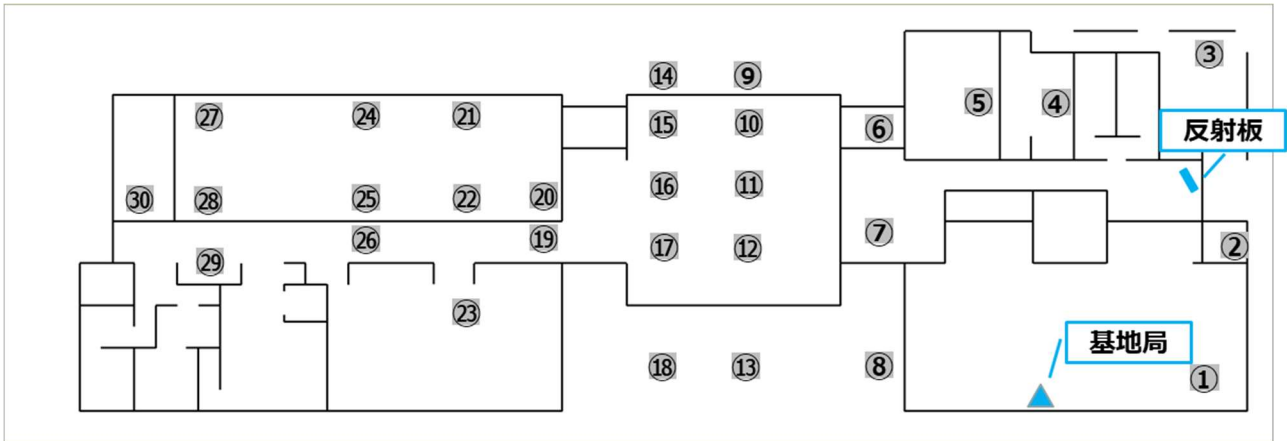


図 3.3.121 毛陽交流センター測定点

前述の測定結果より、反射板設置することで大幅に不感地帯および伝送性能を改善できたことが確認できる。不感地帯であり、ビーム幅の中心である測定点 11・16 に焦点を当てて確認してみても、いずれの測定項目においても改善効果が確認できる。ただし、本実証で掲げている所要性能 (UL80M/伝送遅延 30ms) との差分については改善効果が達成しきれていない点が見受けられる。この点に関して考察する上で今回の反射板設計において、実測値は設計とおりになったかを確認する。

想定していた値に対し、不感地帯の一番良好な数値が算出されると想定している測定点 16 をビーム幅の中心として、そこから左右に 30 cm ずつ離れながら測定することで実際のビーム幅を測定した結果を下記に示す。

• RSRP 想定値及び実測値比較

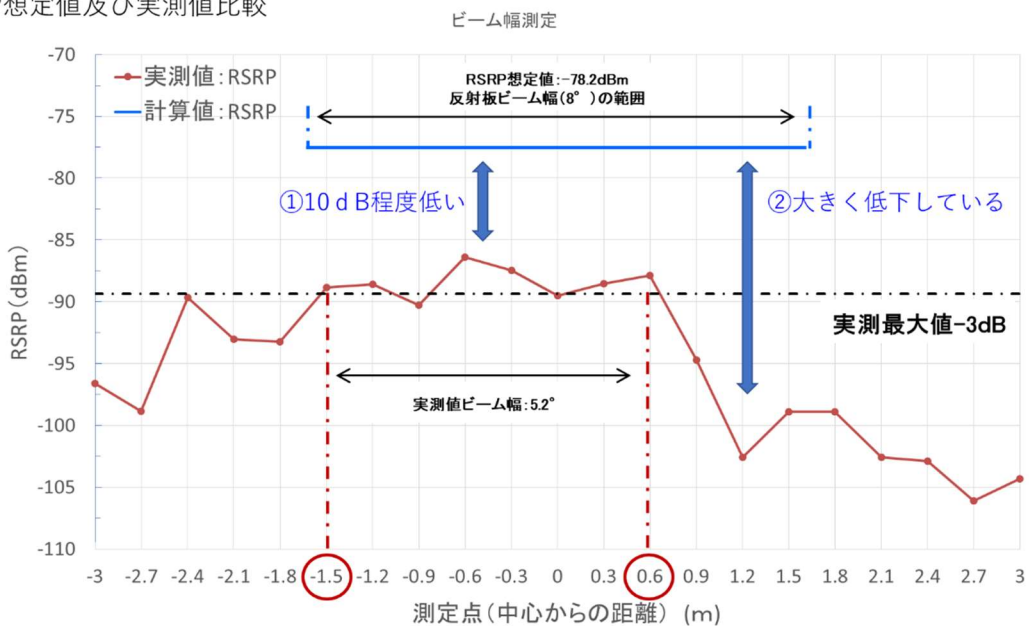


図 3.3.122 RSRP 想定値および実測値ビーム幅測定結果

上記結果から、想定していた RSRP に対し①10dB 程度の差分があること、②測定箇所によっては大きく低下している箇所があり、結果として実測値のビーム幅は想定 of 8.0 度に対し 5.2 度という結果を得た。想定値との乖離理由について、現地状況を踏まえて以降考察する。



図 3.3.123 反射板設置状況

上記のように基地局と反射板の間の見通し内において、遮蔽物が無いという状況になっておらず、完全なフレネルゾーンを確保できていないことが確認できる。これにより、基地局からの入射波が反射板上で一定になっていないことが想定される。実際に反射板側にて電界強度を測定した結果、下記の結果を得られた。



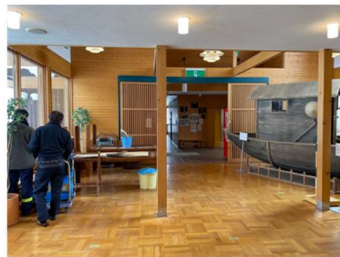
反射板前面 3 か所における電界強度を測定

- ①左端:-90.4dBm
- ②中央:-79.5dBm
- ③右端:-78.7dBm

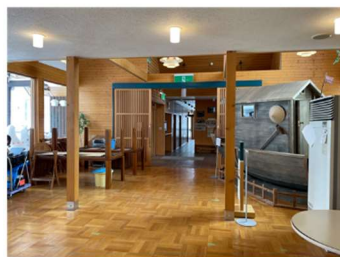
反射板設置状況

図 3.3.124 反射板設置位置における電界強度

上記の結果より、反射板に対する入射波は均一性がないものであり、設計で想定していた位相分布になっていない可能性がある。このことから、不感地帯に対する伝送性能改善の低下が発生したものと推測される。もう 1 点、測定地点によって大きく損失が低下している点について、これは現地の見通し環境か否かによることが要因と推測される。現地の状況と、実測ビーム幅を表記したものは下記のとおりである。



0.9mの測定点からの写真 (NLOS)



-1.8mの測定点からの写真 (NLOS)

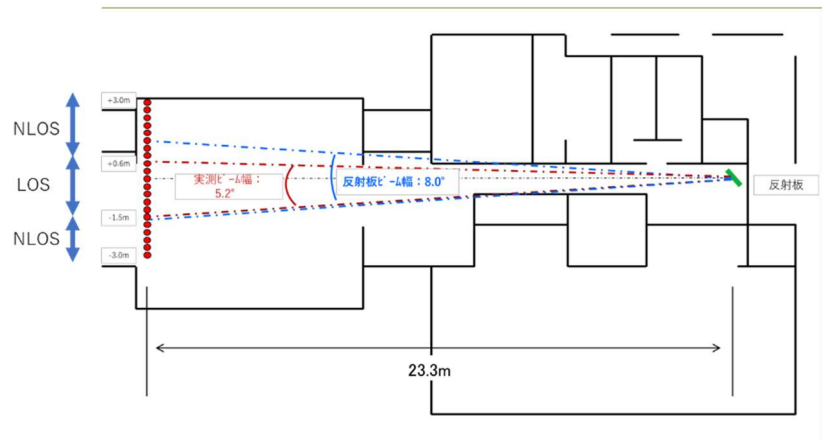


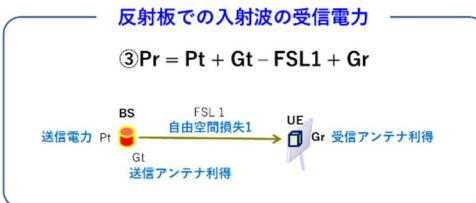
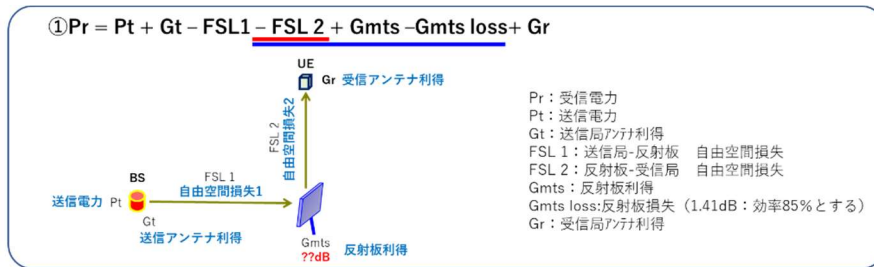
図 3.3.125 実測ビーム幅と想定ビーム幅・測定点の状況

上記のようにビーム幅の中心から左方向に 0.9m、右方向に 1.8m離れた地点では廊下および扉の陰になり NLOS 環境になってしまうことで反射波が減衰し、想定していたビーム幅を確保できなかったと推察される。NLOS 環境において反射波が減衰した結果は、28GHz 帯の特徴である強い直進性からも整合が取れると考える。

次に反射板利得について、実測値との差分を含め考察する。今回設計した値と設計に至る数式は「図 3.3.113」、「図 3.3.120」で示したとおりである。

これに対し、本実証における反射板利得は ARIB 提示資料 (【例】実証〇〇_技術実証Ⅱ_反射板_設置図・測定点・測定結果・設置容易性&コスト比較入力シート_2022.11.29.x1Sx) より、下記のように定義されている。

$$\begin{aligned} \text{GmtS (反射板利得)} &= \text{反射板での反射波の受信電力} - \text{反射板での入力受信電力} \\ &= (\text{測定点の受信電力} - \text{端末の受信電力}) - \text{反射板での入力受信電力} \end{aligned}$$



反射板利得と損失 (Gmts - Gmts loss) = **反射板での反射波の受信電力 (②の右辺)** - **反射板での入射波の受信電力 (③の右辺)**

図 3.3.126 回線設計における反射板利得の考え方

ここでは、「図 3.3.126」に示した数式より、実測による反射板利得は「反射板での反射波の受信電力-反射板での入射波の受信電力」に反射板損失(Gmts loss)を加算することで反射板利得の算出を行った。

各測定点における端末受信電力、反射板での入射波の受信電力(測定値)を入力し、上記式より実測値の反射板利得(反射板損失=1.41 含む)を算出した。その結果と理論値の反射板利得を比較した表を下記に示す。

表 3.3.56 反射板利得(実測値)と反射板利得(理論値)の差分

測定点ID	反射板～端末間 距離[m]	端末(測定器)の 受信電力 実測値 [dBm]	反射板での入射波 の受信電力Pri 実 測値 [dBm]	反射板での反射波 の受信電力Pro 実 測値 [dBm]	反射板利得 実測 値 [dB]	反射板利得 理論値 [dB]	反射板利得 差分 [dB]
		中央値	中央値	中央値			
1-1	9.20	-79.58	-76.96	1.22	79.58	76.80	2.78
2-1	4.81	-76.15	-76.96	-0.99	77.37	76.80	0.57
3-1	4.80	-94.58	-76.96	-19.43	58.93	76.80	-17.87
4-1	7.54	-103.00	-76.96	-23.93	54.44	76.80	-22.36
5-1	10.53	-107.01	-76.96	-25.03	53.33	76.80	-23.47
6-1	14.12	-100.80	-76.96	-16.29	62.08	76.80	-14.72
7-1	14.36	-101.65	-76.96	-16.98	61.38	76.80	-15.42
8-1	16.75	-104.08	-76.96	-18.08	60.29	76.80	-16.51
9-1	19.60	-111.10	-76.96	-23.73	54.63	76.80	-22.17
10-1	19.09	-103.86	-76.96	-16.72	61.64	76.80	-15.16
11-1	19.04	-97.61	-76.96	-10.49	67.87	76.80	-8.93
12-1	19.46	-98.17	-76.96	-10.87	67.50	76.80	-9.30
13-1	21.11	-111.91	-76.96	-23.90	54.46	76.80	-22.34
14-1	23.50	-109.59	-76.96	-20.65	57.72	76.80	-19.08
15-1	23.07	-101.78	-76.96	-12.99	65.37	76.80	-11.43
16-1	23.03	-98.03	-76.96	-9.26	69.11	76.80	-7.69
17-1	23.38	-98.02	-76.96	-9.12	69.24	76.80	-7.56
18-1	24.77	-114.42	-76.96	-25.02	53.34	76.80	-23.46
19-1	28.18	-99.56	-76.96	-9.04	69.32	76.80	-7.48
20-1	28.03	-103.18	-76.96	-12.71	65.66	76.80	-11.14
21-1	31.05	-112.31	-76.96	-20.94	57.42	76.80	-19.38
22-1	31.02	-101.74	-76.96	-10.39	67.98	76.80	-8.82
23-1	31.61	-113.96	-76.96	-22.44	55.93	76.80	-20.87
24-1	36.05	-111.66	-76.96	-19.00	59.37	76.80	-17.43
25-1	36.02	-106.53	-76.96	-13.87	64.49	76.80	-12.31
26-1	36.14	-99.93	-76.96	-7.25	71.11	76.80	-5.69
27-1	41.04	-110.90	-76.96	-17.11	61.25	76.80	-15.55
28-1	41.02	-104.51	-76.96	-10.73	67.64	76.80	-9.16
29-1	41.12	-105.76	-76.96	-11.96	66.41	76.80	-10.39
30-1	44.02	-110.66	-76.96	-16.27	62.10	76.80	-14.70

また同様の算出式を用いて、本実証環境における反射板の実力値を確認するため、遠方界における反射板利得を算出した。以下にその結果を示す。本反射板のサイズ、周波数帯、遠方界条件の関係より、反射板から 25mの地点と定義した。

表 3.3.57 遠方界における反射板利得の実測値と理論値の差分

測定点ID	反射板～端末間 距離[m]	端末(測定器)の 受信電力 実測値 [dBm]	反射板での入射波 の受信電力Pri 実 測値 [dBm]	電波伝搬損失(反 射板～端末間) Ld2[dB]	反射板での反射波 の受信電力Pro 実 測値 [dBm]	反射板利得 実測 値 [dB]	反射板利得 理論値 [dB]	反射板利得 差分 [dB]
		中央値	中央値		中央値			
	25.00	-106.12	-80.65	89.48	-16.64	65.42	76.80	-11.38

実測値と理論値の利得差分をグラフに表したものが下記図である。反射波の中心位置である測定点 11・16 は想定通り他の測定点と比較して差分が小さいこと、加えて反射波のビーム方向である 12・17・19・22・26・28 の測定点でも差分は小さく、理論値-5~-10dB 程度の差分結果が得られている。ここでの理論値は反射波の最大方向(ピーク値)である 76.8dB と比較しており、ビーム幅の端では仕様値の 70dB 程度であることを鑑みると、得られている実測値は理論値に近似しているといえる。それに対して、ビーム幅の範囲から外れている測定点 4・5・9・13・18・23 では差分が最も大きくなり、理論値-20~-25dB の差分結果となっている。差分が生じている要因については、前述の反射板ビーム幅検証での考察にも記載したとおり、本実証環境では扉、柱といった障害物により反射板に対して均一的な入射波が到達していないこと(フレネルゾーンが確保できていない)、および NLOS 環境(廊下、扉、壁)によってビーム幅が減衰しているという現場環境に起因すると想定される。それら環境要因により各測定地点にて受信電力(SS-RSRP)が低下していることが、測定地点によっては利得差分が大きく生じている要因であると考えられる。

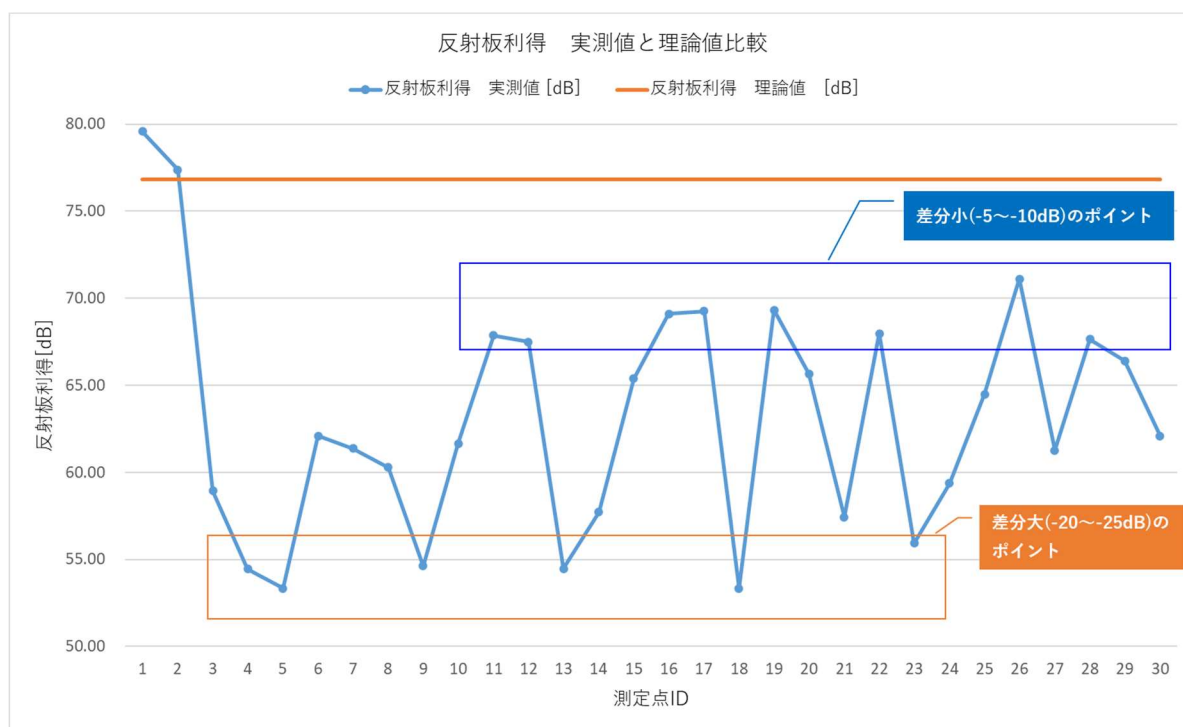


図 3.3.127 実測値による利得と理論値による利得差分

次に、反射板からの距離による利得差分を下記図にて確認する。反射板からの距離が遠くなるにつれ、理論値と実測値の差分が拡大する相関性が想定されるが、下記図の示すとおり距離に比例した差分拡大は表れなかった。差分が小さい 8 ポイント(11・12・16・17・19・22・26・28)と差分が大きい 6 ポイント(4・5・9・13・18・23)と比較すると、後者はいずれも反射板からの LOS 環境になっておらず、扉、壁といった遮蔽物を挟んでいる地点である。したがって、反射波のビーム幅範囲内かどうか、ならびに遮蔽物の有無が利得低下の支配的な要因であることがいえる。

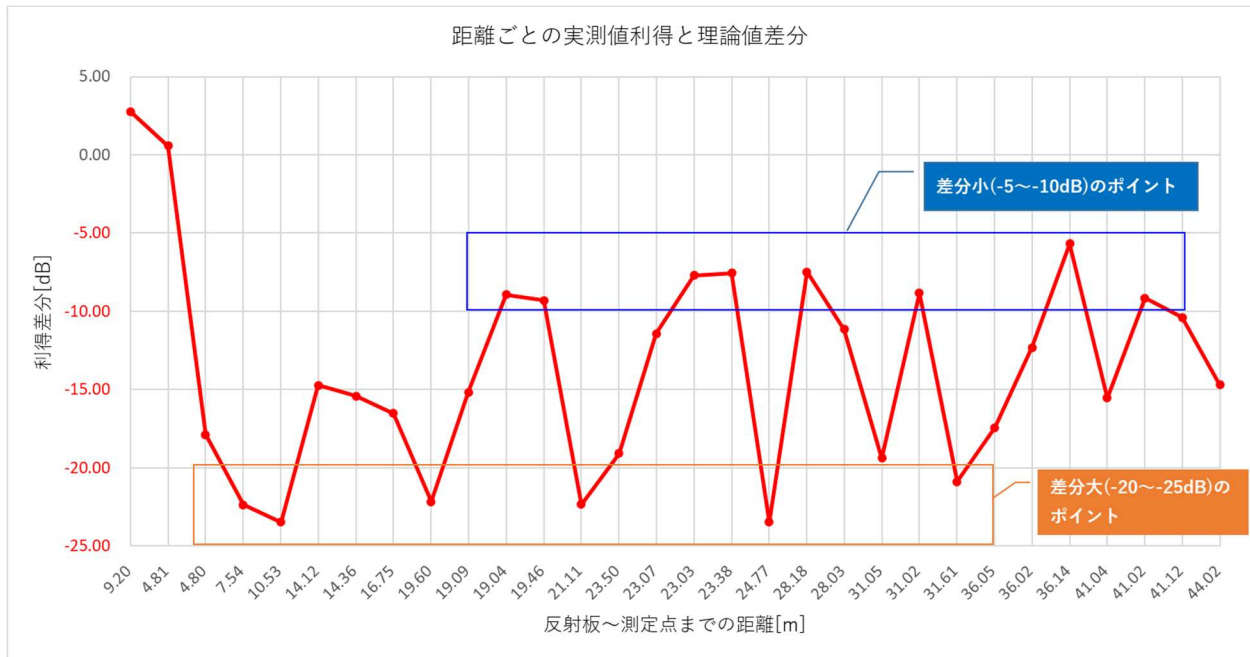


図 3.3.128 実測値による利得と理論値算出による利得差分

以上のビーム幅の理論値との差分、利得の理論値との差分結果より、LOS 環境の確保および反射板に対して入射波が均一に受電されることが肝要だと想定できるため、下記の点が対策として挙げられる。

- 基地局と反射板間の完全な見通し → 遮蔽物の撤去・見通しの確保
- 反射板と利用エリア間の完全な見通し → 遮蔽物の撤去・見通しの確保

上記で挙げた内容は全て前述のエリア設計条件と合致する。したがってエリア設計の際には上記の設置条件を守ることが重要である。

本実証の目標として設定した所要性能である UL スループット：80Mbps の実現について考察をする。

① MSC 値 15 以上(図 3.3.92)を実現する受信電力値及び SINR 値について

図 3.3.116 より受信電力はリンクバジェット記載の-59.2dBm が必要、SINR は所要性能相当を測定できた基地局直下における測定値より 21.6dB が必要と考える。

② UL スループットの実測値から受信電力値、SINR 値及び MSC 値を想定する

ポイント 16 の測定結果から UL スループット 10.6Mbps であり、DL の受信電力-72.0dBm(RSRP-98.0dBm)から、リンクバジェットの計算式より UL の受信電力は-66.0dBm と想定する。①の受信電力より干渉波 I・雑音電力 N は-59.2dBm-SINR:21.6dB=-80.8dB となり、干渉波 I・雑音電力 N は DL と UL 同じと考え SINR は、14.8dB と想定する。(-80.8dB=-66.0dBm-14.8dB) MCS は図 3.3.92 より 2 と想定する。

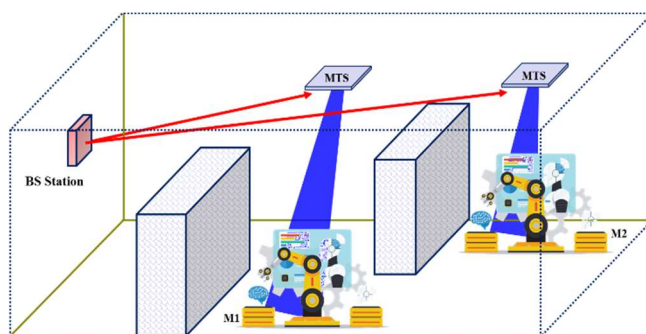
③ ②の想定を踏まえて①を実現するための対策
次項に記載する。

④ 基地局近傍の無線設備の性能における評価

基地局直下ではUL スループット 70~80Mbps を実測したことを確認済。

◆ 手順⑤：次回設計へのフィードバック

手順③、④で記述した設置条件を確保し、不感地帯を改善できるメタマテリアル反射板の有用な設置方法について検討した。今回の実証環境では設置場所の観点から、反射板設置は基地局に対して同じ設置高になるように架台に取り付けることにしたが、見通し環境を確保するという点では、「5)設置容易性・コスト比較」にて記載したとおり天井面に設置することで確保するという方法が挙げられる。反射板は疑似的な見通し環境を構築する機器のため、「基地局-反射板」、「反射板-対象エリア」の区間が見通し環境となると効果的に動作する特徴がある。人体や什器等の遮蔽が生じる可能性が高い小規模な建物よりも大規模工場や大型施設のような広い空間において、反射板を高所や天井に配置する方法が設置場所として効果的であると考えられる。



見通しが得やすい天井方向からの
パスを確保

図 3.3.129 メタマテリアル反射の有用なユースケース一例(再掲)

また、屋内よりも屋外の方が見通し環境を作りやすいケースが想定できるが、屋外ではエリア対象範囲が比較的広くなることで、手順③設計の項目で記載したとおり、対策エリアが拡大するに比例して反射板枚数が増えるため反射板が大型化する傾向がある。設置場所に反射板サイズの制約がある場合は、ビルの陰になる地点等へのスポット対策として活用し、対象エリアを限定することで反射板を適度な面積に抑える使用方法も有効であると考えられる。また、任意に反射板の設計ができる一方、パッシブ型の反射板の課題として、場所に合わせたビーム幅、利得、面積等の設計が必要となるため、設計コストや導入リードタイムに改善の余地がある。

これまでの測定結果から、所要性能に関しては全ての測定項目 (SS-RSRP、UL/DL スループット、UL/DL 伝送遅延)において改善した結果は確認することができていない。なお、UL スループットおよび伝送遅延の改善効果が限定的であることについては、過年度同実証における反射板を用いた実証結果からも同様の課題があることが明らかとなっている。本実証ではメタマテリアル反射板を用いることで、金属反射板よりも広角なビーム幅ならびに廊下幅に合わせたビーム幅を確保することにより反射板～端末間の伝搬経路を確保できた。結果として 30 の定点測定ポイントのうち、UL スループットは 22 のポイント、UL 伝送遅延は 23 のポイントで反射板設置前と比較して改善された結果が得られた。改善効果が限定的だった要因として挙げられるのは、基地局に対して端末側はアンテナが無指向性という点である。いずれの測定結果から見ても、DL に関しては反射板設置による改善効果が顕著に表れている (DL スループット改善量平均：430.6Mbps、DL 伝送遅延改善量平均：4014.6msec) ことに対して、UL の改善効果は小さく見受けられる (UL スループット改善量平均：5.5Mbps、UL 伝送遅延改善量平均：1866.7msec)。今回の実証では DL/UL に関わらず伝送性能試験は UDP で測定しており、一方通行的な測定になっている。このことから、DL は基地局側の出力・UL は端末側の出力に依存しており、その結果として性能改善の差が出ていると推測する。

次に伝送遅延について言及する。今回の測定では GPS 取得不可となる屋内環境下のため、端末→基地局への片方向遅延が測定できない。そこで、基地局側の GPS を利用し、Round Trip Delay という発信したパケットが対向の測定器に着信し、それを折り返し元の測定器に戻ってきた時間を取得した。その測定結果に対して往復分を 2 で割ることで片方向の遅延値を算出している。勿論理論的にはパスが確立されているのであれば、伝送路の往復時間は理論的に正しい。しかしながら、実測としては片方向になっていないため、例えば端末側の折り返しの伝送路が遅い場合、その結果が伝送遅延全体の測定結果に反映されることになる。この点が UL/DL それぞれの測定結果に影響を及ぼしている可能性がある。

さらに、基地局側は指向性アンテナのため、DL スループットおよび伝送遅延の改善結果からも分かる通り、DL 方向 (基地局→反射板→端末)の経路はおおよそ想定通りに形成することができたが、端末側は無指向性のため、UL 方向 (端末→反射板→基地局)の経路が想定通り形成されなかったことが要因として考えられる。UL 回線経路を下記図に示す。LOS 環境であるポイント 11, 16 では想定通りの経路が形成され、当該ポイントでは UL スループットが 18.3Mbps および 10.5Mbps と最も高い値 (ポイント 1, 2 を除く)を得られている。なお当該ポイントの伝搬損失は、ポイント 11 は 87.26dB、ポイント 16 は 88.91dB である。その他 NLOS 環境のポイントにおいては、伝搬損失の計算式では廊下等遮蔽物の影響が考慮されていないため正確には算出不可である。LOS 環境の 2 ポイントに対して廊下や扉などによる NLOS 環境であるポイントでは想定通りの経路で UL 回線が成立しなかったことから、スループット向上に影響が出たと推察する。特に本実証環境では、反射板～端末間はビーム幅 8 度の経路 (廊下)を想定しており、無指向性である端末からの UL 経路が想定通り形成されなかった可能性がある。以上のことから、対策案として基地局～反射板、反射板～端末間双方の経路でフレネルゾーンに遮蔽物が入らないようにすること、端末側の出力を上げること、さらにはビームフォーミング機能の向上等によって UL の所要性能を満たしやすくなると推察する。

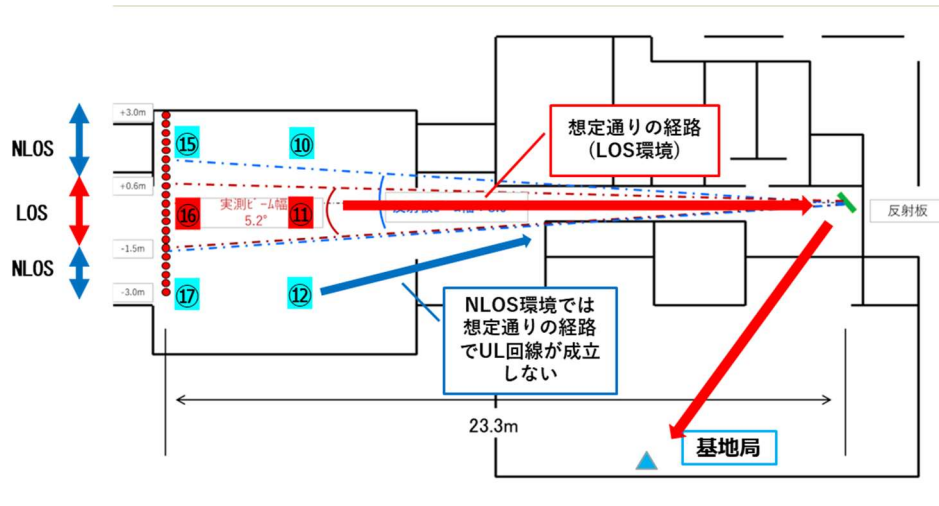


図 3.3.130 反射板を介した UL 回線経路

7) まとめ

本実証にて得られた知見として、不感地帯解消に対するメタマテリアル反射板の有効性を明らかにし、反射シートの改善効果及び比較差分の結果を得ることができた。メタマテリアル反射板を利用する場合、不感地帯エリアまでの電波の経路上に遮蔽物が重なると設計値のビーム幅・想定受信電力が下がるため留意が必要である。反射シートはメタマテリアル反射板より改善範囲が狭いものの、フィルムタイプで設置の容易性が高く、狭いエリアの不感地帯に有効であることがわかった。

課題解決への貢献として、受信電力：平均+7.4dB、SINR：平均+1.4dB、UL スループット：平均+5.5Mbps の改善を確認した。メタマテリアル反射板による不感地帯の解消が可能であり、本環境にメタマテリアル反射板は有効であることを示した。

シミュレーション精度向上という点では、エリア算出法では確認できなかった不感地帯がレイトレースシミュレーションでは確認できることがわかった。詳細なレイアウトや構造物を考慮した上で、不感地帯発生箇所を予測できるレイトレースシミュレーションの有用性を確認した。また、屋内設置におけるメタマテリアル反射板の設計について、不感地帯把握、エリア設計、反射板設置場所検討等のモデル化手法を実施した。

今後の課題として、屋外で使用する場合等、環境が異なるケースでの検証や、メタマテリアル反射シートの検証、環境に合わせてメタマテリアル反射板のビーム幅を異なる設計とした場合についてそれぞれの改善効果を比較検討することが必要であると考えられる。

3.3.3 準同期 TDD の追加パターンの開発

本実証では対象外とする。

4. ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）

4.1 実証概要

4.1.1 背景となる課題

<遠隔医療が求められる背景>

急速な少子高齢化や人口の減少に伴い、医療提供体制において、医師や医療資源の不足および偏在が生じている。一方、ルーラルエリアでは、身体的な理由等から多くの医療機関に通うことが難しくなる患者も増えている。

このような中、「医療資源の少ない地域（医師不足）」「専門医が偏在している地域」など、地域における医療サービスの確保に貢献すること、効率的・効果的な医療提供体制の整備、更には ICT を利用による医療従事者の働き方改革等にも寄与する可能性が高いことから、遠隔医療に期待と必要性が高まっている。

診療所の施設総数は、保険診療を行なわない施設を含み、近年、特別養護老人ホームの医務室等が増加していることから、総数としては増加しているが、一般診療を主とする診療所は、全国的にそれほど増えていない。それどころか、ルーラルエリアではすでに減少に転じているのが実態である。そのため、ルーラルエリアを多く持つ北海道の医療機関においても、減少傾向となっている。

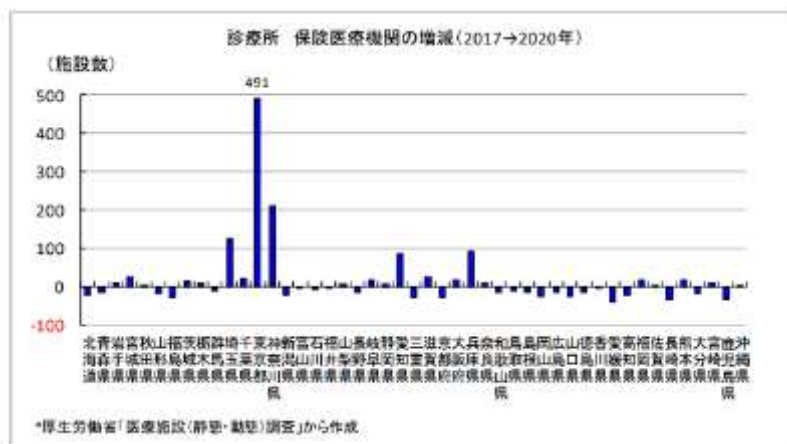


図 4.1.1 保険医療機関の推移

また、診療所における医師数も少なくなっており、一人医師の医療法人の割合は約 80%と非常に高く、特にルーラルエリアには医師 1 人で運営している診療所も多くなっている。

そのため、病院勤務の若手医師が診療所に参入しなければ、かかりつけ医機能を担う診療所の廃止が診療所医師の高齢化によって加速度的に進む地域が出てくることも懸念される。また、診療所の少ない地域では、中小病院がかかりつけ医機能をもつことも考慮してその機能強化を考え

る必要があるのが現状である。

こうした社会的背景を受けて、今後、在宅医療や遠隔医療など、診療行為の多様化に対応するためには、かかりつけ医を中心に地域の医師がチーム一丸となって患者を支える仕組みづくりが必要と言われている。(日本医師会「国民の信頼に応えるかかりつけ医として」)

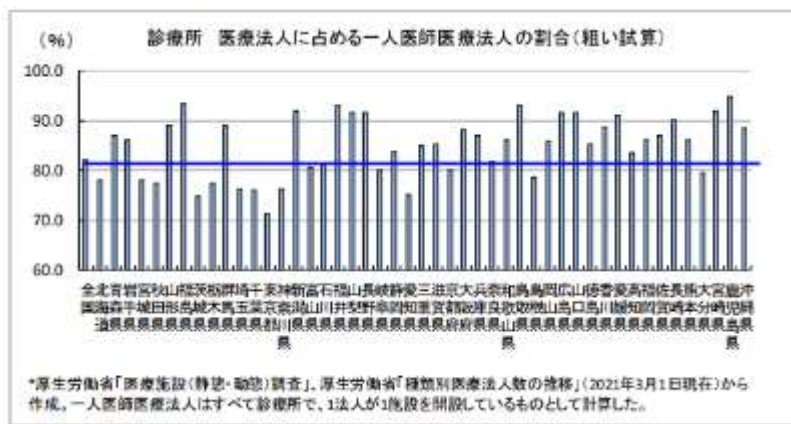


図 4.1.2 一人医師医療法人の割合

(参考) <https://www.jmari.med.or.jp/wp-content/uploads/2022/06/RR131.pdf>

日本の診療所医師では 65 歳以上の高齢医師が 3 分の 1 以上を占めている。診療所数は全国的には若干増加しているものの、これからかかりつけ医機能を向上させていこうというときに、すでにルーラルエリアでは、診療所数が減少局面にあり、高齢化という課題にも直面しているのが現状である。

こうした状況を踏まえると、日本医師会が 2022 年 5 月にまとめた「国民の信頼に応えるかかりつけ医として」で述べているように、各自治体の医師がチーム一丸となることは、有効な手段のひとつであると考えられる。

ルーラルエリアなどでは、診療所医師が 1 人やゼロ人というところもある。かかりつけ医の登録制を導入し、かかりつけ医機能をすべて押し付けてしまえば、その医師への負担は膨大なものとなる。地域一体のチームを形成し、遠隔医療体制を含めて、地域の医師たちが分担してルーラルエリアの医療を担えるように医療従事者のキャリアパス・人流・交流・財政面の支援体制を期待するところである。

<日本の医療費単価について>

日本は、海外諸国と比べて、高齢化率の高さに比べて 1 人当たり保健医療支出は比較的少ないという特徴がある。つまり、日本では一人一人が高額医療費を浪費しているわけではなく、1 人当たり医療費が高くなる高齢者の比率が多い人口構造となっているため、全体として高い傾向となっていることが分かる。

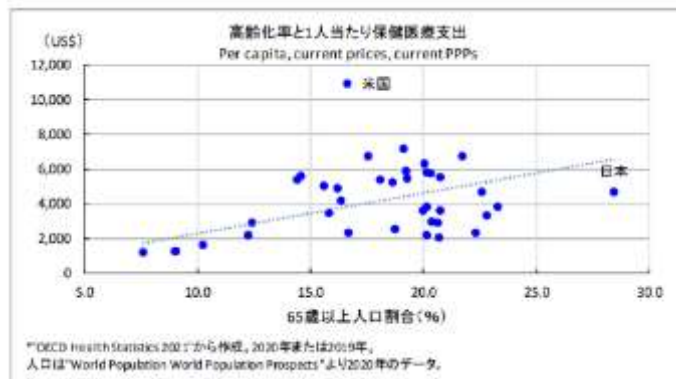


図 4.1.3 保険医療支出について

また、外来受診回数と1回当たり医療費（単価）には負の相関がある。受診回数が少ない国では1回当たりの医療が高額になっている一方、日本は高齢者率が高い等の理由から受診回数が多いが、早期発見・早期治療による効果等で外来医療費の単価は低く抑えられている。

このことから、今後の医師不足が懸念されるルーラルエリアにおいても継続して、病気の早期発見・早期治療に臨めるようにする仕組みが期待される。

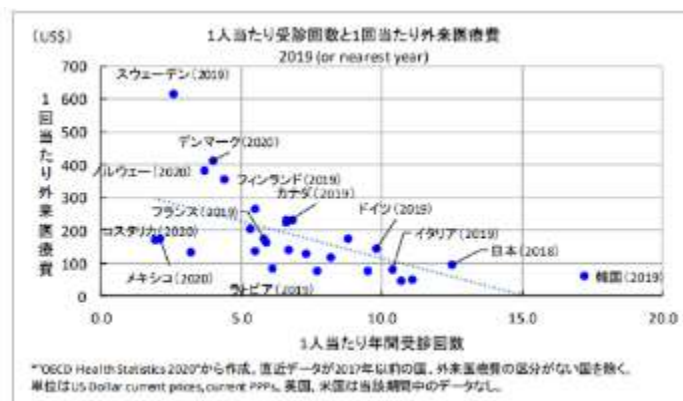


図 4.1.4 外来医療費について

(参考) <https://www.jmari.med.or.jp/wp-content/uploads/2022/06/RR128.pdf>

<かかりつけ医と専門医の連携について>

しかし、ルーラルエリアにも、いわゆる「かかりつけ医」を充足配備し、早期診療にかかれるようにすれば課題が解決するわけではない。医療費が高くなる要因となる重症化を抑制するには、かかりつけ医に紹介されてから専門医の治療を受けるまでの期間を短縮する必要がある。

患者の都合やいわゆる「待てる」医療もあるとはいえ、対策をしなければ海外のように専門医の紹介から診療まで1か月近くかかる事態になりかねない。そうした不安を解決するため、都市部に偏在しがちな専門医の高度な診療サービスを、ルーラルエリアでもスピーディに受けられる仕組みを構築することが重要な課題となる。

<遠隔医療の種類>

遠隔医療は、一般的に、医療従事者間の遠隔医療、医療従事者と患者間の遠隔医療の2つに分類・整理される。医療従事者間での遠隔医療として代表的なモデルは、下表 4.1.1 遠隔医療モデルのとおりである。

表 4.1.1 遠隔医療モデル

モデル	内容
DtoD (Doctor to Doctor)	医師と医師の間で遠隔医療を実施するモデル
DtoN (Doctor to Nurse)	医師が直接患者を診療していない状態で、医師が看護師等の医療従事者を遠隔で指導するモデル
DtoP (Doctor to Patient)	医療従事者と患者間でのオンライン診療モデル

※3者による遠隔診療を行う時、DtoDtoNやDtoDtoPのようなモデルで行う場合もある。

DtoDは例えば、ルーラルエリアの診療所の医師が中核病院の専門医に行う相談、外科医が大学病院の病理医に病理画像を送り依頼する病理診断等、医師間で診療支援等を行う遠隔コンサルテーションが代表的なモデルである。DtoDでの遠隔医療を内容の面で分類すると、医療行為となるものと、健康増進、介護・見守り、指導・教育などの直接的な医療行為にならないものに分類される。オンライン診療以外に医学的な判断を含む情報提供はオンライン受診勧奨、医学的判断を伴わない一般的な情報提供は遠隔健康医療相談と分類される。また、遠隔にいる医師の役割は、基本的に、依頼側への診断支援、診療支援または指導が主となり、患者の診断、診療に対する最終責任は原則依頼側の医師にある。

<遠隔医療における地域モビリティの役割>

遠隔医療を考える場合、ルーラルエリアに医療サービスを受けられる診療室や設備が必ずしも充足しているとは言えない。そうした環境・設備面の課題を考慮すると、医師不足や専門医というヒューマンリソースの課題だけでなく、適切な医療設備もルーラルエリアに準備する必要がある。しかし、コストパフォーマンスを考えると、ルーラルエリアに高度な医療設備を常設することは困難と言える。

しかし、こうした地域モビリティサービスは、設備の運用・維持費もかかることから、医療サービスだけでなく、地域のニーズに合わせた様々なサービスが提供できる共用型の地域モビリティサービスとしてコストを抑える工夫が必要である。

<遠隔医療の導入状況>

遠隔医療は、ICTや通信インフラ等の進展に伴い、従来から行われてきた画像診断に加え、手術中の病理診断、医療コンサルテーション、医療カンファレンス等へ活用範囲が広がってきている。遠隔医療サービスの導入状況としては、在宅診断・画像診断・病理診断などを合わせると4,000程度の医療機関で導入されているが、その理由の多くは、医師不足、および専門医不足や偏在という課題が大宗を占めている。

遠隔医療で使用されている ICT 技術としては、テレビ会議システムなどの映像共有を目的としたシステムの導入が多くを占める。また、近年では、遠隔医療ロボット「ダビンチ」のような遠隔手術などでロボットの導入が進んでいるが、外来診療などの初期フェーズにおける検査機器を活用した診療ではロボット活用の認可・承認はあまり進んでいない。

<個人情報取り扱いと情報セキュリティ>

現在、導入されている遠隔医療活用事例においては、遠隔医療で取り扱う患者の医療情報を支側で保管・管理するケースは少なく、遠隔での診断、診療支援の際に参照するのみのケースが多いのが実情である。そうした、個人情報の扱いについても、遠隔医療システムのセキュリティ対策の責任や情報保管を含め、遠隔医療の普及促進において整理すべき課題の1つである。

<遠隔医療のメリットと課題>

離島や山間部、僻地など医師が不在もしくは不足している地域は多くあるが、遠隔医療は地域の医療格差縮小にも一役買うと考えられている。

十分な医療サービスを受けづらい地域の方も継続的に受診しやすくなり、重症化予防につながる。

医師間・病院間のネットワーク構築がより容易に行えるようになり、専門医とのつながりが強化される。

遠隔医療は、対面診療と比較して情報量が少ないことが課題と言われている。遠隔医療は画面越しになるため、触診ができないほか、全体雰囲気などの患者様の全身の情報を得られにくい点が課題としてある。

<将来（2030年頃）の課題は「医師不足」から「専門医の偏在抑止・均衡化」へ>

2024年度から2029年度までの6年間を対象とする第8次医療計画の策定に向けた検討が進められており、医師確保計画についても、国の方針に基づき、各都道府県で見直しが行われている。医師確保計画は、国が示す医師偏在指標に基づき、都道府県が、地域における医師確保の具体的な方策を定める計画である。近年、人口減少が続く中、全国ベースでは年々医師数は増加している。2020年の推計では、2030年頃には医師需給が均衡し、その後は供給超過になる可能性もある。

ただし、医師が不足する診療科のある地域では、医師の養成数を減らすことに対する不安が大きく、今後の課題は医師偏在対策となる見込みとなっている。医師の養成課程における偏在対策には限界があることから、今後は、養成後の医師を遠隔医療により必要とする地域へ提供するサービス面での偏在対策の検討が求められる。

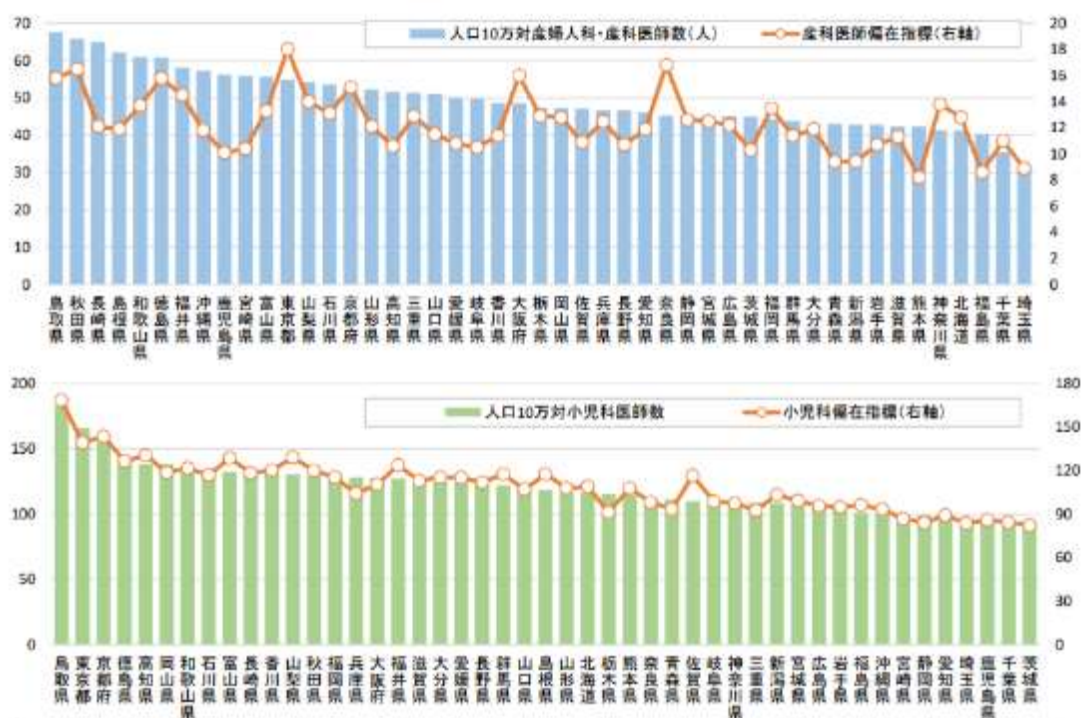
参考 URL

https://www.dir.co.jp/report/research/policy-analysis/social-securities/20220620_023109.html

診療科偏在については、「平成 19 年版少子化社会白書」（内閣府）において安心して産み育てられる産科・小児科医療体制の確保の必要性が示されるなど、産科・小児科の医師確保が重点的に取り組まれてきた。その背景には、厳しい勤務環境や、女性医師数の増加に伴う出産・育児を理由とした離職者の増加等による医師不足への懸念がある。

そこで、「緊急医師確保対策」（2007 年 5 月 31 日政府・与党決定）に基づき、病院勤務医の過重労働を解消するための勤務環境の整備や、女性医師等の働きやすい職場環境の整備、医師不足地域・診療科で勤務する医師の養成の推進が取り組まれたほか、医師養成数の暫定的な増加（産科・小児科に限らない）も行われてきた。また、産科・小児科に関する医師偏在指標が公表され、各都道府県にはこの指標を参考に、地域の実情に合わせて産科・小児科の医師確保計画（2020～23 年度の 4 年間）を策定することが求められた。

策定された計画では、長期的には、医療圏の見直しや医療圏を超えた連携、再編統合を含む集約化等に取り組む方針も示されているが、現状は、産科も小児科も、医師数が最も多い地域と最も少ない地域の差が約 2 倍となっている。本実証エリアである北海道も、産婦人科の偏在率が非常に高いエリアとなっている。



(注) 産婦人科・産科医師数の人口 10 万人対比率は、15～49 歳女性人口により算出。小児科医師数の人口 10 万人対比率は、15 歳未満人口により算出。

(出所) 厚生労働省「医師・歯科医師・薬剤師統計」、「医師確保計画等を通じた医師偏在対策」第 35 回医師需給分科会資料（2020 年 8 月 31 日）より大和総研作成

図 4.1.5 都道府県ごとの産科、小児科の人口 10 万人対医師数と医師偏在指標

<実証地域の課題>

岩見沢市が抱える課題と実証内容の関係性について、イシューツリーに示す。

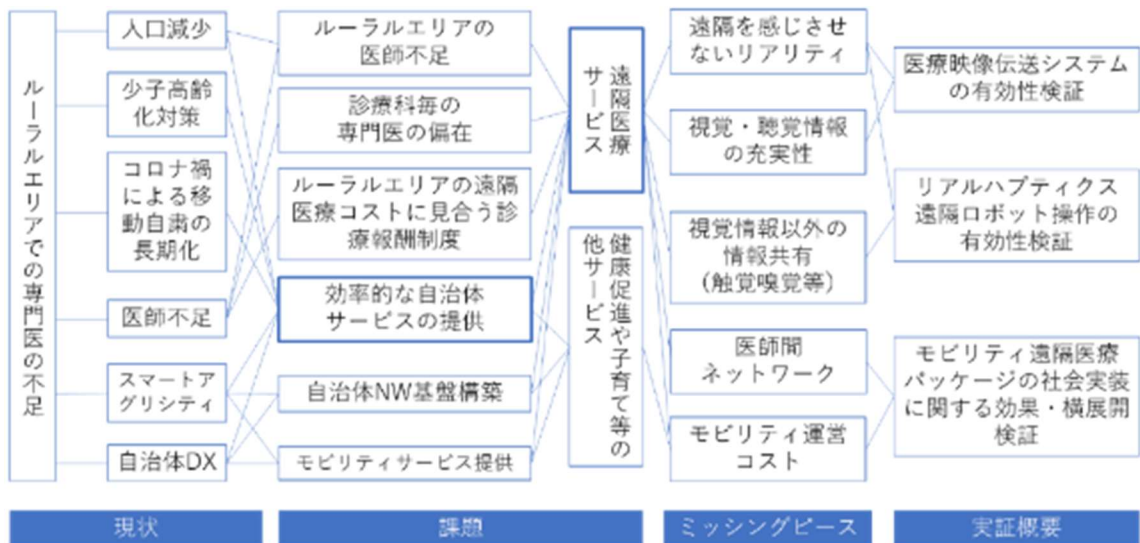


図 4.1.6 <岩見沢市が抱える課題と実証内容の関係性>イシューツリー

岩見沢市においては、人口減少・少子高齢化が進んでいる中で、医師不足などの状況もあり得ることから「ルーラルエリアでの専門医の不足」が深刻となっている。自治体では、スマートアグリシティ構想やDX推進によりさらなる収支改善にも取り組んでいるが、全国的な医師不足や専門医の偏在という課題への効果的な対策が見つからない状況が続いているのが現状である。

そうした中で、解決策の1つとして「遠隔医療サービス」を活用する方法が考えられる。それにより、健康で子育てがしやすい住みやすいまちとし、特に本実証で定義するプレ診療は「検診サービス」(未病)の位置づけを想定(検診の中でも、青枠囲みにある任意受診での検診・判断)し、現状のオンライン診療ではまだできていない、「受診者の心のケアもかねて、病状が心配しなくてもよいか、軽度に診てあげる」という対面診療では当然でも遠隔診療ではなかなかできなかった取り組みを行い、若い人が安心して定住し、人口が増えていくという好循環を目指す。

4.1.2 本実証におけるローカル 5G 活用モデル

(1) ローカル 5G を用いたソリューション

少子化対策と関係性の高く超音波エコー映像などの視診が重要となる産婦人科や、ルーラルエリアでの偏在率が高く特に視診が重要となる皮膚科を遠隔医療モデルとして、マルチアングル映像をリアルタイムに送信し、専門医の支援を受けながら診療を行う「プレ診療システム」を構築した。

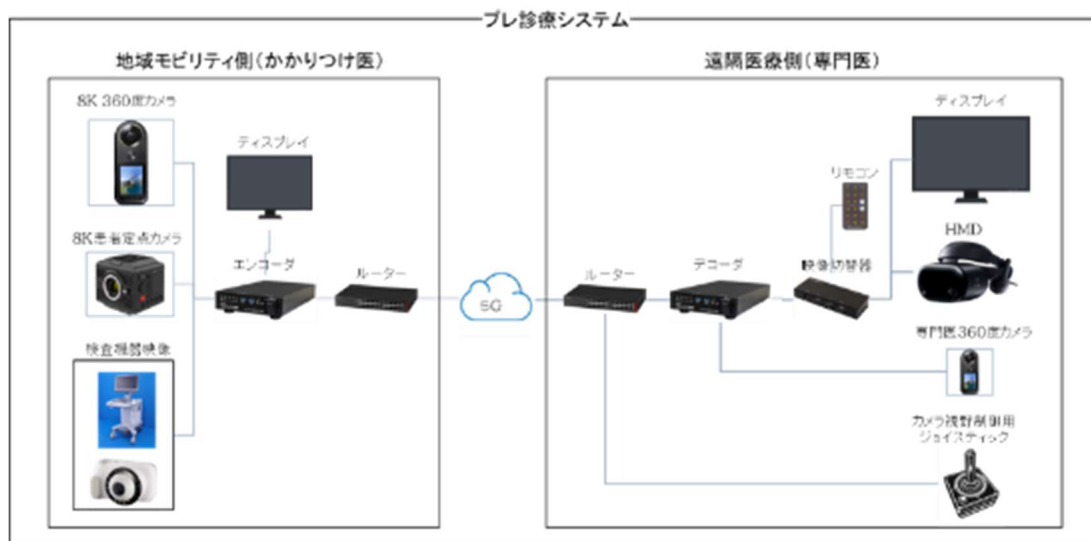


図 4.1.7 プレ診療システムのイメージ図

地域モビリティ側からは、部屋全体の様子を俯瞰パノラマ映像で送る①8K 360度を把握可能なカメラと、②8K患者定点カメラ、そして、③検査機器の映像の3つの映像ストリームをローカル5Gで配信した。

遠隔医療側では、3つの映像ストリームを映像切替器・分配器に入力し、通常のディスプレイとHMD（ヘッドマウントディスプレイ）に出力して映像を確認した。出力する映像は遠隔支援側の専門医が映像切替器のリモコンを用いて①②③を切替える。また、遠隔医療側からはジョイスティックを操作することで地域モビリティ側カメラの視野（いわゆるパン・チルト）を制御できるようにした。さらに、テレビ電話のようなコミュニケーションを行うために、専門医を撮影するカメラも設置した。

さらに本実証では、未来の遠隔医療での活用を目指し「リアルハプティクスシステム」を構築し、ローカル5Gを用いたDtD技術指導での活用を検証した。

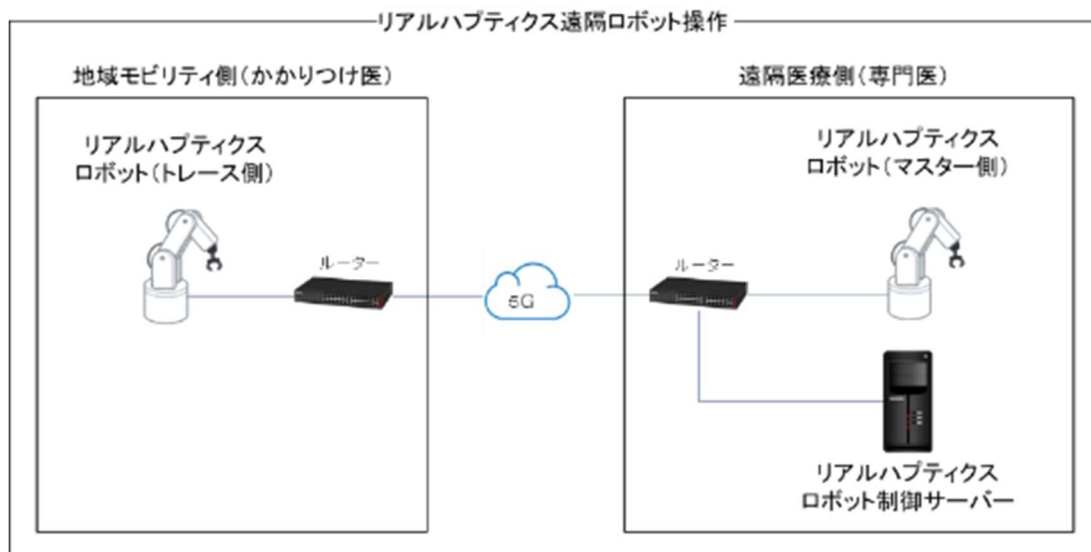


図 4.1.8 リアルハプティクスシステムのイメージ図

リアルハプティクスとは、対象の硬さや柔らかさ、変形やたわみなどを高精度に伝達できる技術で、人間の感覚でいうところの、力の感覚である「力覚」と、触る感覚である「触覚」を送る仕組みである。本実証では、遠隔医療側から専門医が、ローカル5Gで接続されたリアルハプティクスシステムを介した、地域モビリティ側のロボットが持つ「エコー検査機のトランジューサ」の操作を検証した。

地域モビリティは、通常の移動手段としてのサービスの他に、巡回サービスとして活用することを考えている。巡回サービスは、ルーラルエリアで必要とされる遠隔医療サービスをなどの各種専門サービスを、要望のあった地域ポイントを巡回しサービス提供する仕組みである。専門サービスはパッケージ化して内容を積み換えることを想定している。

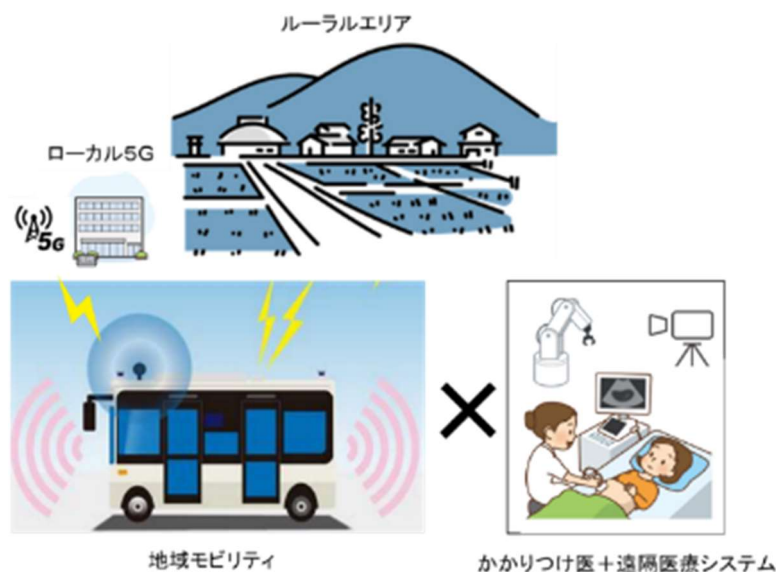


図 4.1.9 地域モビリティを活用した遠隔医療サービスのイメージ

地域モビリティで提供する専門サービスとしては、遠隔医療サービスの他に、健康促進用スポーツ体験、美容・健康相談、子育て・学習相談などのパッケージが検討されている。

(2) ローカル 5G 活用モデル（当初仮説）

地域モビリティは、通常は非通信サービスを提供する場合もあるが、地域が準備したローカル 5G エリアに到着することで、医療などの更なる高度なサービスを地域モビリティ内の利用者に提供するなど、ニーズに応じた様々な専門サービスを活用できるようになる。

本実証ではルーラルエリアを巡回予定の地域モビリティに、映像伝送＋遠隔ロボットが可能な遠隔医療パッケージを搭載し、地域モビリティがルーラルエリアのローカル 5G ポイントに到着すると、半固定型の医療拠点として専門医療サービスを提供することで、ルーラルエリアでの医療の質の向上をめざす。(MaaS to ローカル 5G モデル)

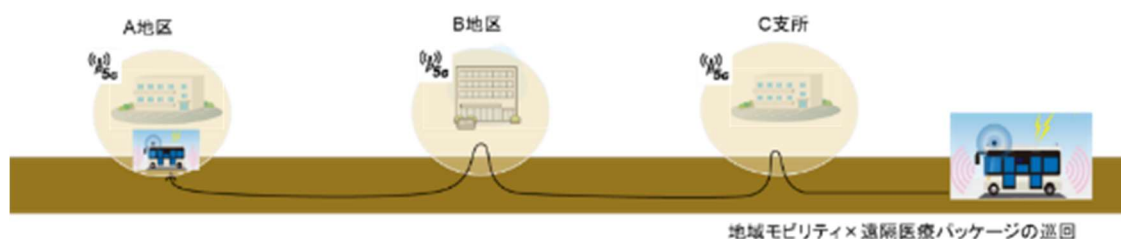


図 4.1.10 MaaS to ローカル5Gモデルのイメージ

想定するターゲットは、専門医が少ないルーラルエリアの自治体・その住民で、都市部の専門医療を受けに行くには移動が大変なエリアにおける、高齢者、妊活・子育て世代の住民がターゲットと考えられる。このように少子化対策、子育て対策として有効なサービスを提供することで、移住・定住者を増やしたい自治体は少なくないと想定される。

また、地域モビリティによる専門サービスのデリバリーニーズは、医療サービス以外にもあると考えられる。そこで地域モビリティ車体を兼用し、内装を変えるなど各種サービスに適用できるように工夫することで、自治体での地域モビリティ運営負担を減らすことが可能と考えられる。さらに、点在するルーラルエリアを効率良く巡回することで、初期・運用コストを抑制することが可能な共同利用型でのサービス提供が期待される。

地域モビリティ運営主体が巡回サービスビジネスの中心となり、医療サービス、子育てサービス、教育サービスなどを提供する団体・組織と協力し、共同運営で事業を行うモデルを想定する。

効率化を高めるためには、自治体ごとに利用者ニーズを伺い、利用者が集まったサービスを地域モビリティに乗せて、希望するエリアを巡回するように調整する機能が必要となる。また、地域モビリティに搭載できる機器＋人材セットの許容範囲で複数サービスを届けることも可能なことから、各サービス設備の小型化も実装性・費用においては重要なポイントとなる。

(3) ローカル 5G の必然性・必要性

<8K 映像伝送、マルチアングル映像の切替え利用>

医療機関内の設備では高速な光ファイバー網などの有線ネットワークが利用可能であるが、医療機関外（院外）で、有線の接続が想定されない場所では、ローカル 5G などの高速無線を活用することにより、高速通信を利用した遠隔医療通信サービスが実現できる。

リアルタイムでの映像伝送の場合、ストリーミング圧縮を行うと圧縮・解凍処理に時間がかかってしまうため 8K などの大容量の映像を伝送しようとする、遅延が生じてしまう問題がある。しかし、ローカル 5G の広帯域伝送では、圧縮率を下げた処理でもストリーミング伝送が可能となり、結果として圧縮等の処理にかかる遅延が減り、低遅延でスムーズなリアルタイム映像伝送が可能になる。

また、遠隔医療では、支援医師側に高精細な固定映像カメラだけでなく、360 度カメラや、検査映像となるダーモスコープやエコー検査機器の出力映像も一緒に映像伝送し、支援医師側で必要な映像を切り替えて使うことで利便性を向上させることが可能である。このようにマルチアングル映像となる複数のストリーミングを伝送するには、ローカル 5G 広帯域伝送が必要となる。

<リアルハプティクスシステムによるエコー操作>

ローカル 5G では、通信機器を含めた無線通信ネットワークの END-END 遅延は約 30 ミリ秒程度と非常に小さくなる。そのため、信頼性の高い制御が求められるロボット遠隔制御等への活用が期待される。

本実証では、高画質な携帯型超音波診断装置（エコー機器）を地域モビリティ内に設置し、患者の腹部等にトランジューサをあててエコー検査を行い、リアルタイムに撮像している動画を遠隔地に情報共有する。

もし、地域モビリティ内にいる医師が直接トランジューサを操作した場合、機器から人体にあてた際の力感・感触が伝わるため、専門医であれば適切な力加減で操作することができる。その力加減の情報を遠隔にいる支援側医師のロボットへ低遅延でフィードバックすると、遠隔地にながら直接触っているのと同じ力加減を再現することができる。こうした力感・触感をリアルタイムに伝送するメカニズムをリアルハプティクスと呼ぶ。

また、この時、遠隔でトランジューサを操作する専門医は、ディスプレイで配信映像を見て操作する。もし、力感に異常がなく、視覚を元に患者にあてられているトランジューサ位置を見ながら操作する場合、映像伝送データと操作制御データの遅延のズレや、遅延のゆらぎにも操作品質が影響する可能性が考えられる。

（力感・触感に基づく操作停止→リアルハプティクス制御データの遅延影響を受ける）

（視覚に基づく操作停止 →映像伝送データの遅延影響を受ける）

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

(1) 実証内容の新規性

＜従来型の遠隔医療とプレ診療システム＞

従来の遠隔医療は、テレビ会議システムをベースにした映像共有の仕組みに留まっていた。そのため、遠隔診療（専門医）側が見たい映像視野を地域モビリティ（かかりつけ医）側に依頼しても、場所情報を伝えるコミュニケーションのズレや、映像伝送のタイムラグなどにより、カメラ視野をうまく制御できずに、遠隔診療側は送られてくる映像だけを見て判断する状況となっていた。

本実証では、こうした課題を解決するために2つの対策を実施した。

1つ目は、映像視野をマルチアングルで用意することである。

- ①俯瞰アングルで撮影する 8K 360 度カメラの映像
- ②主に患者の身体を撮影する 8K 定点カメラの映像
- ③患者に用いる検査機器が出力する映像

このマルチアングル構成は、今回の実証に参加する産婦人科の専門医の意見に基づいている。「遠隔医療で映像を見る場合、最初から③を見せられても困ることがある。最初は全体から見えないとサイズ感や状態が判断しにくい。可能であれば全体俯瞰から、患者、部位のように3段階で映像が切り替えられるのが良い。」というものである。

本実証環境では、ローカル5Gの広帯域・低遅延の特性を活用し、3つの映像ストリームをリモコン等で遠隔診療側の専門医が自由に切り替えることができるようにプレ診療システムを構成している。

合わせて、専門医より「ヘッドマウントディスプレイ（HMD）で没入感を出した診療ができるようにしてほしい」という意見があったことから、本実証では、HMDと通常のディスプレイを切り替えて利用できるように工夫している。（これは、過去の医療実証でも使われているので、新規性には含めていない。）

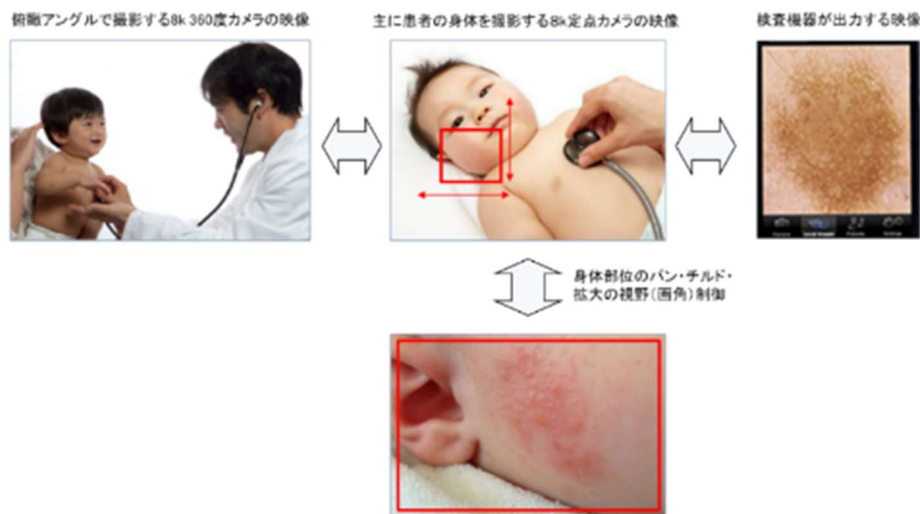


図 4.1.12 カメラ映像イメージ図

2つ目は、遠隔診療側からカメラの視野を制御するメカニズムの採用である。

1つめのマルチアングル映像を用意しても、実際の診療では、患者の身体の中の部位を集中して見られるのが最適かはずぐには判断できない。そこで、遠隔診療側からの視野（画角）の制御を行い、スムーズな遠隔診療コミュニケーションを行うように工夫をしている。

具体的には、本実証環境では、遠隔診療側にジョイスティックを用意し、送られてくる8K映像の全体画角から自分が見たい画角を動かして、拡大した8K映像を切出して伝送するメカニズムを採用している。これらは、ローカル5Gの低遅延特性を活かした、リアルタイム映像制御の仕組みと言える。

<リアルハプティクスシステムによるエコー操作>

個人の身体性に基づいた遠隔医療支援を実現するためには、視覚・聴覚情報技術に加えて触覚情報技術の発展が大変重要なものとなる。そうした力加減を伝える技術が「リアルハプティクス」である。リアルハプティクスは、ロボットに人のような触覚や力加減を与えることができる制御技術である。遠く離れた場所同士でも、触ったモノの硬い・柔らかいといった感触を感じながら遠隔作業することができる。また、位置と力の倍率を自由自在に変化させることができるため、人間の自然な動作範囲で巨大、または微細な作業を行うことが可能になる。ロボットが力感を制御することで、力加減を伴う繊細な動きを、スピードを保ちながら自動化できる。

また、ロボットが力触覚情報を人間に伝えて人とロボットが協調して動くことで、ロボットが画像認識AIでモノのエッジを検出するのが難しい人体への操作のような場合でも、手探りの力感覚で判断し対応できることで活用の幅が広がる。

遠隔コンサルテーションの場面では、エコー検査中に支援側の医師が見たい映像がある場合、支援側の医師がリアルハプティクスシステムに接続されたトランジューサを操作すると、その動きがリアルタイムに依頼側医師のリアルハプティクスシステムに接続されたトランジューサ動作となる。また、依頼側トランジューサが人体にあたっている力感や感触は、そのまま支援側医師の手元にフィードバックされる。それにより、あたかも現地で直接エコー検査のトランジューサを操作しているようになり、自分が見たいエコー映像が出るようにトランジューサを操作できることになる。

その精度をより高めるために必要になってくるネットワークが低遅延のローカル5Gである。

なお、操作する支援側医師へ高精細な映像をリアルタイムに届けることも合わせて実現していることも重要なポイントとなる。

(2) 過年度実証事業との関連性

令和2年度ならびに令和3年度に弊社が代表を務めた実証事業との関連性はない。

表 4.1.2 過年度実証事業との関連性

報告年度	報告書 No	タイトル	詳細内容
令和3年	No. 26	大都市病院における視覚情報共有・AI解析等を活用したオペレーション向上による医療提供体制の充実・強化の実現	1) 簡易設置可能な360度カメラ等による俯瞰的視覚情報共有・スマートグラスを利用した主観的視覚情報共有、2) 院内ストレッチャー移動患者の視覚情報共有、3) 既存システムに依存しない遠隔CT画像共有、4) 大容量X線動画データ転送による視覚情報の共有
令和2年	No. 17	へき地診療所における中核病院による遠隔診療・リハビリ指導等の実現	診療所における中核病院の医師によるテレビ通話を用いた問診やウェアラブルカメラ等による超音波画像検査等の遠隔診療に関する実証
令和2年	No.18	専門医の遠隔サポートによる離島等の基幹病院の医師の専門外来等の実現	離島等の基幹病院における、スマートグラスや4Kカメラ映像を介した専門医の遠隔サポートによる高度専門医療提供に関する実証
令和2年	No. 19	中核病院における5Gと先端技術を融合した遠隔診療等の実現	中核病院内・院外におけるリアルタイムな高精細画像情報の共有による遠隔診療や遠隔技術指導の実証

いずれの過去実証も視覚情報の共有に留まっているが、本実証では、マルチアングル視角情報共有に加えて「リアルハプティクスシステム操作」を連動させた実証としており、また、利用シーンの前提が有線ネットワークも利用可能な病院内ではなく、ルーラルエリアへの地域モビリティを活用する前提としている。ローカル5Gの必要性が高い点、社会実装に向けてルーラルエリアへの固定的な医療設備投資の必要性がないなど、実現性の高い実装モデルとなっている点の特徴である。遠隔側は配信された映像を見ることができ『受け身・受動的』な実証が太宗であったが、本実証では遠隔側が『直接的・能動的』に診る「対象」や「画角」を制御・切り替えることが可能となっている点も特徴である。

4.1.4 実証目標

本実証では、地域モビリティを活用した遠隔医療を実現するために、地域モビリティと遠隔医療拠点を結ぶローカル5Gネットワークにおいて、下記の実証目標の実現をめざす。

表 4.1.3 実証目標

実証項目	実証目標	実装時期
プレ診療システム	<ul style="list-style-type: none"> • 8K 高精細映像の低遅延（400msec 以下）伝送による専門医に対する視診性に関する満足度の実現 • HMD による没入感・リアリティの提供（予定） <ul style="list-style-type: none"> • 映像酔いや不快感の有無 • 映像品質（解像度、遅延） • 注視対象物の見やすさ • 視点移動のしやすさ • 視聴環境（姿勢・椅子等の環境） • 俯瞰映像/患者映像/検査映像のマルチアングル切替え • 専門医のジョイスティック操作等によるカメラ視野制御の実現 	<p>実証完了までに 達成予定 (2023.3 末)</p>
リアルハプティクスシステム	<ul style="list-style-type: none"> • リアルハプティクスシステム制御信号の低遅延（50msec 以下）伝送による専門医に対する力感、触感性に関する満足度の実現（予定） <ul style="list-style-type: none"> • ロボットアームの操作範囲の妥当性 • ロボットアームの操作性（動きの滑らかさ、直接/遠隔の違いや違和感） • 触感遅延・視覚遅延と誤差 • 力感フィードバックの違和感 • 操作環境（姿勢・椅子等の環境）エコー検査器操作における遠隔緊急停止時の停止までの位置移動 0.5 cm 以下（毎秒 1 cm 移動時） 	<p>実証完了までに 達成予定 (2023.3 末)</p>
地域モビリティ	<ul style="list-style-type: none"> • 遠隔医療パッケージ機器のモビリティ積載の実現と個人情報等に配慮したレイアウト設計 • 車内でのローカル 5 G スループット性能（UL50Mbps）の確保 • 準備/後片付け等のサービス運用の容易性（技術専門家以外でも 30 分以内に準備・片付けが完了） 	<p>実証完了までに 達成予定 (2023.3 末)</p>

医療行為においては先生・患者（特に体躯や感情面）・スタッフの考え方や捉え方は様々なため、

ステークホルダーの意見を参考に必要スペックは場合分けで算出されていくものと考えるので、都度適切にスペック値を修正していくこととする。

また、現時点で、各実証項目で想定している実証シナリオ（案）は下記の通りである。

表 4.1.4 実証シナリオ案

実証項目	実証シナリオ（案）
プレ診療システム	<ul style="list-style-type: none"> 産婦人科および皮膚科の遠隔医療 DtoDtoP シナリオを想定し実証を行う予定
リアルハプティクスシステム	<ul style="list-style-type: none"> 産婦人科で用いるエコー検査の DtoD 操作研修シナリオを想定し実証を行う予定
地域モビリティ	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔医療パッケージの準備、サービス本番、後片付けのシナリオを想定し実証を行う予定

プレ診療システムについて、遠隔医師が地域診療の本格支援をするためには、その場にいるかのような没入感と臨場感があるほうが望ましく、また医療行為の時々で求める視野・映像データは刻々と変わるので遠隔側でのコントロールや必要となる映像をできる限りリアルタイムに視聴、かつ切り替えができれば、距離を意識しない支援が可能となる。仕組み的には汎用的な製品等を用いて実現するため、診療科によらず、様々な支援形態の可能性がある。（本実証ではルーラルエリアの課題解決を指向し、地域に不足している診療科を選定している。そのような意味でも実装にむけた汎用性がある。）またリアルハプティクスシステムについては、遠隔側の行為を反映させるには低遅延での動作がもっとも肝要であり、制御においてロボットアーム以外の要素の必要性有無もオピニオン評価を実施する。地域モビリティについてはサービスに応じた内装カスタマイズが必要なことも考えられるが、利用者目線（医師・支援員・患者）導入自治体目線でのオピニオン評価を実施する。いずれこれらの実証目標は社会実装に向けてクリアしなければならない課題であるが、必要な閾値は実証を通じ精緻に調査する。

4.2 実証環境

本実証のシステム環境について、下図に示す。

実証環境は、地域モビリティ側（岩見沢市役所北村支所 駐車場／毛陽交流センター居室）と遠隔医療側（北海道大学 FMI）をローカル 5G+フレッツ VPN 回線を利用したネットワークで接続する。

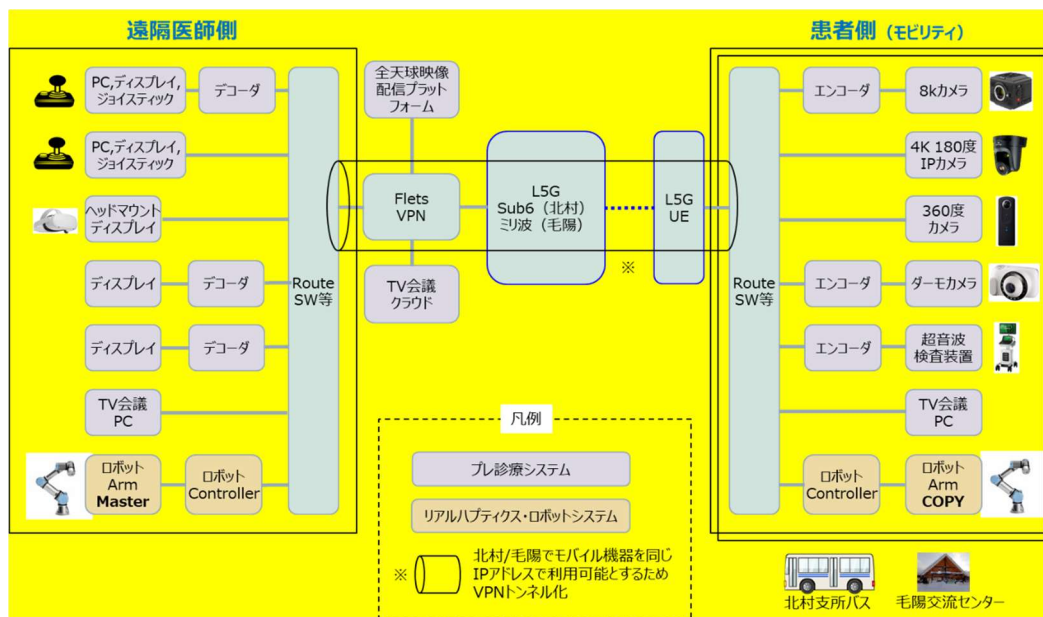


図 4.2.1 ネットワーク構成図

プレ診療システムの構成は、360度カメラはエンコーダを内蔵しているため、直接ルーターへLAN接続し、他の8K患者定点カメラと検査機器映像は、映像出力をHDMIケーブルでエンコーダに接続し、H.265/H.264ストリーミング形式に変換・圧縮して伝送する。

リアルハプティクスシステム操作は、実証の際にプレ診療システムの映像を見ながら操作することを想定している。そのため、ネットワーク環境としてはプレ診療システムと同じものを利用する。リアルハプティクスシステムのマスター/トレーサー間は、制御サーバーにより力感・触感（作用・反作用のデータ）を伝送し、操作を再現する。

本実証では、基本的には社会実装のモデルとなる「岩見沢市役所北村支所 駐車場」と「北海道大学FMI」を結び、スループットや遅延データの測定を行うが、荒天時などに「毛陽交流センター内の居室」も一方のバックアップ拠点として利用する場合を想定している。

しかし、拠点を変更した場合、4.7GHz帯/28GHz帯/有線環境など、ネットワーク環境が異なる。そこで、下表に示すような両拠点の各組み合わせにおけるデータ取得と比較を行い、実装に向けたさらなるデータ精緻化を行う。

実証環境の組み合わせとして想定しているパターンは、下表の通り。

表 4.2.1 実証環境組み合わせ

No	モビリティ拠点	遠隔支援拠点
1	北村支所の駐車場 (4.7GHz帯)	北海道大学FMI (有線)
2	毛陽交流センター居室内 (28GHz帯)	北海道大学FMI (有線)

4.3 実施事項

4.3.1 ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証

(1) 機能検証

1) 検証項目

本実証でのシステムごとの評価・検証項目を以下に示す。

<プレ診療システム>

表 4.3.1 機能検証項目(プレ診療システム①)

大項目	中項目	小項目
① 全体俯瞰カメラ・360度カメラ	A) 地域モビリティでの180度カメラ×2台での全体俯瞰	360度カメラのパノラマ映像のライブ配信
	B) 遠隔拠点でのHMD視聴	HMDデバイスの装着性評価
		閲覧用HMDデバイスの基本性能評価
C) 通信品質の確認	映像データ送受信のスループット・パケットロス・遅延の測定	

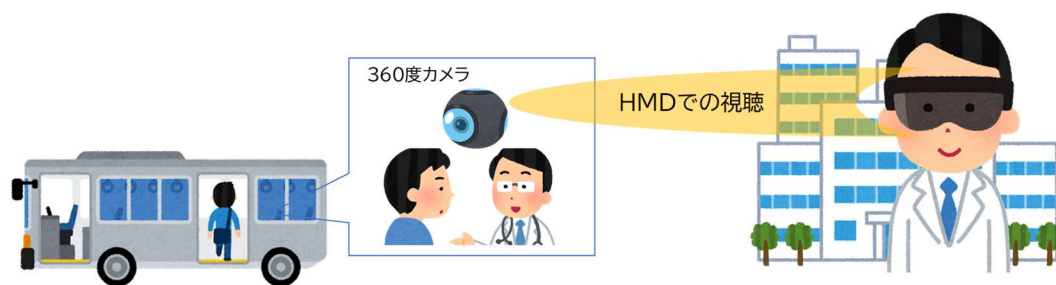


図 4.3.1 全体俯瞰 8K360度カメラシステムイメージ図

表 4.3.2 機能検証項目(プレ診療システム②)

大項目	中項目	小項目
②8K 定点カメラによる患者映像コミュニケーションシステム	A) 地域モビリティでの 8K カメラ配信	8K ストリーミングカメラ のライブ配信
		外付けコーデック機器の解像度・フレーム数・圧縮方式の設定評価
	B) 遠隔拠点での映像確認・操作性の確認	8K カメラの視野コントロール (1/16 視野位置のジョイスティック操作)
		カメラ視野全体映像のディスプレイ表示
		1/16 視野 8K 映像のディスプレイ表示
		1/16 視野 8K 映像の HMD 視聴
C) 通信品質の確認	映像データ送受信のスループット・パケットロス・遅延の測定	



図 4.3.2 8K 定点カメラによる患者映像コミュニケーションシステムイメージ図

表 4.3.3 機能検証項目(プレ診療システム③)

大項目	中項目	小項目
③検査機器映像リアルタイム配信システム (エコー映像、ダーモスコープ映像)	A) 地域モビリティでのエコー映像やダーモスコープ映像の伝送	エコー機器出力画面のリアルタイム配信 (FHD)
		ダーモスコープ機器出力画面のリアルタイム配信 (FHD)
	外付けコーデック機器の解像度・フレーム数・圧縮方式の設定評価	
B) 遠隔拠点での映像確認・操作性の確認	検査機器映像のディスプレイ表示	
C) 通信品質の確認	映像データ送受信のスループット・パケットロス・遅延の測定	

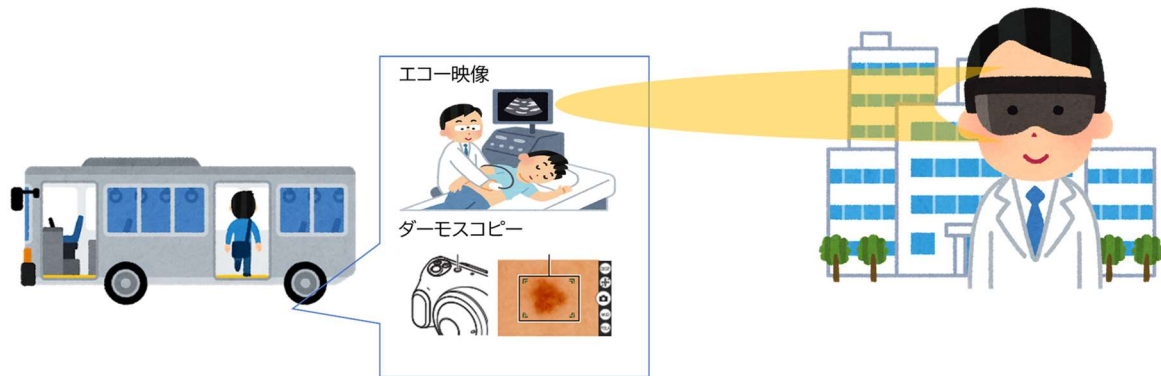


図 4.3.3 検査機器映像リアルタイム配信システムイメージ図

<リアルハプティクスシステム>

表 4.3.4 機能検証項目(リアルハプティクスシステム)

リアルハプティクスシステムによるエコー機器の操作	A) モビリティおよび遠隔拠点でのリアルハプティクスシステムによるエコー機器の操作	エコー機器トランジューサの装着性
		位置合わせ・キャリブレーション設定機能
		トランジューサの動かしやすさ・可動域の設定評価
	B) 遠隔操作の正確性評価	力感フィードバックの設定機能
		指定位置合わせテスト
		指定力感テスト
	C) 通信品質の確認	制御データ送受信のスループット・ロス・遅延の測定
		映像伝送遅延とのギャップ測定

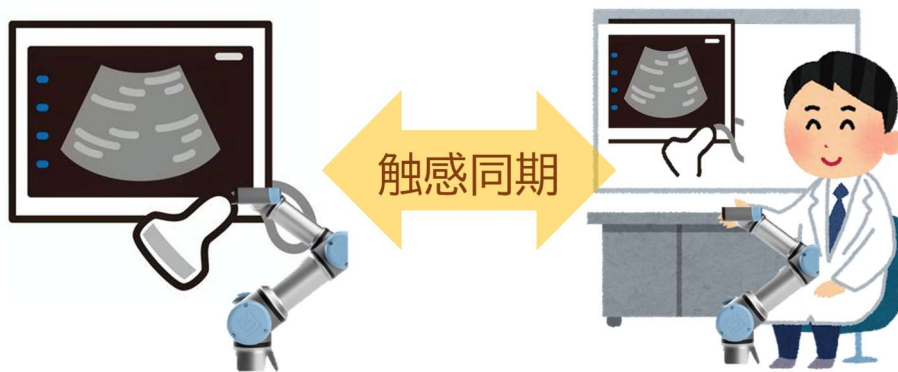


図 4.3.4 リアルハプティクスシステムによるエコー機器の操作イメージ図

2) 検証方法

アウトプットイメージを以下に示す。いずれもデータ取得等に関しては「試験成績表」「証跡データ」、官能試験等によるオピニオン評価はアンケート形式とし、含める内容は以下とする。

〈試験成績表〉

- ✓ 各カメラ映像の伝送スループット・遅延の一覧
- ✓ 映像視認性・マルチアングルの効果を示すデータ・画像
- ✓ PTZ 操作でアングル操作する効果を示すデータ・画像
- ✓ デジタル時計映像伝送による映像遅延記録画像
- ✓ 測定に要した各機器のログ

〈アンケート〉

- ✓ HMD 没入感の効果
- ✓ リアルハプティクスシステムによる遠隔エコー操作の医療活用の実現性・課題評価
- ✓ リアルハプティクスシステムのエコー検査以外への横展開の可能性の考察

考察や効果をとりとめるアウトプットとして試験成績表とアンケートを作成する。

結果（良し悪し）だけでなく、評価アンケートおよびヒアリングにより、何をすればより高い効果が得られるのか、何か足りないのかも含めて確認して改善点を抽出する。

試験成績表				
測定機器	スループット	遅延	関連画像	関連ログ
8Kカメラ				
ダーモカメラ				
エコー				
アンケート				
評価項目	評価			
没入感	大変優れている	優れている	普通	改善要
視野	大変優れている	優れている	普通	改善要
装着感	大変優れている	優れている	普通	改善要

図 4.3.5 アウトプットイメージ図

3) 検証結果及び考察

表 4.3.5 課題実証検証結果(カメラ)

大項目	中項目	小項目	検証結果	備考
①全体俯瞰カメラ・360度カメラ	A) 地域モビリティでの180度カメラ×2台での全体俯瞰	4K 180 リライブ配信ソリューション (コーデック機能・スティチング機能)	達成	映像ライブ配信確認 ロス・ノイズなし 180度PTZ操作確認
		360度カメラのパノラマ映像のライブ配信	達成	360度映像配信用専用クラウド基盤を用いて映像ライブ配信確認 ロス・ノイズなし 360度視野操作確認
	B) 遠隔拠点でのHMD視聴	HMDデバイスの装着性評価	達成	360度全地球視野確認 自動焦点機能の有効性を確認(眼鏡装着でも焦点合わせ可能)
		閲覧用HMDデバイスの基本性能評価	達成	モビリティ車内の全体俯瞰映像の安定ライブ配信を確認
	C) 通信品質の確認	4K 180のライブ配信ソリューション映像データ送受信のスループット・パケットロス・遅延の測定	達成	4K 180° ライブ配信ソリューションを固定帯域3Mbpsで設定、パケットロスなし、遅延270±30msec
	②8K定点カメラによる患者映像コミュニケーションシステム	A) 地域モビリティでの8Kカメラ配信	8Kストリーミングカメラのライブ配信	達成
外付けコーデック機器の解像度・フレーム数・圧縮方式の設定評価			達成	固定帯域10Mbps、H.265、60fpsで設定し映像の安定品質を確認
B) 遠隔拠点での映像確認・操作性の確認		8Kカメラの視野コントロール(最小1/16までの切出し視野位置のジョイスティック操作)	達成	元画像からの画角選択切出し機能を確認(切出し枠サイズ変更・位置変更) ジョイスティック操作の正常を確認
		カメラ視野全体映像のディスプレイ表示	達成	ディスプレイ映像表示の正常性を確認

大項目	中項目	小項目	検証結果	備考
		1/16 切出し 8K 映像のディスプレイ表示	達成	ディスプレイ映像表示の正常性を確認
		1/16 切出し 8K 映像のディスプレイ表示	達成	ディスプレイ眼鏡での映像表示を確認
	C) 通信品質の確認	8K ストリーミングカメラ映像データ送受信のスループット・パケットロス・遅延の測定	達成	固定帯域 10Mbps で設定、パケットロスなし、遅延 230±30msec
③ 検査機器映像リアルタイム配信システム（エコー映像、ダーモスコープ映像）	A) 地域モバイルでのエコー映像やダーモスコープ映像の伝送	エコー機器出力画面のリアルタイム配信 (FHD)	達成	エコー映像出力のライブ配信を確認、ロス・ノイズなし
		ダーモスコープ機器出力画面のリアルタイム配信 (FHD)	達成	ダーモスコープ映像出力のライブ配信を確認、ロス・ノイズなし
		外付けコーデック機器の解像度・フレーム数・圧縮方式の設定評価	達成	固定帯域 3Mbps、H. 265、30fps で設定
		検査機器映像のディスプレイ表示	達成	ディスプレイ映像表示の正常性を確認 医療関係者による色彩の違和感なしを確認
	B) 通信品質の確認	映像データ送受信のスループット・パケットロス・遅延の測定	達成	固定帯域 3Mbps 設定でパケットロスなし、エコー映像遅延測定 310 トロスなし、エ、ダーモスコープ遅延測定 270 トロスなし、エ

表 4.3.6 課題実証検証結果(リアルハプティクス)

大項目	中項目	小項目	検証結果	備考
リアルハプティクスシステムによるエコー機器の操作	A) モビリティおよび遠隔拠点でのリアルハプティクスシステムによるエコー機器・ダーモカメラの操作	エコープローブの装着性	達成	エコー用把持具による装着・操作の安定性を確認
		ダーモカメラの装着性	達成	ダーモカメラ用把持具による装着・操作安定性を確認
		遠隔操作拠点の操作用グリップの装着性	達成	遠隔操作拠点の操作用グリップの装着・操作安定性を確認
		位置合わせ・キャリブレーション設定機能	達成	診察シナリオに合わせて位置合わせの設定、初期位置からの再開を確認
		エコープローブの動かしやすさ	達成 (課題有)	ロボットの可動域で安定して動かすことが可能。 プローブとエコー間に専用ケーブルが装着のため操作時に注意が必要。 エコー用把持具が大きいためベッド等に接触する可能性がある
		ダーモカメラの動かしやすさ	達成 (課題有)	ロボットの可動域で安定して動かすことが可能。 電源や HDMI ケーブルが装着のため操作時に注意が必要。 ズーム等のボタン操作に慣れが必要。
		遠隔操作拠点の操作用グリップの動かしやすさ	達成 (課題有)	ロボットの可動域で安定して動かすことが可能。 安定した操作のためには肘掛けなどの腕を固定する支持具があると良い(医療関係者の意見)
	B) 遠隔操作の正確性評価	力感フィードバックの設定機能	達成 (課題有)	制御装置へシェルコマンド投入で設定可能を確認。 ペン試験において力感フィードバックを等倍、2倍、3倍で評価したところ、倍率を上げ

大項目	中項目	小項目	検証結果	備考
				ると操作が重く感じる傾向があった。
		指定位置合わせテスト	達成 (課題有)	初期位置を正確に記憶・再現可能であることを確認。 操作時間が長くなるとマスター/コピーの位置同期に徐々にズレが蓄積して視覚的に違和感が発生しやすくなることから、数分の操作で初期位置に戻すオペレーションが良いことを確認。
		力感テスト	達成 (課題有)	マスター/コピーの操作者双方で触力感伝送があることを確認。 力感フィードバック倍率を上げると、操作の重さ、マスター/コピー間の同期動作の安定性（振幅発生）に影響があることから、ネットワーク遅延量による同期動作の安定性影響も考慮し、通信環境に応じたパラメータ設定チューニングが求められる。
	C) 通信品質の確認	制御データ送受信のスループット・ロス・遅延の測定	達成	帯域 0.1Mbps 前後、パケットロスなし、遅延 20±10msec
		映像伝送遅延とのギャップ測定	達成	プレ診療システム映像との遅延ギャップ約 200~300msec



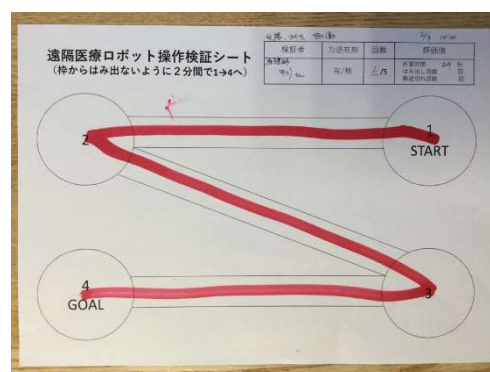
図 4.3.6 課題実証における 8K カメラとダーモカメラを用いたロボット操作の機能検証の様子 1

ペン試験は、バイラテラル・マスター/コピー制御の協働ロボットを操作して、「1 START」から 2・3 を経由して「4 GOAL」までマジックで線を描く試験(右図)。

途中で線が途切れた回数、±1 cmの誤差からはみ出した回数、および所要時間を計測し、操作の正確性に関する評価を行う。

リアルハプティクスの有効性検証として、以下の2つを実施した

- ①触感伝送の有/無による習熟度の比較評価検証
- ②力触感伝送機能を有する協働ロボット操作であれば、誰でも 10 回程度練習すれば、±1 cm 程度の誤差範囲での操作性を確保することが可能であること検証



バイラテラル・マスター/コピー制御の協働ロボットの特徴は、2 台のロボットが操作側であるマスターの動きが、操作されるコピー側へ一方向に伝わり動作するのではなく、コピー側の操作(ロボットの位置情報)もマスター側にフィードバックする双方向の操作となる。その結果、2 台のロボットは同じ動き・移動距離で動作をすることになるため、操作者にとっては直感的で操作しやすいという特徴がある。

また、ロボットが感じる力触感についても、双方向にフィードバック(共有)されるため、物に押し当てた力触感が、マスター/コピーの両方の操作者に伝わるため、力加減の補正を協調して行いやすくなるという特徴がある。

本実証で使用する「バイラテラル・マスター/コピー・ロボット」とは

どちらで**操作**しても、相手を**制御**できる（制御の双方向性）
どちらの**触感**も、相手にリアルタイムに伝わる（触感の双方向性）



マスター/コピーおよびバイラテラル制御の利点は、単に操作者の動作指令をコピー側に送るだけでなく、コピー側の状況が力触覚として操作者に伝えられる点であり、これにより直感性が高まり操作性が向上することが期待される。

図 4.3.7 バイラテラル・マスター/コピー・ロボットとは

表 4.3.7 リアルハプティクスシステム ペン操作での習熟検証①(5回操作での習熟度)

No	検証者	触感有無	回数	途中停止 (特異点)	特異点場所 (1~4)	所要時間	はみ出し 回数	線途切れ 回数	習熟評価	結果考察
1	A	無	1	●	1.9	00:34.2			×	3,4回目で完走しているが、線途切れ回数は4回目で増えており、5回目も途中停止している
2		無	2	●	3.0	01:04.1				
3		無	3			01:42.6	0	4		
4		無	4			01:06.2	0	5		
5		無	5	●	2.0	00:35.2				
6	B	無	1	●	2.3	01:18.3			×	4,5回目で完走しているが、線途切れ回数は5回目で増えており習熟できているとは言えない
7		無	2			01:24.6	0	4		
8		無	3	●	2.3	00:39.9				
9		無	4			01:15.4	0	1		
10		無	5			01:05.1	2	4		
11	C	無	1			01:02.0	1	1	△	3,4,5回目で完走している。1回目と5回目を比較して線途切れ回数は同じ1回だが、はみ出し回数が減少し、所要時間も短くなっている
12		無	2	●	2.0	00:34.2				
13		無	3			01:01.1	0	2		
14		無	4			00:56.4	0	3		
15		無	5			00:52.0	0	1		
16	D	有	1			01:56.5	5	8	○	3,4,5回目で完走している。1回目と5回目を比較して線途切れ回数もはみ出し回数も減少し、所要時間も短くなっている
17		有	2	●	3.0	01:11.6				
18		有	3			01:10.3	4	6		
19		有	4			00:51.5	3	5		
20		有	5			00:48.4	2	2		
21	E	有	1	●	1.6	00:18.3			○	2,3,4,5回目で完走している。3回目と5回目を比較して線途切れ回数もはみ出し回数も減少し、所要時間も短くなっている
22		有	2			00:47.4	2	3		
23		有	3			01:02.9	3	5		
24		有	4			00:53.5	3	2		
25		有	5			00:45.7	0	1		
26	F	有	1	●	3.9	01:36.5			○	4,5回目で完走している。2回目と5回目を比較して線途切れ回数もはみ出し回数も減少し、所要時間も短くなっている
27		有	2			01:16.9	2	3		
28		有	3	●	1.9	00:39.6				
29		有	4			00:56.0	2	3		
30		有	5			00:52.3	1	2		

上記の習熟検証①結果より、リアルハプティクスの触感伝送の有無がロボット操作の習熟に効果をもたらしていると考察できる。



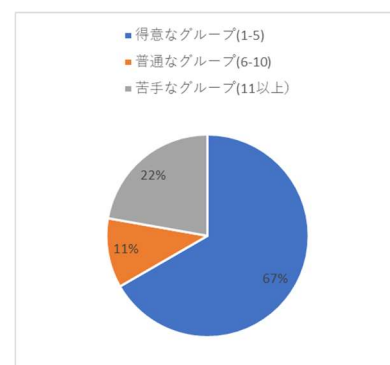
図 4.3.8 ペン試験の様子(遠隔:北大 FMI で実施)

表 4.3.8 リアルハプティクスシステム ペン操作での習熟検証②
(触感あり操作で、ペン操作をノーミスで完走するまでの回数を検証)

検証者	ノーミスまでの回数	備考
1	1	検証作業で 10 回以上操作した経験あり
2	4	検証作業で 5 回程度操作した経験あり
3	8	ほぼ操作経験なし
4	1	ほぼ操作経験なし
5	10	操作経験なし
6	18	操作経験なし、ギブアップ
7	15	ほぼ操作経験なし
8	1	操作経験なし
9	1	操作経験なし
10	5	操作経験なし
11	11	操作経験なし
12	3	操作経験なし
13	1	操作経験なし
14	1	操作経験なし
15	1	操作経験なし
16	1	操作経験なし
17	11	操作経験なし、ギブアップ
18	4	操作経験なし
平均	5.4	

表 4.3.9 検証②の集計結果

グループ	人数	割合
得意なグループ(1-5)	12	67%
普通なグループ(6-10)	2	11%
苦手なグループ(11以上)	4	22%
検証者合計	18	



上記の検証②の結果より、リアルハプティクスシステムを 10 回程度操作練習すれば、約 78% の人は、±1cm 程度の許容範囲が設けられた操作レベルが習熟可能と考察できる。

(ただし、操作が苦手な人も一定数は存在)

また、現地側（岩見沢市毛陽交流センター）のロボット操作によるペン試験検証②を実施したところ、88%の人が2回以内で習熟できている。

表 4.3.10 現地側(岩見沢市毛陽交流センター)のロボット操作によるペン試験検証②

現地ロボット操作

検証者	ノーマスまでの回数	備考
1	5	検証作業で5回程度操作した経験あり
2	1	検証作業で5回程度操作した経験あり
3	2	操作経験なし
4	2	操作経験なし
5	1	操作経験なし、看護師
6	1	操作経験なし、看護師
7	1	操作経験なし、看護師
8	1	操作経験なし、看護師
平均	2.0	

グループ	人数	割合
得意なグループ(1-2)	7	88%
普通なグループ(3-4)	0	0%
苦手なグループ(5以上)	1	13%
検証者合計	8	



図 4.3.9 ペン試験の様子(現地:岩見沢市毛陽交流センターで実施)

紙とペンが置かれた現地でのロボット操作ではあるが、同じように操作が苦手な人（成功までに5回以上かかる人）は一定数存在した。

さらに、マスター/コピー協働ロボットの特徴である“2台が同調して動く”ことの有効性を確認するために、遠隔/現地の操作者を「得意なグループ」「苦手なグループ」の組み合わせを変えて操作試験を行った。

表 4.3.11 現地側(岩見沢市毛陽交流センター)のロボット操作によるペン試験検証②
(同調有効性)

協働ロボット操作

遠隔者	現地者	結果
得意G	得意G	1回で成功
得意G	苦手G	1回で成功
苦手G	得意G	1回で成功
苦手G	苦手G	2回で成功

その結果、「得意なグループ」の人が遠隔/現地のどちらかにいれば、非常に安定した操作性が確保できること、また、「苦手なグループ」同士では、互いが操作ミスを補完しあう効果が生まれ、一人で操作するよりも高い正確性を発揮できることが確認できた。

(2) 運用検証

1) 検証項目

① 運用フェーズにおいて、地域モビリティの遠隔医療システム環境構築作業が、運用マニュアルの手順書や構成図を元にして、運用者が比較的簡易に実施可能となるかを検証する。

<プレ診療システム>

表 4.3.12 プレ診療システム運用検証項目

大項目	中項目
地域モビリティの医療機器準備とネットワーク接続	(ア)360度カメラの画角調整 (イ)180度4Kカメラの画角調整 (ウ)8Kカメラの設置 (エ)エコー機器準備・映像伝送 (オ)ダーモスコープ検査機器準備・映像伝送
遠隔拠点側の医療機器準備とネットワーク接続	(ア)360度カメラ用のHMD準備 (イ)8KカメラディスプレイとPTZ制御機器の準備 エコー機器映像ディスプレイの準備 (ウ)ダーモスコープ検査機器映像ディスプレイの準備 (エ)映像切替器等によるモニター切替え
遠隔医療の実施	(ア)皮膚科シナリオ (イ)産婦人科シナリオ
機器の撤収	各機器の撤収

<リアルハプティクスシステム>

表 4.3.13 リアルハプティクスシステム運用検証項目

大項目	中項目
リアルハプティクスシステムの準備	(ア)ネットワーク接続 (イ)位置合わせキャリブレーション
機器の撤収	ロボット機器の撤収

② 遠隔医療で専門医の診療科目毎に遠隔コンサルティングのシナリオと映像システムの活用方法を検証する。

表 4.3.14 遠隔コンサルティングのシナリオと映像システム運用検証項目

シナリオ種別	検査部位
皮膚科シナリオ	問診、視診、腕・手のダーモスコープ検査
産婦人科シナリオ	問診、視診、腹部のエコー検査

〈皮膚科検査での遠隔コンサルティングシナリオ〉

1. 患者を問診席へ案内（4K180度 IP カメラ・360度カメラで患者の移動の様子を確認）
2. 氏名・カルテ確認（電子カルテで患者のカルテ情報を確認）
3. 問診・視診（8k カメラで患者の患部全体を確認、TV 会議でコミュニケーション）
4. 皮膚科検査・ダーモカメラ操作&映像確認（8k カメラ切出し映像、リアルハプティクスシステムでダーモカメラ操作、TV 会議でダーモカメラ操作指示、ダーモカメラで患部の組織確認（主にほくろやシミのメラノーマ確認））
5. 検査内容の説明（TV 会議）
6. カルテ入力（電子カルテ）
7. 9. 患者退室（4K180度 IP カメラ）

〈産婦人科検査での遠隔コンサルティングシナリオ〉

1. 患者を問診席へ案内（4K180度 IP カメラ・360度カメラで患者の移動の様子を確認）
2. 氏名・カルテ確認（電子カルテで患者のカルテ情報を確認）
3. 問診・視診（8k カメラで患者の患部全体を確認、TV 会議でコミュニケーション）
4. 産婦人科検査・エコー操作&映像確認（8k カメラ切出し映像、リアルハプティクスシステムでエコープローブ操作、TV 会議でエコー操作指示、エコー映像で診療判断（産婦人科用ファントム模型を利用した確認））
5. 検査内容の説明（TV 会議）
6. カルテ入力（電子カルテ）
7. 患者退室（4K180度 IP カメラ）

2) 検証方法

地域モビリティでの遠隔医療システム環境構築の作業手順を記録し、運用マニュアルを作成する。なお実行においては遠隔医療で専門医が必要となる診療科目毎に遠隔コンサルティングのシナリオを作成し検証する。作成に当たっては医療従事者にフィードバックをいただき、通常診療と遠隔診療の差異を明らかにする。

- ・運用マニュアルの作成により作業の定型化・低コスト化に関する分析・考察を行う
- ・診療科毎の遠隔コンサルティングシナリオの作成により映像やロボットの利活用方法の分析・考察を行う

(イメージ)

[運用マニュアル]

[コンサルティングシナリオ]

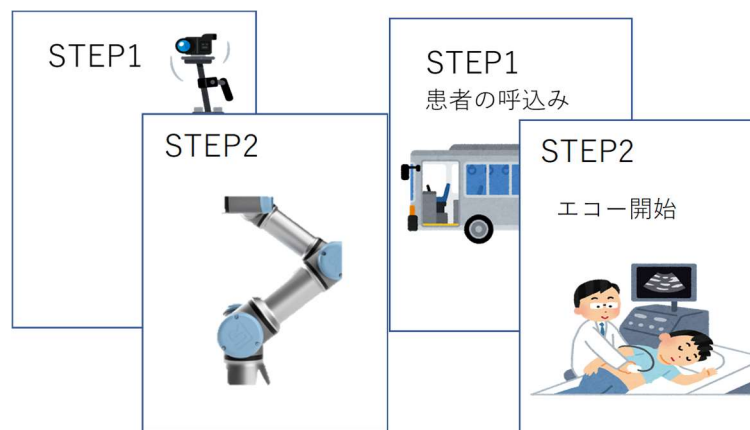


図 4.3.10 アウトプットイメージ図

3) 検証結果及び考察

表 4.3.15 課題実証検証結果(カメラ環境整備)

大項目	中項目	検証結果	考察
地域モビリティの医療機器準備とネットワーク接続	(カ)360度カメラの画角調整 (キ)180度4Kカメラの画角調整 (ク)8Kカメラの設置 (ケ)エコー機器準備・映像伝送 (コ)ダーモスコープ検査機器準備・映像伝送	○	バス車内にフレームを造形し機器設置位置を固定化 遠隔制御で画角調整可能を確認
遠隔拠点側の医療機器準備とネットワーク接続	(オ)360度カメラ用のHMD準備 (カ)8KカメラディスプレイとPTZ制御機器の準備エコー機器映像ディスプレイの準備 (キ)ダーモスコープ検査機器映像ディスプレイの準備 (ク)映像切替器等によるモニター切替	○	ロボット操作や診療しやすいディスプレイ設置位置を固定化 診療シナリオ毎のディスプレイ表示切替えパターン化
遠隔医療の実施	(ウ)皮膚科シナリオ (エ)産婦人科シナリオ	○	シナリオ手順化、TV会議でコミュニケーション
機器の撤収	各機器の撤収	○	マニュアルによる操作手順化

プレ診療システムの設置準備、利用開始/終了、機器撤収までの運用について、マニュアル化による操作の手順化や、設置位置をフレーム造形・ラック設置により固定化したことにより、日々運用が再現性高く実施可能であることを検証した

操作内容は、フレーム固定位置への機器取付け、電源 ON/OFF、PC 起動・アプリ起動という決まった内容であることから、医療用エコー機器の起動や設定操作が可能な程度の ICT スキルがあれば、実証機器の運用操作を習得することは可能と想定する。

表 4.3.16 課題実証検証結果(リアルハプティクスシステム環境整備)

大項目	中項目	検証結果	考察
リアルハプティクスシステムの準備	(ア)ネットワーク接続 (イ)位置合わせキャリブレーション	○	バス移動を想定し北村・毛陽で IP アドレス体系固定化 診療毎のロボット初期位置の固定化 操作者向け安全ガイドの作成と事前説明の実施 ロボット起動/停止等の運用操作マニュアル化 (触感フィードバック倍率変更などの特殊設定を含む)
遠隔医療の実施	(ア)皮膚科シナリオ (イ)産婦人科シナリオ	○	シナリオ手順化、TV 会議でコミュニケーション
機器の撤収	ロボット機器の撤収	○	マニュアルによる操作手順化 診療シナリオ毎に設置位置の変更を日々実施

リアルハプティクスシステムの設置準備、利用開始/終了、機器撤収までの運用について、マニュアル化による操作の手順化や、設置位置や診療シナリオ毎のアーム開始位置を固定化したことにより、日々運用が再現性高く実施可能であることを検証した

操作内容は、ロボット台座の固定位置への取付け、電源 ON/OFF、制御パネル操作という決まった内容であることから、医療用エコー機器の起動や設定操作が可能な程度の ICT スキルがあれば、実証機器の運用操作を習得することは可能と想定する。

(3) 効果検証

1) 検証項目

各システムについてオピニオン評価による妥当性・有用性の検証を実施する。

<プレ診療システム>

表 4.3.17 プレ診療システム効果検証項目

項目	対象者	内容
オピニオン評価による妥当性・有用性評価	遠隔医師、モビリティ医療関係者（看護師や検査技師）	遠隔診療としてプレ診療システムは有効性があるか
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 180度 4K IP カメラ/画角等コントローラー ・ 360度カメラ/HMD ・ 8k 切出し映像システム ・ TV 会議システム ・ リアルハプティクスシステム
		ルーラルエリアの専門医不足の課題に有効か <ul style="list-style-type: none"> ・ 診療科シナリオを体験し、専門医による遠隔診療への活用の有効か ・ 患者にとってモビリティでの診療に課題はないか
	モビリティ医療関係者にとって、従来以上の作業負担にならないか <ul style="list-style-type: none"> ・ 地域モビリティでの準備・運用作業 ・ 専門医とのコミュニケーション ・ 患者とのコミュニケーションやケア 	
	遠隔医師	視覚情報共有の評価
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 映像品質、没入感 ・ 操作性、使いやすさ ・ コミュニケーション性 ・ 診療判断できる情報が十分に得られるか
		地域モビリティ空間の評価
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 使いやすさ、安全性

項目	対象者	内容
		<ul style="list-style-type: none"> 温度・騒音などの環境要因 ローカル5G等のネットワーク環境
	モビリティ医療関係者	専門医への診療支援における課題はあるか <ul style="list-style-type: none"> 患者の状況確認・ケア、専門医との共有 診療内容の把握、専門医の指示の聞き取り 専門医が見ている映像情報の共有化
	エンジニアスタッフ	システム開始/終了準備に要する作業の課題はあるか システム利用中の運用課題はあるか

<リアルハプティクスシステム>

表 4.3.18 リアルハプティクスシステム効果検証項目

項目	対象者	内容
オピニオン評価による妥当性・有用性評価	遠隔医師、モビリティ医療関係者（看護師や検査技師）	遠隔診療として有効性があったか <ul style="list-style-type: none"> 操作しやすさ 操作の正確性 安全性
		ルーラルエリアの専門医不足の課題に有効か <ul style="list-style-type: none"> 診療科シナリオを体験し、専門医による遠隔診療への活用に有効か 患者にとってモビリティでの診療に課題はないか
		モビリティ医療関係者にとって、従来以上の作業負担にならないか <ul style="list-style-type: none"> 地域モビリティでの準備・運用作業 専門医との連携 患者とのコミュニケーションやケア
	遠隔医師	リアルハプティクスシステムの評価 <ul style="list-style-type: none"> 操作性 正確性 力触感

項目	対象者	内容
		<ul style="list-style-type: none"> • 視覚と力触覚のズレ（遅延） • 可動範囲 • 安全性
	モビリティ医療関係者	リアルハプティクスシステムの評価 <ul style="list-style-type: none"> • 操作性 • 正確性 • 力触感 • 視覚と力触覚のズレ（遅延） • 可動範囲 • 安全性
	エンジニアスタッフ	システム開始/終了準備に要する作業の課題はあるか システム利用中の運用課題はあるか

2) 検証方法

本実証では、モビリティ遠隔診療として最も経済性が高いと考えられる「DtoPwithN」の状況で、皮膚科・産婦人科の2つのシナリオを医療関係者が実体験し、インタビュー・アンケートによる官能試験を実施した。

実証開始にあたっては、本実証の概要、実証システム構成の概要（下図、本実証が目指すロボット活用法と、一般の認知度が高い手術用ロボットとのカテゴリの違い等）、ロボット操作における安全マニュアル説明を行い、リアルハプティクスシステムの簡単な操作レクチャーや触感体験を数回行い、ロボット操作に慣れてから診療シナリオの実体験を行った。また、専門医側（遠隔）/看護師側（モビリティ）の検証対象者が安全に操作するため、検証にあたってはロボット操作の習熟度の高いスタッフが反対側で操作を担当した。

本実証が取り組む“汎用的な診療支援ロボット”と“hinotori手術ロボット”との違い

本実証 (汎用的診療支援ロボット)	比較項目	Hinotori (手術ロボット)
診療所/中核病院の診察室	利用場所	手術室
ブレ診療(映像)システムと マスター/コピーの協働ロボットを 高速回線で接続	システム構成	オペレーションユニット、サージョンコック ピット、ビジョンユニットを 超高速LANで接続
汎用的な協働ロボット・産業ロボット を活用	ベースロボット	専用開発の8軸アームロボット
有り	力触感	無し
500万円～	導入コスト	1億円～
50msec程度 (50,000μsec)	許される通信遅延	10μsec以下
医師・看護師が10回程度の操作ト レーニングを行えば操作可能	操作者スキル・資格	全国3か所のトレーニング施設 で認定を受けた外科医
一般的な診察シーン や検査機器操作	利用シーン	内視鏡手術
1cm程度	診療に求められる 操作位置誤差	1mm以下

図 4.3.11 ロボット種類の違い

操作レクチャー後、医師・看護師には本実証シナリオを体験してもらい、インタビュー・アンケートを実施し集計した。

<アウトプットイメージ>

- ✓ アンケート結果一覧表・分析結果

3) 検証結果及び考察

北海道大学 FMI（医師側）と北村支所モビリティバス内（Sub6）、および毛陽交流センター（ミリ波）との間で、医療関係者 12 名に皮膚科・産婦人科の実証シナリオを体験してもらい、アンケートを収集した結果について（1～5 点評価の平均点/最低/最高点、自由記述意見）を下記に示す。

表 4.3.19 5 段階評価の設問(プレ診療システム)

分類	医師側	平均	最低	最高
プレ診療システム	遠隔側の IP カメラ映像（4k カメラ）の品質や操作感、現地側で IP 俯瞰カメラ映像(4K)の確認で、確認用モニター位置や映像品質に問題がなく活用できましたか？	5.0	5.0	5.0
	遠隔側の 8k カメラ映像の品質や操作感、現地側で 8K カメラ映像の確認で、確認用モニター位置や映像品質に問題がなく活用できましたか？	5.0	5.0	5.0
	遠隔側のエコー映像の品質、現地側からのエコー映像の配信は、トラブルなどがなくスムーズに実証できましたか？	5.0	5.0	5.0
	遠隔側のダーモカメラ映像の品質はいかがでしたか？	5.0	5.0	5.0
	全体を通して、映像のネットワーク遅延が無く安定し、映像配信はトラブルが無く品質が安定していましたか？	5.0	5.0	5.0
	ヘッドマウントディスプレイ（HMD）による没入感・リアリティはありましたか、現地側からの 360 度カメラ映像の配信は、トラブルなどがなくスムーズに実証できましたか？	5.0	5.0	5.0
	HMD での「映像酔い」などの不快感はなかったですか	5.0	5.0	5.0
	遠隔側から映像制御や切替えにより、見たい対象物を選んで見ることができ、医師側で行う映像切替えなどの指示に従い、現地側での看護師役等のサポートがスムーズに実施できましたか？	4.9	4.0	5.0
	ジョイスティック等によるカメラ視野の操作はスムーズに使い、医師側でのジョイスティック等によるカメラ画角の操作している状況や医師が見ている映像の共有が行われて、医師側の診療状況を把握できましたか？	4.9	4.0	5.0

分類	医師側	平均	最低	最高
	医師側の視聴環境（姿勢・椅子等）、現地側の椅子・ベッドなど、実証環境は問題なく遠隔診療シナリオで利用できましたか？	4.7	4.0	5.0
	遠隔地の俯瞰的な映像/患者の状況映像/検査映像など、映像のマルチアングル切替えはスムーズに確認できましたか	5.0	5.0	5.0
	TV 会議による医師側とのコミュニケーションは、問題がなかったですか？	4.7	2.0	5.0

表 4.3.20 5段階評価の設問(リアルハプティクスシステム)

分類	医師側	平均	最低	最高
リアルハプティクスシステム	ロボットアームの操作性（動きの重さ、移動の滑らかさ、遠隔時の方向の違和感）、ロボットアームが遠隔操作された時の動きは、滑らかさ、振動など違和感がなく動作していましたか？	4.7	3.0	5.0
	ロボットアームの操作範囲は、患者役や補助する看護師役の位置を踏まえて、検査に対応できる状況でしたか？	4.0	2.0	5.0
	ロボット制御は遅延が無く操作や触感のレスポンスが安定し、ロボットアームが患者を強く押すなどの事象がなく安全でしたか？	4.9	4.0	5.0
	触感は感じられましたか、ロボットで機器が触れた感じは人が使う場合と比べて違和感がありましたか？	4.7	2.0	5.0
	「触感と視覚」の伝達に、遅延やズレなどの違和感がありましたか	4.8	3.0	5.0
	総合的に力感フィードバックの「力加減」は十分でしたか？	4.0	3.0	5.0
	ロボットアームの緊急停止テストで、停止が遅れるなどの危険性を感じましたか？	4.6	3.0	5.0
	操作環境（姿勢・椅子等）、検診バスなどの狭い設備を想定した現地側の診療環境（椅子・ベッド、エコー、ダーモカメラ、ディスプレイ等の配置や距離感）は問題なく行えましたか？	4.3	3.0	5.0
	看護師役のエコープローブの遠隔操作支援はスムーズに行えましたか？	4.4	2.0	5.0
	ダーモカメラの遠隔操作はスムーズに行えましたか	4.8	4.0	5.0

表 4.3.21 自由記述意見

	プレ診療	リアルハプティクスシステム
(+) 意見	高齢者は合併症を発症するケースがあり、都市部の病院に行くべきか判断に迷うときに、医師が遠隔で診察してくれるのでとても良い。	エコー操作に充分使える。実際も手元は見ずにエコー映像だけで操作する。遠隔ロボットでもエコー画像だけを見て操作できた。 ロボットは思っていたより動作が軽く操作しやすかった。
	ダーモスコピーの画像が鮮明で、すばらしかった。ダーモやエコーの画像も文句ない。肌の細部まで見えとても良かった、実際の診察でとても有効。	ロボットが双方向なので教育や研修にも使える。触感も共有できるから、専門医がエコーの動かし方と説明を手でも体験できりから、良い教育カリキュラムになる
	8k 映像には満足。IP4K カメラも良い、どちらも診療に使える。映像とロボット操作のズレ(遅延)は、特に気にならなかった。360 カメラは没入感がある。画像が綺麗で文句ない。遅延は全く気にならないレベル	ロボットが協働で双方向性があるのが良い。現地の人があててくれるから、少し動かすだけで見たい場所が良く見える・ロボット操作は、最初は違和感あったが徐々に慣れてきた。触感が感じ取れるのが良かった。
	医師側とのやり取りはスムーズに意思疎通ができていた。TV 会議画面や検査映像を一緒に見て医師と会話ができてとても良い。医師の顔が画面越しに見えたので、医師とのコミュニケーションがスムーズに行うことができた。	年寄りには水がまったり、心不全になったりするのではエコーは様々な診療に有効だと思う。他に心電図にも使えそう。
	バスの中でも、診療シチュエーションに合わせてカメラが設置できていて操作しやすい。ロボット操作方向とカメラ視野は同じ方向に合わせていないと動かすににくい、違和感がなく操作できた。	不妊治療、胎児に疾患がある場合の診察では毎日エコーをとるので、このような環境があるととても良い。 胎児に疾患がある方は、どうしても都市の病院に行かなくてはならないが、このような環境があるととても良い。
	緊急停止はボタン押して直ぐにロックされるので安心に感じた	災害時の避難所での診察にも使えるかもしれない。
(-) 意見	バスの中なので診療するには狭く感じた。バス診療には、歩ける患者さんが来ると思うが、限られた空間なので患者の協力も必要になる	長く操作すると腕がだるくなった。ロボットアームの操作の際には、肘をおける場所(肘レスト)があればロボット操作が容易になる。

	プレ診療	リアルハプティクスシステム
	<p>バスの中で、モニター（医師との対話）や患者の対応、立ち位置（カメラ映り込み）など気にする箇所が多いので死角になるから注意する場所がわかると良い</p> <p>モニターの位置は患者の顔と操作が視界に入る位置が望ましい。とにかく、患者の顔が見られる（見やすい）のが大事</p>	<p>ロボットの関節が多いためどうしても操作感が重くなる。</p> <p>アームの抵抗がもう少しあるのかと思ったが、思いのほかスムーズに動いていた。ただ、ジェルが少なくなると抵抗を感じたロボットが重たい。ダーモスコピーについては現地の看護師・保険師が当ててもらったことでも診察は可能。</p>
	<p>看護師一人でやるのが沢山あるので、モニター操作などは専門技士が別にいてくれると助かる</p>	<p>患者の顔を見たり、エコープローブを見たりする際に、ロボットがあるため見づらくなっていた。ロボットに取り付けた場合、ダーモカメラのズームボタンが押しづらい。</p>
	<p>バス内のため、暖房をつける時などエンジン音などの騒音で医師の声（指示）が聞こえづらいことがあった。</p>	<p>ロボットアームについては可動範囲が課題。エコーもダーモスコピーも色々な部位を診るので、それをカバーできるようにロボットを選定できれば良い。</p>

(4) ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

実証結果を踏まえて、本モデルの有効性等に関する総評を下表で整理する。

本モデルの構成要素となる「プレ診療」「リアルハプティクスロボット」は、ローカル 5G の「高帯域・低遅延」の特徴が十分に発揮されることで、遠隔診療における有効性が高くなっていると考えられる。

表 4.3.22 有効性等に関する総評

ソリューション名	評価・検証項目	目標	検証結果	目標達成状況	考察及び対応策	
プレ診療システム	機能	1. プレ診療システムのカメラ品質確保 2. プレ診療システムの遠隔制御機能の評価	1. 映像劣化/ノイズ・ロスない映像伝送 2. 遠隔制御の安定動作	1. パケットロスなし 2. PTZ操作可能	1. ○ 2. ○	1. 8k/4k/エコー/ダーモカメラの映像伝送に固定帯域を割当て、映像遅延200~300msec 2. 操作NW遅延20±10msec
	運用	1. 医療機器接続等のシステム環境構築・運用 2. 皮膚科/産婦人科シナリオでの運用評価	1. システム起動までの短時間化 2. シナリオ変更時の構成変更作業の短時間化	1. 約10分 2. 約5分	1. ○ 2. ○	1. カメラ位置・照明等の機器位置のフレームによる固定化。モビリティ到着から約10分でのシステム起動(1人運用時) 2. シナリオ変更時、約5分で起動(1人運用時)
	効果	1. 医療関係者による皮膚科/産婦人科シナリオでの官能試験	1. 各項目3.0/5.0以上の評価	1. 全項目で4.0以上の評価	1. ○	1. 全項目で医療関係者から高評価を取得。コメントとしては「ロボット操作が重たく感じる」「ロボット操作範囲が限定されていた」など。今後、協働ロボットのモデル選定や軸のスムーズ動作性能改善で更なる向上を目指す
リアルハプティクス・ロボットシステム	機能	1. リアルハプティクスロボットの遠隔操作の安定性 2. 力触感の有効性 3. ロボット操作の習熟性	1. ロボット操作の安定動作 2. 触感有時にペン操作試験のミスが少ない 3. ペン操作試験で75%以上の人が10回以内に習得	1. 安定動作 2. ミス減少 3. 78%	1. ○ 2. ○ 3. ○	1. 操作NW遅延20±10msecで安定動作確認 2. 試験5回で触感有りが操作ミス少ないことを確認 3. 14/18人が10回以内に習得(平均5.4回)
	運用	1. リアルハプティクスロボットシステム環境の構築・運用 2. 皮膚科/産婦人科シナリオでの運用評価	1. システム起動までの短時間化 2. シナリオ変更時の構成変更作業の短時間化	1. 約10分 2. 約10分	1. ○ 2. ○	1. ロボット初期位置登録による運用。モビリティ到着から約10分でのシステム起動(1人運用時、把持具取替5分を含む) 2. シナリオ変更時、約10分で起動(1人運用時、把持具取替5分を含む)
	効果	1. 医療関係者による皮膚科/産婦人科シナリオでの官能試験	1. 各項目3.0/5.0以上の評価	1. 全項目で4.0以上の評価	1. ○	1. 全項目で医療関係者から高評価を取得。コメントとしては「ロボット操作が重たく感じる」「ロボット操作範囲が限定されていた」など。今後、協働ロボットのモデル選定や軸のスムーズ動作性能改善で更なる向上を目指す

医療関係者のアンケート結果より、「プレ診療システム」を活用した遠隔診療の有効性を確認できた。

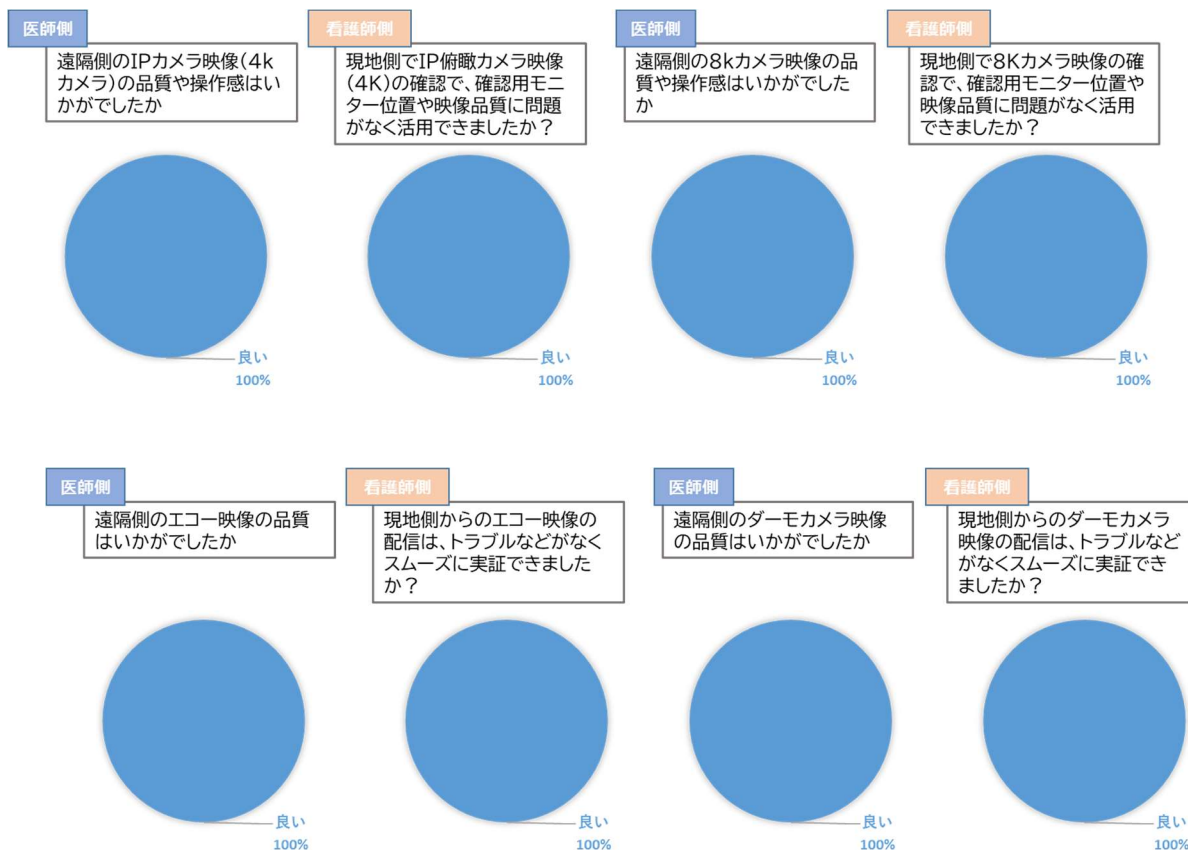


図 4.3.13 医療関係者のアンケート結果

患者データとして取得できる“情報量の違い”について、従来の「TV会議システムだけのオンライン診療」と、本実証の「+プレ診療システム」環境の比較を下表に整理。

(本実証) TV会議システム+プレ診療システム	取得できる情報量の比較	(従来サービス) TV会議システムのためのオンライン診断
◎ (マルチアングルで確認可能)	患者の顔・表情・声	○ (TV会議カメラ)
◎ (診たい場所をズーム可能)	り患している患部周辺の外観・様子	△ (患者が動く必要あり)
◎ (診たい場所を選択可能)	身体を動かしたときの患部の様子・表情の変化	×
◎ (検査機器のリアルタイム映像伝送)	検査機器に表示されるディスプレイ内容の共有	×
◎ (マルチアングルで確認可能)	検査機器を使用した際の患者の様子	×

図 4.3.14 環境の比較

上記のように、オンライン診断時の“患者の情報量”が増えることで、受診（通院）不要の助言、罹患の可能性のある疾患名の列挙、医薬品の使用に関する助言、心身への医学的助言といった、診察の品質向上に貢献することが可能と考えられる。

リアルハプティクス・ロボットシステムに関して、医療分野における新たな活用の可能性（“手術ロボット”以外の汎用的な診療シーンでの活用）が感じられる検証結果が得られた。

検証結果の評価	本実証 (汎用的診療支援ロボット)	比較項目	手術ロボット (Hinotori)
	診療所/中核病院の診察室	利用場所	手術室
	プレ診療(映像)システムと マスター/コピーの協働ロボットを 高速回線で接続	システム構成	オペレーションユニット、サージョン コックピット、ビジョンユニットを 超高速LANで接続
	汎用的な協働ロボットを活用可能	ベースロボット	専用開発の8軸アームロボット
操作検証で 有効性を確認	有り	力触感	無し
	数百万円～	導入コスト	1億円～
L5G遅延計測で 安定性を確認	50msec以下 (50,000μsec)	許される通信遅延	10μsec以下
操作検証で 実現性を確認	医師・看護師が10回程度の 操作トレーニングを行えば操作可能	操作者スキル・資格	専門のトレーニング施設で 認定を受けた外科医
	一般的な診察シーンや 検査機器の遠隔操作	利用シーン	内視鏡手術
操作検証で 実現性を確認	1cm程度	診療に求められる 操作の位置誤差	1mm以下

図 4.3.15 環境の比較2

4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証

(1) 経済性・市場性の検証

1) 検証項目

本モデルの実装性（経済性・市場性）に関する検証項目として、過去に行われた遠隔医療システムの実証等も踏まえて、どのようなビジネス上の課題があるのかを整理する。

＜遠隔医療の効率化に関する全体考察＞

遠隔医療システムを活用した場合と、他の方法でローカルエリアに医師を配置する場合を比較し、どのようなビジネス上の課題があるのかを検討する。その上で遠隔医療システム活用は、医師不足の解消・専門医偏在の解消を見込める事業モデルなのかを整備する。

表 4.3.23 遠隔医療の効率化に関する全体考察

整理項目	内容
一般状況整理	総合診療医や各科の専門医の医師不足の現状と 2030 年まで医師数増減の見込み
ローカルエリアの状況整理	気軽に病院へ行けないことによって想定される損失(重症化リスク試算)
	かかりつけ医にかかり、紹介されて専門医に見てもらいに行くまでのプロセスの実現性と、その日数やコスト試算 (A)
	専門医を常駐または定期派遣することの実現性、そのコスト試算 (B)
	地域モビリティと遠隔医療システムを活用したモビリティ検診モデル (DtoPwithN) のコスト試算、および専門医にかかるまでの日数比較
まとめ	(A) や (B) と比較し、(C) のコストを安価にできる可能性 (A) と比較して (C) の日数短縮による便益性

<検証・データ収集・シミュレーション項目>

表 4.3.24 検証・データ収集・シミュレーション項目

地域モビリティ	初期費用（MaaS 設備、遠隔医療設備、通信設備）
	運用費用（医師人件費、通信費、設備維持費、燃料費等）
	医療以外のサービスに適用することでの費用対効果
	搭乗員に必要な診療・コミュニケーション・機器操作スキル （医師だけでなく、看護師、技師でも対応可能か否かの確認）
	1 日で回る自治体数、患者数、移動距離、遠隔専門医師の確保時間
	巡回医療サービスの日程調整機能の提供方法（希望する患者、診療科、緊急性などの把握と日程調整機能）
	遠隔医療サービス時に得られる収入・診療報酬モデル
	育児休暇中の医師など、パートタイム遠隔医療に対応できる専門医の数と確保方法の評価
	搭乗員を「研修医」にできる可能性
	搭乗員を「看護師・技師」にできる可能性
リアルハプティクスシステム	横展開の可能性評価（エコー機器以外への展開）

<想定される制度的な課題>

診療報酬点数が健康保険法（大正 11 年法律第 70 号）等によって定められているため、医療分野においては先端技術を活用したソリューション導入は、医療機関の収入増加にはつながりにくい可能性がある。診療報酬が増加するには、将来的に国等において、先端技術を活用した医療の高度化やオペレーション改善等に取り組む医療機関に対してのインセンティブ付与などの検討につながる必要がある。

2) 検証方法

実証を進めて検証データが進んだ段階で、本コンソーシアムメンバーが集まる検討ワーキング会議を開催し、経済性・市場性の検証項目について議論を行う。(医師・看護師・技師の方に入っ
ていただく方向で関係者と調整中)

経済性・市場性の検証検討ワーキングは、いくつかのテーマ(地域モビリティ検討、医師ネット
ワーク構築検討、遠隔医療システム検討、ネットワーク基盤検討など)を分担し、実証期間内
に定期的な検討会を行うとともに、中間報告会・最終報告会への分析報告と提言を行う。

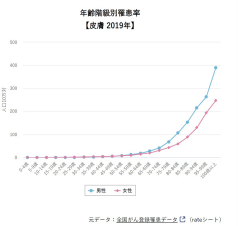
<検討WG内の分担(案)>

- ✓ 社会実装(地域活用)に向けた検討 : 岩見沢市
- ✓ 医師リレーション・システム構築検討 : 北海道大学
- ✓ ネットワーク基盤検討 : (株)NTT東日本 など

3) 検証結果及び考察

表 4.3.25 検証結果及び考察 1

整理項目	内容	検証結果及び考察
一般状況 整理	総合診療医や各科の専門医の医師不足の現状と2030年まで医師数増減の見込み	厚生労働省の「2020年(令和2年)医師・歯科医師・薬剤師統計の概況」を参考に都道府県レベルの診療科ごとの医師数推移についてはマクロに把握することができる。 しかし、都道府県レベルでは、圏域内の中心都市と過疎地域の格差が把握は困難となっている。 専門医による遠隔診療が必要な具体的ニーズを把握するには、患者が住んでいる市町村において、専門医が在籍する診療科毎の病院数や、診療科ごとの地域住民の顕在ニーズがどの程度あるかといったマイクロデータが必要。 マイクロデータを把握するには、各市町村の自治体職員や病院関係者などの有識者ヒアリング調査する方法が考えられる。
ルーラル エリアの 状況整理	気軽に病院へ行けないことによって想定される損失(重症化リスク試算)	地域の専門医不足の参考として北海道の自治体を例にあげると、皮膚科の病院・診療所がゼロである自治体は100/178市町(約56%) 北海道の人口は約538万人だが市部の81.7%(約440万人)を除く98万人×56%=55万人のうち、皮膚がんの罹患率「人口10万あたり20.0例を乗じると約110人の重症化リスクが顕在化している。また皮膚がんは年齢とともに罹患率が上がる

整理項目	内容	検証結果及び考察
		 <p>皮膚科の病院・診療所がゼロである市町村は 100/178 市町 (約 56%) だが、皮膚科の病院＝皮膚科専門医とならない。皮膚科専門医とは、指定病院でトレーニングを積み、5 年以上の診療実績、手術実績、研究実績、論文発表、学会発表など所定の条件をクリアした上で、日本皮膚科学会が行う認定試験に合格した皮膚科医であり、一般には、皮膚科を開業している医院の中で、皮膚科専門医は 3 割程度と言われている。</p> <p>そのため、皮膚科がある病院 78/178 市町でも皮膚科専門医の診断機会が得られない市町村はさらに多いと想定される。</p>
	<p>かかりつけ医にかかり、紹介されて専門医に見てもらいに行くまでのプロセスの実現性と、その日数やコスト試算 (A)</p>	<p>かかりつけ医での診療では、視診、ステロイド外用薬の処方、経過観察を経て、皮膚科専門医へ相談すると想定。</p> <p>皮膚科専門医の診療まで、自己負担 3 割の場合で、(A) 診察 1,800 円×3 回=5,400 円、30 日程度の不安な期間が発生すると想定</p>
	<p>専門医を常駐または定期派遣することの実現性、そのコスト試算 (B)</p>	<p>1 つの市町村に皮膚科専門医の開業を募集する場合のコストは、施設・設備費：約 2,000 万円、専門医年俸：2,500 万円と想定。</p> <p>北海道エリア総額は、道内 14 医療圏、100 市町村として試算 北海道 100 市町村での総額は、設備 20 億円+医師 25 億円</p> <p>ただし、開業しても人口密度が低いいため患者数の確保・病院の維持は困難と想定</p>
	<p>地域モビリティと遠隔医療システムを活用したモビリティ検診モデル (DtpwithN) のコスト試算、および専門医にかかるまでの日数比較</p>	<p>地域モビリティ+プレ診療システムのコスト：約 1,500 万円</p> <p>北海道エリア総額は、道内 14 医療圏、100 市町村として試算 北海道 14 地域の設備費総額：約 2.3 億円(センター1 拠点含) 北海道 14 地区の件費総額：約 3.8 億円(センター1 拠点含)</p> <p>医師は都市部で 5 名程度に集約して勤務可能、モビリティには看護師と運転手兼エンジニアの 2 名配備を想定</p>

整理項目	内容	検証結果及び考察
		各市町村に予約診療によるモビリティ巡回を行う場合、患者の費用負担は、診察 8,000 円×1 回（紹介状無し初診+5,000 円を含む）、専門医にかかるまでの待機日数は 3 日以下と想定
まとめ	<p>(A) や (B) と比較し、(C) のコストを安価にできる可能性</p> <p>(A) と比較して (C) の日数短縮による便益性</p>	<p>(C) < (B) コストであり、モビリティ巡回による専門医遠隔診療が効率的・経済的であることがわかる。また、(C) < (A) 日数であり、患者が不安な日を過ごす日数は大幅に減少すると想定される</p> <p>しかし、市町村毎、診療科毎に、専門医による診療を必要とする患者数を具体的に調査・把握しなければ、効率的なモビリティ巡回と専門医確保は困難</p>

(参考) 皮膚科の病院・診療所がゼロである市町村 (赤字: 100/178 市町)

北摂全域	右府地域の市町村	濃尾地域の市町村	播磨地域の市町村	四国地域の市町村	畿内地域の市町村	近畿地域の市町村	中国地域の市町村	上川地域の市町村	畿南地域の市町村	近畿地域の市町村	近畿地域の市町村	近畿地域の市町村	近畿地域の市町村	近畿地域の市町村	近畿地域の市町村	近畿地域の市町村	近畿地域の市町村	近畿地域の市町村	近畿地域の市町村	近畿地域の市町村
178	2	11	7	11	20	25	11	22	8	9	18	7	19	8	2					
100																				

表 4.3.26 検証結果及び考察2

整理項目	内容	検証結果及び考察
地域モビリティ	<p>初期費用 (MaaS 設備、遠隔医療設備、通信設備)</p> <p>運用費用 (医療関係者の人件費、通信費、設備維持費、燃料費等)</p>	<p><STEP1></p> <p>訪問介護用バス活用: 数万円/台~</p> <p>遠隔医療パッケージ: 100 万/台~</p> <p><STEP2></p> <p>中型バス改良: 数百万円/台~</p> <p>遠隔医療パッケージ: 500 万/台~</p> <p>医療関係者の人件費: 1,000 万/人年~</p> <p>他の運用諸経費: 500 万/台年</p> <p>遠隔地の専門医人件費: 2,000 万/人年~</p> <p>(複数地域での集約化が可能)</p>

整理項目	内容	検証結果及び考察
	遠隔医療以外のサービスに適用することでの費用対効果	MaaS 設備は遠隔医療以外と併用による費用削減を期待
	MaaS 搭乗員に必要となるシステム運用スキル習得	看護師や技師などの医療関係者であれば、バス内の診療シナリオオペレーションは可能 医療関係者の医療機器操作は習熟可能、プレ診療システムの起動等の操作はマニュアルで習熟可能、遠隔ロボット操作の支援は 10 回程度の練習で習熟可能
	訪問看護を例とした場合の、プレ診療活用により追加となる、患者対応時間、遠隔専門医師の確保時間	従来の訪問看護にプラスとなる時間は、 ①プレ診療システム開始/終了に要する準備の時間（約 10 分） ②エコー等の医療機器の遠隔映像共有を行い、専門医がプレ診療システムで遠隔診療を実施する時間（約 5 分） ⇒患者 1 人あたり合計約 15 分の診療時間追加 ⇒遠隔医師の確保時間は、②の 5 分に加えて患者カルテ等の確認と記録時間 10 分の計 15 分
	巡回医療サービスの日程調整機能の提供方法（希望する患者、診療科、緊急性などの把握と日程調整機能）	法定健康診断の案内と同様に、市町村にて住民へ専門医診断サービス（各種診療科）の案内と取りまとめを実施し、モビリティ検診事業者へ日時・人数を通知の上で日程確定する方法を想定
	遠隔医療サービス時に得られる収入・診療報酬モデル	プレ診療活用により追加となる収入・診療報酬の年額想定は、 北海道の一人当たりの診療費： 197,230 円 （一件当たりの通院日数は 1.44 日） 遠隔医療(オンライン)の対面比[想定]：80% ルーラルエリア（根室管内の病院を参考）の外來利用患者数：228 人/日×243 日÷1.44=38,475 人年 遠隔診療サービス活用率[想定]：2.5%(962 人) 197,230 円/年×0.8×962 人=151,788,208 円

整理項目	内容	検証結果及び考察
		と試算 また、患者からの診療収入の他に、遠隔医療促進事業、在宅医療提供体制強化事業等の補助金の活用も想定
	育児休暇中の医師など、パートタイム遠隔医療に対応できる専門医の確保方法の評価	特に皮膚科の場合は女性の比率が高く、出産等のライフイベントを機に辞める場合も多いことから、新たな業務形態として遠隔医療を行うことは有効と想定
	運転手を「研修医」にできる可能性	モビリティ車内での診療支援作業は、患者コミュニケーションも必要で集中力が必要なことから、運転手との兼任は困難と想定
	運転手を「看護師・技師」にできる可能性	モビリティ車内での診療支援作業は、患者コミュニケーションも必要で集中力が必要なことから、運転手との兼任は困難と想定
リアルハ プティク スシステ ム	横展開の可能性評価（本実証の診療シナリオ、及びそれ以外の診療内容への展開）	医療関係者の官能試験において、アンケートを実施し、本実証シナリオ、及びそれ以外診療への展開可能性を評価した

(2) 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

1) 検証項目

本実証の運用スキームとしては、ルーラルエリアを巡回する「地域モビリティ」、モビリティに乗る「運転手（兼エンジニア）」と「看護師」、そして、遠隔地（都市を想定）から診療を行う「専門医」の体制からなる。またモビリティには診療機器と「遠隔医療システム（プレ診療システム＋リアルハプティクスロボット）」、および、高速・低遅延の「ネットワーク基盤」が搭載される構成となる。

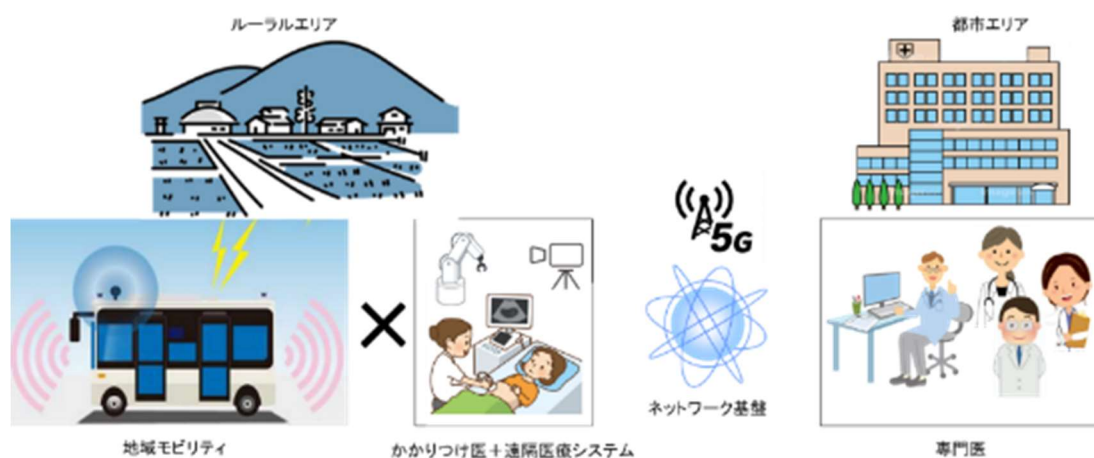


図 4.3.16 リアルハプティクスシステムによるエコー機器の操作イメージ図

運用スキーム・ビジネスモデル検証のポイントとなるのは、第一にルーラルエリアで遠隔医療を提供できる医師体制の確立である。本実証では、北海道大学産学・地域協働推進機構を中心として体制作りを検討・実施する。また、実証後の社会実装を考慮すると、本モデルの提供に必要な、看護師等、専門医の人数算出や地域モビリティ巡回を行うための様々なシミュレーションなどの検証が必要となる。

次に、ローカル5Gなどネットワーク基盤と遠隔医療システムについては、コスト対効果に関する評価を中心に検証する。専門医にとって満足のいく遠隔診療が実施できたのか、地域モビリティが活用できるローカル5Gネットワーク設計は十分に機能したのか、さらに効果を高めるための課題は何かを分析・整理する。

その上で、地域モビリティの初期・運用コストや遠隔医療サービスの導入効果・便益性との比較評価を行い、本サービス継続のためのビジネスモデル構築および将来的に横展開見込みのある地域特性の調査・分析を目指す。

2) 検証方法

前項の検証項目を検証するために、岩見沢市において本モデルの提供に必要となる、かかりつけ医（または看護師等）、専門医の人数算出や遠隔医療巡回シミュレーションを実施する。合わせて、将来必要となる、かかりつけ医、専門医の人数確保の実現性について評価する。

ローカル5Gなどネットワーク基盤と遠隔医療システムのコスト対効果については、実証に要した費用を元に、社会実装時の設備費・人件費・通信費などの費用算出、遠隔医療サービスによる収益や、医療費削減効果などの便益性を加味し、コスト対効果の評価を行う。

3) 検証結果及び考察

本実証における運用スキーム・ビジネスモデルとして、モビリティを活用した「遠隔診療サービス」の展開イメージを下図に示す。

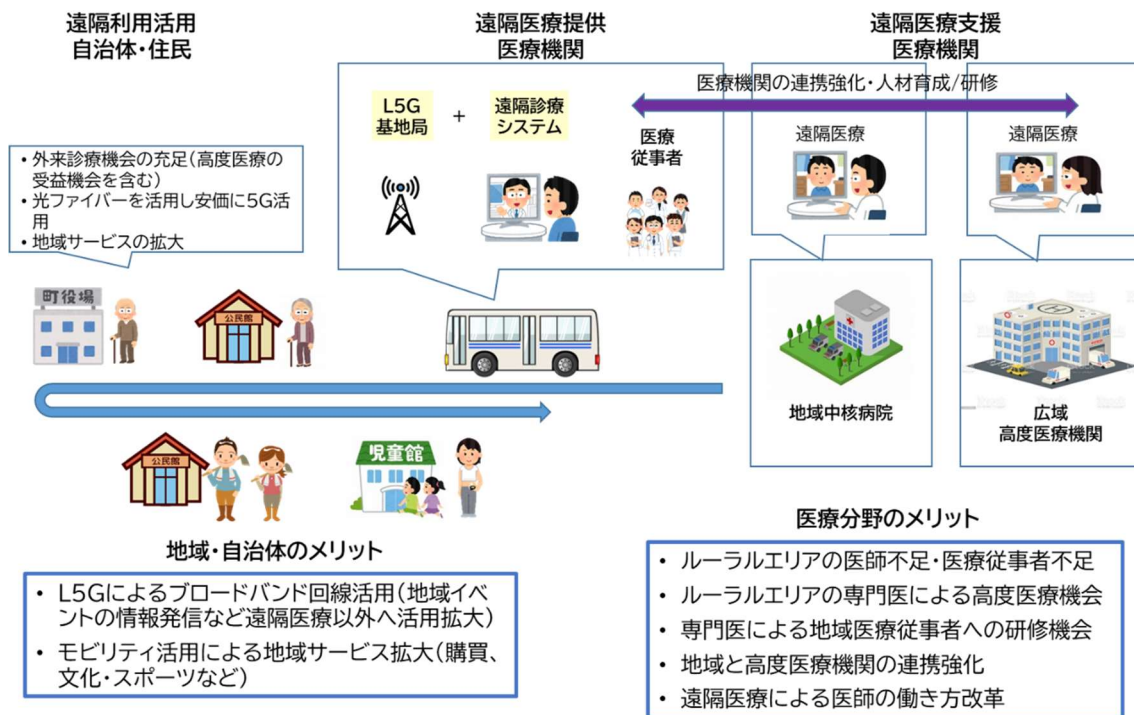


図 4.3.17 遠隔診療サービスの展開イメージ

モビリティ車内に5G端末を搭載し、遠隔診療システム一式と看護師などの医療従事者を乗せて、ルーラルエリアの保健施設・公民館等を巡回し遠隔診療サービスを提供する。遠隔地では遠隔医療支援医療機関がオンデマンドで専門医などによる遠隔医療サービスを提供する。

(3) ローカル 5G 活用モデルの構築

1) ローカル 5G 活用モデルの全体像

下記のシステム構成で、ローカル 5G 活用モデルを展開することを想定する。

①プレ診療システム

NTT 東日本（北海道事業部）が、「プレ診療システム」をソリューション化し、病院・診療所や検診サービスを行う医療機関向けに提供

②リアルハプティクスシステム

NTT 東日本（地方創生部）が、医療機器ベンダ等と連携し薬機承認を得てリアルハプティクスシステムによる「遠隔診療支援ソリューション」を提供

a. ターゲット

専門医による診療機会が少ない地域の住民を想定。本実証エリアである北海道の自治体を例にあげると、皮膚科の病院・診療所がゼロである自治体数は 100/178 市町村。

この 100 市町村の住民には“病気かどうか気になっているが専門医に診てもらうのに行くのが面倒”などの理由で診療していない潜在ニーズがあると想定され、法定健康診断などの際に“専門医に直接診断してもらえるオプション検診サービス”を提供することで、病気の早期発見につながる可能性がある。

また、100 市町村の中には、厚労省が定義する「無医地区」「準無医地区（無医地区に準じる地区）」が含まれる。令和元年 10 月末日の厚労省調査によると、無医地区数は、601 地区となり無医地区人口は 128,392 人とされている。また、地域に一次医療機関（かかりつけ医相当）はあるが、地域中核病院などの二次医療機関までの移動時間が 1 時間（50km 程度）以上離れているエリアの一次医療機関もターゲットと想定している。

b. 対象となるシステム

① プレ診療システム

機能要件	内容
解像度	4K 以上（推奨 8K）
フレームレート	30fps 以上（推奨 60fps 以上）
映像圧縮コーデック	H. 265 に対応
画角	110° 以上の広角対応
映像遅延	300msec 以下
同時伝送映像数	UL 4ch 以上（医師、患者全体、患者患部、検査機器映像）
連続使用可能時間	8 時間以上
遠隔からの画角制御	カメラのパン・チルト・ズーム制御
映像伝送の機能	固定ビットレート伝送方式の対応

非機能要件	内容
可用性	ローカル 5G のバックアップ回線があること
拡張性	検査機器が増えた場合でも 8ch 程度まで映像選択対応ができること
運用保守性	運用マニュアルによりシステム立上げ/終了手順が確立でき、10 分程度で作業ができること
セキュリティ	外部からの不正アクセス・盗聴・情報漏洩ができないこと

② リアルハプティクスシステム

機能要件	内容
ロボットアーム同調動作機能	マスター/コピー双方向のロボットアーム同調動作機能を有すること
可動範囲	30cm×30cm×30cm 以上の可動範囲を有すること
緊急停止機能	即座に駆動モーター停止レベルで緊急停止できること
力触感伝送機能	マスター/コピー双方向の力触感伝送機能を有すること
力触感フィードバック	1/2/3 倍の力触感フィードバック率を設定できること
遅延	ネットワーク遅延が 50msec 以下であること
連続操作時間	連続 3 分以上の操作が可能なこと
初期位置設定	検査シナリオ毎にロボットアームの初期位置を設定でき、再開時に初期位置合わせする機能を有すること

非機能要件	内容
操作性	50%以上の人が 10 回以内に誤差±1cm で安定的に操作できるようになること
安定性	1日に30回以上利用した場合でも、ロボットアーム操作の負荷などで操作者に身体的負担を与えないこと
運用保守性	運用マニュアルによりシステム立上げ/終了手順が確立でき、10分程度で作業ができること
セキュリティ	外部からの操作乗っ取りができないこと

診療例

婦人科シナリオ(遠隔エコー診断)	皮膚科シナリオ(遠隔カメラ撮影診断)
<p>①患者情報確認・問診 [かかりつけ医・専門医]地域モビリティ内の患者情報・病状確認(電子カルテや検査結果共有システム等を活用し情報連携)</p>	<p>①患者情報確認・問診 [かかりつけ医・専門医]地域モビリティ内で患者情報・病状の確認(電子カルテや検査結果共有システム等を活用)</p>
<p>②診療 [かかりつけ医] 地域モビリティ(バス)内で検査等を実施 バス内各映像等は専門医に低遅延送信</p>	<p>②診療 [専門医] 8Kのカメラ等を用いて遠隔から患者の患部状況を視認</p>
<p>③遠隔診療支援 [専門医] 遠隔からリアルハプティクスシステムを用い検査等実施</p>	<p>③遠隔診療支援 [専門医] 遠隔からリアルハプティクスシステムロボットを用いダーモスコープ(拡大鏡)を用い患部接写・診療支援</p>

c. ビジネスモデル

北海道の一次産業が多い地域では、農薬等の利用により皮膚科罹患者が多く、かつ、高年齢ほどほくろやシミが皮膚がん罹患になる可能性は高まることから、本実証での評価が高い皮膚科向けプレ診療システムのソリューション提供を先行して進める。

専門医が不足している市町村にとっては、既存の病院施設に常駐する専門医を募集した場合、既存の病院施設（かかりつけ医）にプレ診療システムを導入し、DtoD モデルで遠隔診療サービスを提供した場合、ローカル5G 基地局を設置しモビリティ巡回検診を活用した場合、の事業性比較を検討することを想定。

具体的には、下図のような ① (DtoP) オンライン診療、② (DtpwithN) MaaS 遠隔診療、③ (Dtd) 遠隔相談の3つのモデルが考えられる。

①は、いわゆるオンライン診療となるが、TV 会議+プレ診療システムを使うことで患者自身が利用できる検査機器データを専門医と共有し診療に活用できる。②は、訪問看護や健康診断のように看護師が医師の指示で患者対応を行うモデルとなる。患者自身では操作が困難な医療機器については看護師が遠隔医師の指示の下で操作したり、リアルハプティクスシステムを使い遠隔医師による操作を補助することで遠隔診療を実現する。訪問看護の場合は患者宅や周辺に駐車したモビリティ車内での利用が想定され、健康診断の場合は、保健所や公民館などの公共施設や周辺に駐車したモビリティ車内での利用が想定される。

③は DtoD で病院内のかかりつけ医と遠隔の専門医による遠隔診療となる。③モデルはオンライン診療の制度が進んだ現状でも診療報酬が認められておらず、現状ではルーラルエリアの病院支援を対象とした遠隔診療補助事業としての報酬の仕組みを活用することとなる。

今後、オンライン診療等の ICT を活用した診療サービスへの診療報酬の枠組みの拡大により、3つの遠隔診療モデルをハイブリッドに組み合わせた新しいスタイルが確立されることが期待される。

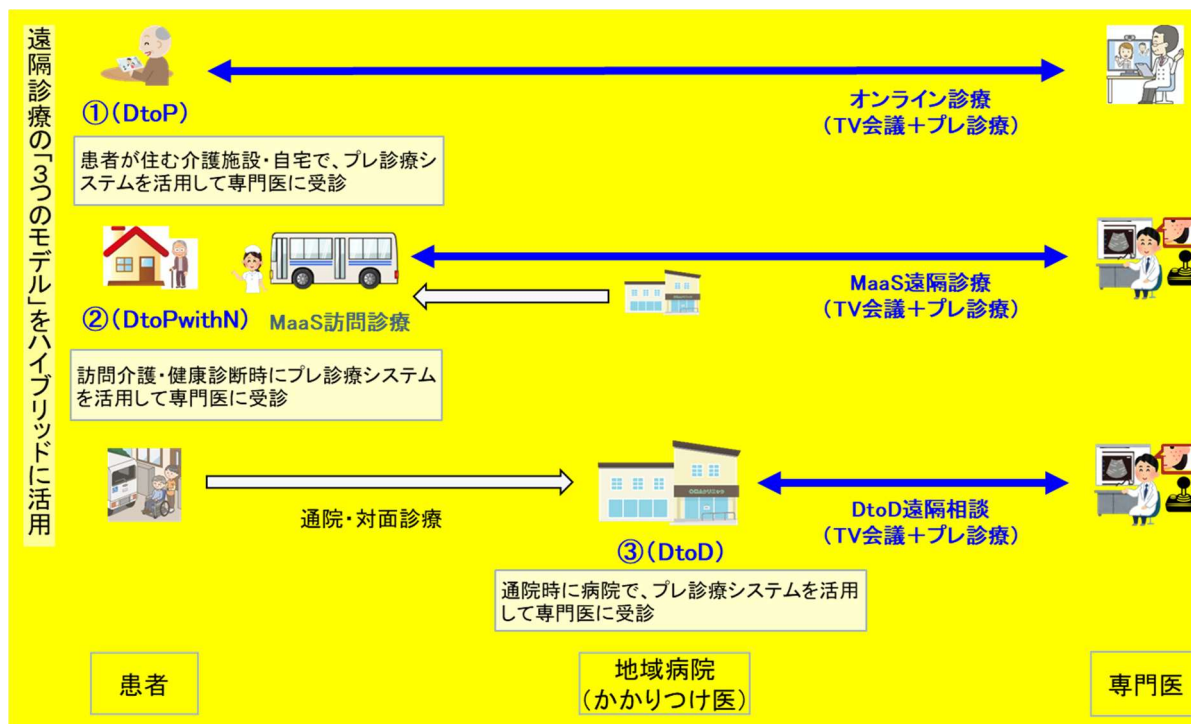


図 4.3.18 3つのビジネスモデル

ローカル 5G は、サービス事業者が整備した環境と、自治体が地域の情報基盤として整備した環境を利用する場合のどちらも活用する。当面、自治体で今回のプレ診療システム等の医療サービスは同インフラを用いて展開することも考えられるが、ローカル 5G を用いたシステムの積極的活用や集客効果、整備するインフラ・システムのコスト早期回収化を考えると、医療のみならずプレ診療に関連する（医療・美容）教育や地域健診など複合的にサービス提供していくほうが実用に資すると思われる。とりわけ定住促進や出生率の向上等を鑑みると、学童へのサービス展開などへも活用を考えていくべきと考える。例えば同地域ではスマート農業の取り組みが盛んにおこなわれているため、一次産業従事者のプレ診療ニーズに応える場合、スマート農業向けに設置する情報基盤やローカル 5G を医療向けにも活用すると、一次産業生産者が移動することなく圃場でサービスを受けることができるなど、スマートシティが目指す方向性の具現化に近づくことも考えられる。

2) 体制・役割分担

実装計画項目	責任主体	役割（案）
(1) ローカル5G	<ul style="list-style-type: none"> 東日本電信電話株式会社 北海道事業部 BI 部 (株) はまなすインフォメーション 岩見沢市 	<ul style="list-style-type: none"> 機器免許の検討 機器設置・設定内容の検討
(2) プレ診療システム	<ul style="list-style-type: none"> 東日本電信電話株式会社 北海道事業部 BI 部 岩見沢市 北海道大学 産学・地域協働推進機構 (株) アストロステージ 	<ul style="list-style-type: none"> ソリューション開発・提供 ニーズ調査・把握 自治体への提案
(3) リアルハプティクスシステム	<ul style="list-style-type: none"> 東日本電信電話株式会社 BI 部 地方創生推進本部 東日本電信電話株式会社 北海道事業部 BI 部 岩見沢市 北海道大学 産学・地域協働推進機構 	<ul style="list-style-type: none"> ソリューション開発・提供 ニーズ調査・把握 医療機器の薬事承認検討
(4) モビリティ連携	<ul style="list-style-type: none"> 東日本電信電話株式会社北海道事業部 BI 部 岩見沢市 北海道大学 産学・地域協働推進機構 	<ul style="list-style-type: none"> モビリティ要件の整理 市内の交通事業者との折衝・調整 北大 COI-NEXT の MaaS 活用計画との連携
(5) 事業化検討	<ul style="list-style-type: none"> 東日本電信電話株式会社北海道事業部 BI 部 岩見沢市 北海道大学 産学・地域協働推進機構 	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔検診サービスの要件整理 専門医・かかりつけ医のニーズの把握 役割分担・体制検討

遠隔診療サービスの実施主体は「地域病院」を想定。遠隔診療を支援する「専門医」は現状は個別契約となるが、将来は遠隔診療ドクターバンクのように登録・調整可能となることが期待されるスマートシティ型の情報基盤構築が進むと想定される。

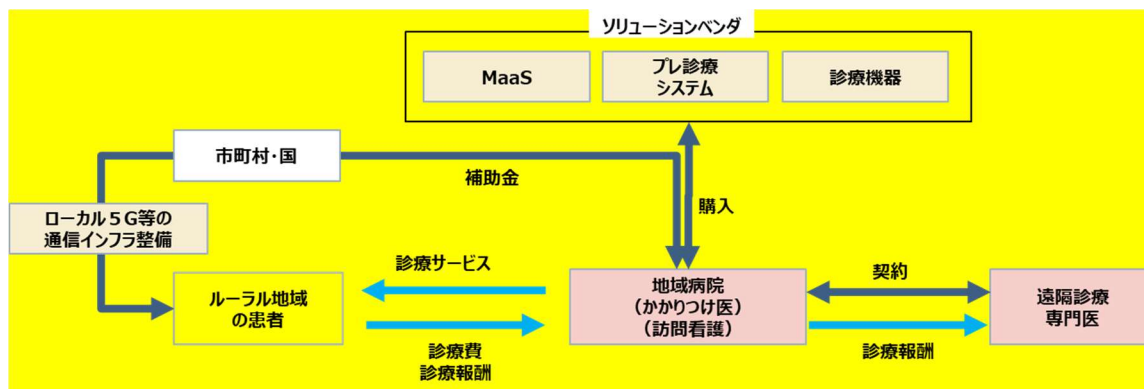


図 4.3.19 サービス提供の流れ

3) 導入効果

プレ診療システム・リアルハプティクスシステムはともに幅広い自治体・病院で導入効果があると想定される。ターゲットは未病や予防医療の分野であり特に患者の疾患心配を取り除くという意味では、保険適用外に患者の任意ニーズに応えられる可能性がある点で高いニーズひいては導入効果が望める。特に一次産業を生業とするルーラルエリア特有の皮膚疾患や出生率向上につながる不妊治療など保険診療回数の制限があるものに対する解決などが一例である。

(例)

- ・皮膚疾患：患者の美容・ニキビ治療・シミなど（悪性腫瘍か否かの判断など）
- ・不妊治療：制度改正後も保険診療適用は6回まで

(4) 実装性を高める手法の検討及び実行

ローカル5G活用モデルの社会実装に向けて、実証期間中に障壁やミッシングピースを明らかにする。想定する障壁やミッシングピースとなる項目は下記のとおり。

- (A) 本実証システムは、現下の国民皆保険制度において診療報酬として認められてない
- (B) リアルハプティクスシステムでの遠隔診療には、医療支援機器としての薬機承認が必要
- (C) 遠隔検診サービスを提供する医療機関の持続可能なビジネスモデルの確立

本実証では、有効性検証、運用性検証ともに本事業の目的を達することができたとともに、導入する医療機関等があれば、ソリューションの追加開発等を行うことなく、技術的な課題はない。

しかしながら、現下の国民皆保険制度において、診療報酬として認められてないシステムであることから、医療機関における導入への障壁は高い。特に、リアルハプティクスシステムは直接患者の身体に触れる行為を支援するロボットであることから、「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」（通称「薬機法」）における「薬機承認」が必要不可欠となる。また、医療機関への実装・横展開を図るためには、販売数など規模の経済性追求による一層のコストダウンや、本システムを導入した医療機関にとって収入増となるビジネスモデルを確立することが不可欠である。

本実証はルーラルエリアにおける高度医療体制の確立による少子高齢化の解決を目標としている。これらの医療分野における課題解決の効果が検証された場合、本実証システムは本業務区域と同規模の様々な自治体でも導入意向を持ってもらえると考えている。このように、ローカル5Gの特性を活かしたユースケースの効果が明らかにすることにより、利用者が導入メリットや費用対効果を判断し、導入に至ると考えられる。地域医療におけるローカル5Gの活用可能性は今後も検討が必要かと考えるが、医療現場におけるローカル5G活用モデルとしては、本実証はモデルケースとして挙げられると考えられる。

また、ローカル5G活用システムの実装性を高めるという点については、総務省が推進する「5Gソリューション提供センター」の活用が有効であると考えている。「5Gソリューション提供センター」の詳細を確認し、本実証期間中に効果的な連携方法についてまとめる。

その他、本実証に係る普及啓発活動以外で、ローカル5G活用モデルの普及展開の加速に向け、ローカル5G活用モデルを同様の課題を抱える他のユーザ企業等や他分野への普及するための方策等については、本実証代表機関である東日本電信電話株式会社の営業活動にて補うことを考えている。東日本電信電話株式会社は2022年5月よりマネージド・ローカル5Gサービス「ギガらく5G」の提供を開始した。「ギガらく5G」はトータルITアウトソーシング型サービスで、従来のオンプレ型と比較し、料金や構築・運用面でユーザ負担の少ない形で導入することが可能である。「ギガらく5G」はローカル5Gを活用した地域課題解決を目標とするとともに、パートナー企業と連携し、ローカル5G活用モデルを創出することも目標としている。東日本電信電話

株式会社では、「ギガらく5G」提供以前からローカル5Gの社会実装を目指し、「ローカル5Gオープンラボ」を国立大学法人東京大学とともに開設している。「ローカル5Gオープンラボ」ではパートナー企業やユーザ企業にローカル5Gを理解頂き、多様なユースケースの創出に取り組んでいる。今後も「ローカル5Gオープンラボ」の取り組みは継続し、創出されたユースケースと「ギガらく5G」と組み合わせることでローカル5Gの社会実装がさらに進展すると考える。

本実証モデルも活用モデルの1つとして多様なユーザへ紹介することができ、また、パートナー企業の技術と掛け合わせることで他分野への応用が期待できる。

また、本実証および実証後の具体的な普及啓発活動として、岩見沢市北村支所等での実証視察会を計画している。実証時期や内容については、コンソーシアムメンバーや各ステークホルダーと連携して詳細を決定し、合わせて、各コンソーシアムメンバーは、それぞれの立場を活用し、各種講演などの積極的なアウトリーチ活動を実施し、課題解決や横展開に向けた新たな仲間探しを進める。なお、アウトリーチ活動については、ステークホルダーに事前に通知・承認を得て実施する。



図 4.3.20 実装に向けた取り組み

1) 検証項目

- (A) 本実証システムは、現下の国民皆保険制度において診療報酬として認められてない
 - 本事業のローカル5Gシステム+プレ診療システム+リアルハプティクスシステムに関連した、遠隔診療、オンライン診療等の“ICTを活用した診療報酬の改定内容”
- (B) リアルハプティクスシステムでの遠隔診療には、医療支援機器としての薬機承認が必要
 - 本事業のローカル5Gシステム+プレ診療システム+リアルハプティクスシステム活用により、様々なシチュエーション・患者等で取得する“治験データ”
- (C) 遠隔検診サービスを提供する医療機関の持続可能なビジネスモデルの確立
 - ルーラル自治体や医療機関ユーザへの“本ソリューション導入に関する事業性に関するヒアリング評価”

2) 検証方法

- (A) 本実証システムは、現下の国民皆保険制度において診療報酬として認められてない
 - 本事業のローカル5Gシステム+プレ診療システム+リアルハプティクスシステムに関連した、遠隔診療、オンライン診療等の“ICTを活用した診療報酬の改定項目”の調査と評価
- (B) リアルハプティクスシステムでの遠隔診療には、医療支援機器としての薬機承認が必要
 - 本事業のローカル5Gシステム+プレ診療システム+リアルハプティクスシステム活用により、様々なシチュエーション・患者等で取得した“治験データ”の蓄積および、有効性の検証。また、関係行政機関との対応により取得した医療分野としての技術課題の分析・検証
- (C) 遠隔検診サービスを提供する医療機関の持続可能なビジネスモデルの確立
 - 「5Gソリューション提供センター」を活用することで、医療機関ユーザに効率的にローカル5Gや医療ソリューションに関する情報を収集・発信が可能かを検証。また、ルーラル自治体ユーザへ本ソリューション導入に関する提案を行い、事業性に関するヒアリングを実施し、ビジネスモデルの継続的な評価・改善を実施

3) 検証結果及び考察

①医療現場におけるローカル5Gの活用モデル創出について

<ヒアリング結果>

- ・ローカル5Gコストは課題
 - ・活用内容については及第点、導入してみたいと思うが、運用整理は必要
- ※アンケート調査については4.3.1(3)3)を参照

<考察>

- ・どの自治体、医療関係者もローカル5Gのコスト感と既存かかりつけ医との役割分担、市民への啓蒙等への課題感があることがわかった。またモビリティや医療資源について地域との共用ができればなどの意見をj得ることができた。一方でシステムへの期待感是非常に高く、実装できる段階にあるとの所感を得ることもでき、地域に少ない診療科などへの活用が望まれていることがわかった。以上のことからローカル5Gモデルの地域シェアリング・サービスの充実を図りコストパフォーマンスの向上や導入機器の低コスト化など「プレ診療」に資するモデリングの改善を重ねることが肝要と考える。

4.3.3 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討

(1) ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題

＜END-END 遅延ギャップに関する技術的な課題＞

ローカル 5G ネットワークの遅延が少なく安定しているというメリットを活かすモデルとして、リアルハプティクスシステムのような操作・制御の活用シーンが最適であると考えられる。総務省令和 2 年に実施した、無人トラクターの遠隔監視制御に関する実証 (No.1 自動トラクター等の農機の遠隔監視制御による自動運転の実現) では、IP ネットワーク機器間の END-END の PING 遅延が 20-30msec 程度で安定していた。

本実証において、リアルハプティクスシステムの制御データの IP ネットワーク機器の END-END 遅延は、20-30msec 程度と安定している一方、プレ診療システムの映像伝送に関する END-END 遅延は 300msec 程度であるため、映像と制御データの遅延ギャップは約 280msec となる。

人間によるリアルハプティクスシステム操作は、映像の動きを見て目的位置に到達するタイミングを予測するとともに、手に伝わる感触の変化をもとに動かすスピードや停止のアクションを行う。仮に、映像から伝わる目標位置を見てタイミングよく手を止めた場合、映像は 280msec 遅れている情報であることから、停止する位置は目標位置を 280msec 相当分差異が出て停止する。例えば、動かしている速度が毎秒 2cm だとすると、0.7cm の差異となる。この映像伝送とリアルハプティクス遠隔操作のギャップが、医療サービスの品質にどの程度影響するのか医療関係者の官能試験で検証したところ「全く気にならない」という意見が多数であった。

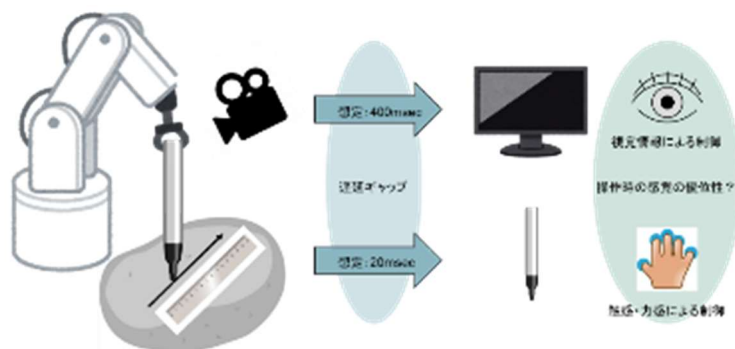


図 4.3.21 リアルハプティクスシステムイメージ図

実際の医療現場では、視覚情報と力感情報のどちらが優位に働くのかはシチュエーションや個人差により変わる可能性があるため、本実証では、複数のシチュエーションで確認するとともに、実証に参加した医師等のアンケートで個人差についても考察を行う。

(2) ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題に対する解決策の検討

<プロジェクト管理・課題管理>

本実証期間中に、(1) で示した技術課題や更なる検討事項を抽出し、解決策の方向性を導き出すための検討体制を構築するため、コンソーシアム内の進捗・課題情報の共有を密に実施した。具体的には、プロジェクト実証計画策定時に各タスクチームを定め、タスクチーム毎に進捗確認をするとともに、週次・月次レポート等による定期的な課題管理を行い、Web 会議を活用しプロジェクト全体での情報共有を図った。なお現在の仮説に対する対策のみでなく、実証過程で新たに課題が判明した場合に対しても、課題に応じた検討・対応を行う体制を構築した。

<利用者対応>

本実証モデルの社会実装時には、利用者の心理的・物理的な不安を払拭する必要があることから、利用者に向けた対応マニュアルを整備するとともに、利用者目線の対応方法について、運営主体関係者・医師等とも情報共有を実施した。

また、社会実装時は、カルテ情報などの重要な個人情報扱うことから、セキュアなデータ管理が実施できるように、本実証においても運用上の課題抽出・対応を適宜行い進めた。

4.3.4 ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開

(1) 実装・普及展開シナリオ

1) プレ診療システム

有効性検証、運用性検証ともに本事業の目的を達することができたとともに、導入する医療機関等があれば、ソリューションの追加開発等を行うことなく、技術的な課題はない。

しかしながら、現下の国民皆保険制度において、診療報酬として認められてないシステムであることから、医療機関における導入への障壁は高い。医療機関への実装・横展開を図るためには、販売数など規模の経済性追求による一層のコストダウンを図ることが不可欠である。このため、本事業で構築したローカル 5G システムを活用し、道内医療機関へのデモンストレーションを実施しつつ、導入に向けた意見交換を進めることにより、プレ診療システムの事業化に向けたビジネスプラン策定を令和 5 年度以降進める。このような販促活動及び追加的な市場性検証を通じ、本事業で開発したソリューションを持続可能なものとするための人員体制、保守メンテナンス体制の確立を早急に図っていく。

2) リアルハプティクスシステム

有効性検証、運用性検証ともに本事業の目的を達することができたが、患者等の体に直接接触するソリューションであることから、4.3.3 節で述べた通り、様々なシチュエーションや個人差を考慮した実測データの収集・検証が不可欠である。また、現下の国民皆保険制度において、診療報酬として認められてないシステムであり、かつ、「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」（通称「薬機法」）における「薬機承認」が不可欠である。本ソリューションは患者等の体に直接接触するソリューションであり、膨大な被験データの収集が必要である。

このため、NTT 東日本が主体となり、本事業で構築したローカル 5G システムを活用し、北海道大学産学・地域協働推進機構の協力を得ながら、被験データを蓄積するとともに、薬機承認を得るための申請資料作成や関係行政機関への対応を行い、早期の薬機承認を目指す。さらに、薬機承認に関する手続と並行して、リアルハプティクスシステム事業化に向けたビジネスプランの深堀を令和 5 年度以降進め、本事業で開発したソリューションを持続可能なものとするための人員体制、保守メンテナンス体制の確立を早急に図っていく。

(2) 実装計画

1) 実装計画の作成方法

実装計画の作成にあたっては、課題整理をそれぞれの特性に応じて役割分担を行い実施した。ローカル 5G 機器の課題、モビリティの課題、システム運用の課題、スタッフの課題など細分化して課題整理を行うことで、課題解決の手法をコンソーシアム内でそれぞれ役割分担し、解決の速度を速めることを図った。

【体制】

<ローカル 5G>

東日本電信電話株式会社、岩見沢市、株式会社はまなすインフォメーション

<モビリティ連携>

東日本電信電話株式会社、岩見沢市、株式会社はまなすインフォメーション

<システム運用>

東日本電信電話株式会社、岩見沢市、北海道大学、株式会社アストロステージ

<事業化検討>

東日本電信電話株式会社、岩見沢市、北海道大学

【検討事項】

実装を見据えた課題解決に向けて特に導入時の課題に対して議論を行った。ローカル 5G 機器の導入コスト、現場区々の医療資源、現地かかりつけ医との事業住み分け、モビリティおよび施設内での医療スタッフの役割分担などが課題として挙げられた。

【コンソーシアム内での合意形成の在り方】

上記ローカル 5G を活用したモデルについて、現場経験者（医療従事者）より十分なオピニオンデータや実証に基づくサンプルデータを取得し、エビデンスを集めプレ診療システム・リアルハプティクスシステムにおけるローカル 5G 通信の活用、ロボットの機械的特性、映像品質、導入時の運用懸念などの解決等に向けた合意形成を進めた。

またコンソーシアムメンバーだけでなく、協力機関や必要に応じて外部の医療スタッフなどからの意見を活用・評価に用いた。

2) 実装計画の要約

■実装計画要約シート

開 17 代表機関名	東日本電信電話株式会社			分野	医療・ヘルスケア			
実証件名	ローカル 5G を活用した地域モビリティによる遠隔高度医療サービス提供に関する実証							
実施体制								
<p>【継続実証(実装)】 NTT 東日本(BI 部地方創生推進本部、北海道事業部 BI 部)により、本事業のローカル5Gシステム+各ソリューションを活用しながら、継続実証(自治体病院等に対するデモンストレーション、薬機承認等の事務を含む。)を実施する。</p> <p>【実運用】 NTT 東日本は、遠隔検診サービス提供者に対するローカル5G システム+ソリューション販売(保守メンテナンスサービスの提供を含む)を実施する。</p>								
		令和 4 年度 (2023)	令和 5 年度 (2023)	令和 6 年度 (2024)	令和 7 年度 (2025)	令和 8 年度 (2026)	令和 9 年度 (2027)	令和 10 年度 (2028)
実装計画	プレ診療システム	開発実証	課題対応			病院への横展開 コンソ内実装		
	リアルハプティクスシステム	開発実証	課題対応			病院への横展開 コンソ内実装		
	ローカル5Gシステム	開発実証	実装					
収支計画 (千円)	(1)ユーザから得る対価		0	0	0	130,000	150,000	170,000
	(2)補助金・交付金		0	0	0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))		0	0	0	130,000	150,000	170,000
	(4)ネットワーク設置費		0	0	0	50,000	50,000	50,000
	(5)ネットワーク運用費		5,000	5,000	5,000	5,000	15,000	25,000
	(6)ソリューション購入費		0	0	0	55,000	65,000	75,000
	(7)ソリューション開発費		15,000	15,000	15,000	0	0	0
	(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))		20,000	20,000	20,000	110,000	130,000	150,000
	(9)収支((3)-(8))		▲20,000	▲20,000	▲20,000	20,000	20,000	20,000
収入、支出の算定根拠 ・ 令和 8 年度以降、毎年 1 か所の自治体病院で新規実装が進むことを前提とする								
実装を 確実にする ための 取組		どのようにして(手段、取組方法、アウトカム)					いつまでに	
	提供コスト低減	ビジネスプラン深堀にあわせ、機器の再選定等を実施					令和 7 年度	
	ソリューション追加開発	薬機承認の過程で必要に応じ実施					令和 7 年度	
	顧客開拓	自治体病院等に対するデモ実施					令和 7 年度	
	運用面の改善	現地運用の効率化、日程調整システム化					令和 7 年度	
	ルールメイキングへの貢献	特になし					-	

	計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など) ・ 収入は支出を基礎として算定しており、また、特別に調達困難な機器や仕組みは採用していないため、リスクは少ない。
--	--

a. 実施体制

以下の体制で実装・横展開を進める。

表 4.3.27 実装体制

	ソリューション	実施主体	協力	実施項目
継続実証(実装)	プレ診療システム	・NTT 東日本北海道事業部 BI 部	・北海道大学産学・地域協働推進機構	・プレ診療システムのデモンストレーション(販促) ・プレ診療システムの保守メンテナンス体制の確立をはじめとするソリューション提供者としてのビジネスプランの深堀・体制構築
	リアルハプティクスシステム	・NTT 東日本 BI 部 地方創生推進本部 ・NTT 東日本北海道事業部 BI 部	・北海道大学産学・地域協働推進機構	・様々なシチュエーション、患者等におけるデータ蓄積 ・薬機承認の申請、関係行政機関の対応 ・リアルハプティクスシステムの保守メンテナンス体制の確立をはじめとするソリューション提供者としてのビジネスプランの深堀
実運用	プレ診療システムの提供	・NTT 東日本北海道事業部 BI 部		・遠隔検診サービス提供者に対するローカル5G システム+ソリューション販売(保守メンテナンスサービスの提供を含む)
	リアルハプティクスシステムの提供	・NTT 東日本 BI 部 地方創生推進本部 ・NTT 東日本北海道事業部 BI 部		・遠隔検診サービス提供者に対するローカル5G システム+ソリューション販売(保守メンテナンスサービスの提供を含む)

b. 実装計画(実施事項)

本事業で実証を行ったソリューションとしては、①プレ診療システム、②リアルハプティクスシステムの2つであり、それぞれ独立したビジネスプランを想定する。

ア) プレ診療システム

有効性検証、運用性検証ともに本事業の目的を達することができたとともに、導入する医療機関等があれば、ソリューションの追加開発等を行うことなく、技術的な課題はない。

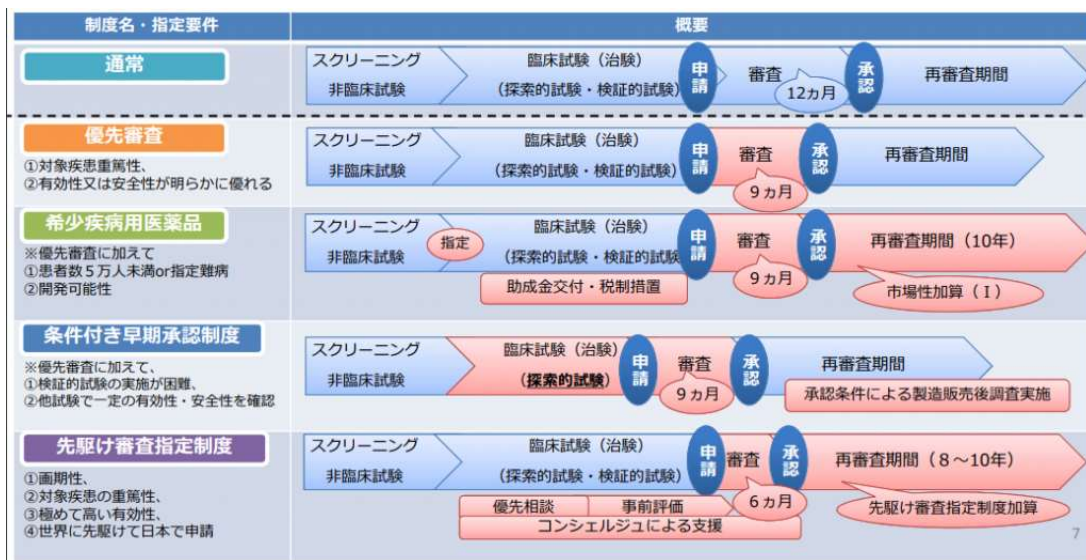
しかしながら、現下の国民皆保険制度において、診療報酬として認められてないシステムであることから、医療機関における導入への障壁は高い。医療機関への実装・横展開を図るためには、販売数など規模の経済性追求による一層のコストダウンを図ることが不可欠である。このため、本事業で構築したローカル5G システムを活用し、道内医療機関へのデモンストレーションを実施しつつ、導入に向けた意見交換を進めることにより、プレ診療システムの事業化に向けたビジネスプラン策定を令和5年度以降進める。このような販促活動及び追加的な市場性検証を通じ、本事業で開発したソリューションを持続可能なものとするための人員体制、保守メンテナンス体制の確立を早急に図っていく。

表 4.3.28 実装計画(プレ診療システム)

令和5年度～令和7年度	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5Gシステムを活用しながらプレ診療システムのデモンストレーションを実施 (NTT 東日本) プレ診療システムの保守メンテナンス体制の確立をはじめとするソリューション提供者としてのビジネスプランの深堀を実施
令和8年度	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔検診サービス提供者に対するローカル5Gシステム+ソリューション販売 (保守メンテナンスサービスの提供を含む) 開始

イ) リアルハプティクスシステム

有効性検証、運用性検証ともに本事業の目的を達することができたが、患者等の体に直接接触するソリューションであることから、4.3.3節で述べた通り、様々なシチュエーションや個人差を考慮した実測データの収集・検証が不可欠である。また、現下の国民皆保険制度において、診療報酬として認められてないシステムであり、かつ、「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」(通称「薬機法」)における「薬機承認」が不可欠である。本ソリューションは患者等の体に直接接触するソリューションであり、膨大な被験データの収集が必要である。



出所)平成30年度第2回医薬品医療機器制度部会資料より

図 4.3.22 遠隔診療サービスの展開イメージ

このため、NTT 東日本が主体となり、本事業で構築したローカル 5G システムを活用し、北海道大学産学・地域協働推進機構の協力を得ながら、被験データを蓄積するとともに、薬機承認を得るための申請資料作成や関係行政機関への対応を行い、早期の薬機承認を目指す。さらに、薬機承認に関する手続を並行して、リアルハプティクスシステム事業化に向けたビジネスプランの深堀を令和 5 年度以降進める。本事業で開発したソリューションを持続可能なものとするための人員体制、保守メンテナンス体制の確立を早急に図っていく。

表 4.3.29 実装計画(リアルハプティクスシステム)

令和 5 年度～令和 7 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業のローカル 5G システム+ソリューション活用により様々なシチュエーション、患者等におけるデータの蓄積（北海道大学 産学・地域協働推進機構の協力を得ながら、NTT 東日本が主体的に実施） ・薬機承認の申請、関係行政機関の対応 ・リアルハプティクスシステムの保守メンテナンス体制の確立をはじめとするソリューション提供者としてのビジネスプランの深堀を実施
令和 8 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔検診サービス提供事業者に対するローカル 5G システム+ソリューション販売（保守メンテナンスサービスの提供を含む）開始

c. 収支計画

ア) 試算の前提

以下を試算の前提とした。

- ・ プレ診療システム+リアルハプティクスシステムは、一体のシステムとして実装・横展開を行う。
- ・ 実際にプレ診療システム+リアルハプティクスシステムの運用を行うのは、遠隔検診サービス提供事業者である。NTT 東日本はパートナーの協力を得ながら、当該事業者に対するローカル 5G システム+ソリューション販売（保守メンテナンスサービスの提供を含む）を実施する。
- ・ 令和 8 年度以降、毎年 1 か所の自治体病院等で新規実装が進む（1stのエンドユーザは岩見沢市民を目標とする）。

イ) 収支計画

NTT 東日本を主体とする収支計画は以下となる。

ユーザは自治体病院等であるため、支出額（売上原価等）の積上による試算としている。

収入は、毎年支出額+令和 5 年度～令和 7 年度におけるソリューション開発、薬機承認に係る事務費等分を回収するのに必要な額を上乗せする。

【支出単位】（実装病院 1 か所あたり）

項目	初年度	2 年度以降	算定の根拠
① ローカル 5G システム (NW 機器) 設置	50,000 千円		・ギガらく 5G 設備+UE 等通信機器一式
② ローカル 5G システム (NW) 運用	5,000 千円	10,000 千円	・ネットワーク回線費、機器保守費 (10,000 千円、ただし初年度半額)
③ ソリューション購入費	50,000 千円		・4K 制御カメラ+医療機器+タブレット等、モビリティ・病院・専門医の 3 拠点整備
④ ソリューション運用費用	5,000 千円	10,000 千円	・医療機器・タブレットの保守 (10,000 千円、ただし初年度は半額) 【以下は、遠隔検診サービス提供事業者が自ら準備するので、NTT 東日本の収支計画には含めない】 ・診療バスレンタル (10,000 千円、ただし初年度は半額) ・かかりつけ医、専門医、看護師、運転手などの人件費 (45,000 千円)
合計	110,000 千円	20,000 千円	

【収入】

項目	初年度	2 年度以降	算定の根拠
NTT 東日本受託分一式 ・ギガらく 5G 設備+UE 等通信機器一式 ・ネットワーク回線費、機器保守費 ・4K 制御カメラ+医療機器+タブレット等、モビリティ・病院・専門医の 3 拠点整備 ・医療機器・タブレットの保守	130,000 千円	20,000 千円	・導入初年度において、令和 5 年度～令和 7 年度の投資回収分の一部を上乗せすることを想定している。上乗せ分は、ソリューション保守等委託費に含める。

ウ) ユーザにおける必要リソース（モデルケース）

前項を整理すると以下になる。遠隔検診サービス提供事業者が自治体病院等から一括して受託する。

遠隔検診サービス提供事業者（ユーザ）は、診療バスレンタル、かかりつけ医、専門医、看護師、運転手などの人件費を自ら準備する。

ギガらく 5G 設備+UE 等通信機器一式、ネットワーク回線費、機器保守費、4K 制御カメラ+医療機器+タブレット等、モビリティ・病院・専門医の 3 拠点整備、医療機器・タブレットの保守を NTT 東日本が再委託を受けることを想定している。

表 4.3.30 ユーザにおける必要リソース

項目		イニシャルコスト (初年度)	ランニングコスト (次年度以降、年間)
ローカル 5G システム		55,000 千円	10,000 千円
a.	ローカル 5G システム運用業務 <i>(※自社で実施する場合)</i>	—	—
b.	ローカル 5G システムに係る運用業務委託 <i>(※他社に委託する場合)</i>	55,000 千円	10,000 千円
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション		130,000 千円	65,000 千円
a.	プレ診療システム+リアルハプティクスシステム (一体のものとして導入)	130,000 千円	65,000 千円
①	運用に係る環境整備等に係る経費 <i>(※自社で負担する費用)</i>	55,000 千円	55,000 千円
②	ソリューション保守等委託費 <i>(※他社に委託する費用)</i>	75,000 千円	10,000 千円

d. 実装を確実にするための取組

ア) 提供コスト低減

令和 5 年度～令和 7 年度においてソリューション提供者として行うビジネスプランの深堀の過程で以下を実施する。

- プレ診療システムの機器の低価格化 (機器は年々高性能化・低廉化傾向にあるため市販品の再選定など)
- 自治体が所有する (または導入予定) モビリティ設備の利活用 (既存オペレーション・人員の最大活用による効率化)
- ローカル 5G システムの複数用途による共用化

イ) ソリューション追加開発

令和 5 年度～令和 7 年度において実施する、本事業のローカル 5G システム+ソリューション活用により様々なシチュエーション、患者等におけるデータの蓄積の過程において、機能や使用性に課題が発生した場合に、薬機承認に必要なソリューションの改善を必要に応じて図る。

ウ) 顧客開拓

令和 5 年度～令和 7 年度においてローカル 5G システムを活用しながらプレ診療システムのデモンストレーションを実施する。自治体や医療機関個別の取り組みと並行し振興局単位への提案など地域を巻き込んだ提案も実施する。

エ) 運用面の改善

モビリティ連携を行う上で、車両内での機器準備の容易さ、医療スタッフ・患者動線の改善は常に見直しが必要と考える。特に診療科や診療内容が増えれば必要なオペレーションも異なってくる。本実証では検診バスを活用して実証したため、ある程度のスペースが確保できたが、ルーラルエリアでの巡回を考えたときに道幅・駐車スペースといった走行・停車時の問題や燃料費・保険・メンテナンス費・タイヤ等の消耗品費などのコスト、最も重要な他用途への活用・共用等を考えた場合に、近年導入が進んでいる小型 MaaS 車両の活用を視野に入れる必要が出てくるが、先述の通り今後は十分な医療提供スペース等がとれないことも考えられる。できるだけ、機器等を簡易に持ち運べ・セッティングにも時間を取らないような小型化のものを準備し、スペースの確保、診療の自由度を高めることが肝要であると考えている。

また本実証で用いたリアルハプティクスシステムの駆動ロボットでは稼働範囲が狭く、設置方法と医師の視野角・操作角に制限が発生するという結果になった。このためモビリティ内の機器設置について物理的に対策（設置場所の工夫）をとることなども必要である。そのほか、カメラ類の設置についても同様であるが、本実証ではアルミフレーム枠を採用し、室内・室外ともに大きく環境を変更することなく型通りの設置ができたため、これらは設置の平易さに寄与したと考える。

オ) ルールメイキングへの貢献

本ソリューション実装では制度変更までの提案は行わない。

なお、新しい診療スタイルの提案を推進する。具体的には、本取組の充実により医師の働き方改革による交通事情制限の緩和、医療従事者の確保（臨時的支援）、オンライン診療の充実などの発展が期待できる。特に地域患者のために、現状のオンライン診療で実現できていない「心配かもしれないから少し診てあげる」という患者目線に立った医療の提供の強力な一助になると考える。

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達など）

収入は支出を基礎として算定しており、また、特別に調達困難な機器や仕組みは採用していないため、リスクは少ない。

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

今後のローカル5Gの普及を推進する観点から、地域課題解決に取り組む自治体・企業等の検討に寄与できる本実証取り組み成果に関する動画を作成するとともに、三菱総合研究所様が制作する本事業の映像制作に向けて本コンソーシアムメンバーも今後ローカル5Gを普及させるためのモデルの創出に向けて、実証映像等の素材提供やインタビュー撮影・コメント作成等に協力した。

また、代表機関グループ会社（NTTラーニングシステムズ㈱等）と連携し、より品質の高い映像コンテンツを制作した。

映像の提供においては、以下の項目について重点的に検討した。

表 5.1.1 映像制作について

項目	内容
映像制作・提供におけるコンセプト	ローカル5Gを活用したソリューション・アプリケーションが、地域・企業の課題解決にどのように寄与したかを表現した。 また、ローカル5Gを活用したソリューション・アプリケーションが、ローカル5Gの特徴（高速広帯域等）をどのように活用したかを表現した。 更には、コンソーシアムメンバーや実証参加者が出演し、課題・実証の成果等を直接説明する等、映像による説得力が増すよう工夫した。
映像のカット	撮影するカットは実施場所全体の様子や、実証の要点が分かる被写体などを含め、なるべく多くの被写体・アングルで撮影し、映像をご提供する際は三菱総合研究所様が編集しやすいよう工夫した。 また、構築するソリューション・ユースケースの概要・機能や導入効果が表現された映像を制作した。
映像の例	実証に用いるデバイス・センサ等の稼働状況、測定等の模様、システムを実際にユーザが業務に活用している様子、システムを活用した業務フロー、ユーザによる端末操作等の模様やダッシュボード画面の表示等、映像を見た方が視覚的に理解しやすいよう工夫した。
その他	フルHD画質(1920×1080)以上での収録をおこなった。 コメントなどを収録する際は、ピンマイクなどを使用してノイズがなるべく入らないよう配慮した。 また、動画においてはテロップ・イラスト等も活用して実証内容・取組成果を表現した。

5.2 実証視察会の実施

今後、ローカル5Gを導入し地域・企業の課題を解決していくことに関心を持つ自治体・企業等に対し、本実証における背景・課題・実証内容・成果を説明することで、地域・企業のローカル5G導入検討の一助になることを目的とするとともに、関係省庁等にも参加頂くことで制度検討・実装への促進もはかれることから、実証視察会を実施した。

特に、これからローカル5Gの導入を検討する自治体・企業等にとっては、現時点で目に見える形でのユースケースが少ないことから、本実証を視察することで具体的なユースケースをイメージして頂くことで検討の促進をはかった。

実証視察会は現地での対面形式、および新型コロナウイルス感染状況等を考慮しオンラインでの開催にも対応し、以下の項目について重点的に検討し開催した。

表 5.2.1 実証視察会について

項目	内容
実証視察会におけるコンセプト	今後ローカル5Gの導入を検討する企業にとって、本実証を視察することで具体的なユースケースをイメージして頂き、具体的な検討の促進を目指す。
開催時期	令和5年2月
コンテンツ	<ul style="list-style-type: none"> ・コンソーシアムの紹介 ・プレゼン資料（スライド・動画）によるプロジェクトの説明 説明内容：実証事業の背景 ローカル5Gのネットワーク・システム構成 実証内容（開発ポイント・ローカル5Gの活用内容） ユースケースの新規性 今後の実装・横展開に向けたポイント 今後のローカル5Gへの期待 等 ・実証環境見学 ・質疑応答・意見交換
開催方法	原則、現地での対面形式。 ※社会情勢を鑑み、オンライン開催も準備（Microsoft Teams）。
参加者	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル5G導入を検討しているユーザ企業、ベンダ等 ・地方公共団体（地域の企業等の5G活用検討を促進する部署） ・総務省、総合通信局 等

第1回

日時：令和4年12月21日(金) 13:00~16:00

対象：根室振興局管内の5自治体、北海道庁、北海道総合通信局等 36名

場所：根室市総合文化会館（北海道根室市曙町1丁目40）



第1回視察会 説明状況



第1回視察会 体験機器

第2回

日時：令和5年2月17日(金) 10:00~12:00

対象：根室振興局管内の自治体、北海道庁、北海道総合通信局など 26名

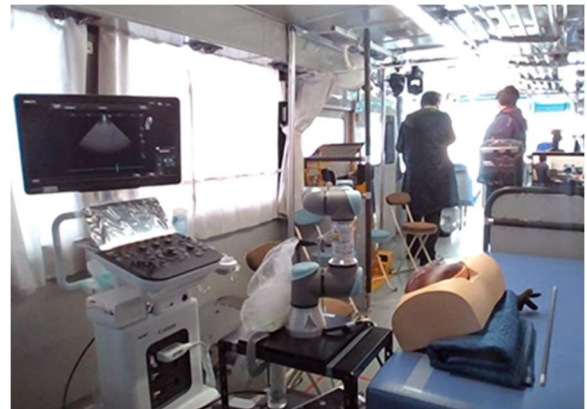
場所：北海道大学 FMI 国際拠点（札幌市北区北21条西11丁目）

岩見沢市役所 北村支所（北海道岩見沢市北村赤川593-1）

MircosoftTeams 併用



第2回視察会 岩見沢会場の様子



第2回視察会 北大会場（左）、岩見沢会場モビリティ内（右）の様子

第3回

日時：令和5年2月24日(金) 10:00～12:00

対象：各報道機関（テレビ、新聞社） 4社

方式：集合方式

場所：北海道大学 FMI 国際拠点（札幌市北区北21条西11丁目）

岩見沢市役所 北村支所（北海道岩見沢市北村赤川593-1）

MircosoftTeams 併用

第4回

日時：令和5年2月24日(金) 14:00～16:00

対象：総務省、総合通信局等、三菱総研、地方公共団体（地域の企業等の5G活用検討を促進する部署）等 11名

方式：集合、オンラインハイブリッド方式

場所：岩見沢市役所 北村支所（北海道岩見沢市北村赤川593-1）

MircosoftTeams 併用



第4回視察会 会場の様子



第4回視察会 モビリティの様子

5.3 その他普及啓発活動

本実証内容をコンソーシアム代表機関等ホームページにて報道発表を実施するとともに、各種講演会や媒体（テレビ・新聞・Web・記事等）を通じて広く普及啓発稼働を実施した。

(1) 報道実績

日付	媒体	概要
12月19日	東日本電信電話株式会社ホームページ	課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証を開始～遠隔医療サービス提供に向けたローカル5Gの技術的条件及び利活用に向けて～ https://www.ntt-east.co.jp/hokkaido/news/detail/pdf/20221219_1.pdf
12月19日	株式会社アストロステージホームページ	課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証を開始 https://www.astrostage.co.jp/bnlist/bn/bn20221219.html
12月22日	釧路新聞、ホームページ	ローカル5G技術紹介 根室で遠隔医療実地体験 https://kushironews.jp/2022/12/22/393097/
1月25日	北海道新聞 空知版、ホームページ	5G遠隔医療の実験開始 岩見沢市北村と北大結び模擬診察実用化に期待 https://www.hokkaido-np.co.jp/article/792135
2月24日	札幌テレビ放送（STV）放送及びホームページ	【未来の遠隔診療】遠く離れた患者を触れながら診察 最新技術を駆使した妊婦検診の実験 https://www.stv.jp/news/stvnews/hdlg0b0000000unq.html
2月24日	北海道テレビ放送（HTB）放送及びホームページ	医療過疎地に救世主？5G活用 北海道大学と岩見沢市を結び遠隔医療の実証実験 https://www.htb.co.jp/news/archives_19239.html

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

ローカル5Gをはじめとした無線通信等の技術者、課題解決に必要な機器開発・実証環境の構築を行うベンダ等、本事業の遂行に必要な専門知識・経験を有する要員を確保し、関係者の協力のもと、以下の要件を満たし、本事業を遂行した。

- ・実証地域での実装及び他地域への実装等の推進に必要な関係者の参加
- ・実証で構築したローカル5G等の通信環境について、実証後も実証地域において継続的に利用検討する等、学術機関、自治体、及び関係者を含めた体制
- ・先進的な知見の活用、地域住民との調整、通信関連の諸問題に対応できる体制

- (1) 実証環境を確実に構築し円滑に技術検証、課題検証を遂行するために、代表機関として東日本電信電話株式会社が務め、岩見沢市、北海道大学 産学・地域協働推進機構、株式会社はまなすインフォメーション、株式会社アストロステージの5社でコンソーシアムを組成した。

コンソーシアム実施体制図については以下のとおり。

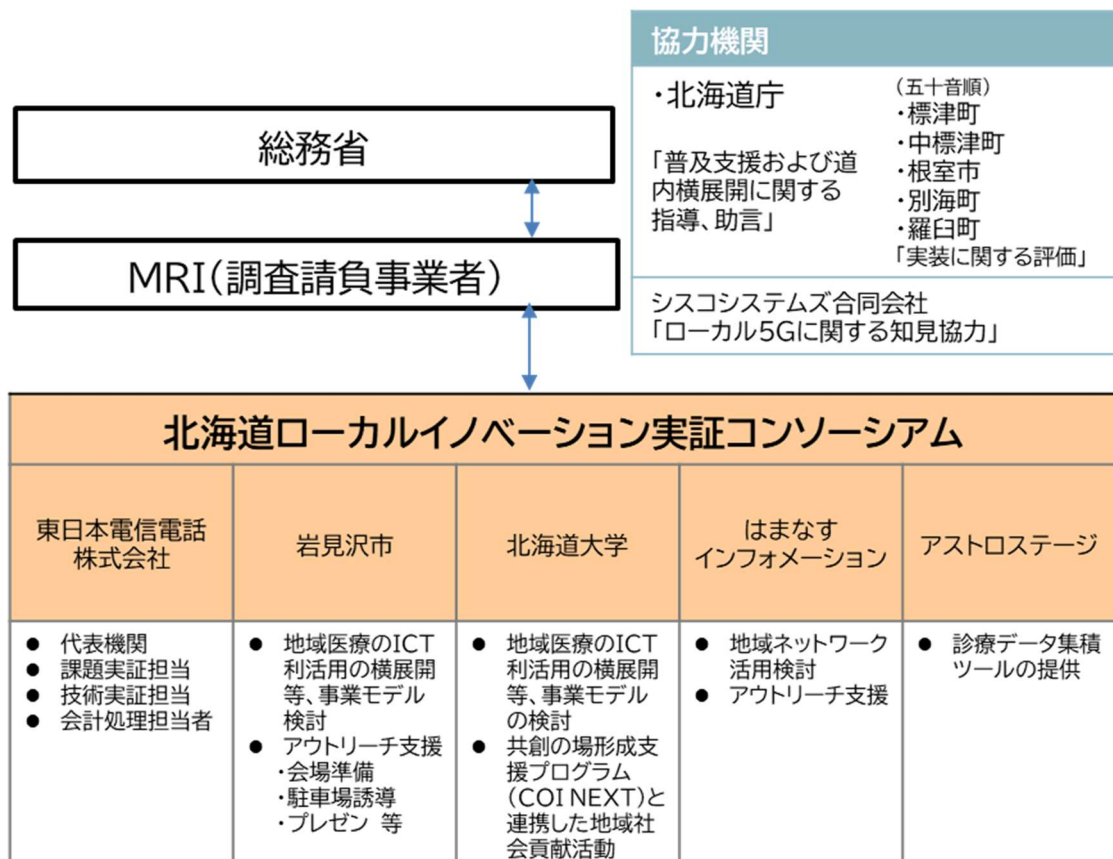


図 6.1.1 コンソーシアム実施体制図

コンソーシアム内の各役割を明確にし、課題に対して取り組んだ。各社の役割は、「表 7.1-1」のとおり。

表 6.1.1 コンソーシアム役割分担

	機関名	役割
代表機関	東日本電信電話株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 「令和4年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」におけるプロジェクト管理 ローカル5G通信環境の構築、技術実証における電波伝搬特性、性能評価 ローカル5Gを活用した課題実証の実現性評価 等
共同実証機関	岩見沢市	<ul style="list-style-type: none"> 業務区域の提供、横展開・アウトリーチ支援
	北海道大学 産学・地域協働推進機構	<ul style="list-style-type: none"> 地域医療・サービスモデルの検討、横展開・アウトリーチ支援
	株式会社はまなすインフォメーション	<ul style="list-style-type: none"> 横展開・アウトリーチ支援
	株式会社アストロステージ	<ul style="list-style-type: none"> 診療データ集積ツールの提供

実施体制及び管理体制、委託関係の有無については以下のとおり。

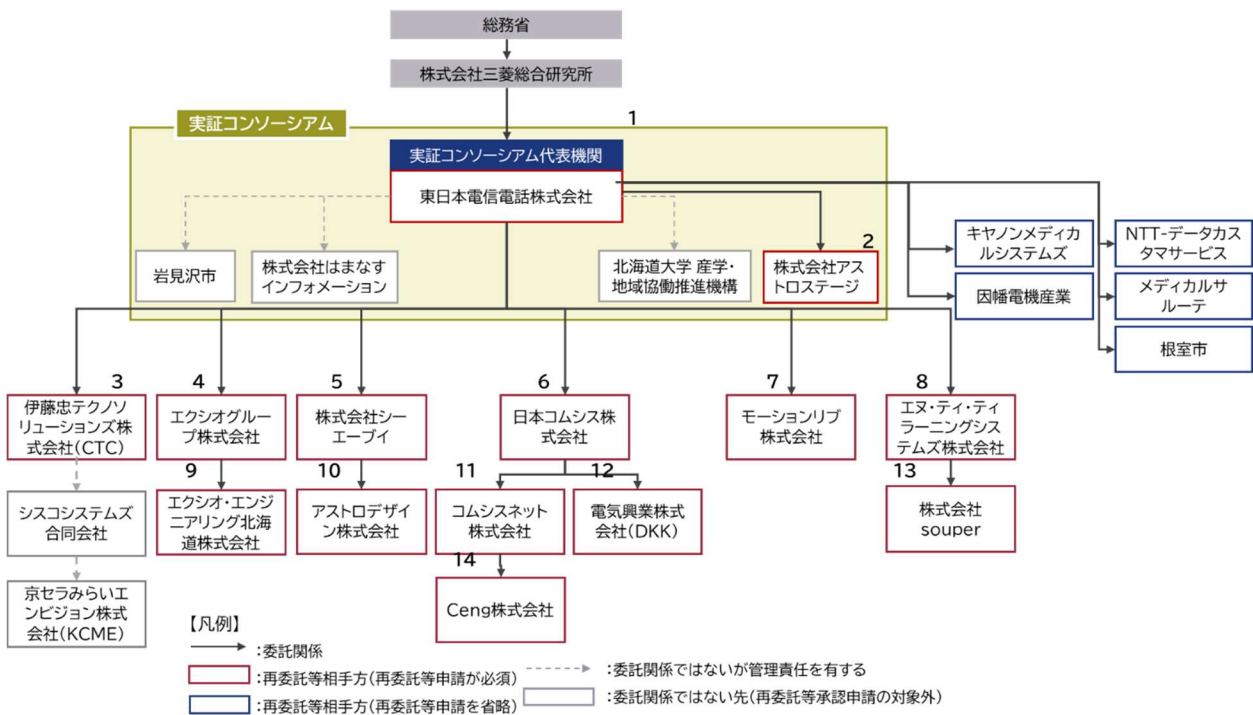


図 6.1.2 実施体制及び管理体制図

(2) 本事業の実証途中において下記の事象等の発生を想定し、これらを含めた様々な状況においても、弊社が代表機関として中心となり、コンソーシアムメンバー、実証協力者等の関係者と調整の上、実証継続を確実にできる体制を整備した。

① 不測の事態の発生

新型コロナウイルスの感染拡大等で窓口対応者の確保が不可能となった場合においても、Teams等のリモートワークツールを活用し、サテライトオフィス拠点での運営が継続できる体制を構築した。

② システム不具合

万一システム不具合等が発生した場合においても、代表機関である東日本電信電話株式会社を中心とし、共同実証機関と連携し、迅速に受付・切り分けを行うとともに、オンサイト対応が必要になった場合においても速やかに駆けつけ復旧対応を行える体制とし、遅滞なく確実な実証成果の最大化を図った。

6.2 実施体制内の役割

弊社が貴社と一元的に情報連携を行うとともに、コンソーシアムメンバー、各構成員等の関係者と調整の上、役割分担を明確にした。役割分担の詳細は以下の通り。

表 6.2.1 役割分担

会社名	役割
東日本電信電話株式会社	通信事業者。本実証の代表機関、プロジェクトマネージャーとして全体統括及び技術検証、課題検証を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 「令和4年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」におけるプロジェクト管理 ローカル5G通信環境の構築、技術実証における電波伝搬特性、性能評価 ローカル5Gを活用した課題実証における実現性評価 等
北海道大学 産学・地域協働推進機構	学術研究機関。 <ul style="list-style-type: none"> 地域医療・サービスモデルの検討、横展開・アウトリーチ支援
岩見沢市	行政機関。期間終了後を含め地域内外への技術普及に向けた広報活動、関連する他事業・施策との連動戦略を展開するほか、既存の遠隔監視センター（新産業支援センター）の利用拡大について検討。 <ul style="list-style-type: none"> 業務区域の提供、横展開・アウトリーチ支援、医療知見の提供
株式会社はまなすインフォメーション	岩見沢市の第三セクター。 <ul style="list-style-type: none"> 横展開・アウトリーチ支援
株式会社アストロステージ	医療ソフトウェアベンダ。該当機器の取り扱いに熟知している。 <ul style="list-style-type: none"> 診療データ集積ツールの提供
エクシオグループ株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 通信および電気の配管配線の施工 課題実証における機能検証及び分析業務支援
北海道エクシオエンジニアリング株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 通信および電気の配管配線の施工 課題実証における機能検証及び分析業務支援
株式会社シーエーブイ	<ul style="list-style-type: none"> 8K 動画カメラ環境等の構築
アストロデザイン株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 8K 映像制作・伝送に係る業務
日本コムシス株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 技術実証における電波測定、分析業務支援
コムシスネット株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 技術実証における電波測定支援
電気興業株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 技術実証における検証及び報告書作成支援
Ceng 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 技術実証における構築関連作業
NTT ラーニングシステムズ株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 普及啓発活動の映像撮影のための撮影機器(カメラ、ピンマイク、照明等)の提供及び動画作成
株式会社 Souper	<ul style="list-style-type: none"> 普及啓発活動の映像撮影支援、関係者へのインタビューの撮影等
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 (CTC)	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5Gの機器調達
モーションリブ株式会社	<ul style="list-style-type: none"> リアルハプティクス遠隔操作ロボットの物品提供および作業

ローカル5Gをはじめとした無線通信等の技術者、課題解決に必要な機器開発・実証環境の構築を行

うベンダ等、本事業の遂行に必要な専門知識・経験を有する要員が確保され、関係者の協力のもと、本事業を確実に遂行した。

個別の役割について、代表機関に以下①から⑤の役割を設置した。

① プロジェクトマネージャー

実証コンソーシアムの代表機関において、本事業規模相当のプロジェクトを統括する等の実績のある実施責任者を配置した。

② 技術実証担当者

実証コンソーシアムは、適切かつ生産性の高い技術を確認するため、高い技術力を有するローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討に関する連絡を担当する者を配置した。

③ 会計処理担当者

実証コンソーシアムおよび実証コンソーシアム構成員以外の委託先は、実施体制における事業の遂行に係る支出を適切に管理可能な体制を確保するとともに、実証コンソーシアム代表機関は実施体制内の各法人・団体・個人等への経理処理提出の指示・取りまとめを行い、事務局宛の期限内の提出や提出内容の正確性への責任を持つものを1名配置した。

④ 電波伝搬特性等の技術的検討実施体制

実証統括である東日本電信電話株式会社はじめ、構築・技術実証ベンダともに実績があり電波伝搬特性に関する技術検討を実施できるベンダについて以下で選定した。

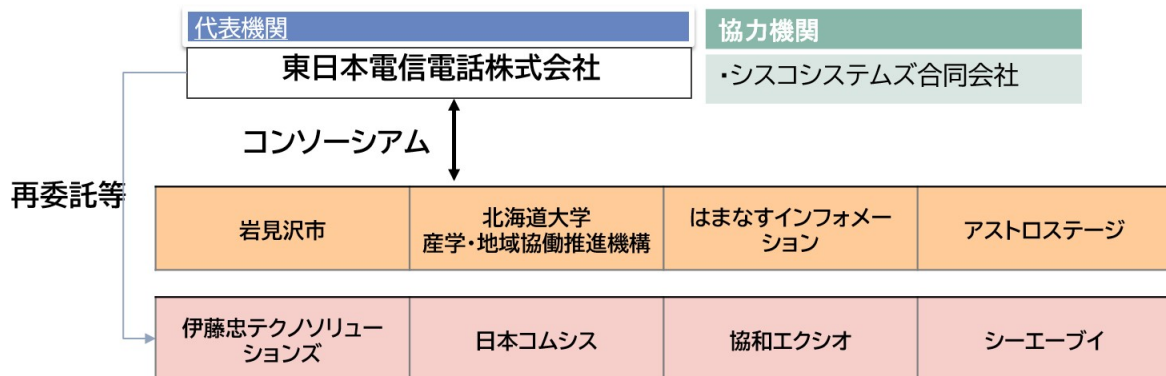


図 6.2.1 電波伝搬特性等の技術的検討実施体制

⑤ 窓口担当者

プロジェクトを進めるにあたり、事務局を含む関係者から実証コンソーシアムに連絡を行う際の実証コンソーシアム側の窓口担当者を、実証コンソーシアムの代表機関から配置した。

実施体制内の全ての団体・事業者（委託関係ではない実証コンソーシアム構成員も含む）に、以下⑥から⑩の役割を設置した。

⑥ 業務実施責任者

本事業で担当する業務の遂行にあたっての各機関の実施責任者を配置した。

⑦ 情報セキュリティ責任者

本事業で担当する業務の遂行にあたっての各機関の情報セキュリティ対策における責任者を配置した。

⑧ 個人情報保護・管理責任者

本事業で担当する業務の遂行にあたっての各機関の個人情報保護・管理における責任者を配置した。

⑨ 情報保全監督責任者

本事業で担当する業務の遂行にあたっての各機関の情報保全における責任者を配置した。

⑩ 経費支出監督責任者

本事業で担当する業務の遂行にあたっての各機関の経理処理における責任者を配置した。

7. スケジュール

本コンソーシアムでは、以下の要件を満たし適切に本実証の進捗状況を管理した。

- (1) 定期的に作業の進捗状況を確認し、作業上の問題点を早期に把握することにより予定期間内に作業を終了した。
- (2) 課題管理表（課題内容、対応者、対応方針、対応結果等）による課題管理の実施・確認を行った。
- (3) 本実証状況および課題管理状況を定期的に進捗報告した。また、主管課及び関係課を交えた進捗報告も定期的に行った。詳しい日程については下図の通り。
- (4) 本実証において調達する機器については、これを滞りなく調達した。

Noコンソ名	大区分	小区分	10月					11月				12月				
			3日	10日	17日	24日	31日	7日	14日	21日	28日	5日	12日	19日	26日	
開17 北海道ローカル イノベーション コンソーシアム	実証環境の構築	実施環境の準備		▲免許申請確認				▲免許申請				▲電子申請▲本免許、電波発射				
		ローカル5G構築										▲建柱、機器設置				
		拠点間ネットワークの構築				▲回線現調						▲機器設置、通信試験開始				
	技術実証	電波伝搬特性等の測定									▲ラボ試験(ミリ波)					▲実証開始
		テーマ1 電波伝搬モデルの精緻化														▲実証開始
		テーマ2 エリア構築の柔軟性向上														
	課題実証	有効性等に関する検証														▲事前検証
		実装性に関する検証														▲事前検証
		課題の抽出及び解決策の検討														▲事前検証
		実装計画の作成														

Noコンソ名	大区分	小区分	1月					2月					
			2日	9日	16日	23日	30日	6日	13日	20日	27日		
開17 北海道ローカル イノベーション コンソーシアム	実証環境の構築	実施環境の準備											
		ローカル5G構築											
		拠点間ネットワークの構築											
	技術実証	電波伝搬特性等の測定											
		テーマ1 電波伝搬モデルの精緻化									▲再測定		
		テーマ2 エリア構築の柔軟性向上			▲実証開始						▲再測定		
	課題実証	有効性等に関する検証			▲実証開始								
		実装性に関する検証			▲実証開始								
		課題の抽出及び解決策の検討			▲実証開始								
		実装計画の作成								▲作成開始			

図 7.1 実績スケジュール

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証【開発実証事業】

ローカル5Gを活用した地域モビリティによる遠隔高度医療サービス提供に関する実証

2023年3月

東日本電信電話株式会社
