

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を活用した院内外次世代
薬剤トレーサビリティ及び医療従事者の業務改善の実現

成果報告書

令和5年3月

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	4
2.	実証環境の構築	8
2.1	対象周波数帯	8
2.2	実施環境	8
2.3	ネットワーク・システム構成	8
2.3.1	ローカル 5G システム	10
2.3.2	課題解決システム	22
2.4	システム機能・性能・要件	33
2.5	その他	35
2.5.1	実証システムの拡張性等	35
2.5.2	実証システムの安全性確保のための対策	35
3.	ローカル 5 G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）	38
3.1	実証概要	38
3.2	実証環境	39
3.3	実施事項	40
3.3.1	電波伝搬モデルの精緻化	40
3.3.2	エリア構築の柔軟性向上	97
3.3.3	準同期 TDD の追加パターンの開発	176
3.3.4	基本的な電波伝搬データの取得	176
4.	ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）	177
4.1	実証概要	177
4.1.1	背景となる課題	195
4.1.2	本実証におけるローカル 5G 活用モデル	197
4.1.3	実証内容の新規性・妥当性	203
4.1.4	実証目標	204
4.2	実証環境	206
4.3	実施事項	208
4.3.1	ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証	216
4.3.2	ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証	262

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	278
4.3.4	ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開	279
5.	普及啓発活動の実施	292
5.1	映像制作	292
5.2	実証視察会の実施	292
5.3	その他普及啓発活動	295
6.	実施体制	296
6.1	実施体制の全体像	296
6.2	実施体制内の役割	296
7.	スケジュール	301

1. 実証概要

1.1 背景・目的

【背景】

医療の高度化と複雑化に伴い、診療行為の確認漏れや判断ミス、情報伝達不良に伴う、患者に被害をもたらす医療インシデントのリスク増大が喫緊の課題として挙げられる。

医療現場における人手不足は深刻さを増しており、医師からコメディカルへのタスクシフトとともに、コメディカル自身の作業量削減が強く求められている。

調査資料[1]によると、薬剤に関連する医療インシデントは発生数全体の約4割を占め、最大のリスク要因と考えられる。また発生元の医療職種は看護師が約8割、薬剤師が約1割を占めている。

表1 インシデントの概要別件数 n=9916

	薬剤	輸血	治療・処置	ドレーン・チューブ類	医療機器	検査	療養上の世話
件数 (%)	3838 (38.7)	89 (0.9)	757 (7.6)	1907 (19.2)	340 (3.4)	741 (7.5)	2244 (22.6)

表2 医療職種別の薬剤インシデント件数 n=3838

	医師	薬剤師	看護師	その他 ^{a)}
件数 (%)	231 (6.0)	312 (8.1)	3125 (81.4)	236 (6.1)

a)：研修医、助産師、准看護師、理学療法士、臨床検査技師、臨床工学技師、
診療放射線技師、栄養士が含まれる。
医療職種別の件数に重複あり

図 1-1 調査資料[1] 東京医科大学看護専門学校紀要 第25巻第1号 2016年3月（対象：約2年間）

URL:

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjil6076Zj4AhV2Q_UHHfhiDpEQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Ftmu.repo.nii.ac.jp%2F%3Faction%3Drepository_action_common_download%26item_id%3D11533%26item_no%3D1%26attribute_id%3D22%26file_no%3D1&usq=A0vVaw3Y91lp3VYIP3Jv2eSc9YD4

特に、高度急性期病院では、使用される薬剤の種類が多岐にわたり、患者容体の変動に応じて処方指示が頻回に変更されるため、調剤→輸送→配薬→服薬までの間に確認ミス、変更ミスのリスクが増大する。また、薬剤自身については、薬剤の種類自体の増加ならびに類似した薬剤名により、識別ミスを生じるリスクも高まっている。

背景①「持参薬確認の労務負担」

入院時に服薬する持参薬確認においては病棟薬剤師により種類の鑑別が行われている。患者の服薬種類数が多く、薬剤種類は9000種類にも及ぶため、正確な鑑別に多大な時間を要している。このため、入院日数の削減を目標とする高度急性期病院においては1年間当たりの入院受け入れの頻度が多く、持参薬確認に多大な労力を必要としているため、薬剤師の業務負担低減が求められている。

背景②「配薬チェックの労務負担」

配薬チェックに際しては看護師によるダブルチェック体制を必要とし、2名の人手が必要であり、省力化手段が強く求められている。薬剤知識については看護師の業務経験に基づく個人差が大きく、より均質かつ確実な配薬確認が求められている。

背景③「服薬確認の労務負担」

病棟における患者の服薬確認については、現在は看護師が病棟を巡回して実施している。退院後に患者自身で服薬を正確に行えるよう、入院時から薬剤を患者に手渡して服薬を行う「患者管理」が行われているが、この確認作業が病棟業務の負担となっており、看護師の負担低減が求められている。院内におけるこれらの薬剤関連業務については、「薬剤状態の確認」という共通の目的があるが、仮にこれらの関連業務を個別のシステム導入により解決しようと考えた場合、横展開に際してはシステムの費用対効果が大きな課題となると考えられ、技術的な創意工夫による課題克服が強く求められている。

背景④「調剤薬局薬剤情報聞き取りの労務負担」

退院後の通院時における薬剤の授受手段としては薬局がこれを担うが、調剤の正確性を判断するために必要な患者の病歴等については、調査資料[2]によると患者自身からの聞き取りに大きく依存している。患者自身の病状について説明する能力は個人差が大きく、また患者は既に決定している病名や服薬中の薬剤についての説明を訪問のたびに問われるため、大きな負担が生じる。このため、疑義照会に必要な情報の提供に対し、患者と薬剤師の双方にストレスが生じている。このヒアリングにより、本来窓口業務として必要な服薬指導を行う時間が十分確保できず、保険点数の加算要件の充足の障壁になっていると考えられる。さらに、薬剤師業務負担増大により、今後の「かかりつけ薬局」に求められる、患者に対するさらなる薬剤コミュニケーションの実現にも大きな支障をきたすことが強く危惧されている。

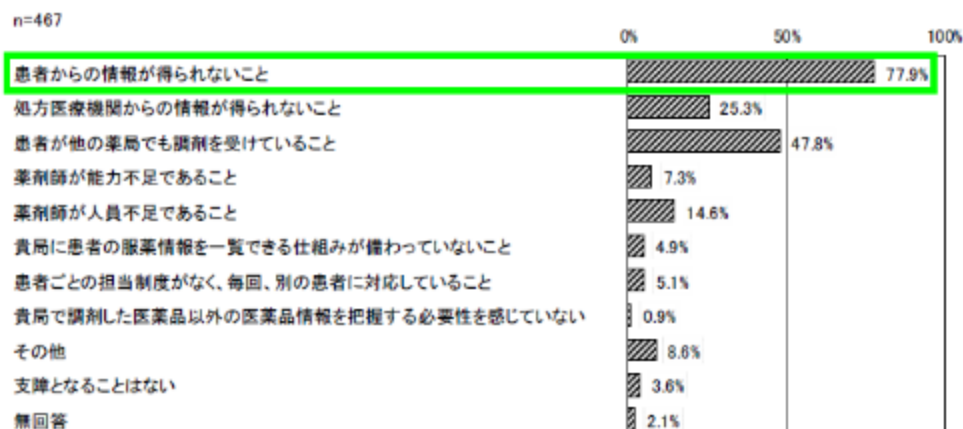
背景⑤「トレーシングレポートの労務負担」

薬局で処方された薬剤の服薬によって患者に重篤な副作用が発生した際、速やかに適切な処置が受けられることを目的とし、薬局から処方病院に対してトレーシングレポートの発出が行われている。このトレーシングレポートは多くがFAXにより運用されているが、薬局側では記述、印刷、送信作業が必要であり、病院側では受信、確認、システム転記が必要となっている。FAXでの情報提供は均霑化の手段としては適切であるが、令和5年1月より開始される電子化処方箋の全国的な運用開始に鑑み、均霑化を充足しつつ病院—薬局間におけるコミュニケーションの効率化により、労務負担を軽減できる可能性が生じている。

(14) 患者が服用した、自局で調剤した医薬品以外の医薬品情報を把握する際に支障となること (問 26)

患者が服用した、自局で調剤した医薬品以外の医薬品情報を把握する際に支障となることは、「患者からの情報が得られないこと」が 77.9%と最も多かった。

図表 患者が服用した、貴局で調剤した医薬品以外の
医薬品情報を把握する際に支障となること



注) 「その他」の内容として、以下が挙げられた。

【手帳関係】

- ・手帳を忘れる患者がいる。
- ・お薬手帳を病院毎に分けている。他院へかかっている事、併用薬がある事を秘密にしている。
- ・院内処方では手帳に記載されていない事が多い。
- ・他の病院へはかかっていないと話していても、後日手帳にて他の病院へ行っていることがわかる。 /等

【上記以外】

- ・認知症などにより患者本人と意思の疎通が図れない。
- ・スポット的な病気で継続のない患者。
- ・家族が薬をもらいに来られて患者自身のことをよく把握していない場合。
- ・患者が話したがらない。
- ・患者が薬剤師に相談するメリットを感じていないこと。 /等

図 1-2 調査資料[2]患者のための薬局ビジョン実現のための実態調査報告
(平成 29 年 3 月 31 日) ※厚生労働省

URL

<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11120000-Iyakushokuhinkyoku/actionplan02.pdf>

【目的】

以上の状況を鑑み、医療現場における背景①—⑤の労務負担に関する課題に対し、最新のローカル 5G 技術である分散アンテナ技術を活用した、実医療機関内における効率的・効果的な無線配信空間の創出実証を行う。

創出されたローカル 5G 空間におけるロボット機器、薬剤自動認識機器等を戦略的デバイスとする医療 DX を通じた導入とワークフロー効率化を通じ、薬剤関連情報オンデマンド支援による「革新的タスクシフト」の実証を行うことを目的とする。

本事業の実施により、実医療機関で横展開のキラーアプリケーションとなる「医療現場における時間創出」を可能とする効率的なワークフローの試行を通じ、院内外を統合する「次世代薬剤トレーサビリティ」の実証を目的とする。

1.2 実証の概要

本実証事業は、群馬大学医学部附属病院救急科病棟において、ヒューマンインタフェースを備え自立駆動するロボット、薬剤認識機能、電子カルテ電子化指示を組み合わせることにより、入院病棟業務における複数シーンでの知的労働支援を提供する。併せて、退院後の処方に際し、調剤薬局における誤調剤を防止し、処方薬服用後の患者の副作用情報の迅速な共有を行う。

背景①「持参薬確認の労務負担」に対し、病棟薬剤師による患者入院時の持参薬に対する確認業務ならびにデータ入力支援を提供することにより、電子カルテへの持参薬登録労務を削減するとともに、誤入力の防止に貢献する。

背景②「配薬チェックの労務負担」に対し、看護師の配薬確認時における病棟の任意箇所での処方指示と配薬の正誤確認支援を提供することにより、配薬確認の労務を削減するとともに、誤配薬の防止向上に貢献する。

背景③「服薬確認の労務負担」に対し、患者のベッドサイドにて、患者が定められた時間に服薬すべき薬剤の種類、量について、服薬前に確認を行い、あわせて服薬完了について確認を行う業務支援を提供することにより、看護師による服薬時確認労務を削減するとともに、誤服薬の防止に貢献する。

背景④「調剤薬局薬剤情報聞き取りの労務負担」について、処方箋薬を受け取る目的で調剤薬局を訪れた患者に対し、患者同意のもとで、薬剤師が患者の入院時病歴や服薬履歴、退院時サマリーについて電子的に確認できる手段を提供することにより、薬剤師による患者への聞き取り労務を削減するとともに、薬剤説明の機会を増加させることで、疑義照会の必要性に気づきやすい環境に貢献する。

背景⑤「トレーシングレポートの労務負担」について、現在は調剤薬局から病院に対して FAX 送信され、電子化システムへの多重入力が生じているトレーシングレポートについて、これを標準的な医療情報規格である HL7 FHIR 形式に電子フォーマット化して送信し、病院薬剤部にて参照できる電子化支援機能を提供することにより、多重入力労務を削減するとともに、電子化情報の迅速な共有機能により、患者副作用に対する迅速かつ適切な対処の実現に貢献する。

具体的にはローカル 5G の特徴である超高速、超低遅延性を活かした、広いエリアサービスにおいて費用対効果が高いと期待される分散アンテナ型無線配信環境を構築するとともに、ロボットの半自動化走行と薬剤自動認識により下記パターンで実証を行う。

入院患者に対して、以下の実証 1 ～ 4 を実施する。

【実証 1】持参薬の確認

【実証 2】配薬の確認

【実証 3】服薬前の確認

【実証 4】服薬済み（飲み殻）の確認

退院後を想定して、以下の実証 5 を実施する。

【実証 5】病院・薬局間での患者情報連携

ロボットは基本動作として、以下の図のように予め指示された病室に自動巡回し、投入された薬剤名や個数を自動判別する。

本ロボットは掃除ロボットなどの他のインハウスロボットとは異なる。本ロボットは周囲の状況を理解し、動的及び静的な障害物を避け、行きたい目的地まで行くのに障害物を避けていくパスを学んで再調整する。最新式の AI、センサーシステム、複数のカメラを備え、シームレスにどの病室にも入室する。多彩なテクノロジーを使用し、部屋の繋ぎ目でも高い機動性（モビリティ）、と安定性を発揮する。階段などの避けることのできない障害物を感知したときは、停止することが可能である。※参照元 <https://www.robotemi.jp/faq/>

また本ロボット Temi は名古屋大学医学部附属病院や湘南鎌倉総合病院でも実証利用されている。軽量物搬送ができることに加え、病室に入れる筐体サイズでコミュニケーション可能なロボットであることより、膨大な業務を課題とする医療従事者の業務支援への可能性が評価されている。搬送ロボットの多くは、大型で高額であることに対し、Temi は軽量物であれば搬送できるロボットかつ、安価に購入できプログラミング知識のない者でもロボットに実施してほしいシナリオを設定できることが評価されている。

薬剤自動認識デバイス搭載 半自動巡回ロボット

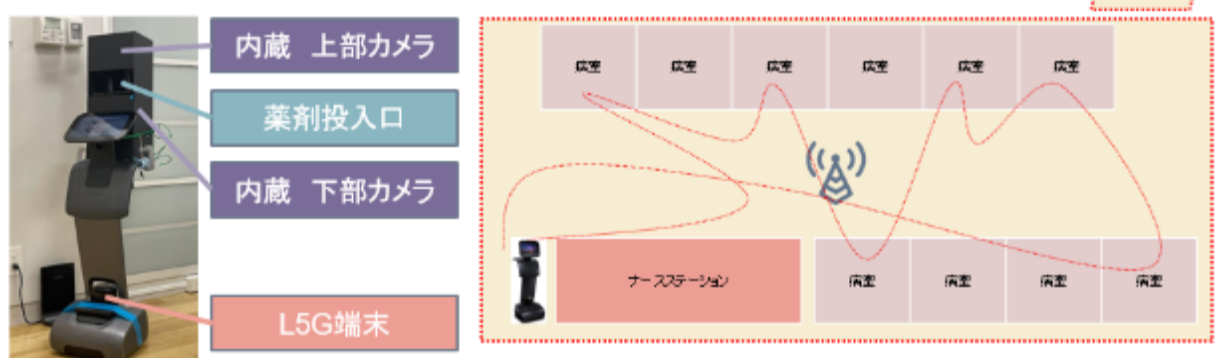


図 1-3 ロボットの基本動作の概要図

実証1～実証4の流れは以下の通りである。

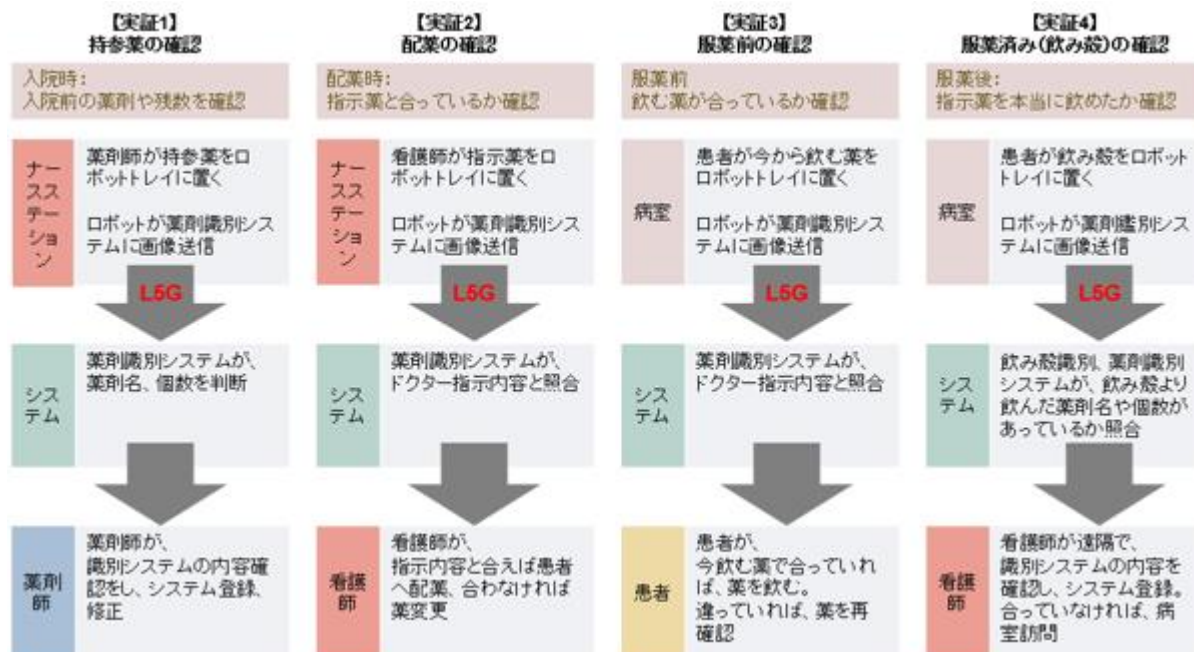


図 1-4 実証の流れ（実証1～実証4）

薬剤自動認識 基本動作

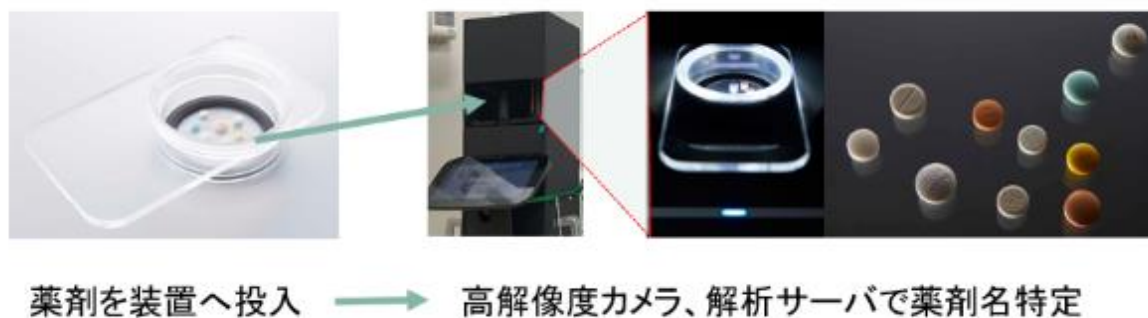


図 1-5 薬剤画像取り込み例

退院後を想定した実証5では、患者は、病院外来を受診した後に処方箋をもらい、院外薬局で薬をもらう。（図 1-6 参照）薬局では、薬局向け院内カルテを参照の上、患者情報（病歴等）を電子的に確認し、薬局側で得られた患者情報（残薬の状況、受診歴・服薬歴等）については、トレーシングレポート送信システムにより、病院へ電子的にフィードバックする。

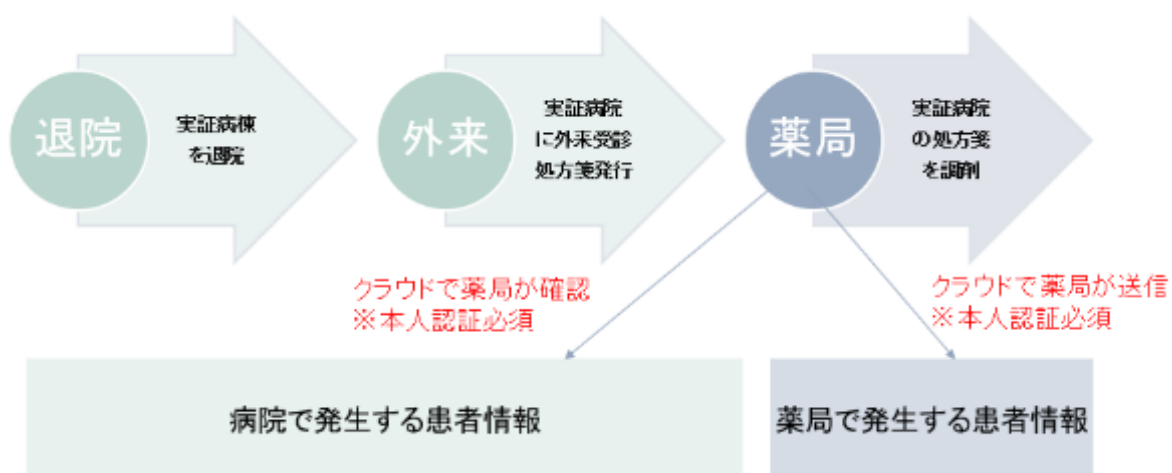


図 1-6 退院後の流れ

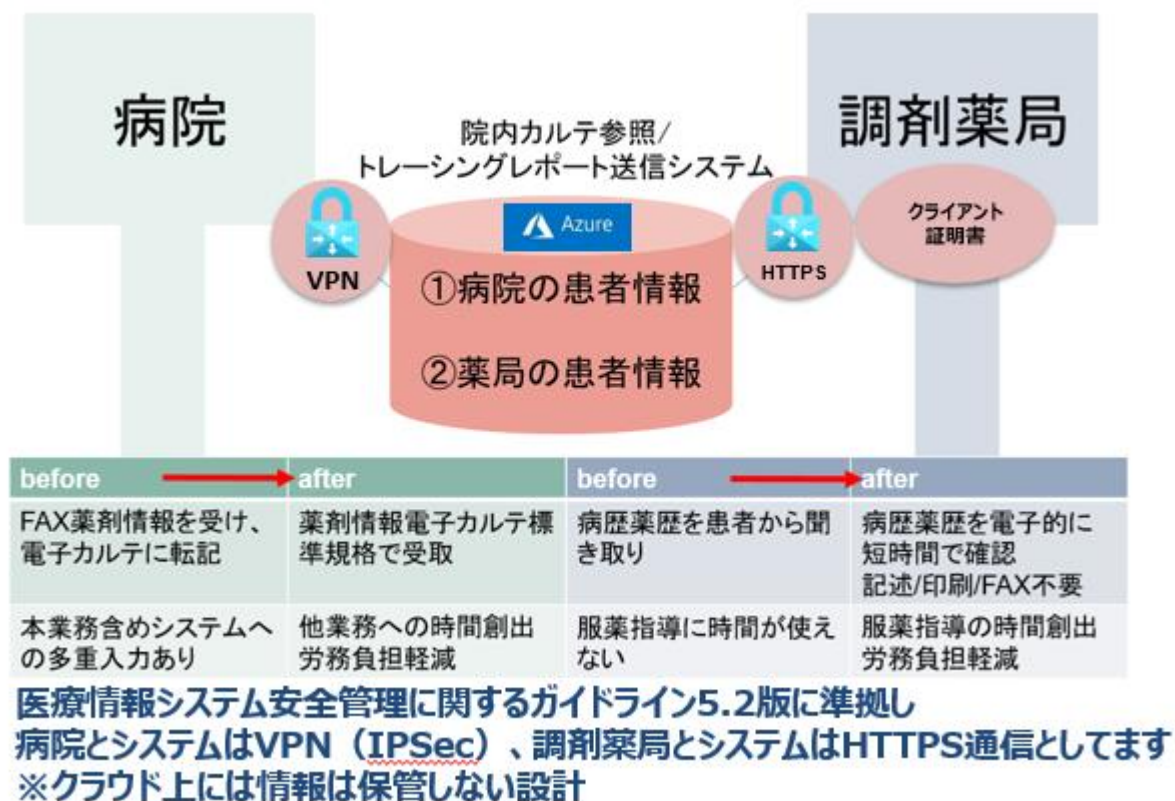


図 1-7 薬局向け院内カルテ参照/トレーシングレポート送信システム 概要

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

本実証では、4.8-4.9GHz の 100MHz 幅システムを使用した。Sub6 の 4.7GHz 帯 (4.6GHz～4.9GHz) を選定した理由は、屋内環境においてローカル 5G を利用した各種ソリューションを実施することを本実証目的としたためである。よってミリ波帯に比べて広域なカバレッジエリアが期待できるとして 4.7GHz 帯 (4.6GHz～4.9GHz) を選定し、そのうち 4.8-4.9GHz の 100MHz 幅システムを使用した。

2.2 実施環境

本実証では、群馬県前橋市昭和町三丁目 39-15 に所在する「群馬大学医学部附属病院」の北病棟 2F を対象に実証環境を構築した。実証エリアの北病棟 2F にローカル 5G 基地局を設置し、屋内環境として実証を行った。詳細は「2.3 ネットワーク・システム構成」にて示す。

2.3 ネットワーク・システム構成

本実証において構築したシステムの構成図を以下に示す。

ネットワーク/システム構成

本案件における全体のシステム構成図を下記に示す。

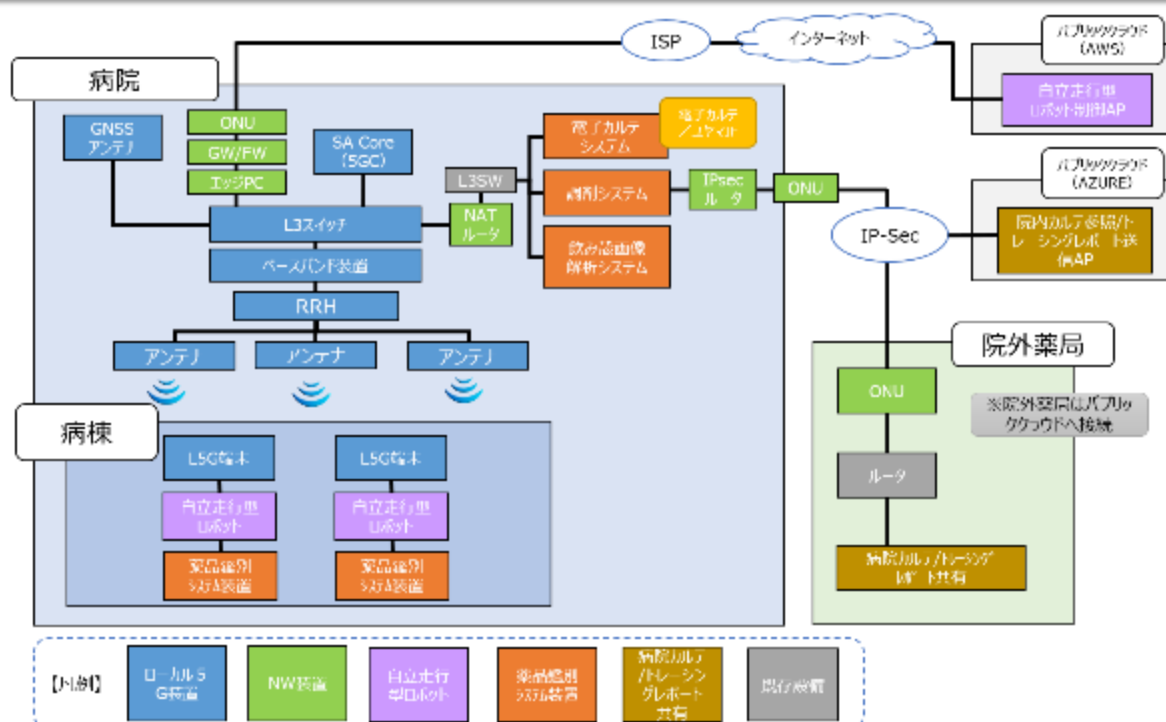


図 2-1 実証システム構成図

設置場所、基地局エリアカバレッジは以下の通りである。

(1) 設置場所

本実証システムの設置場所は群馬大学医学部附属病院構内である。基地局は実証エリアをカバーできる箇所に設置し、コアネットワークを構成する装置群は北病棟 2F に配置するラックへ設置した。

またコアネットワークを経由し、パブリッククラウド上に構築された各種アプリケーション(自立走行型ロボット制御 AP、服薬トレーシングレポート AP)と接続した。

(2) 基地局・アンテナ位置およびエリアカバレッジ図

エリアカバレッジ概要を「図 2-2」に記載した。本実証の検証エリアは、北病棟 2 階の（人工腎臓センターを除く）全病室とナースステーション・廊下・カンファレンスルーム等を含む全居室を対象とし、エリア内のローカル 5G エリアカバー率は約 9 割を想定した。北病棟 2 階には 40 床（18 病室）があり、その全病室とナースステーションにてロボットが巡回できる環境を整備して実証を行った。各病棟では診療科など医療機能が異なるが、本実証における薬剤トレーサビリティの観点からは大きな違いがなく、1 つの病棟フロアを補完することで本実証モデルの有用性の確保が可能である。

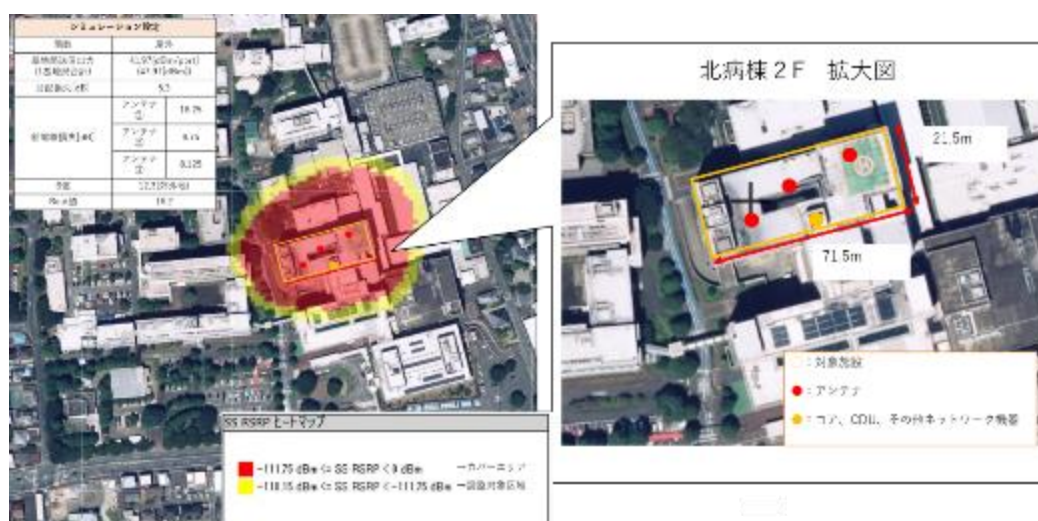


図 2-2 群馬大学医学部附属病院 エリアカバレッジ概要

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) システム構成

本実証のシステムは主にローカル 5G システムと課題解決システムの 2 つで構成される。各システムについて、「2.3.1 ローカル 5G システム」と「2.3.2 課題解決システム」にて記す。

また本実証において使用したローカル 5G 基地局の概要を以下に示す。

表 2-1 ローカル 5G システム（基地局）の概要

項目	基地局相当
製造ベンダ	NOKIA
無線局数	1
設置場所	屋内
同期/準同期	同期
UL:DL 比率	2:7 ※フレームフォーマット準拠
周波数帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA
UL 周波数	4.8GHz～4.9GHz
DL 周波数	
UL 帯域幅	100MHz
DL 帯域幅	
UL 中心周波数	4849.98MHz
DL 中心周波数	
UL 変調方式	OFDMA(256QAM (UL))
DL 変調方式	OFDMA(64QAM (DL))
MIMO	4×4 MIMO

2.3.1 ローカル 5G システム

本実証は NOKIA 社製のローカル 5G システム機器を選定した。理由は分散アンテナシステムを比較的安価に提供できるメーカーと判断したからである。本実証環境のような壁やドアなどの遮蔽物が多数存在するエリアをシステム利用エリアとした場合、基地局 1 基ではカバーしきれない場所が発生する。その改善策として基地局数を増やすことも選択肢であるが、病棟フロアという環境特性上むやみに増やすことはできない。したがって本実証では、コストを抑えフロア一帯をエリア化するのに最適な手法として分散アンテナシステムを採用し、比較的安価に提供可能な分散アンテナシステム製品を有する NOKIA 社は本実証のローカル 5G システムとして最適なメーカーであると判断した。

また下記図 2-3 のうちコア装置や基地局は NOKIA 社の機器で構成し、ローカル 5G 端末は京セラ社、ファイヤーウォールは Cisco 社製品を利用した。

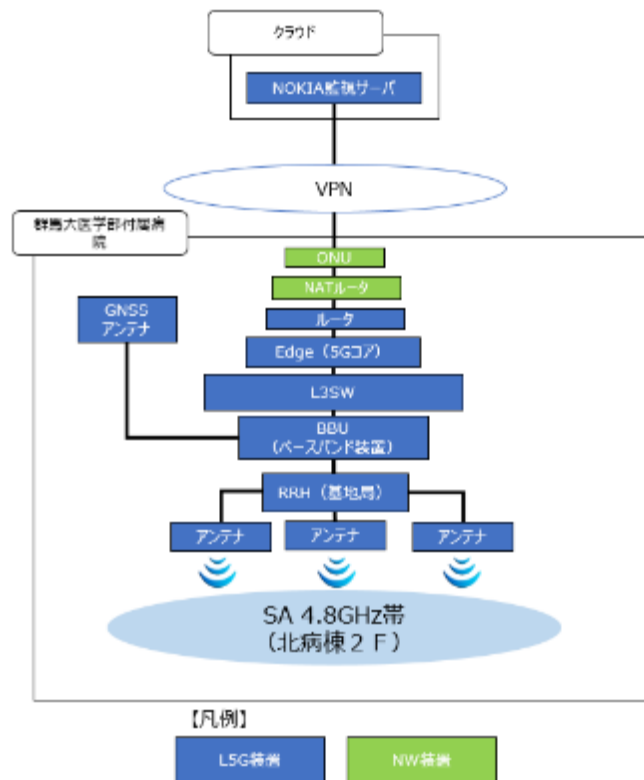


図 2-3 ローカル 5G システム機器構成

本システムにて使用した機器は以下の表 2-2 の通りである。

表 2-2 ローカル 5G システム機器一覧

No.	物品	メーカー	型番	数量
1	5G コア設備	NOKIA	MXIE DL110 Edge	1
2	ファイヤーウォール	FORTINET	FortiGate 60F	1
3	5G 基地局	NOKIA	NDAC Airscale Micro RRH	1
4	5G BBU (ベースバンドユニット)	NOKIA	Multi RAT Indoor BBU	1
5	Sub6 屋内無指向性アンテナ	CommScope, Inc	CMAX-OMF9-43-UWI53	3
6	スイッチ	Juniper	EX4600-40F Switch	1
7	GPS アンテナ	NOKIA	FAWW	1
8	ローカル 5G 端末	京セラ	K5G-C-100A	2
9	ローカル 5G 測定器 (エリアスキャナー)	VIAVI	OneAdvisor-800	1
10	ローカル 5G 測定器 (ネットワークテスタ)	VIAVI	MTS-5800	1
11	ローカル 5G シミュレーションソフト	RANPLAN	Ranplan Professional	1

各物品の詳細は以下に示す。

① 5G コア設備

5G コア設備は、エッジシステム（HPE EL1000）と 5G ソフトウェアにて構成される。エッジシステムはローカル 5G システムのソフトウェアを実装する。ハードウェアはサーバを 1 台、北病棟 2F の EPS 室内のラックに設置した。

ハードウェア仕様は以下のとおりである。

表 2-3 5G コア設備 仕様

項目	仕様	備考
ソフトウェア仕様	—	
ハード構成	HPE EL1000	
準拠規格	—	
システム規模	端末接続容量最大 2000 台	
CPU	Intel Xeon D または E3	
メモリ容量	32GB	
ストレージ	500GB	
外部インターフェイス	SFP、SFP+、RJ45	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	88mm×352mm×233mm	
重量	約 8kg	
電源	AC100V	



図 2-4 5G コア設備 外観

② ファイヤーウォール

ファイヤーウォールは、FortiGate 60F 1 台を北病棟 2F の EPS 室内に設置した。仕様は以下のとおりである。

表 2-4 FW 仕様

項目	仕様	備考
IPS スループット	1.4Gbps	
外部インターフェイス	USB×1、管理コンソール用×1、RJ45×10 (WAN×2/DMZ×1/FortiLink×2/LAN×5)	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	38.5 × 216 × 160 mm	
重量	1.01 kg	
電源	100 V AC	



図 2-5 FW 外観

③ RRH

5G RRH (AWHTA) 1 台を北病棟 2F の EPS 室内に設置した。仕様は以下のとおりである。

表 2-5 RRH 仕様

項目	仕様	備考
準拠規格	3GPP Release15	
外部インターフェイス	SFP+	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	345 mm×245 mm×130 mm AC/DC 部 345 mm×130 mm×25 mm (本体一体型)	
重量	約 11kg (AC/DC 部 約 1.8kg)	
電源	DC-48V (AC/DC 部 AC100V)	
占有帯域幅	100MHz	
中心周波数	4849.98MHz	
変調方式	OFDMA (256QAM (DL), 64QAM (UL))	
動作温度	-40℃ ～ 55℃	
1 RRH のアンテナ最大接続台数	制限なし	



図 2-6 RRH 外観

④ 5G BBU（ベースバンドユニット）

BBU1 台を北病棟 2F の EPS 室内に設置した。仕様は以下のとおりである。

表 2-6 BBU 仕様

項目	仕様	備考
準拠規格	3GPP Release15	
CPU	—	
メモリ容量	—	
ストレージ	—	
外部インターフェイス	SFP+	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	129mm×447mm×400mm AC/DC 部 44.5mm×482.5mm×265mm	
重量	約 11kg (AC/DC 部 約 5.2kg)	
電源	DC-48V (AC/DC 部 AC100V)	
1 BBU の RRH 最大接続台数	24 台	
1 コアの RRH 最大接続台数	50 台	



図 2-7 BBU 外観

⑤ Sub6 屋内無指向性アンテナ

Sub6 屋内無指向性アンテナを 3 台、北病棟 2F に設置した。詳細は「3.2 実証環境」にて記載する。仕様は以下のとおりである。

表 2-7 Sub6 屋内無指向性アンテナ

項目	仕様	備考
準拠規格	—	
外部インターフェイス	4.3-10 J 型（4 ポート）	
外形寸法 （高さ×幅×奥行）	210mm（直径）×14mm（厚さ）	
重量	700g	
電源	—	
空中線	4T4R	
EIRP	—（基地局送信出力、ケーブル損失、アンテナ利得組み合わせによる）	
アンテナ利得	4.7dBi	
アンテナ指向性	水平 360 度	



図 2-8 Sub6 屋内無指向性アンテナ外観

⑥ スイッチ (EX4600-40F Switch)

スイッチ (EX4600-40F Switch) 1 台を北病棟 2F の EPS 室内に設置した。仕様は以下のとおりである。

表 2-8 スイッチ (EX4600-40F Switch) 仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェイス	SFP+	
消費電力	365W	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	43mm×442mm×521 mm	
重量	約 10kg	



図 2-9 スイッチ (EX4600-40F Switch) 外観

⑦ GPS アンテナ (FAWW)

GPS アンテナ (FAWW) 1 台を北病棟 2F のテラスに設置した。仕様は以下のとおりである。

表 2-9 GPS アンテナ (FAWW) 仕様

項目	仕様	備考
使用周波数範囲	1559 - 1610.5 MHz	
VSWR	1.8 以下	
利得	38dBi ± 3dB	
仕様温度範囲	-40～55℃	
防水特性	IP65	
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	116 mm (H) x 114 mm (Φ)	
重量	400g	
電源	DC5V	同軸ケーブル重畳



図 2-10 GPS アンテナ (FAWW) 外観

⑧ ローカル 5G 端末 (K5G-C-100A)

ローカル 5G 端末 (K5G-C-100A) は 2 台用意し走行型ロボットに搭載し利用した。仕様は以下のとおりである。

表 2.3-11 K5G-C-100A 仕様

項目	仕様	備考
製造ベンダ	京セラ	
型番	K5G-C-100A	
設置場所	—	
同期/準同期	—	
UL:DL 比率	—	
周波数帯	4. 8-4. 9GHz	
通信方式	—	
空中線	2T4R	
占有帯域幅	100MHz	
中心周波数	4550. 01～4849. 98MHz	
最大送信出力	200mW/2Tx Total	
変調方式	(CP-OFDM) QPSK, 16QAM, 64QAM (DFT-s-OFDM) Pi/2_BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	
動作温度	5℃～+35℃	
アンテナ指向性	無指向性 (オムニ)	
アンテナ利得	TX0/RX0 アンテナ: +0. 4dBi TX1/RX1 アンテナ: +0. 1dBi RX2 アンテナ: -3. 1dBi RX3 アンテナ: -1. 5dBi	



図 2-11 ローカル 5G 端末 外観

⑨ 外部システムとのネットワーク接続

巡回ロボット制御 AP と服薬トレーシングレポート AP は外部のパブリッククラウド(Amazon Web Services(以降、AWS)と Azure)上に構成される。群馬大学医学部附属病院に設置されるローカル 5G 装置と通信を行うにあたり、本実証モデルにおいては、今後の水平展開を考慮し、専用線等の高価な拠点間ネットワークは利用せず、ローカル 5G による高速大容量通信の上位ネットワークとして十分なスループットを備え、専用線と比較すると安価に構築可能なインターネット VPN 網を利用することとする。

なお、接続のため実証拠点に設置した ONU の仕様は以下の通りである。

表 2.3-12 ONU 仕様

項目	仕様	備考
準拠規格	1000BASE-T、100BASE-TX、10BASE-T	
消費電力	6.5W 以下（電源アダプタを含む）	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	1.1 × 4.4 ×17.1 cm	
重量	600g 以下（電源アダプタは含まず）	



図 2-12 ONU 外観

⑩ 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、以下の仕様の測定器を使用した。

表 2.3-13 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）



図 2-13 ローカル 5G 測定器（エリアスキャナー） 外観

- ⑪ 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、以下の仕様の測定器を使用した。

表 2.3-14 ローカル 5G 測定器（ネットワークテスタ）仕様

機種名	VIAMI : 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）



図 2-14 ローカル 5G 測定器（ネットワークテスタ） 外観

⑫ ローカル 5G シミュレーションソフト仕様

ローカル 5G の電波伝搬シミュレーションを行ったソフトウェアの仕様は以下の通りである。

表 2.3-15 ローカル 5G シミュレーションソフト仕様

ソフトウェア名	RANPLAN : Ranplan Professional
推奨 CPU	Core i7 7th 3.0GHz 以上
推奨 Memory	16GBbyte 以上
対応 OS	Windows10
必要 HDD 容量	SSD100GB 以上
推奨ディスプレイ	1920×1080
備考	レイトレースシミュレーション機能の他、本実証評価・検証に必要な機能を具備

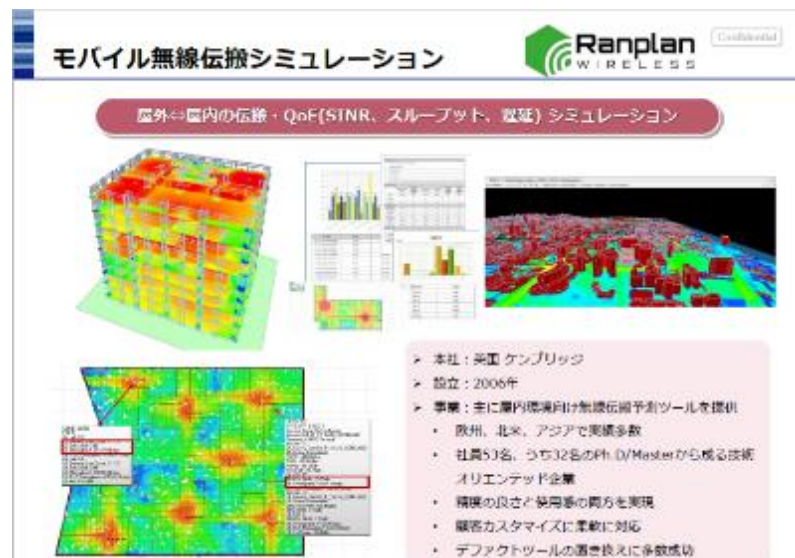
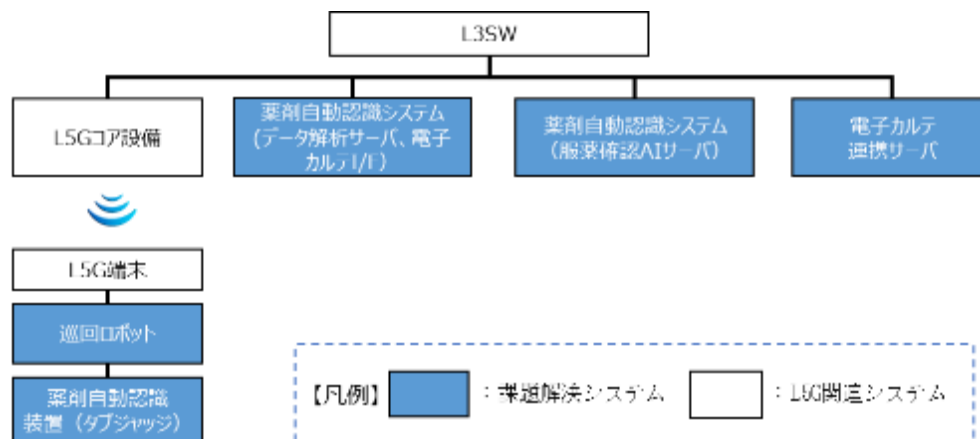


図 2-15 RANPLAN シミュレーションイメージ

2.3.2 課題解決システム

(1) 巡回ロボット／薬剤自動認識装置システム

本システムは、自立走行型の巡回ロボットに高精細カメラを搭載した薬剤自動認識装置（タブジャッジ）にて撮影した持参薬や飲み殻の画像を薬剤自動認識システムの解析サーバや AI 薬剤鑑別に送り、鑑別や解析を行うことで、「持参薬確認の半自動化」「服薬確認の省力化」を実施する。システムの構成は以下のとおりである。



※ローカル 5G 端末、薬剤自動認識装置(タブジャッジ)は巡回ロボットに搭載

図 2-16 巡回ロボット／薬剤自動認識装置システム

本システムにて使用する機器は以下の表 2-10 のとおりである。

表 2-10 巡回ロボット／薬剤自動認識装置システム機器一覧

No.	物品	メーカー	型番	数量
1	巡回ロボット	モノプラス	Temi	2
2	薬剤自動認識装置(タブジャッジ)	ユヤマ	YS-TID-01	2
3	タブジャッジ用 PC	ユヤマ	Optiplex XE3	2
4	タブジャッジロボット搭載用 PC	ユヤマ	DragonFLY	2
5	データ解析サーバ	ユヤマ	PYT1324T2M	1
6	飲み殻画像解析	ウルシステムズ	なし	1

各物品の仕様は以下のとおりである。

① 巡回ロボット

表 2-11 巡回ロボット

項目	仕様	備考
機種	Temi（自立走行型）	
外形寸法 (cm)	100H x 35W x 45D	
重さ	12 kg	
電源	Autonomous charging- 220V/110V High performance docking station Lithium-Ion cells	
ネットワーク	Wi-Fi	



※上図は薬剤自動認識装置(タブジャッジ)、ローカル 5G 端末の搭載前の外観図

図 2-17 巡回型ロボット 外観

② 薬剤自動認識装置(タブジャッジ)

表 2-12 タブジャッジ 仕様

項目	仕様	備考
品 名	持参薬鑑別支援装置 TabJudge (タブジャッジ)	
型 式	YS-TID-01	
外形寸法	本 体： 幅 200 × 奥行 200 × 高さ 505mm (本体のみ。突起物・PC 含まず)	
本体重量	10kg	
消費電力	最大 200VA (本体 ： 100VA、PC100VA)	
電源電圧	AC100V ± 10% 50/60Hz	
筐 体	外装色： 黒	
主機能	①持参薬鑑別機能 ②返品薬確認機能 ③ルーペ機能 (拡大表示のみ)	
カメラ	画像処理用カメラ 2 台	
照 明	上下間接照明、上下リング照明	
その他	1 回の錠剤最大量： 15 錠 (ただし薬品が重ならないこと) 鑑別内容： ①刻印・プリント ②形状 ③色調 鑑別スピード： 平均 3 秒 (シャーレ内の薬品は 10 種 10 錠)	

なお、以降タブジャッジと他のシステムとの連携において、ソフトウェア上は「ユヤマ/ユヤマサーバ」として表記する。



図 2-18 タブジャッジ 外観

なお、本実証において、タブジャッジは巡回ロボットに搭載するため軽量化を行った。



図 2-19 タブジャッジ軽量化作業

軽量化に合わせて、Temi への搭載後の違和感軽減のため丸みのある設計にも変更した。元のタブジャッジは 10kg の重量であったが 7kg 軽量化し、Temi 搭載タブジャッジは最終的に 3kg となった。



図 2-20 軽量後のタブジャッジ

軽量化後のタブジャッジに加え、ローカル 5G 対応端末やバッテリーも搭載した。



図 2-21 タブジャッジを Temi に搭載した様子



図 2-22 ローカル 5G 端末やバッテリーも搭載した様子

なお、タブジャッジを Temi に搭載するにあたり、ソフトウェア間の連携も行い、インターフェイスは MQTT、画像処理サーバ間は HTTP で設定した。

```
Connected with result code 0
/device/ogawaTest/40, Test message from Publisher 2022/12/02 10:08:34
/device/ogawaTest/40, {"topicPath":"/mod-temi/ogawaTest/157/9470", "msg":"temiからのメッセージ(15)です"}
/device/ogawaTest/40, {"topicPath":"/mod-temi/ogawaTest/157/9470", "msg":"temiからのメッセージ(16)です"}
```

図 2-23 Temi と MQTT 通信画面の抜粋

薬剤を投入するパーツとしてはシャーレとトレイを準備した。それぞれ薬剤を置き、タブジャッジに差し込むと撮影が行われる設計とした。



図 2-24 薬剤を投入するシャーレとトレイ

薬剤鑑別のための撮影機能として 5MP の画像処理用カメラを上下に 2 台搭載しており、照明の露光調節などを行い撮影する。撮影データから刻印・プリント・形状・色調を解析し、候補薬品を選び出す。



図 2-25 タブジャッジ撮影の様子

③ タブジャッジ用 PC

撮影画像から導かれた候補薬品の鑑別処理および薬剤・看護職員のシステム登録を行うためナースステーション等に設置する。

(薬剤師、看護師との調整により設置場所変更となる場合がある)

表 2-13 タブジャッジ用 PC 仕様

項目	仕様	備考
型 式	Optiplex XE3	
高さ (cm)	29	
幅 (cm)	9.26	
奥行 (cm)	29.2	
梱包重量 (kg- 梱包材を含む)	6.86	
チップセット	インテル Q370	
プロセッサ	インテル Core i3-8100 (4 コア/6 MB/4 T/3.6 GHz/65 W) - インテル Pentium Gold-G5600 (2 コア/4 MB/最大 3.9 GHz/54 W)	
最低メモリ構成	4 GB	
最大メモリ構成	64 GB	
スロット数	DIMM スロット x 4	
スロットごとにサポートされる最大メモリ	32 GB	
USB	USB 2.0 ポートは Smart Power On に対応 (背面) USB 3.1 Gen1 ポート (背面) (4) USB 2.0 ポート (前面) (1) PowerShare 機能付き USB 2.0 ポート (前面) USB 3.1 Gen 1 ポート (前面) PowerShare 機能付き USB 3.1 Gen 2 ポート (前面)	
ネットワークアダプタ	インテル i219-LM ギガビット 1 Ethernet LAN 10/100/1000 (リモート ウェイク アップ、PXE およびサポート)	



図 2-26 タブジャッジ用 PC 外観
※ケース型形式はスモール／タワー変更する場合がある。

④ タブジャッジロボット搭載用 PC

表 2-14 タブジャッジロボット搭載用 PC 仕様

項目	仕様	備考
型 式	DragonFLY	
プロセッサ	インテル R Core [®] i5-8265U プロセッサ	
メモリ	8GB オンボード	
ディスプレイ	13.3 インチ・フル HD (1920×1080)・タッチ・光沢※HP Sure View (内蔵プライバシースクリーン機能) 非搭載	
グラフィックス	インテル R UHD グラフィックス 620	
ストレージ	128GB M.2 SSD(SATA3)	
光学ドライブ	なし	
無線機能	インテル R Wi-Fi 6 AX200 a/b/g/n/ac/ax + Bluetooth 5.0	
通信モジュール	なし	
バッテリー	リチウムポリマーバッテリー (2 セル、38Whr、高耐久性、最大 16.5 時間)	
質量	約 999g	



図 2-27 タブジャッジロボット搭載用 PC 外観

タブジャッジ PC は、メンテナンスしやすいようにキーボードが折り畳まれ液晶の背後に収納されている。



図 2-28 Temi にタブジャッジ PC を搭載した様子

⑤ データ解析サーバ

本システムは薬剤画像の解析を行う。プログラムは群馬大学附属病院様の既存サーバ上にインストールする。

表 2-15 データ解析サーバ 仕様

項目	仕様	備考
型 式	PYT1324T2M	
モデル	3.5 インチモデル / 2.5 インチモデル	
形状	タワー	
CPU ソケット数・種類	1, インテル® Pentium® Gold プロセッサ / インテル® Core™ i3 プロセッサ / インテル® Xeon® プロセッサ	
メモリスロット数・種類	4 (2666 UDIMM)	
メモリ最大容量	128GB (2666 UDIMM)	



図 2-29 データ解析サーバ 外観

⑦ 飲み殻画像解析

本システムは飲み殻画像の解析を行う。サーバは群馬大学附属病院様の既存ブレードサーバ上に実証用に用いる本システムのプログラムをインストールする。

表 2-16 飲み殻画像解析 仕様

項目	仕様	備考
形状	群馬大学附属病院様の既存ブレードサーバ上で動作	
仕様	飲み殻解析プログラム	

⑧ NAT ルータ

本機器は、ローカル 5G 機器と既存機器の NW 接続および、IP アドレス隠蔽のために使用する。

表 2-17 NAT ルータ 仕様

項目	仕様	備考
型式	UNIVERGE IX2107	
インターフェイス	Ethernet 10/100/1000BASE-T ×5	
外形寸法	135×196×36（ゴム足含む）	
質量	0.8kg 以下	
消費電力	14VA（7W）以下	



図 2-30 NAT ルータ 外観

⑨ VPN ルータ

本機器は、院外薬局向け院内カルテ参照/トレーシングレポート送信システムで使用するクラウド環境との接続に利用する。

表 2-18 VPN ルータ 仕様

項目	仕様	備考
型式	UNIVERGE IX2235	
インターフェイス	Ethernet 10/100/1000BASE-T ×10	
外形寸法	210×165×43（ゴム足含む）	
質量	1.2kg 以下	
消費電力	36VA（19W）以下	



図 2-31 VPN ルータ 外観

(2) 薬局向け 院内カルテ参照/トレーシングレポート送信システム

本システムは、群馬大学医学部附属病院から入手した服薬データを Microsoft Azure（クラウド）にて共有することでトレーシングレポートの作成および情報共有を行う。

システムの構成は以下のとおりである。

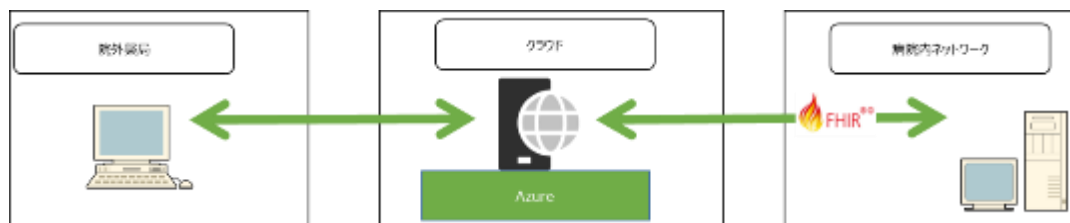


図 2-32 薬局向け 院内カルテ参照/トレーシングレポート送信システム構成
Microsoft Azure（クラウド）を利用するため、本システムにて使用

2.4 システム機能・性能・要件

本実証の課題実証にて利用する各システムについて、本実証の実施及び目的の達成に必要な機能および性能について記載する。また、各システムの所要性能を明記し、ローカル 5G システムの環境下での性能評価に利用する。なお、下記の（１）（２）で示す各システムは同時に使用することから、ローカル 5G の所要性能は同時に利用した場合において、各システムが所要性能を十分に満たすことを実証する。所要性能の対象となる区間は、ローカル 5G 端末～薬剤自動認識装置システムで利用するサーバ群とする。

(1) 巡回ロボット

以下に所要性能を以下に示す。

表 2-19 巡回ロボットの所要性能（1 台あたり）

項目	条件
UL/DL スループット	40Mbps
伝送遅延	50ms 以下

また、本システムの機能・性能・要件を以下に示す。

- ・ 病院内を走行及びターンが可能であること。
- ・ カメラ、センサー等を用いて自己位置認識し、自立走行が可能であること。
- ・ 手動での走行制御が可能であること。
- ・ 音声や画像動画による、スタッフとの情報通信が可能であること。

(2) 薬剤自動認識装置システム

以下に所要性能を以下に示す。

表 2-20 薬剤自動認識装置システムの所要性能（1 台あたり）

項目	条件
UL スループット	20Mbps
伝送遅延	50ms 以下

薬剤自動認識装置システム（タブジャッジ）で撮影する画像ファイルは、1 枚～15MB のデータを送信する想定とする。

また、その他の本システムの機能・性能・要件を以下に示す。

① 薬剤鑑別

- ・ 刻印・印刷が見えている薬剤に対して、1 つの薬剤が 3 秒以内に、5 つ以内の候補が表示される確率が 80%以上であること。

② 飲み殻画像解析

- ・ 推定は以下の手順としバーコードも薬剤を特定するための要素に含める。
- ・ バーコードで判別できる場合はバーコードから薬剤を特定する。
- ・ バーコードの判定ができなかった場合は、画像クラスタリングにより推論する。
- ・ 患者に提供される薬剤（ブリスターパック）は、1 回分とは限らない。1 シートの場合もあれば、1 シートを分割して提供される可能性があることを考慮して推論する。
- ・ 複数種類の薬剤が撮影される可能性があることも考慮する。
- ・ 薬剤名を特定するモデルへの追加学習が容易なアーキテクチャを検討する。
- ・ 薬剤シートの 1 シート内の 1 粒を識別し、薬があるかないかを特定する。
- ・ 1 包の場合は、その中に薬剤と想定される粒があるかないかを推定する。
- ・ 薬剤別に殻のパターンを学習するのではない。ブリスターパックであればどのような薬剤であっても殻を認識できるようなアーキテクチャを検討する。
- ・ 薬剤名のデータベースをメンテナンスできる画面を提供する
- ・ JupyterNoteBook が動作する環境を提供し、JupyterNoteBook 上でモデルの追加学習ができる機能を提供する。
- ・ 追加画像やモデル構築の実行は JupyterNoteBook 上で操作する。

(3) 薬局向け 院内カルテ参照/トレーシングレポート送信システム

- ・ 患者同意機能：調剤薬局に対して病院が保持している患者の情報（カルテ等）の閲覧を許可する、という同意を得る機能を有すること
- ・ カルテ閲覧：院内に保存されているカルテ情報を取得（FHIR）、閲覧する機能を有すること
- ・ トレーシングレポート入力：調剤薬局から院内に対してトレーシングレポートを FHIR 規格で送信する機能を有すること
- ・ API コールのための認証機能を有すること
カルテ閲覧のための患者検索機能を有すること

2.5 その他

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示す。

(1) ローカル 5G システム

本実証で構築するローカル 5 G システムは 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ている。拡張性については各機器の項に記載する。

(2) 巡回ロボット

本ロボットは小型のコミュニケーションロボットであり、軽量物の運搬が可能である。決められたアクション事に発話が可能であり、狭い病室でもある程度動作可能なことから、本実証の枠を超えた行動もプログラムで可能である。

(3) 薬剤自動認識装置システム

薬剤自動認識装置システムは、ユヤマ社製のタブジャッジがベースとなっており薬剤の形状や刻印を描写することに特化した仕組みである。今回軽量化やロボット搭載のための治具を開発することで据え置き型の装置を稼働型にすることをを行った。また薬剤描写に特化した性能から薬剤の飲み殻判定も可能かを実証した。

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

本実証で構築するローカル 5 G システムは 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ている。また、図 2-33・図 2-34 に示す通り、本ローカル 5 G システムは、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和 2 年法律第 37 号）に基づく「開発供給計画認定」を受けた実績を有するノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社によって製造されており、本実証で重要となる分散アンテナシステムを提供できる製品である。

また、ローカル 5 G システムを導入する本実証の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適正な管理を実施し、業務委託先に機密情報を提供する際は、安全かつ適切な取引を行うためのセキュリティ調査を実施する。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、下記項目に従って確認を実施する。

・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。

様式第九（第6条第6項関係）

変更後の認定開発供給計画の概要

1. 変更の認定の日付
令和3年2月8日
 2. 変更後の開発供給計画認定番号
2020 開 1 総経第 0003 号-2
 3. 認定開発供給事業者の名称
株式会社グレープ・ワン
ノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社
 4. 変更後の認定開発供給計画の概要
全国のケーブルテレビ事業者向けに、ローカル 5 G システムに供する設備として以下の設備を開
発供給する。
- ・開発供給を行う特定高度情報通信技術活用システムの内容

メーカー	種別	型番・型式	主な仕様等（概要）
NOKIA	交換設備	CMM-a2 3HE14994BA	・クラウド型 ・5G NSA 方式 ・MME 機能
NOKIA	交換設備	CMG-a2 3HE12212BA	・クラウド型 ・5G NSA 方式 ・SPGW 機能
NOKIA	特定基地局以外の基地局の無線設備	AWEUA 475166A	・RF 部 ・26500・29500MHz ・空中線一体型
NOKIA	特定基地局以外の基地局の無線設備	AMIA 473098A ASIK 474021A ABIL 474020A	・DU/CU 部
NOKIA	自営等広帯域移動無線アクセスシステムの基地局の無線設備	AWHHF 475181A	・RF 部 ・2496・2690MHz ・空中線分離
NOKIA	自営等広帯域移動無線アクセスシステムの基地局の無線設備	ASIA 473095A ABIA 473096A	・DU/CU 部
NOKIA	自営等広帯域移動無線アクセスシステムの基地局の無線設備	AMIA 473098A ASIA 473095A ABIA 473096A	・DU/CU 部

図 2-33 本ローカル 5 G システムにおける開発共有計画認定の概要（1/2）

(備考)

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

図 2-34 本ローカル 5 G システムにおける開発共有計画認定の概要 (2/2)

3. ローカル 5 G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要

本実証では、ローカル 5 G を活用した様々なソリューションを地方都市の病棟に展開することを目標として、病棟フロア環境での 4.8GHz 帯における電波伝搬特性の解明及び、同周波数帯を用いたローカル 5 G 環境下における、自動走行型ロボットの走行を想定したエリア構築手法を対象とした以下 2 つの実証テーマを行った。

- 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

両テーマともに、病棟フロア内の屋内環境に基地局およびアンテナを設置し、ローカル 5 G 環境下にて実証を行った。

テーマ I では病棟フロアにおける電波伝搬特性を明らかにした上で、病棟フロア内における建物侵入損 R の精緻化を実施した。また、病院内は複数の材質で構成された壁面や柱等の遮蔽物が入り組んでいる環境であるため、それぞれの遮蔽物ごとのパラメータ R についても精緻化を実施した。加えて、本実証環境のように複数アンテナが隣接する場合における各測定点の受信電力は、それぞれのアンテナから受信する電力の総和となると考え、検証を行った。さらに屋内から屋外への電波の漏洩に関して、実証フロアにおける外壁の前後での測定ポイントにて受信電力測定を実施し、その実測値の差分から建物侵入損 R 値についても考察した。

テーマ II では病棟フロア一帯で課題実証システムの自動走行型ロボットを走行させるため、分散アンテナシステムを活用し、アンテナ単基運用時と比較した受信電力や伝送性能の改善効果を検証した。病棟フロアという環境の特性上、アンテナ単基では十分にカバーできず受信電力が減衰するエリア（以降「不感地帯」と記載）に対して、分散アンテナシステムの導入によるエリア構築の柔軟性向上の検証を目的とした。

本実証では、以上の検証より 4.8GHz 帯におけるエリア算出式におけるパラメータ R の精緻化を行うとともに、分散アンテナシステムの利用条件やエリア設計手法を取りまとめた結果から技術審査基準改定に向けた提言を行い、医療分野における効率的なエリア設計・活用モデルに寄与することで、同ユースケースの横展開に資する知見等を示し普及促進を図った。

3.2 実証環境

本実証は、群馬大学医学部附属病院の北病棟 2F（図 3-1）（図 3-2）を実証フィールドとし、遮蔽物の多い屋内環境で分散アンテナシステムを用いたエリア構築を行った。分散アンテナシステムとして計 3 基のアンテナを設置し、それぞれの設置箇所はアンテナ①が北病棟西側の廊下、アンテナ②が北病棟中央付近にある医師控室内、アンテナ③が北病棟東側のナースセンター付近の廊下とした。北病棟は窓側に病室が配置され、内側に医師や看護師が使用するナースセンターや医師控室、カンファレンス室といった設備が配置されている。それぞれの用途によって部屋が区切られているため、ローカル 5 G 環境における遮蔽物が多いという特性を持った環境となる。このような環境下で発生する不感地帯に対して、分散アンテナシステムを用いたエリア改善を行い、電波伝搬環境の変化について実証した。なお、エリア改善は図 3-3 で示す業務区域を対象としている。



図 3-1 群馬大学医学部附属病院 実施環境

(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 3-2 群馬大学医学部附属病院 外観

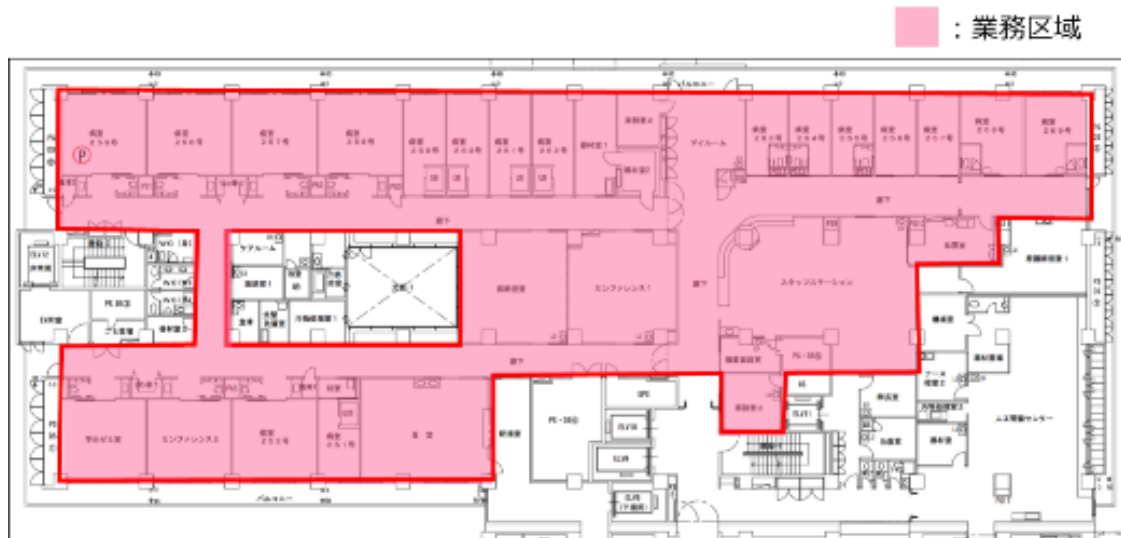


図 3-3 北病棟 2 階 業務区域

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

本実証は、医療におけるユースケースのうち地方都市の病棟というフィールドにおいてローカル 5 G による様々なソリューションを運用・展開することを想定し、その電波伝搬モデルの精緻化を行うことを目的とした。日本全国の医療現場において、第 4 章にて述べるような電子カルテや服薬確認システムと連携した自立走行型ロボットの運用は、多くの医療現場が抱えている人手依存の課題を解決する上で非常に重要なソリューションとなる。しかし、このようなローカル 5 G ソリューションを医療現場に適用するには病棟フロアを広くエリア化する必要があるが、「図 3-4」「図 3-5」「表 3-1」に示す通り、一般的に病棟フロア内には電波を遮蔽する開閉式扉や屋内壁等が多数存在するため、大きな電波伝搬損失を引き起こす可能性が非常に高いと想定される。このような遮蔽物による電波伝搬損失の存在は、病棟フロアにおけるエリア設計の困難性を上げるものであり、医療現場におけるローカル 5 G ユースケースを広く展開させるためには、病棟フロアにおける遮蔽物透過損、および建物侵入損の精緻化が必要と考える。また、ローカル 5 G を用いたソリューションの求める所要性能である UL スループット 120Mbps、遅延時間 50ms を考慮すると、本項での電波伝搬モデルの精緻化結果を参考としたエリア設計の最適化及び、「3.3.2 エリア構築の柔軟性向上」での結果を参考とした分散アンテナシステム活用による受信電力・伝送性能の改善等を検討、実施することが求められる。

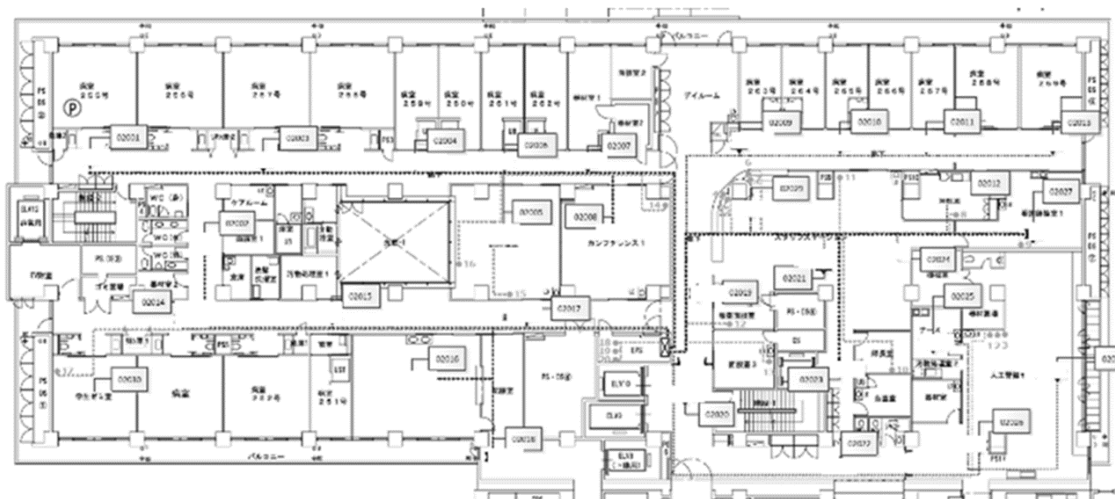


図 3-4 北病棟 2F のフロア図



図 3-5 北病棟 2F 内観

表 3-1 北病棟 2F の遮蔽物一覧

用途	材質	厚み (mm)
屋内壁	石膏・鋼材	180
スライド式扉 (各病室)	スチール	38
窓 (外壁)	ガラス	3
自動ドア (ナースステーション)	ガラス	25
開閉式扉 (面談室)	鉄	40
開閉式扉 (テレフォンルーム)	ガラス	10
円柱 (ナースステーション)	ボード (木材)	1430 (直径)
デッキプレート	鉄	1

2) 実証目標

本実証は、病棟フロアにおける電波伝搬モデルの精緻化を行い、技術基準の改定へ向けた提言を行うことを目的とした。まず、総務省が定める「電波法関係審査基準」における「カバーエリア及び調整対象区域の算出法」に基づいたエリア算出法の伝搬損失式のうち、4.8GHz 帯におけるパラメータR（建物侵入損）について、遮蔽物の材質や厚さ別の定量化を目指すパラメータの精緻化を実施した。本パラメータの精緻化を実施することで、医療ユースケースにおける病棟フロア内の効果的なエリア設計の実現に向け、寄与できると考える。

また、屋内から屋外への電波の漏洩に関して、実証フロアにおける外壁直前と電波の透過直後におけるポイントにて受信電力を測定し、その実測値の差分から外壁における建物侵入損R値についても考察した。この考察結果より、病棟フロアにおける電波漏洩影響についても知見を示すことができると考える。なお、本環境は2階に位置しているため、透過後の測定点については地上ではなく2階バルコニー内にて設定している。

本実証では、エリア構築における課題として、複数アンテナ隣接時のエリア算出法にも着目した。本実証環境のようにアンテナが複数隣接する場合、カバーエリアおよび調整対象区域の受信電力は複数アンテナから受信する電力の総和となることが考えられる。しかし、電波法関係審査基準で定められているエリア算出法では、このような複数の送信点が隣接するモデルにおける詳細な算出法が明示されていない。本実証では、全3基のアンテナにおける各単基運用時の受信電力の総和から、アンテナ全基同時運用時の受信電力を算出できると仮定し、その仮説値とアンテナ全基運用時の実測値を比較して評価を行った。この実証では、複数アンテナ隣接時のエリア算出法について改善提言に資する知見を示すことを目標とした。

更に、屋内壁等で入り組んだ実証環境下におけるマルチパスの発生についても測定を行い、病棟フロア内における基地局からの直接波と別角度からの到来波を分析する事で、自由空間伝搬と比べて受信電力が大きくなる事象への影響度も明らかにした。

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

令和2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. 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」において、郊外地病院内のパラメータR=18.1という値が算出されたが、更なる課題として「他の医療施設や使われ方等、他実証の結果も踏まえた包括的な考察及び改訂の検討」が提言されている。また、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. 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」の報告より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が、更なる課題として「屋内複数壁面で構成されている場合は、壁面枚数毎にR値を考慮する必要がある、内壁の損失等についても更なる検討が必要」と提言されている。

本実証は複数の素材ごとのRだけではなく、基地局と測定点の間に存在する壁やガラスの枚数を考慮し、素材・枚数ごとの複数パターンで精緻化を行った点において発展性を持つと考える。測定点は調整対象区域を精緻に定めるために LOS/NLOS（透過する素材・枚数）ごと、また透過する素材・枚数ごとにR値を求めることができる地点を複数選定した。例えば、上下フロアで課題実証システムを運用するなど将来的にエリアが拡張する場合を想定し、測定ポイントとして床・天井のR値の検討も確認可能となる測定点を選定した。このように複数種類のR値を求めることは、遮蔽物の多い病棟内部一帯のエリア化が求められるユースケースにおいて有意義な検証となると考えている。

また前述のパラメータRの包括的な検討及び改定を目指して、レイトレースシミュレーションを用いたパラメータRの仮説検証も行った。具体的には、エリア算出法シミュレーションとレイトレースシミュレーション結果を比較して病棟フロア内による最適な仮説侵入損R値を導出し、レイトレースシミュレーション結果と実測値の比較分析を行った。この比較分析から適合率を求め、エリア設計におけるレイトレースシミュレーションの有効性について言及した。

さらに本実証では、屋内における電波伝搬に影響を及ぼす要素として、過年度実証では未実施の屋内におけるマルチパスの影響分析を実施する点においても発展性を有している。マルチパスの影響を分析するため、指向性アンテナを測定器に取り付けることで、基地局からの直接波とそれ以外の到来波をマルチパスとして区別して測定し、乖離する要因についても基地局から測定点までの主な建物内遮蔽物、遮蔽物素材などを分析した。さらに病棟フロア内の LOS/NLOS 環境にて、直接波とマルチパスがどのような分布されるかを検証した。

これらの分析・検証によって、病棟フロア環境における電波伝搬に影響を及ぼす要素が明らかになり、本実証で精緻化するR値が他の病院へも活用可能なものとして汎用性が高まることを期待している。

(2) 実証仮説

本実証で使用する 4.8GHz 帯における建物侵入損を示すパラメータ R について、令和 2 年度地域課題解決型ローカル 5 G 等の実現に向けた開発実証における No. 19「中核病院における 5 G と先端技術を融合した遠隔診療等の実現」における検討引用 R 値「16.2」（一般的な壁）を引用し、本実証フィールドである病院内の建物素材を一般的な壁と仮定することで、 $R=16.2\text{dB}$ と仮定した。また、上下フロアに対しては壁を 2 枚透過するため侵入損を $16.2\text{dB} \times 2$ 枚より $R=32.4\text{dB}$ と仮定した。

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いう。今回採用した Ranplan Professional 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、エリア算出法では考慮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（規定 $R=16.2\text{dB}$ ）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、病棟環境における新たな仮説建物侵入損（仮説 R）として「 $R=11.6\text{dB}$ 」を導出した。導出手順は以下の「表 3-2」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に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」にて言及した。

表 3-2 仮説Rの導出手順

項番	大項目	小項目	対応図表
1	エリア算出図の作成	<ul style="list-style-type: none"> 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する 	<ul style="list-style-type: none"> 図 3-6 図 3-7 図 3-8 図 3-9
2	レイトレースシミュレーションの作成	<ul style="list-style-type: none"> RANPLAN 社の Ranplan Professional を利用してレイトレースシミュレーションを作成 	<ul style="list-style-type: none"> 図 3-10 図 3-11 図 3-12 図 3-13
3	シミュレーション伝搬損失カーブの作成	<ul style="list-style-type: none"> 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カーブを作成 	<ul style="list-style-type: none"> 図 3-14
4	仮説R値の導出	<ul style="list-style-type: none"> 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 (ΔR) は、規定Rとの差分であるため「仮説R値 = $16.2 - \Delta R$」により導出 	<ul style="list-style-type: none"> 図 3-14

また、本実証においてはエリア算出式の人体吸収損は考慮しないものとして実施した。エリア算出式における人体吸収損は 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した。よって本実証では受信電力を計算する際の計算式を、次のとおりとした。

$$\text{受信電力}(Pr) = \text{送信電力}(Pt) + \text{送信アンテナ利得}(Gt) - \text{送信給電線損失}(Lf) - \text{伝搬損失}(L)$$

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-76.6[dBm] (= -84.6[dBm] : 電波法関係審査基準の値+8[dB])
- 調整対象区域の閾値は-83.0[dBm] (= -91.0[dBm] : 電波法関係審査基準の値+8[dB])

さらに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った。

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

(※-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-111.75[dBm] (= -76.6[dBm] - 35.15 [dB])
- 調整対象区域の閾値は-118.15 [dBm] (= -83.0 [dBm] - 35.15 [dB])

アンテナ単基運用時と全基運用時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「図 3-6」～「図 3-13」に図示した。

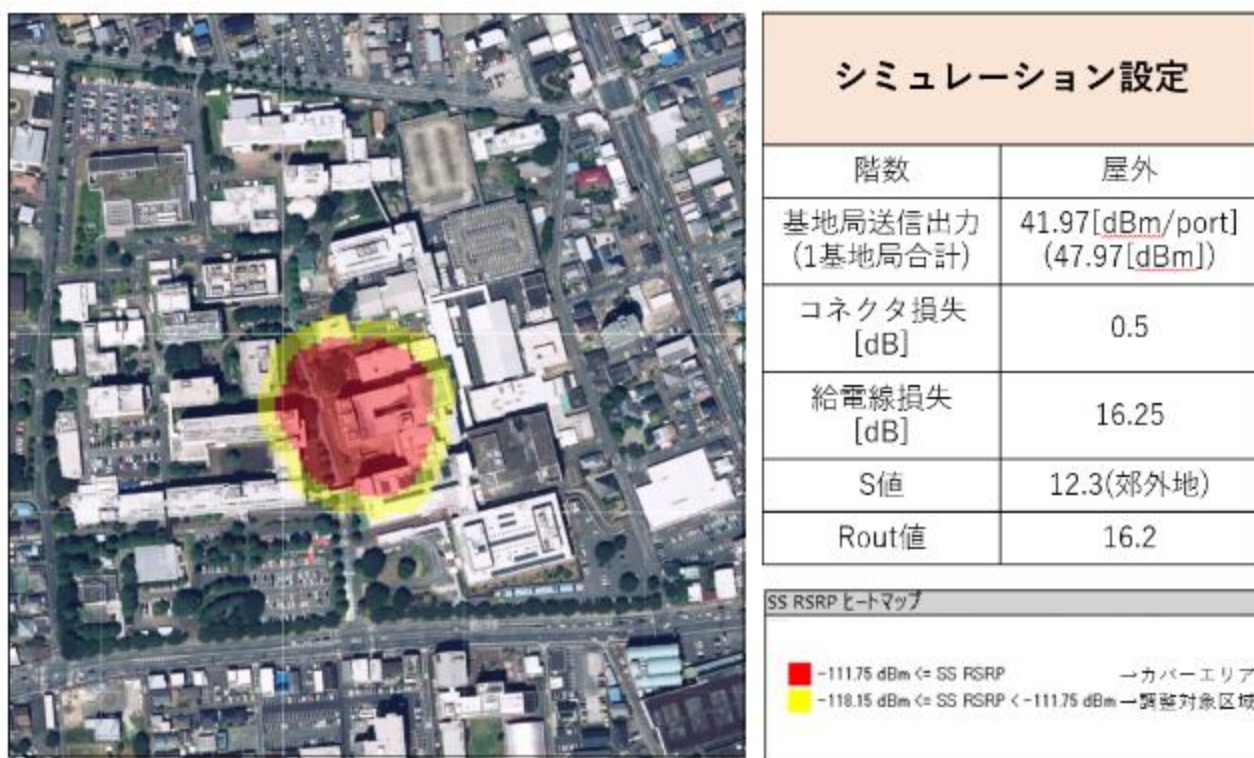
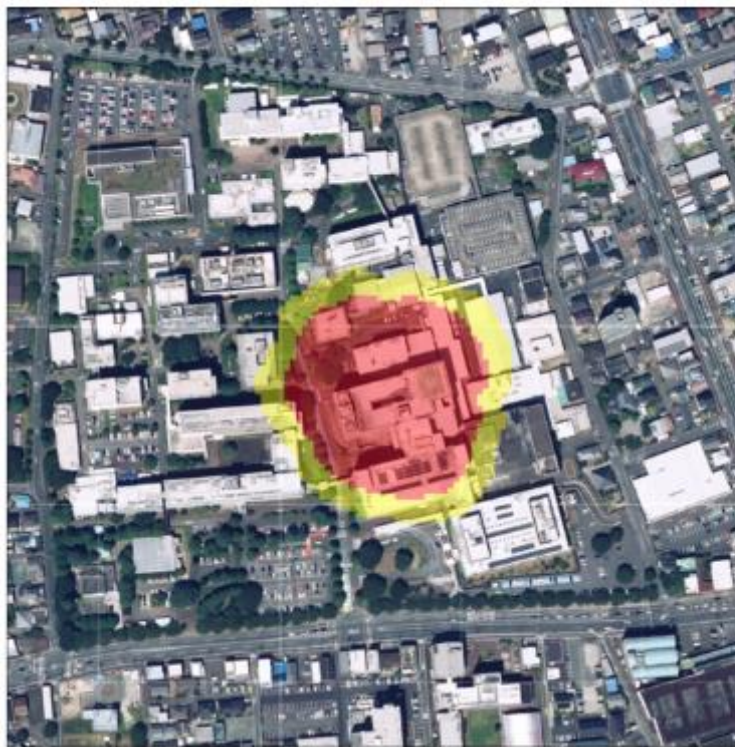


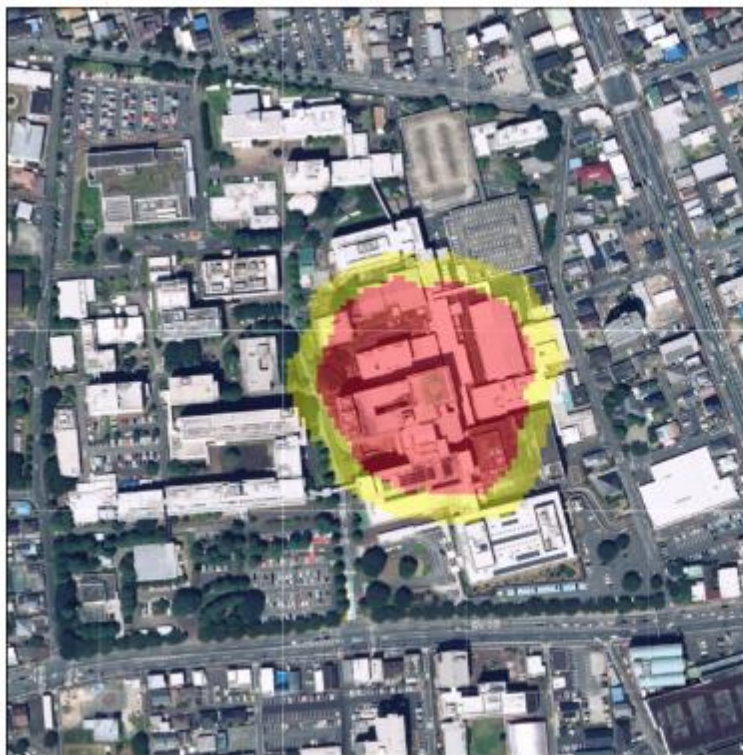
図 3-6 エリア算出法シミュレーションに基づくローカル 5 G 基地局の
カバーエリア及び調整対象区域（アンテナ①単基運用）



シミュレーション設定	
階数	屋外
基地局送信出力 (1基地局合計)	41.97[dBm/port] (47.97[dBm])
コネクタ損失 [dB]	0.5
給電線損失 [dB]	9.75
S値	12.3(郊外地)
Rout値	16.2

SS RSRP ヒートマップ	
■ -111.75 dBm ≤ SS RSRP	→ カバーエリア
■ -118.15 dBm ≤ SS RSRP < -111.75 dBm	→ 調整対象区域

図 3-7 エリア算出法シミュレーションに基づくローカル 5 G 基地局の
カバーエリア及び調整対象区域（アンテナ②単基運用）



シミュレーション設定	
階数	屋外
基地局送信出力 (1基地局合計)	41.97[dBm/port] (47.97[dBm])
コネクタ損失 [dB]	0.5
給電線損失 [dB]	8.125
S値	12.3(郊外地)
Rout値	16.2

SS RSRP ヒートマップ	
■ -111.75 dBm ≤ SS RSRP	→ カバーエリア
■ -118.15 dBm ≤ SS RSRP < -111.75 dBm	→ 調整対象区域

図 3-8 エリア算出法シミュレーションに基づくローカル 5 G 基地局の
カバーエリア及び調整対象区域（アンテナ③単基運用）

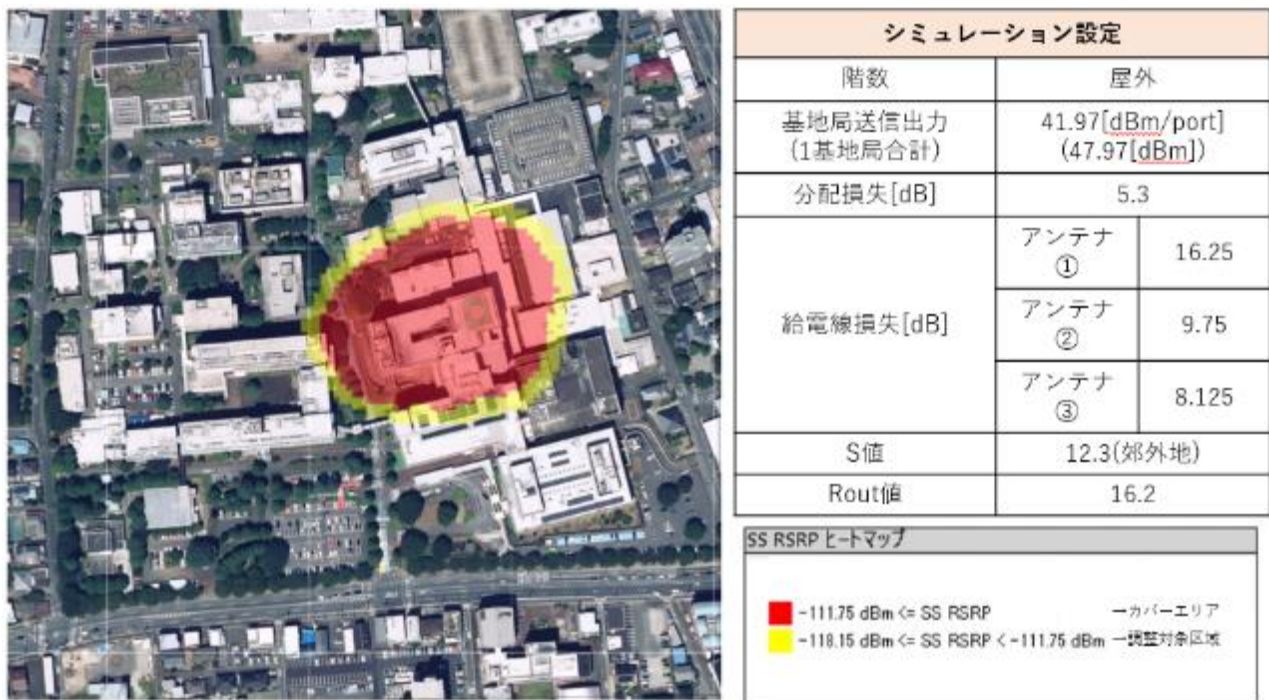


図 3-9 エリア算出法シミュレーションに基づくローカル 5 G 基地局の
カバーエリア及び調整対象区域（アンテナ全基運用）

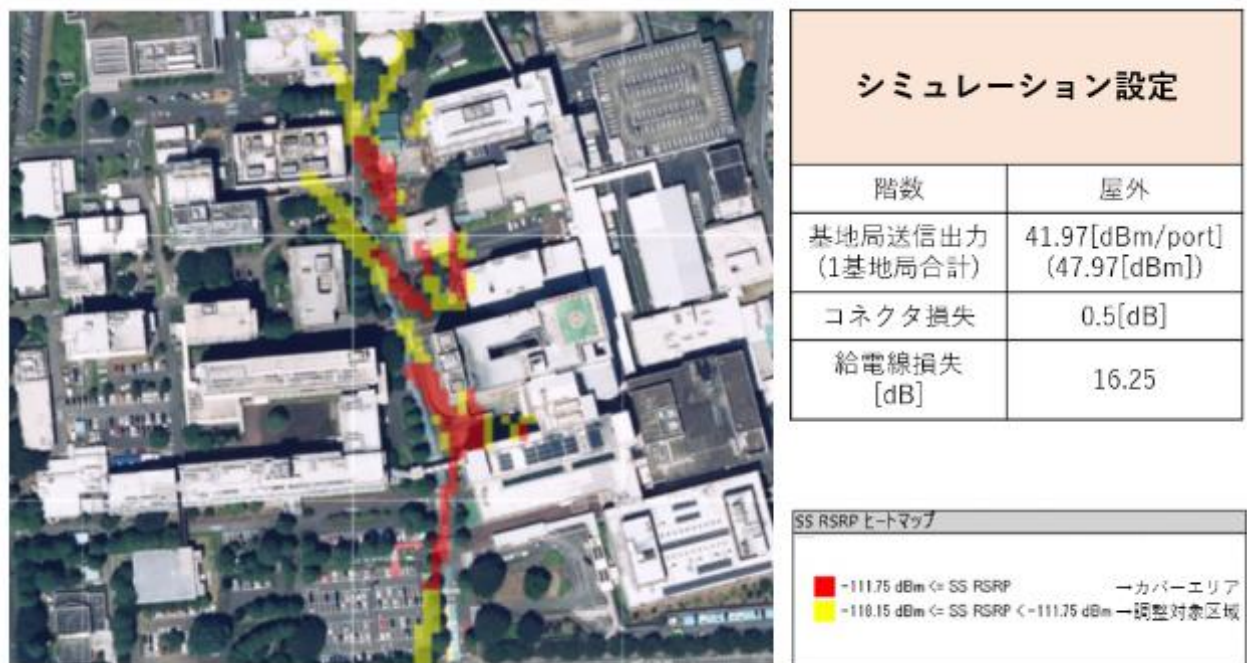


図 3-10 レイトレースシミュレーションに基づくローカル 5 G 基地局の
カバーエリア及び調整対象区域（アンテナ①単基運用）

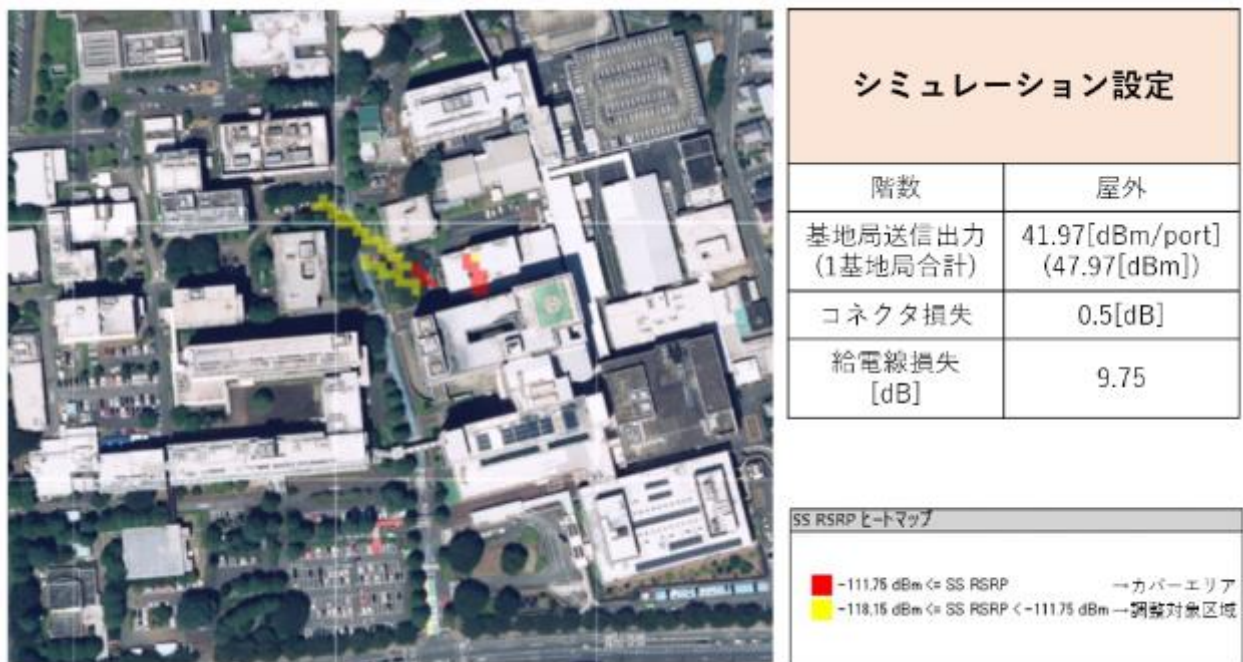


図 3-11 レイトレースシミュレーションに基づくローカル 5 G 基地局の
カバーエリア及び調整対象区域（アンテナ②単基運用）

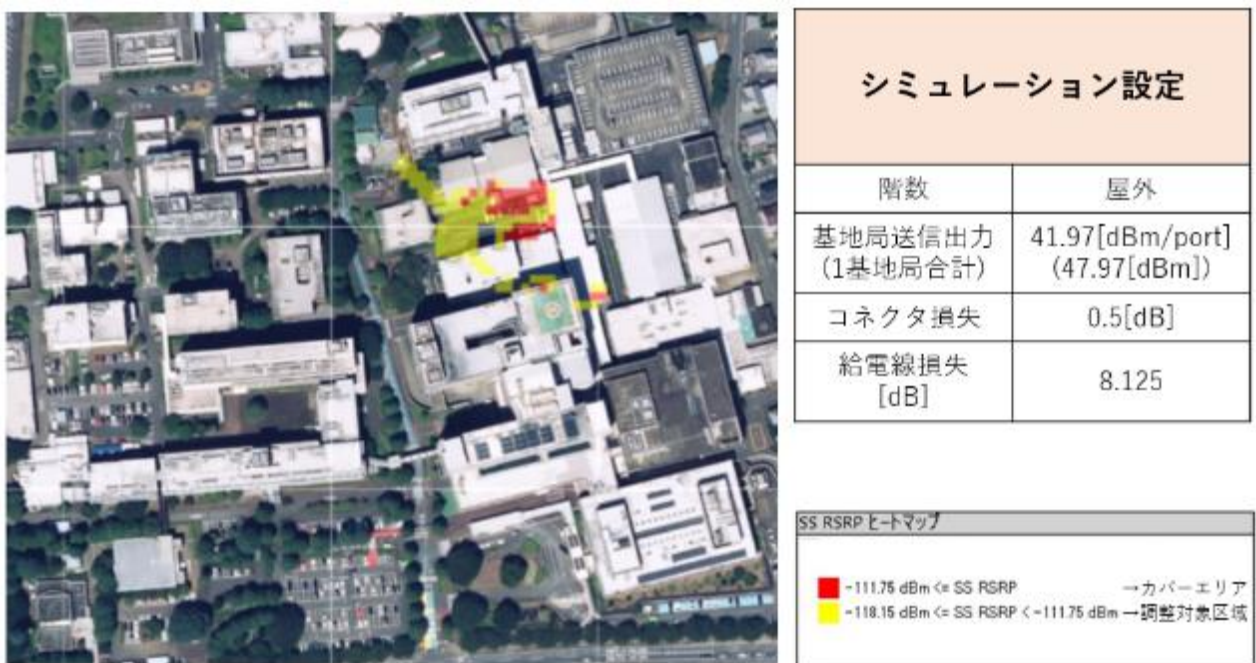


図 3-12 レイトレースシミュレーションに基づくローカル 5 G 基地局の
カバーエリア及び調整対象区域（アンテナ③単基運用）

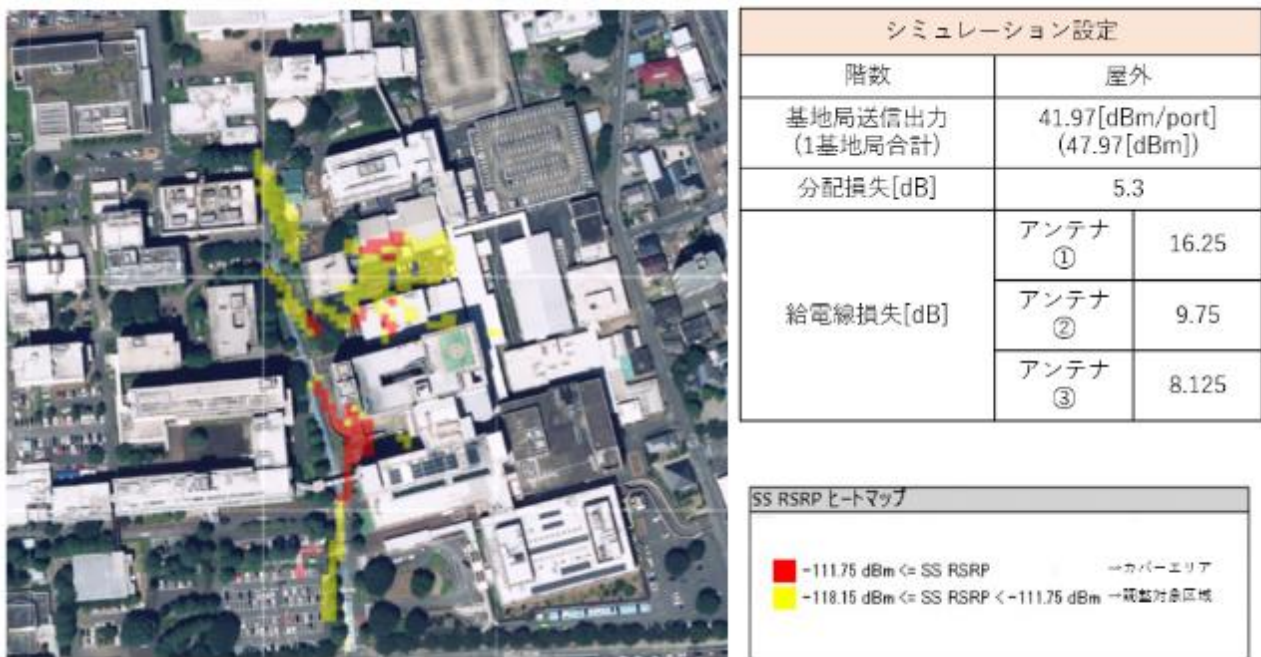


図 3-13 レイトレースシミュレーションに基づくローカル 5 G 基地局の
カバーエリア及び調整対象区域（アンテナ全基運用）

また、シミュレーション結果から求めた、基地局からの距離に対する伝搬損失の特性カーブを図 3-14 に図示した。シミュレーション結果にて、基地局からの距離が同一である地点間においても伝搬損失値にはらつきが生じているが、これは本実証エリアが屋外においても様々な建造物による遮蔽物影響が大きい環境であり、基地局からの距離が同一の地点でも方角によっては伝搬損失値が異なることが影響しているためだと考えられる。

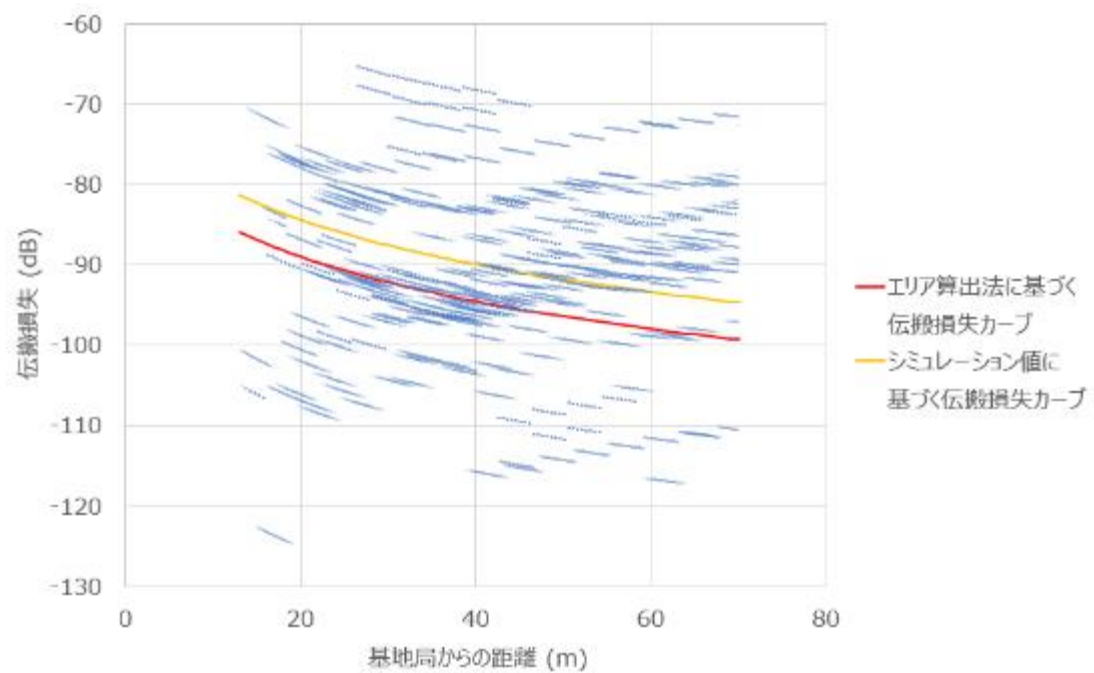


図 3-14 シミュレーション値に基づく伝搬損失カーブ

また、本実証では分散アンテナシステムを用いて病棟フロアに複数アンテナを設置した。このような複数の送信点が隣接する設計の場合、各測定点の受信電力は複数アンテナから受信する電力の総和となると仮定され、エリア算出法においても総和の受信電力を求める必要があると考えられる。

(3) 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下の「表 3-3」の通りである。

表 3-3 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"> ・ 仮説R値に基づいた各アンテナの全方位のカバーエリア/調整対象区域図の作成 ・ 仮説R値によるフロア侵入損を考慮した上下フロアのカバーエリア/調整対象区域図の作成 ・ アンテナより同じ距離の全方位(5方向)にて5ポイント(1アンテナ=20ポイント)の受信電力の測定 ・ 測定ポイントについて、全方位+複数パターン(LOS, NLOS(遮蔽1枚), NLOS(遮蔽複数枚))を考慮した測定ポイントの選定(10ポイント程) ・ 上下フロアの同じ測定ポイントにて測定 ・ 測定項目=SS-RSRP, SS-RSRQ, 遮蔽物材質/厚さ/面積率 ・ 遮蔽物の侵入損失値を測定(壁、病室開閉ドア、ガラス、上下フロア) ・ 実証フロアにおける外壁直前と電波の透過直後のポイントにおいて受信電力を測定し、屋内から屋外への電波漏洩の影響測定 ・ 仮説値と比較し大きな受信電力を実測した上位5ポイントでマルチパスの影響測定 ・ レイトレースシミュレーション値と実測結果の比較と、差分の要因分析
2	複数基のアンテナ同時運用における受信電力の仮説検討	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測定点に対して3基のアンテナからの受信電力の総和を机上計算(このときのR値は精緻化した値を参照)

「Rの精緻化」において、エリア算出法と実測値の比較の観点から、定義されるカバーエリア及び調整対象区域のエリア端上の屋外測定点のみでは、実証目標に掲げた「壁面の材質・厚さ別の建物透過損Rの精緻化」を満たすことはできない。そのため、表 3-1 に記載した各遮蔽物の前後における測定を実施し、その受信電力の差分から各遮蔽物の透過損失値を分析した。

(4) 評価・検証方法

本実証にて実施した試験の手順を以下の「表 3-4」「表 3-5」に示す。

表 3-4 Rの精緻化の試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	<p>【エリア算出法とレイトレースシミュレーション】</p> <ul style="list-style-type: none"> 規定R値（R=16.2dB）および仮説R値（R=11.6dB）を用いて、総務省が定める「電波法関係審査基準」における「カバーエリア及び調整対象区域の算出法」によるエリア算出法を基にしたエリアシミュレーションを実施し、カバーエリアおよび調整対象区域を算出・作図 レイトレースシミュレーションを実施し、エリア算出式によって得られた受信電力結果を比較 エリア算出法により得られたカバーエリアおよび調整対象区域図の閾値と実測値を比較する 30 以上の測定ポイントを定義 受信電力の実測値を確認できる測定点が 30 ポイントに満たない場合は、エリア算出法により得られたカバーエリア内にて歩行測定を実施し、屋外への漏洩電波を確認することができたエリアから測定ポイントを定義 	<p>図 3-15</p> <p>図 3-16</p> <p>図 3-17</p> <p>図 3-18</p> <p>図 3-19</p> <p>図 3-20</p> <p>表 3-7</p>
2	<p>【受信電力の測定】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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－遮蔽物内の電界強度[dB]」を算出するためアンテナから直線上の測定ポイントにて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 実証フロアにおける外壁直前と電波の透過直後のポイントにおいて受信電力を測定し、屋内から屋外への電波漏洩影響を分析 <p>※測定時の留意事項は下記</p> <ul style="list-style-type: none"> エリアスキャナーにて SS-RSRP を測定実施、測定器アンテナは無指向性を使用 測定器設定は、空中線利得 0dBi、給電線損失 0dB、空中線地上高 1.5m にて測定 定在波影響を避けるため、1 測定点において 10λ 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、測定中は作業による人体遮蔽が発生しない措置を実施 1 測定点において 1000 サンプル取得 	<p>図 3-23</p> <p>図 3-24</p> <p>図 3-25</p> <p>図 3-26</p> <p>図 3-27</p> <p>表 3-5</p>

工程	実施内容	対応図表
	<ul style="list-style-type: none"> 取得したサンプルから中央値、平均値、標準偏差、上位 10% 値、下位 10% 値を算出 屋内においてマルチパスの影響が生じている 5 ポイントでマルチパス特性を測定（表 3-5） 	
3	【測定結果確認と考察】 <ul style="list-style-type: none"> 測定結果より、エリア差分・遮蔽物透過損の値にて精緻化を実施 精緻化後 R 値を利用してエリア算出法を基にしたエリアシミュレーションにより、カバーエリアおよび調整対象区域図を算出・作図 精緻化後シミュレーション結果と実測結果を比較し、差異について考察を実施 	表 3-11

表 3-5 マルチパスの試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	【定点測定】 DAS アンテナ単体にて電波発射し建物内による LOS/NLOS となる環境が異なる複数の測定点を選定し測定を実施 <ul style="list-style-type: none"> 無指向性アンテナでの測定結果を仮説値と比較し、受信電力の乖離が大きな上位 5 ポイントにて、マルチパスの測定を実施（測定時は指向性アンテナを使用） 仮説値と比較し大きな受信電力を実測できる測定点が 5 ポイントに満たない場合は、実証エリアにおけるヒートマップを作成し、マルチパスが発生していると想定されるポイントを選定してマルチパス影響の測定を実施（測定時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位置に向けて、みなし直接波の SS-RSRP を測定 	表 3-10
2	【分析考察】 <ul style="list-style-type: none"> 測定点において指向性アンテナを 360 度回転させながら受信電力を測定することで、最もマルチパス波の影響が確認できる方角を特定 マルチパスが測定された位置・方角を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 	—

表 3-6 複数基のアンテナ同時運用における受信電力の仮説検討の試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	【仮説受信電力の算出】 <ul style="list-style-type: none"> 仮説受信電力を求める測定点ごとに、各アンテナの単基運用時の受信電力を測定し、その総和から各測定点の仮説受信電力値を算出 	図 3-28 表 3-13
2	【受信電力の測定】 <ul style="list-style-type: none"> アンテナ全基運用時の受信電力の測定 	
3	【測定結果確認と考察】 <ul style="list-style-type: none"> 測定結果より仮説と実測値の差分確認 測定結果および差分確認事項より、考察の実施 	

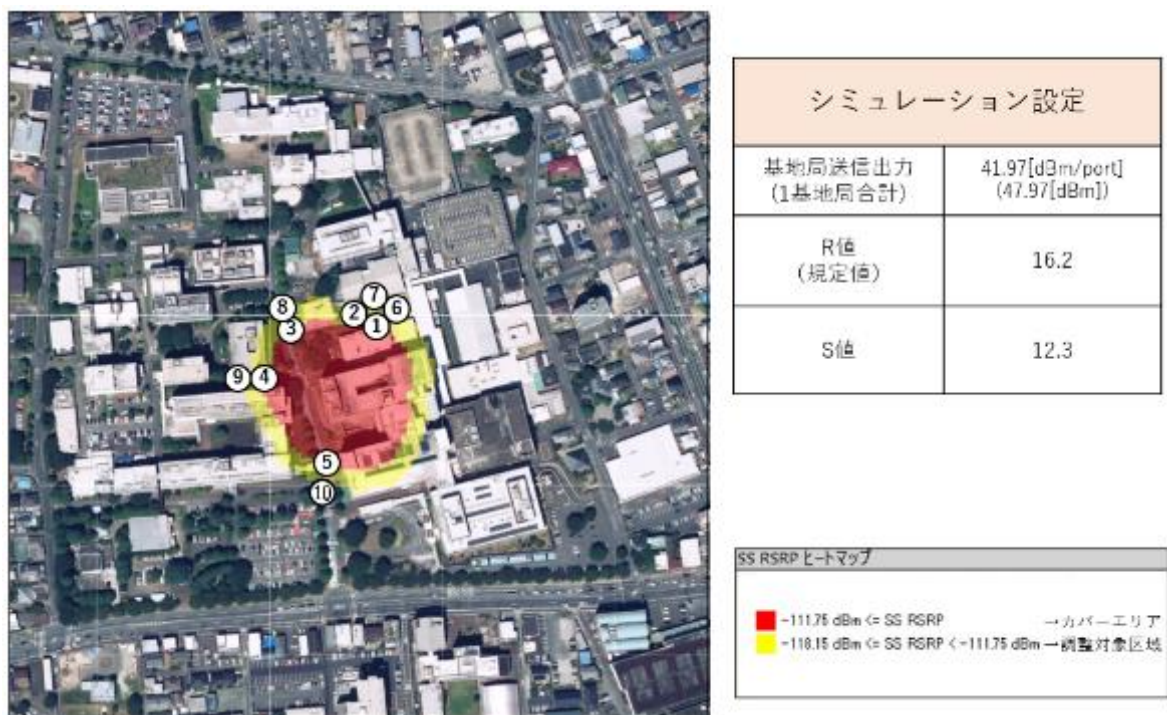
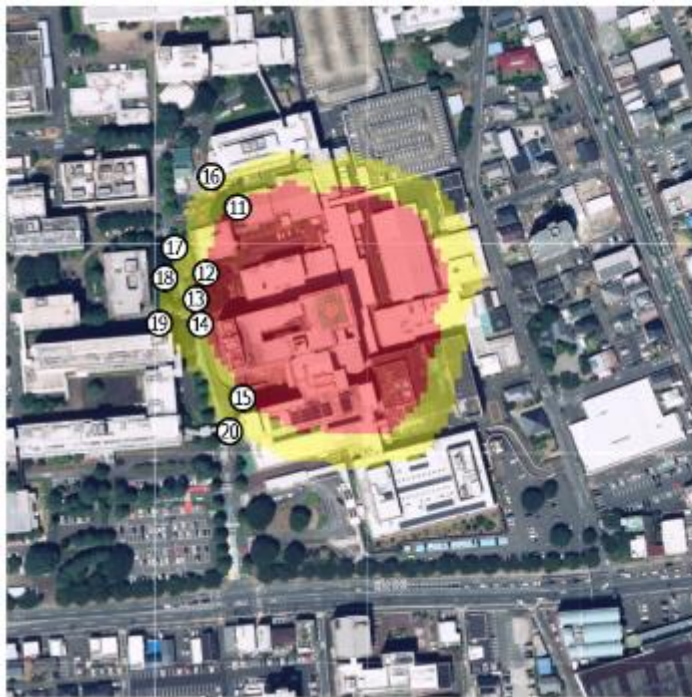


図 3-15 規定R値(=16.2)を用いたエリア算出法シミュレーションから算出されたカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント（アンテナ①単基運用）



シミュレーション設定	
基地局送信出力 (1基地局合計)	41.97[dBm/port] (47.97[dBm])
R値 (規定値)	16.2
S値	12.3

SS RSRP ヒートマップ	
■ -111.75 dBm ≤ SS RSRP	→ カバーエリア
■ -118.15 dBm ≤ SS RSRP < -111.75 dBm	→ 調整対象区域

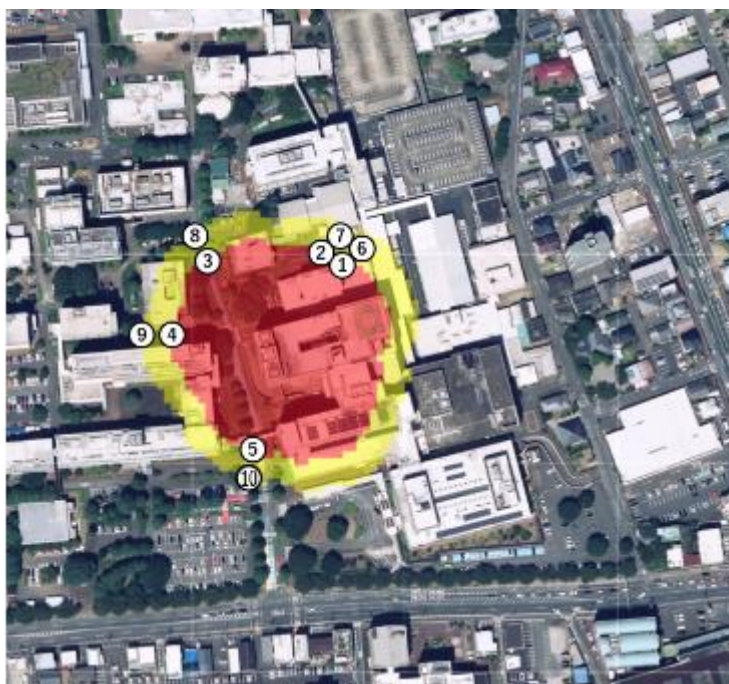
図 3-16 規定R値(=16.2)を用いたエリア算出法シミュレーションから算出されたカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント (アンテナ②単基運用)



シミュレーション設定	
基地局送信出力 (1基地局合計)	41.97[dBm/port] (47.97[dBm])
R値 (規定値)	16.2
S値	12.3

SS RSRP ヒートマップ	
■ -111.75 dBm ≤ SS RSRP	→ カバーエリア
■ -118.15 dBm ≤ SS RSRP < -111.75 dBm	→ 調整対象区域

図 3-17 規定R値(=16.2)を用いたエリア算出法シミュレーションから算出されたカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント (アンテナ③単基運用)



シミュレーション設定	
基地局送信出力 (1基地局合計)	41.97[dBm/port] (47.97[dBm])
R値 (仮説値)	11.6
S値	12.3

SS RSRP ヒートマップ	
■ -111.75 dBm ≦ SS RSRP	→カバーエリア
■ -118.15 dBm ≦ SS RSRP < -111.75 dBm	→調整対象区域

図 3-18 仮説R 値(=11.6)を用いたエリア算出法シミュレーションから算出されたカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント（アンテナ①単基運用）



シミュレーション設定	
基地局送信出力 (1基地局合計)	41.97[dBm/port] (47.97[dBm])
R値 (仮説値)	11.6
S値	12.3

SS RSRP ヒートマップ	
■ -111.75 dBm ≦ SS RSRP	→カバーエリア
■ -118.15 dBm ≦ SS RSRP < -111.75 dBm	→調整対象区域

図 3-19 仮説R 値(=11.6)を用いたエリア算出法シミュレーションから算出されたカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント（アンテナ②単基運用）

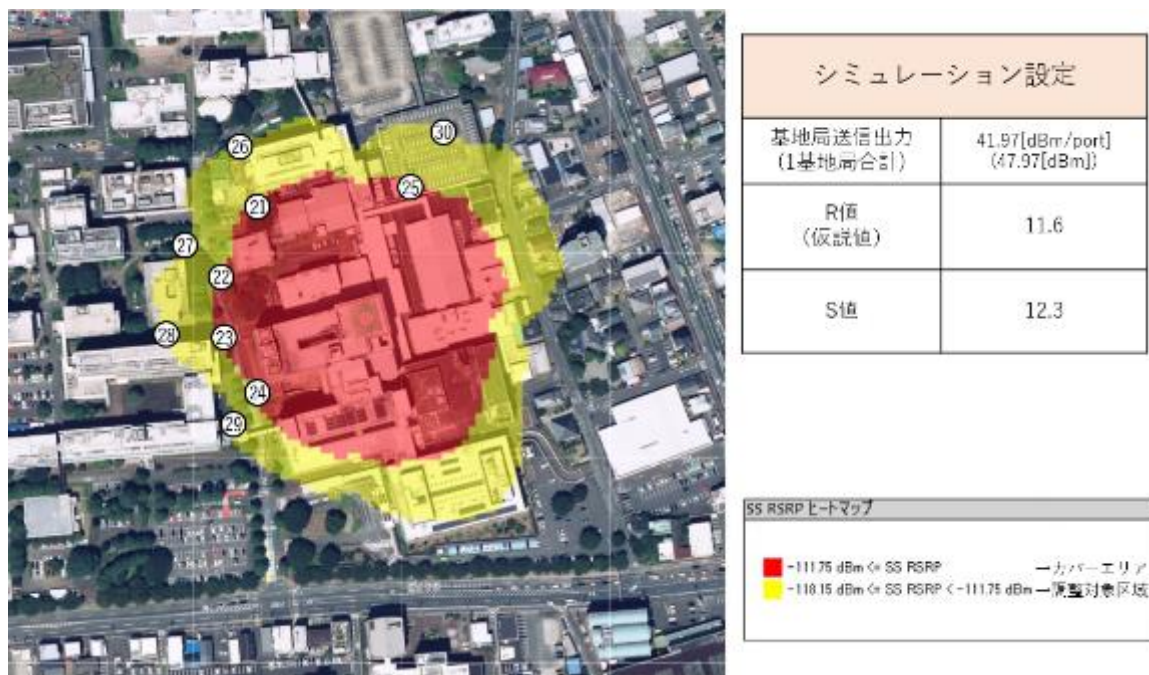


図 3-20 仮説R値(=11.6)を用いたエリア算出法シミュレーションから算出されたカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント（アンテナ③単基運用）



図 3-21 屋外測定の様子（1）



図 3-22 屋外測定の様子（2）



図 3-23 実証フロアにおける透過損測定対象の遮蔽物位置

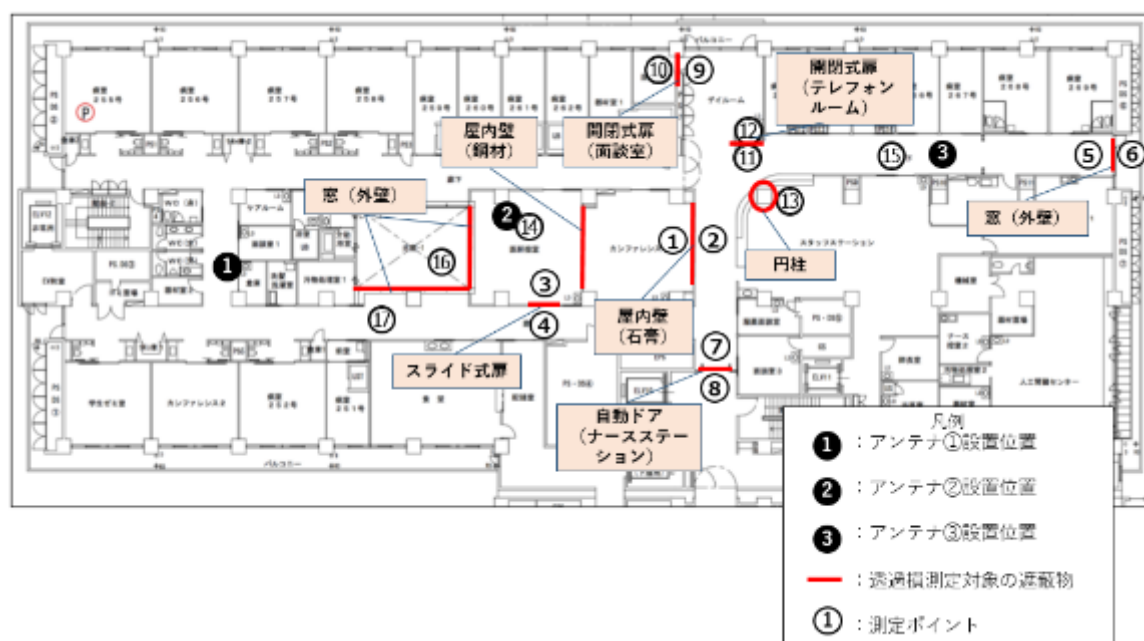


図 3-24 遮蔽物透過損の算出のため選定した測定ポイント（北病棟 2 階）



図 3-25 遮蔽物透過損の算出のため選定した測定ポイント（北病棟 1 階）



図 3-26 遮蔽物透過損の算出のため選定した測定ポイント（北病棟 3 階）

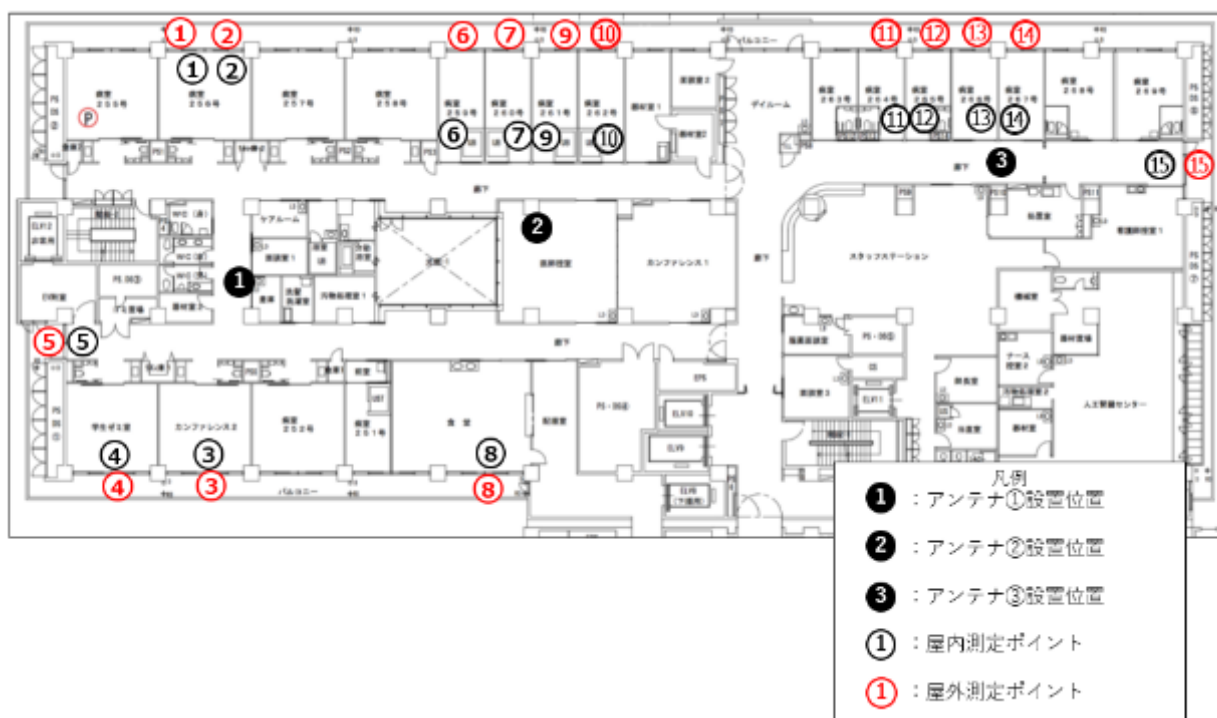


図 3-27 実証フロア外壁前後における電波漏洩測定ポイント



図 3-28 複数基アンテナ同時運用時における受信電力の測定ポイント

マルチパスの測定ポイント選定については、当初はレイトレースシミュレーションによる仮説値と比較して大きな受信電力を実測した上位5ポイントを選定する想定だったが、全体的にシミュレーションを下回る電波伝搬結果であったため、実証フロアにおけるヒートマップからマルチパス影響が強いと想定される7ポイントを選定して測定を実施した。測定ポイントについては、図 3-32 に示す。

また、測定点の高さに関しては、建物内各フロアでは床面より 1.5m 高、屋外測定点では地上より 1.5m 高での測定を実施した。測定点の垂直断面イメージ図について「図 3-39」に示す。

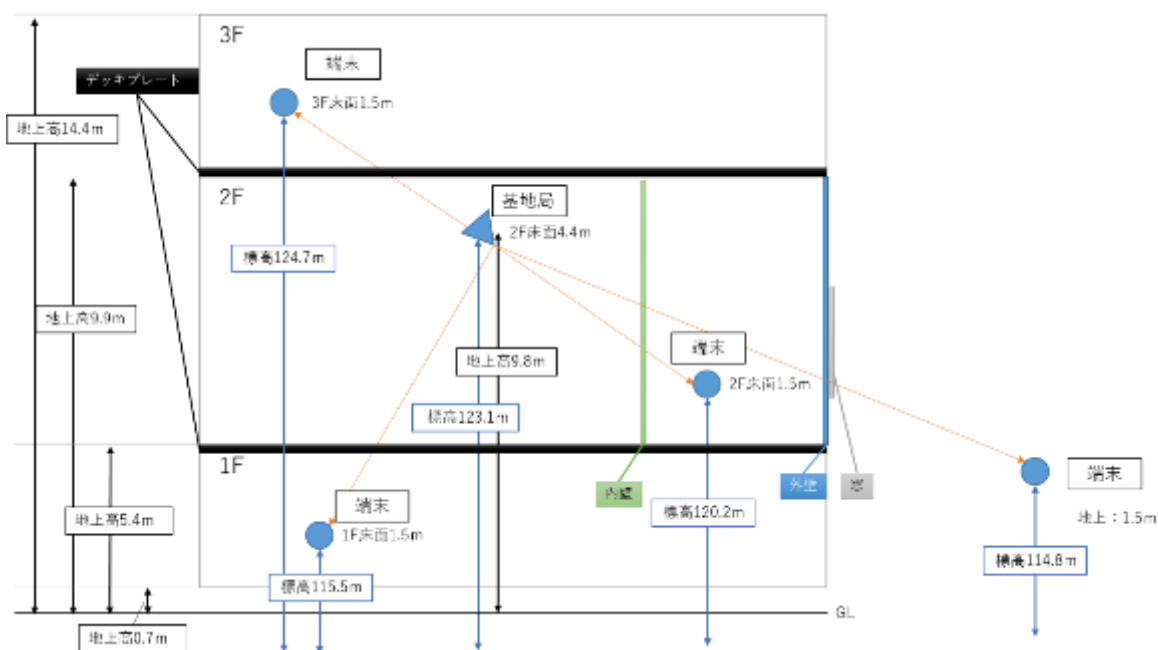


図 3-29 各測定点の垂直断面イメージ図

(5) 実証結果及び考察

1) 実証結果

- ① 仮説R値（R=11.6）を利用したエリア算出法に基づくシミュレーションによるカバーエリア及び調整対象区域を図示する。（図 3-18～図 3-20）
- ② ①で図示したカバーエリア及び調整対象区域端における各測定ポイントにて、仮説R値を利用したエリア算出値と実測値の比較を行った。また、リファレンスシグナルの品質評価の一環として SS-RSRQ の実測値を示す。（表 3-7）

表 3-7 各測定ポイントでのエリア算出値と実測値（R=11.6）

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 算出値 (dBm)	実測値 SS- RSRP 中央値 (dBm)	差分 (dB)	実測値 σ	実測値 上位 10% (dBm)	実測値 下位 10% (dBm)	SS-RSRQ 実測値 (dB)
1	1	75.4	75.3	-104.3	-	-	-	-	-	-
2	1	72.1	72.0	-104.2	-	-	-	-	-	-
3	1	74.1	74.1	-102.6	-	-	-	-	-	-
4	1	64.2	64.1	-99.9	-	-	-	-	-	-
5	1	54.8	54.1	-98.5	-132.7	-34.2	3.6	-130.2	-137.4	-15.3
6	1	89.7	89.7	-110.1	-	-	-	-	-	-
7	1	91.1	91.1	-107.7	-	-	-	-	-	-
8	1	87.8	87.8	-107.0	-	-	-	-	-	-
9	1	82.8	82.7	-106.4	-	-	-	-	-	-
10	1	68.8	68.2	-105.2	-132.6	-27.4	2.4	-129.7	-136.7	-15.6
11	1	87.7	87.7	-97.9	-	-	-	-	-	-
12	1	88.7	88.7	-94.9	-	-	-	-	-	-
13	1	81.4	81.4	-98.0	-	-	-	-	-	-

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 算出値 (dBm)	実測値 SS- RSRP 中央値 (dBm)	差分 (dB)	実測値 σ	実測値 上位 10% (dBm)	実測値 下位 10% (dBm)	SS-RSRQ 実測値 (dB)
14	1	84.9	84.6	-97.8	-137.7	-39.9	4.9	-135.1	-149.5	-18.9
15	1	76.1	76.0	-101.4	-	-	-	-	-	-
16	1	117.1	117.1	-102.8	-	-	-	-	-	-
17	1	112.7	112.6	-105.7	-	-	-	-	-	-
18	1	106.5	106.4	-103.9	-	-	-	-	-	-
19	1	108.5	108.5	-104.5	-	-	-	-	-	-
20	1	105.2	105.2	-105.4	-	-	-	-	-	-
21	1	89.7	89.7	-99.1	-	-	-	-	-	-
22	1	72.2	72.2	-99.2	-	-	-	-	-	-
23	1	89.6	89.6	-100.2	-	-	-	-	-	-
24	1	76.6	76.6	-98.8	-	-	-	-	-	-
25	1	90.8	90.7	-97.9	-	-	-	-	-	-
26	1	139.2	139.1	-106.6	-	-	-	-	-	-
27	1	112.8	112.8	-106.8	-	-	-	-	-	-
28	1	118.7	118.7	-105.6	-	-	-	-	-	-
29	1	105.3	105.2	-102.7	-	-	-	-	-	-
30	1	121.3	121.3	-104.1	-	-	-	-	-	-

③ 規定R値（R=16.2）を用いたエリア算出法に基づくシミュレーションによるカバーエリア及び調整対象区域を図示する。（図 3-15～図 3-17）

④ ③で図示したカバーエリア及び調整対象区域端における各測定ポイントにて、規定R値（R=16.2）を用いたエリア算出値と実測値の比較を行った。また、リファレンスシグナルの品質評価の一環として SS-RSRQ の実測値を示す。（表 3-8）

表 3-8 各測定ポイントでのエリア算出値と実測値 (R=16.2)

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 値 (dBm)	実測値 SS-RSRP 中央値 (dBm)	差分 (dB)	実測値 σ	実測値 上位 10% (dBm)	実測値 下位 10% (dBm)	SS-RSRQ 実測値 (dB)
1	1	67.6	67.1	-108.9	-	-	-	-	-	-
2	1	68.6	68.1	-108.8	-	-	-	-	-	-
3	1	64.7	64.2	-107.2	-	-	-	-	-	-
4	1	57.4	56.8	-104.5	-	-	-	-	-	-
5	1	54.8	54.1	-103.1	-132.7	-29.6	3.6	-130.2	-137.4	-15.3
6	1	83.2	82.8	-114.7	-	-	-	-	-	-
7	1	76.5	76.0	-112.3	-	-	-	-	-	-
8	1	73.5	73.1	-111.6	-	-	-	-	-	-
9	1	72.2	71.7	-111.0	-	-	-	-	-	-
10	1	68.8	68.2	-109.8	-132.6	-22.8	2.4	-129.7	-136.7	-15.6
11	1	67.9	67.4	-102.5	-	-	-	-	-	-
12	1	58.8	58.3	-99.5	-	-	-	-	-	-
13	1	69.1	68.6	-102.6	-	-	-	-	-	-
14	1	67.9	67.5	-102.4	-134.2	-31.8	2.5	-131.9	-138.3	-16.2
15	1	73.7	73.3	-106.0	-	-	-	-	-	-
16	1	79.5	79.1	-107.4	-	-	-	-	-	-
17	1	88.4	88.0	-110.3	-	-	-	-	-	-
18	1	80.6	80.3	-108.5	-	-	-	-	-	-
19	1	84.9	84.6	-109.1	-137.7	-28.6	4.9	-135.1	-149.5	-18.9
20	1	84.2	83.8	-110.0	-	-	-	-	-	-
21	1	75.5	75.1	-103.7	-	-	-	-	-	-
22	1	75.9	75.5	-103.8	-	-	-	-	-	-
23	1	77.1	76.7	-104.8	-	-	-	-	-	-
24	1	74.0	73.5	-103.4	-	-	-	-	-	-
25	1	72.9	72.5	-102.5	-	-	-	-	-	-
26	1	95.8	95.4	-111.2	-	-	-	-	-	-
27	1	96.0	95.7	-111.4	-	-	-	-	-	-
28	1	91.2	90.8	-110.2	-	-	-	-	-	-
29	1	83.8	83.4	-107.3	-	-	-	-	-	-
30	1	88.9	88.6	-108.7	-	-	-	-	-	-

- ⑤ ②・④にて、受信電力の実測値を確認できる測定点が 30 ポイントに満たない結果となったため、カバーエリア内における歩行測定を実施し、屋外への漏洩電波を確認することができたエリアから更なる測定ポイントを定義した。(図 3-30・図 3-31)

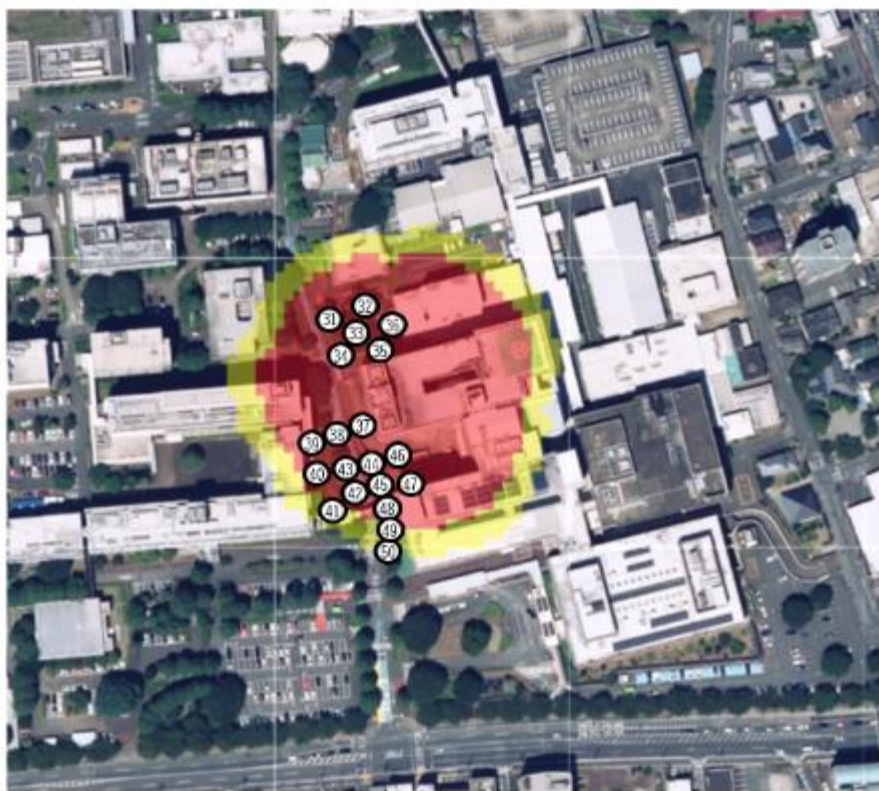


図 3-30 屋外への漏洩電波が確認された追加測定ポイント（アンテナ①単基運用）

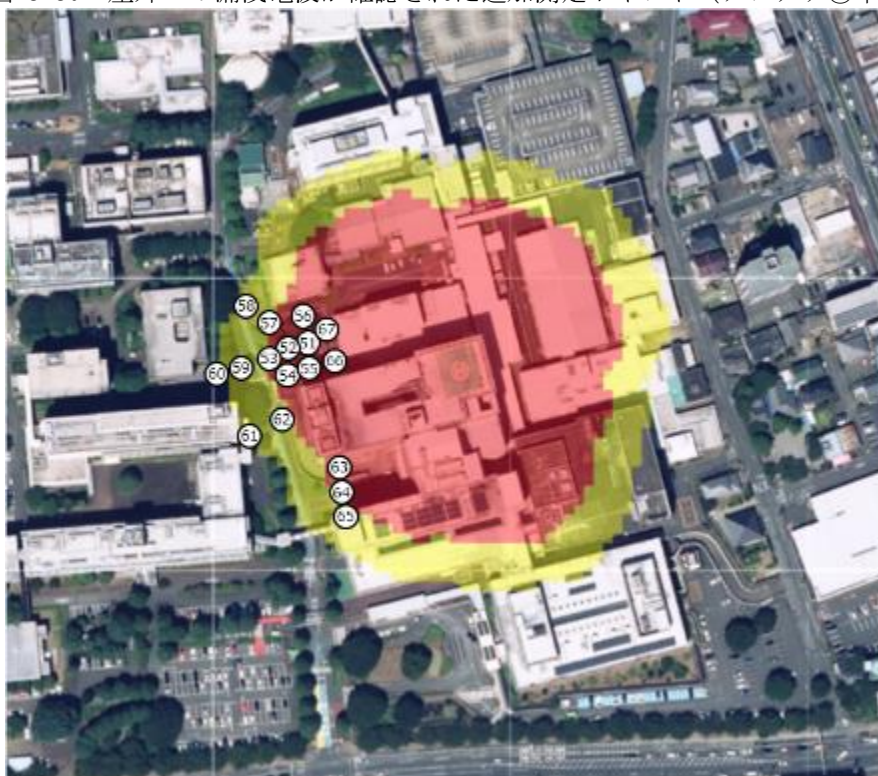


図 3-31 屋外への漏洩電波が確認された追加測定ポイント（アンテナ②単基運用）

- ⑥ ⑤で図示した屋外への漏洩電波が確認された各追加測定ポイントにおける、受信電力の測定結果について示す。また、リファレンスシグナルの品質評価の一環として SS-RSRQ の実測値を示す。(表 3-9)

表 3-9 各測定ポイントでのエリア算出値と実測値（追加測定ポイント）

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 算出値 (dBm)	実測値 SS-RSRP 中央値 (dBm)	差分 (dB)	実測値 σ	実測値 上位 10% (dBm)	実測値 下位 10% (dBm)	SS-RSRQ 実測値 (dB)
31	1	55.4	54.8	-102.6	-136.3	-33.7	3.3	-133.9	-141.9	-17.7
32	1	48.3	47.6	-100.2	-127.9	-27.7	3.0	-126.1	-135.9	-12.6
33	1	42.9	42.1	-96.5	-129.8	-33.3	2.6	-125.7	-133.3	-13.6
34	1	34.6	33.6	-94.2	-135.2	-41.0	3.6	-133.1	-139.8	-17.2
35	1	29.1	27.9	-92.2	-126.5	-34.3	5.1	-120.6	-136.1	-12.4
36	1	33.1	32.0	-94.6	-126.6	-32.0	2.1	-123.7	-130.5	-12.2
37	1	19.8	18.0	-92.0	-122.1	-30.1	4.2	-118.3	-131.4	-11.3
38	1	28.1	26.8	-92.8	-132.2	-39.4	3.6	-125.1	-136.1	-15.7
39	1	46.0	45.2	-98.8	-130.9	-32.1	4.9	-125.0	-138.9	-14.7
40	1	49.3	48.6	-100.9	-128.4	-27.5	3.5	-124.4	-133.8	-12.9
41	1	56.4	55.8	-105.9	-133.5	-27.6	2.4	-131.3	-137.2	-16.0
42	1	47.1	46.3	-101.7	-133.0	-31.3	2.8	-129.0	-136.9	-15.7
43	1	41.6	40.7	-97.2	-131.4	-34.2	2.9	-127.0	-135.6	-14.7
44	1	31.8	30.7	-96.2	-133.9	-37.7	2.0	-131.3	-137.2	-16.3
45	1	34.0	32.9	-94.4	-131.2	-36.8	1.9	-128.7	-134.9	-14.4
46	1	25.0	23.6	-93.2	-130.0	-36.8	1.7	-127.3	-133.0	-13.9
47	1	30.1	29.0	-93.4	-129.1	-35.7	3.3	-123.2	-133.9	-13.3
48	1	43.9	43.1	-98.2	-131.5	-33.3	2.2	-128.1	-135.8	-14.7
49	1	47.4	46.6	-100.5	-132.9	-32.4	3.2	-130.2	-137.3	-15.5
50	1	58.0	57.4	-105.4	-132.8	-27.4	1.8	-130.4	-135.8	-15.4
51	1	29.4	28.3	-85.9	-134.2	-48.3	2.7	-130.8	-138.2	-16.3
52	1	34.7	33.9	-86.6	-130.1	-43.5	1.5	-128.3	-133.4	-14.0
53	1	38.7	38.0	-88.3	-130.7	-42.4	1.3	-128.7	-133.4	-14.2
54	1	30.6	29.6	-87.6	-135.1	-47.5	3.3	-132.5	-140.0	-17.4
55	1	24.1	22.7	-83.9	-132.3	-48.4	3.8	-127.0	-137.4	-15.3
56	1	49.5	48.9	-93.2	-134.7	-41.5	2.5	-132.7	-138.2	-17.0
57	1	54.7	54.2	-95.5	-135.5	-40.0	3.4	-132.9	-141.9	-17.4
58	1	47.8	47.2	-93.7	-132.7	-39.0	1.8	-130.4	-136.2	-15.6

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 算出値 (dBm)	実測値 SS-RSRP 中央値 (dBm)	差分 (dB)	実測値 σ	実測値 上位 10% (dBm)	実測値 下位 10% (dBm)	SS-RSRQ 実測値 (dB)
59	1	56.9	56.4	-97.9	-131.9	-34.0	1.4	-130.3	-134.4	-14.7
60	1	59.1	58.6	-98.9	-135.7	-36.8	3.1	-133.3	-140.6	-17.6
61	1	41.6	40.9	-89.8	-134.9	-45.1	3.2	-131.6	-140.7	-17.2
62	1	18.7	16.9	-82.7	-135.2	-52.5	3.4	-132.4	-140.2	-17.3
63	1	23.3	22.0	-85.3	-134.3	-49.0	2.1	-132.1	-137.7	-16.4
64	1	32.1	31.1	-87.7	-131.8	-44.1	2.1	-128.8	-135.5	-14.5
65	1	40.4	39.7	-90.0	-133.2	-43.2	2.1	-130.5	-136.5	-15.8
66	1	24.9	23.6	-84.9	-132.9	-48.0	1.5	-130.7	-135.6	-15.7
67	1	41.3	40.5	-89.3	-131.6	-42.3	1.5	-129.6	-134.6	-14.8

- ⑦ マルチパスが確認できた7ポイントの位置、および測定結果について示す。(図 3-32・表 3-10)

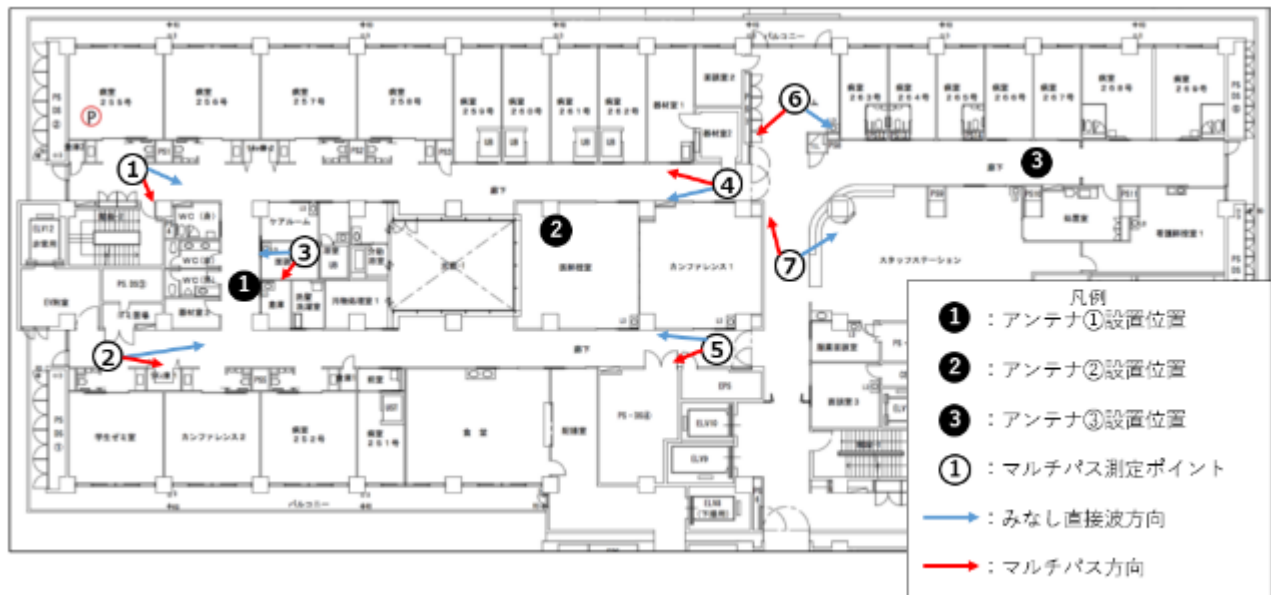


図 3-32 病棟フロアにおけるマルチパス測定ポイント

表 3-10 アンテナ別受信電力によるマルチパス測定結果

測定 ポ イ ン ト	単基運用 アンテナ	指向性アンテナ測定 直接波の受信電力 (dBm)	指向性アンテナ測定 マルチパスの受信電力 (dBm)	差分 (dB)
1	アンテナ①	-121.1	-109.3	11.8
2	アンテナ①	-84.2	-97.0	-12.8
3	アンテナ①	-95.0	-94.0	1.0
4	アンテナ②	-99.3	-100.8	-1.5
5	アンテナ②	-101.3	-106.5	-5.2
6	アンテナ③	-106.7	-99.1	7.6
7	アンテナ③	-106.6	-100.4	6.2

- ⑧ 各遮蔽物前後での受信電力差分を確認するため、遮蔽物前後にて数ポイント測定点を選定し、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差分、電界強度差分、および透過損を一覧に示す。(表 3-11)

表 3-11 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)	透過損 (dB)
	遮蔽前測定点	遮蔽後測定点			
屋内壁 (石膏)	-111.8	-119.0	1.42	7.2	5.78
屋内壁 (鋼材)	-82.5	-111.8	13.14	29.3	16.16
スライド式扉 (各病室)	-91.5	-102.7	3.08	11.2	8.12
窓 (外壁)	-82.5	-92.2	6.97	9.7	2.73
自動ドア (ナースス テーション)	-115.9	-120.3	0.77	4.4	3.63
開閉式扉 (面談室)	-124.8	-	0.51	-	-
開閉式扉 (テレフォ ンルーム)	-112.9	-116.4	0.68	3.5	2.82
円柱 (ナースステー ション)	-109.8	-121.7	3.99	11.9	7.91
デッキプレート	-83.2	-120.85	8.60	37.65	29.05
屋内壁 (鋼材) + 屋内壁 (石膏)	-82.5	-119.0	14.6	36.5	21.9
円柱 (木材) + 屋内壁 (石膏)	-109.8	-127.8	4.81	18	13.19
窓 + 窓	-82.5	-105.2	13.06	22.7	9.64

- ⑨ 図 3-27 で図示した実証フロア外壁前後における各測定ポイントにて、受信電力の実測値の比較を行った。フロア端前後における自由空間損失差分、電界強度差分、およびR値を一覧に示す。(表 3-12)

表 3-12 実証フロア外壁前後における受信電力と差分

測定 ポイント	実測平均値 SS-RSRP (dBm)		自由空間 損失差分 (dB)	電界強度 差分 (dB)	R 値 (dB)
	屋内測定点	屋外測定点			
1	-98.5	-118.9	1.1	20.3	19.2
2	-106.0	-120.4	1.3	14.4	13.1
3	-100.1	-120.8	1.0	20.7	19.7
4	-108.7	-119.0	0.7	10.3	9.5
5	-95.0	-112.7	1.1	17.7	16.6
6	-103.4	-119.2	1.2	15.7	14.5
7	-105.1	-118.4	1.5	13.4	11.9
8	-120.6	-125.0	1.3	4.3	3.1
9	-100.7	-119.5	2.3	18.8	16.5
10	-115.3	-119.3	3.7	4.0	0.3
11	-107.7	-119.9	1.2	12.2	11.1
12	-107.4	-111.0	1.6	3.6	2.0
13	-105.9	-115.5	2.2	9.7	7.5
14	-100.8	-115.1	4.9	14.3	9.4
15	-98.7	-103.2	1.7	4.5	2.9

- ⑩ 図 3-28 に示した各測定点にて、各アンテナの単基運用の受信電力実測値の総和から算出した仮説受信電力値と、全基運用時の受信電力実測値の比較を一覧に示す。(表 3-13)

表 3-13 各測定ポイントでの仮説受信電力と全基運用時の受信電力実測時の比較

測定 ポイント	アンテナ① 単基運用時 受信電力 (dBm)	アンテナ② 単基運用時 受信電力 (dBm)	アンテナ③ 単基運用時 受信電力 (dBm)	仮説 受信電力 (dBm)	アンテナ 全基運用時 受信電力 (dBm)	差分 (dB)
1	-	-113.7	-113.0	-110.3	-104.1	6.2
2	-131.6	-115.8	-122.2	-114.8	-108.7	6.1
3	-113.8	-118.8	-	-112.6	-107.7	4.9
4	-113.3	-109.2	-	-107.8	-109.0	-1.2
5	-102.3	-114.9	-	-102.1	-101.6	0.5

- ⑪ 仮説R値 (R=11.6) を利用したエリア算出法に基づくアンテナ3基の電力総和のシミュレーションによるカバーエリア及び調整対象区域を算出し、図示した。(図 3-33)

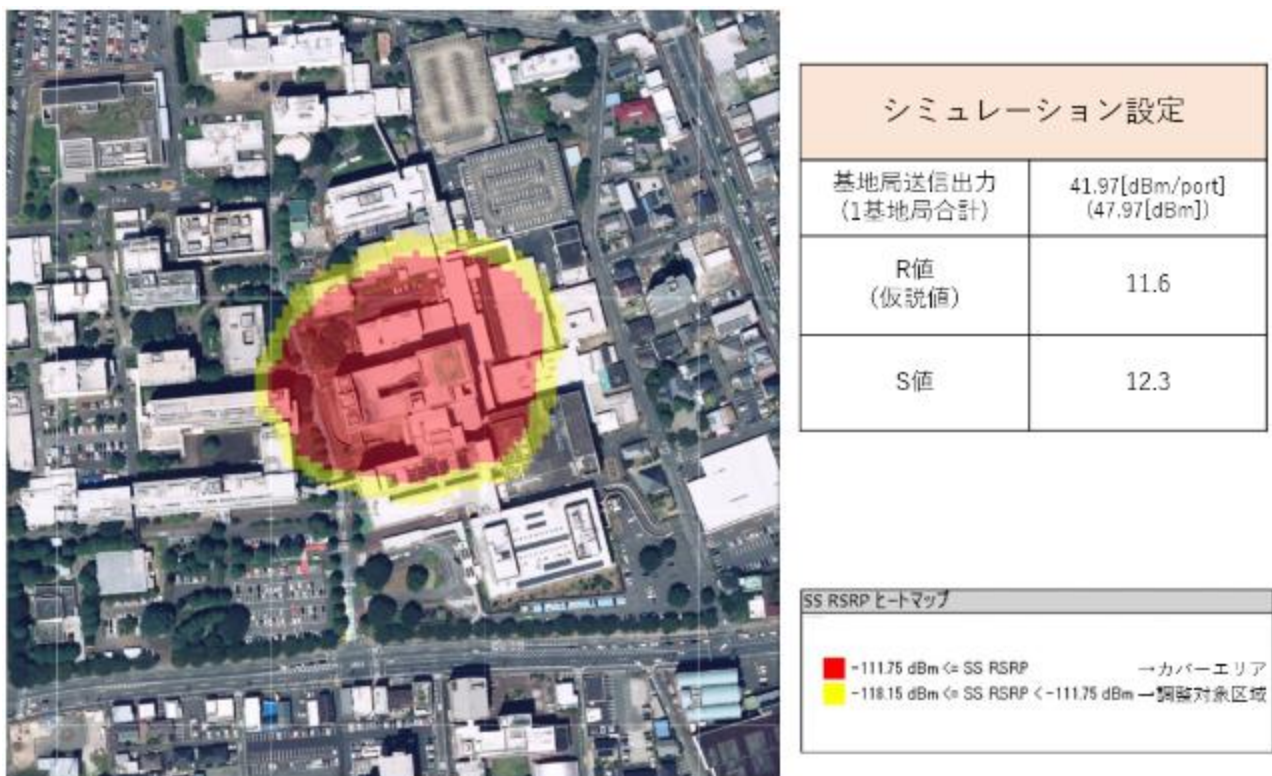


図 3-33 仮説R値を用いたエリア算出法シミュレーションから算出されたカバーエリア及び調整対象区域 (アンテナ全基運用時)

2) 考察

a. R の精緻化

本実証環境における実測値に基づいた建物侵入損R値（精緻化R）の導出について考察を述べる。表 3-7、表 3-8 に示した通り、規定R値および仮説R値を用いてエリア算出法より導出したカバーエリア端・調整対象区域端上の定点測定では、アンテナ①およびアンテナ②の単基運用時における測定点のうち 8 割で受信電力を確認することができなかった。また、アンテナ③の単基運用時には全ての測定点で、受信電力を確認することができなかった。このように、エリア算出法から算出したカバーエリア端・調整対象区域端上の測定点では受信電力がほとんど確認できなかった要因として、下記の 2 点が考えられる。

- 実証フロアである「北病棟」の周辺には建造物が多く、屋外への漏洩電波が大きく遮蔽されていること
- 実証フロアである「北病棟」内に存在する様々な遮蔽物によって減衰された電波が、北病棟を囲むバルコニーの手すり壁やデッキプレート等によって更に遮蔽されることで、地上高まで到達する漏洩電波が大きく減衰されていること

図 3-34 に示す通り、本実証環境の周辺には建造物が多く建立しており、実証エリアの北・南・東方向にはアンテナ高（地上高 9.8m）よりも高い建造物が隣接しているという環境となっている。そのため、西方向に位置する測定点以外においては、これらの周辺建造物によって電波が大きく遮蔽されてしまい、屋外測定点にて漏洩電波を確認することができなかったものと考えられる。

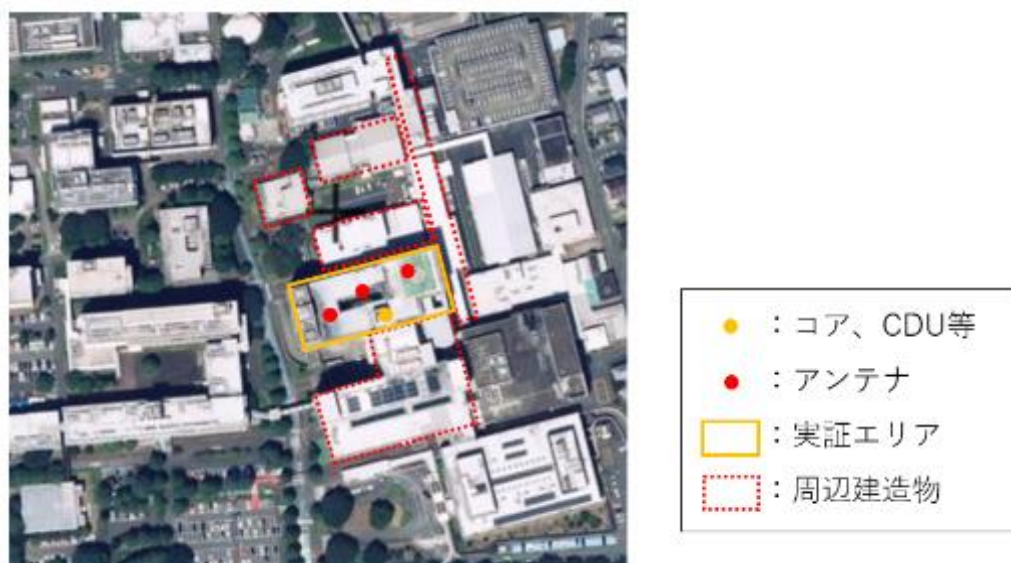


図 3-34 実証環境周辺の建造物

また、周辺建造物に囲まれていない西方向に位置する測定点においても、本実証環境にて屋

外に面するバルコニーの構造による漏洩電波減衰が要因の一つと考えられる。まず、本実証環境から屋外へ漏洩する電波は、表 3-11 に示す屋内の様々な遮蔽物によって電波が減衰されていることが想定される。更に、図 3-35・図 3-36 に示す通り、本実証環境を取り囲むバルコニーには、コンクリートおよびガラス面で構成されている手すり壁が存在する構造となっており、屋外への漏洩電波は地上高に到達する前にこのバルコニーを透過する環境となっている。



図 3-35 バルコニー外観 1

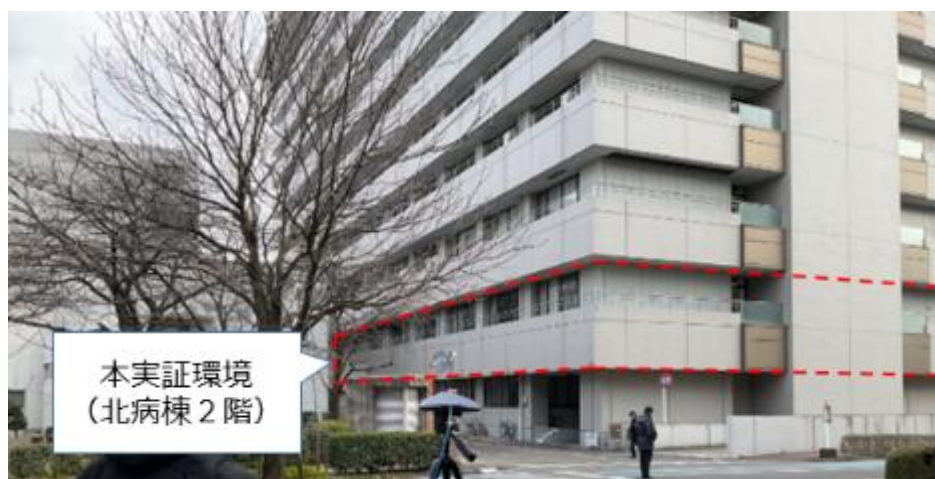


図 3-36 バルコニー外観 2

本実証環境は北病棟の2階に位置しており、送信点は地上高9.8mに設置されている。そのため、地上高1.5mである屋外測定点とは8.3mの高低差が存在しており、屋外測定点との位置関

係によっては、バルコニー周辺の手すり壁や階跨ぎに位置するデッキプレートの電波遮蔽が発生することが考えられる。これらの遮蔽影響を考察するためには送信点と測定点の間の位置関係を考慮する必要がある。図 3-37 に、送信点・バルコニー外壁・屋外測定点の位置関係を示した断面図を示す。

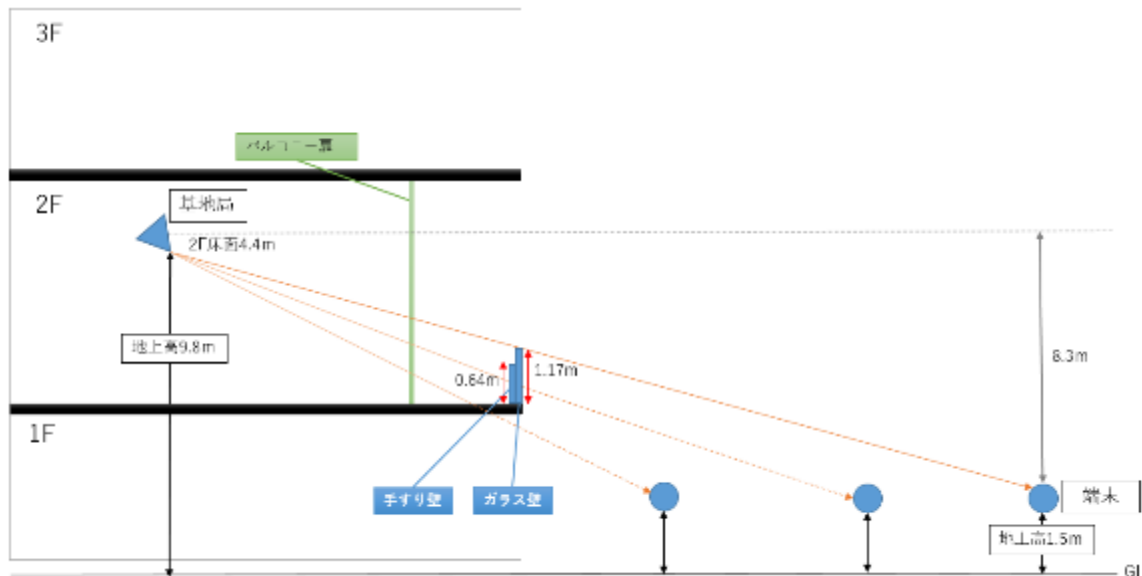


図 3-37 バルコニーおよび屋外測定点の断面図

図 3-37 に示す通り、屋外測定点と送信点間の距離によっては、コンクリートによるバルコニー手すり壁や、階跨ぎに位置するデッキプレートによる遮蔽が生じるケースが想定される。手すり壁による遮蔽影響は、コンクリートで構成されることを考慮すると遮蔽損は大きいものと考えられ、デッキプレートによる遮蔽影響についても、表 3-11 に示す通り約 29dB の透過損が考えられる。そのため、本実証環境にて屋外へ漏洩する電波は、これらの遮蔽物による遮蔽・反射の影響が強く受けているものと考察される。

上記の要因から、本実証環境における実際のカバーエリア端および調整対象区域端は、規定 R 値・仮説 R 値を用いたエリア算出法から算出される結果（図 3-15～図 3-20）よりも、送信点に近い位置に存在していると推定される。そこで、図 3-15～図 3-20 にて定義される各測定点よりも基地局に近いエリアにて歩行測定を行い、基地局から屋外への漏洩電波が確認できたポイントにて定点測定を実施した。（表 3-9）

表 3-7、表 3-8、表 3-9 に示した各屋外測定点のうち、SS-RSRP 実測値が確認されたアンテナ①およびアンテナ②の単基運用時における計 41 ポイントの測定結果より、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）を導出した。導出した実測損失カーブについて下記に図示する。（図 3-38）

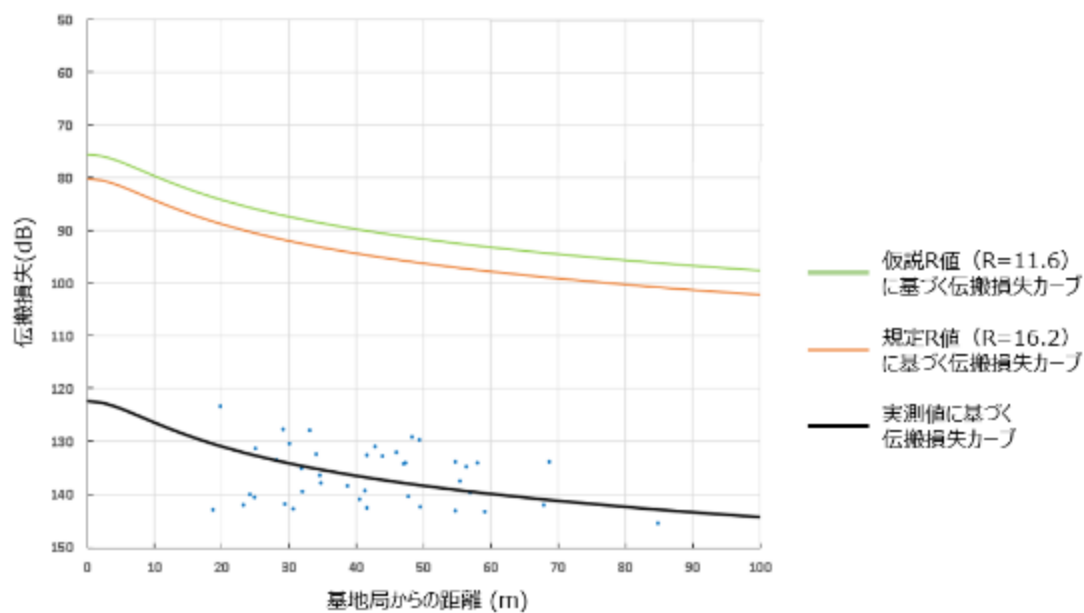


図 3-38 屋外測定点における実測損失カーブ

エリア算出法伝搬損失カーブと図 3-38 に図示した実測損失カーブの差 ($\Delta R'$) は、精緻化 R 値と規定 $R=16.2$ との差分であるため、「精緻化 R 値 = $16.2 - \Delta R'$ 」の算出式より精緻化 R 値として「 $R=58.2$ 」を導出した。この値は、規定 R 値 ($R=16.2$) や仮説 R 値 ($R=11.6$) とは乖離が大きい値となっている。実測値に基づき算出した精緻化 R 値が、規定 R 値および仮説 R 値と大きく乖離している理由としては、前述の通り「本実証環境周辺の建造物」「屋外に面するバルコニーの構造」「アンテナ送信点と屋外測定点の高低差」という複数の要因によって、屋外測定点にて確認された受信電力値がシミュレーションによる予測値と乖離していたことであると考えられる。

精緻化 R 値の精度を評価するため、精緻化 R 値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 ($R=58.2$) 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 3-39～図 3-41 に示す。

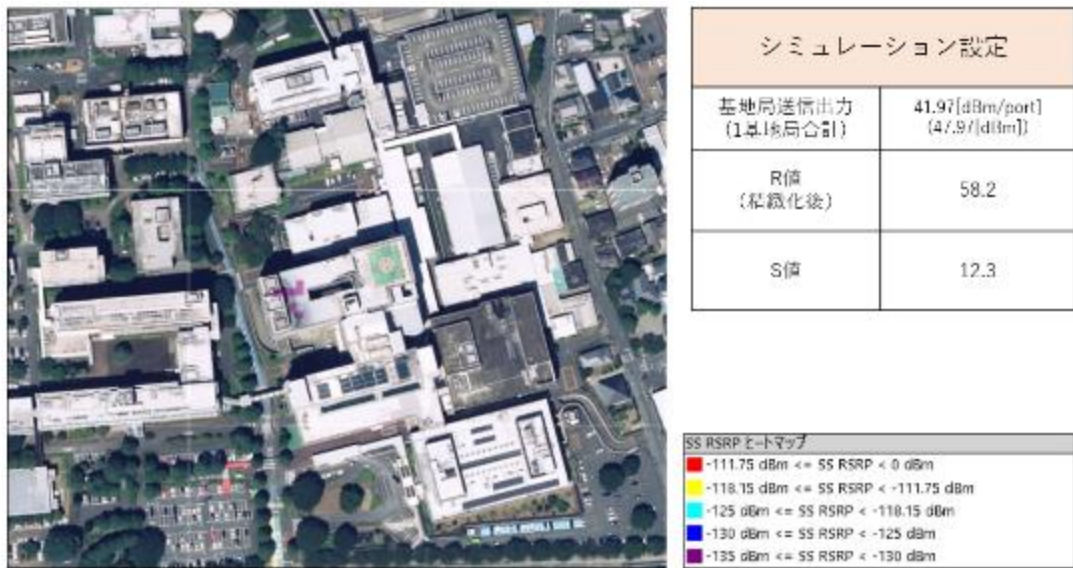


図 3-39 精緻化R 値を用いたエリア算出法シミュレーション結果（アンテナ①単基運用）

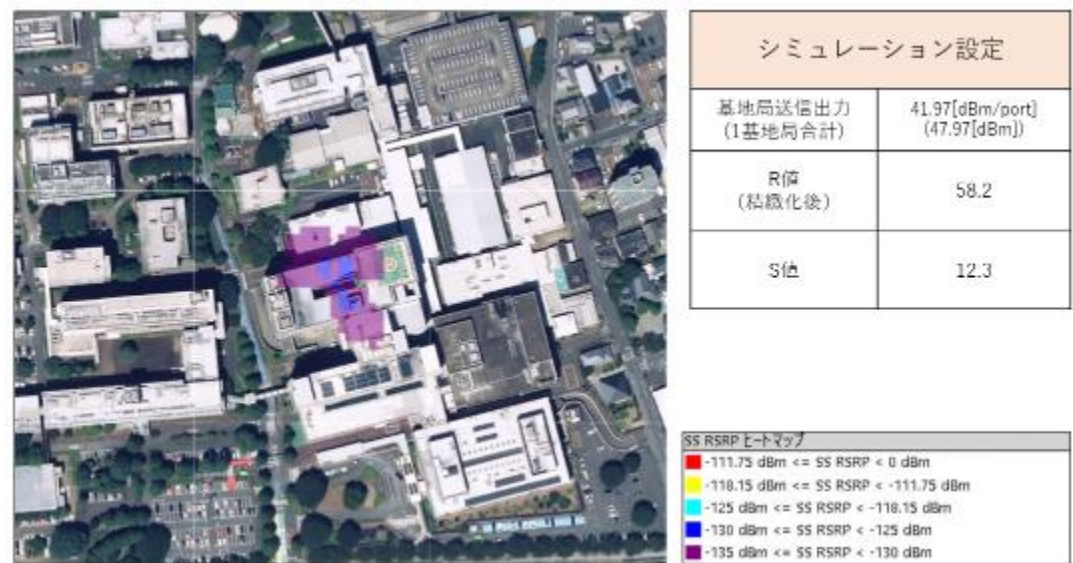


図 3-40 精緻化R 値を用いたエリア算出法シミュレーション結果（アンテナ②単基運用）

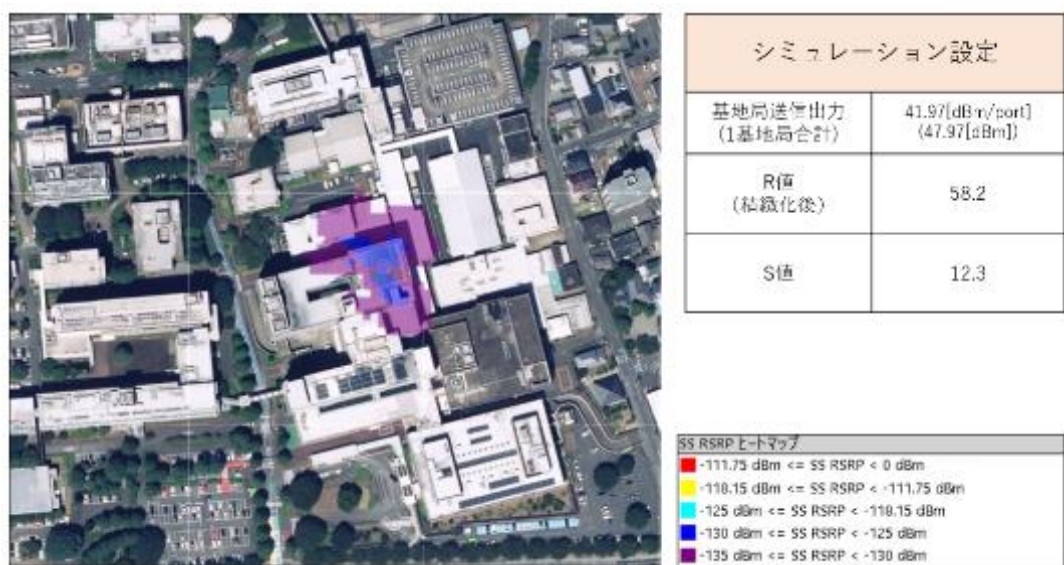


図 3-41 精緻化R 値を用いたエリア算出法シミュレーション結果（アンテナ③単基運用）

次に、精緻化R 値を用いたエリア算出式の精度を評価するため、計 41 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 3-14）

表 3-14 屋外測定点における受信電力実測値と各種R値のエリア算出値の比較

測定 ポイント	SS-RSRP 実測値 (dBm)	規定Rを用いた エリア算出値 (dBm)	仮説Rを用いた エリア算出値 (dBm)	精緻化Rを用いた エリア算出値 (dBm)
5	-132.7	-103.1	-98.5	-145.1
10	-132.6	-109.8	-105.2	-151.8
14	-134.2	-102.4	-97.8	-144.4
19	-137.7	-109.1	-104.5	-151.1
31	-136.3	-102.6	-98.0	-144.6
32	-127.9	-100.2	-95.6	-142.2
33	-129.8	-96.5	-91.9	-138.5
34	-135.2	-94.2	-89.6	-136.2
35	-126.5	-92.2	-87.6	-134.2
36	-126.6	-94.6	-90.0	-136.6
37	-122.1	-92.0	-87.4	-134.0
38	-132.2	-92.8	-88.2	-134.8
39	-130.9	-98.8	-94.2	-140.8
40	-128.4	-100.9	-96.3	-142.9
41	-133.5	-105.9	-101.3	-147.9
42	-133.0	-101.7	-97.1	-143.7
43	-131.4	-97.2	-92.6	-139.2
44	-133.9	-96.2	-91.6	-138.2
45	-131.2	-94.4	-89.8	-136.4
46	-130.0	-93.2	-88.6	-135.2
47	-129.1	-93.4	-88.8	-135.4

測定 ポイント	SS-RSRP 実測値 (dBm)	規定Rを用いた エリア算出値 (dBm)	仮説Rを用いた エリア算出値 (dBm)	精緻化Rを用いた エリア算出値 (dBm)
48	-131.5	-98.2	-93.6	-140.2
49	-132.9	-100.5	-95.9	-142.5
50	-132.8	-105.4	-100.8	-147.4
51	-134.2	-85.9	-81.3	-127.9
52	-130.1	-86.6	-82.0	-128.6
53	-130.7	-88.3	-83.7	-130.3
54	-135.1	-87.6	-83.0	-129.6
55	-132.3	-83.9	-79.3	-125.9
56	-134.7	-93.2	-88.6	-135.2
57	-135.5	-95.5	-90.9	-137.5
58	-132.7	-93.7	-89.1	-135.7
59	-131.9	-97.9	-93.3	-139.9
60	-135.7	-98.9	-94.3	-140.9
61	-134.9	-89.8	-85.2	-131.8
62	-135.2	-82.7	-78.1	-124.7
63	-134.3	-85.3	-80.7	-127.3
64	-131.8	-87.7	-83.1	-129.7
65	-133.2	-90.0	-85.4	-132.0
66	-132.9	-84.9	-80.3	-126.9
67	-131.6	-89.3	-84.7	-131.3

表 3-14 より、規定R・仮説R・精緻化Rを用いたエリア算出値と実測値の差分について比較

した結果を表 3-15 に示す。

表 3-15 各 R 値のエリア算出値と実測値の比較

	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	16.2	37.14	22.8	0
仮説 R	11.6	41.74	27.4	0
精緻化 R	58.2	4.86	0.3	17

表 3-14・表 3-15 に示す通り、規定 R・仮説 R によるエリア算出値は全体的に実測値より高く、精緻化 R によるエリア算出値は実測値より低くなる傾向であるという相違点はあるものの、最も実測値との平均差分が小さくなるエリア算出値は、精緻化 R によるエリア算出値であった。また、差分が±6dB 以内であるポイント数も精緻化 R の場合のみ 17 ポイント確認されていることから、規定 R・仮説 R・精緻化 R の 3 つの補正值の中で最も実環境に即したエリア算出値を導出することができる建物侵入損 R 値は、精緻化 R (R=58.2) であるといえる。ただし、精緻化 R を用いたエリア算出値においても、シミュレーション値と実測値の差分が±6[dB]以内であるポイントは全体の約 41.5%程度となっているため、より実際の電波伝搬モデルに近づくためには、エリア算出法における建物侵入損 R 値の精緻化以外のアプローチも必要であると考察される。

上記では、本実証環境における屋外測定点の実測値より建物侵入損 R の精緻化を実施したが、表 3-7・表 3-8・表 3-9 に示す通り、屋外測定点での受信電力実測値はほとんどが-130dBm 前後となっており、実際のカバーエリア端および調整対象区域端を推定することができないという結果となった。そこで、実際のカバーエリア端および調整対象区域端は、屋外に面するバルコニー (図 3-35・図 3-36) 上に存在する可能性を考慮し、図 3-27 に示すバルコニー上の計 30 ポイントにて定点測定を実施した。(表 3-12)

表 3-12 に示す通り、バルコニー上の測定点においてはカバーエリア端・調整対象区域端に近い実測値が得られており、本実証環境におけるカバーエリア端および調整対象区域端は、バルコニー周辺に存在していると推察される。

屋外への漏洩電波における電波伝搬モデルをより精緻に分析するため、外壁を透過して図 3-27 に示すバルコニー上の測定点までに到達する際の建物侵入損 R (バルコニー R) を算出した。

まず、表 3-12 に示した測定点計 30 ポイントの測定結果より、基地局からの距離に対する伝搬損失の特性カーブ (バルコニー実測損失カーブ) を導出した。導出したバルコニー実測損失カーブについて下記に図示する。(図 3-42)

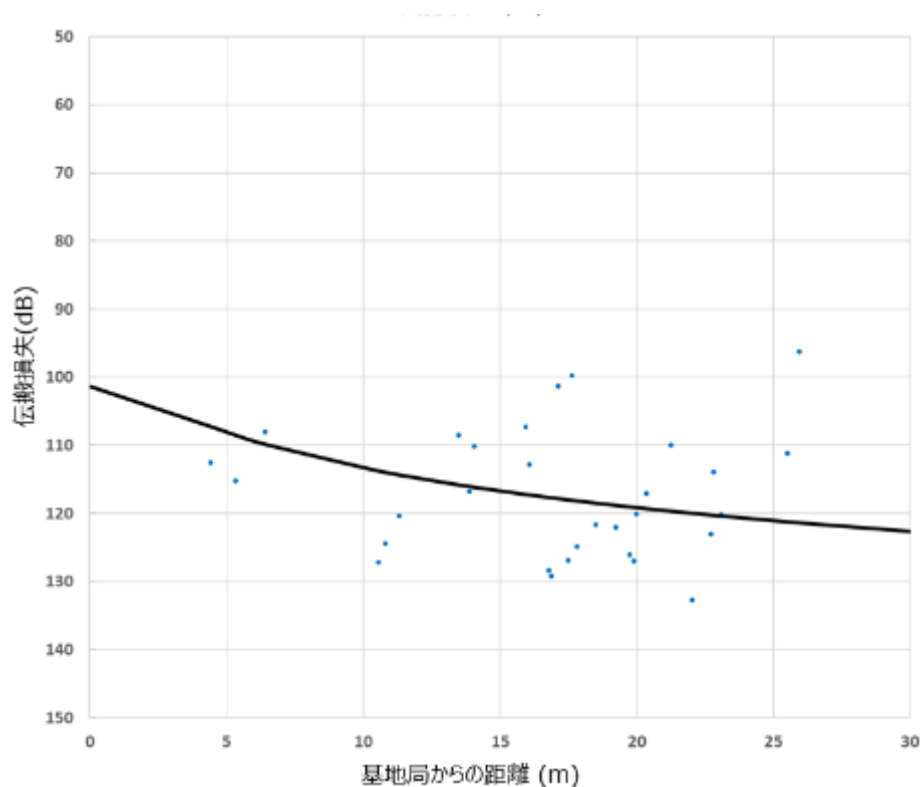


図 3-42 バルコニー実測損失カーブ

エリア算出法伝搬損失カーブと図 3-42 に図示した実測損失カーブの差 ($\Delta R'$) は、バルコニー R 値と規定 $R=16.2$ との差分であるため、「バルコニー R 値 = $16.2 - \Delta R'$ 」の算出式よりバルコニー R 値として「 $R=47.0$ 」を導出した。これは前述した精緻化 R ($R=58.2$) とは異なる値となっている。

図 3-37 に示す通り、地上高 1.5m の屋外測定点までに漏洩電波が到達する際には、病室窓やバルコニー出入口を透過する際の「一次遮蔽」と、バルコニー外縁の手すり壁や床面のデッキプレート透過・反射する際の「二次遮蔽」の 2 つの遮蔽影響を受けることが考えられる。そのため、このバルコニー R と精緻化 R の差異である 11.2dB については、本実証環境における「二次遮蔽」の建物侵入損値に該当するものと考ええる。ただし、この二次遮蔽における R 値は、バルコニーの構造やアンテナの設置位置、フロアの地上高など様々な要因で変動することが考えられるため、一般的な屋内環境における二次遮蔽の建物侵入損値については、様々な環境での実証結果から検討されることが望まれる。

続いて、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、その適合率について考察を述べる。屋外におけるレイトレースシミュレーション結果 (図 3-10・図 3-11) と、受信電力が確認できた各屋外測定点における実測値 (表 3-14) を比較した結果を表 3-16 に示す。ただし、表中で「-」となっているポイントについては、シミュレーション値が取得できなかったことを示す。なお、シミュレーション値と実測値の差分が ± 6 [dB] 以内であれば適合、それ以外であれば不適合とした。

表 3-16 屋外測定点におけるレイトレースシミュレーション値と実測値の比較

測定 ポイント	レイトレース シミュレー ション値 (dBm)	SS-RSRP 実測値 (dBm)	差分 (dB)	適合
5	-120.21	-132.7	-12.49	不適合
10	-121.47	-132.6	-11.13	不適合
14	-	-134.2	-	不適合
19	-	-137.7	-	不適合
31	-118.49	-136.3	-17.81	不適合
32	-115.95	-127.9	-11.95	不適合
33	-127.01	-129.8	-2.79	適合
34	-108.17	-135.2	-27.03	不適合
35	-116.12	-126.5	-10.38	不適合
36	-103.06	-126.6	-23.54	不適合
37	-105.18	-122.1	-16.92	不適合
38	-106.03	-132.2	-26.17	不適合
39	-125.3	-130.9	-5.6	適合
40	-125.3	-128.4	-3.1	適合
41	-	-133.5	-	不適合
42	-	-133.0	-	不適合
43	-	-131.4	-	不適合
44	-	-133.9	-	不適合
45	-	-131.2	-	不適合
46	-124.02	-130.0	-5.98	適合
47	-113.72	-129.1	-15.38	不適合

測定 ポイント	レイトレース シミュレー ション値 (dBm)	SS-RSRP 実測値 (dBm)	差分 (dB)	適合
48	-	-131.5	-	不適合
49	-121.73	-132.9	-11.17	不適合
50	-120.21	-132.8	-12.59	不適合
51	-112.12	-134.2	-22.08	不適合
52	-	-130.1	-	不適合
53	-	-130.7	-	不適合
54	-	-135.1	-	不適合
55	-	-132.3	-	不適合
56	-122.64	-134.7	-12.06	不適合
57	-110.9	-135.5	-24.6	不適合
58	-	-132.7	-	不適合
59	-	-131.9	-	不適合
60	-	-135.7	-	不適合
61	-	-134.9	-	不適合
62	-	-135.2	-	不適合
63	-	-134.3	-	不適合
64	-	-131.8	-	不適合
65	-	-133.2	-	不適合
66	-	-132.9	-	不適合
67	-	-131.6	-	不適合

表 3-16 に示した通り、レイトレースシミュレーション値が適合したポイントは、全 41 ポイ

ント中4ポイントのみとなっており、全体の適合率は9.76%となった。また、シミュレーション値と実測値の平均差分は14.36dBであった。

このように、レイトレースシミュレーションの適合率が低い結果となってしまった理由としては、前述のバルコニーにおける「一次遮蔽」と「二次遮蔽」による伝搬損失が適切に考慮されていない可能性が考えられる。そこで、外壁やバルコニーの手すり等におけるシミュレーション上の損失パラメータを調整した上で、再度レイトレースシミュレーションを実施した。実施した再レイトレースシミュレーションの結果を、図 3-43～図 3-46 に示す。

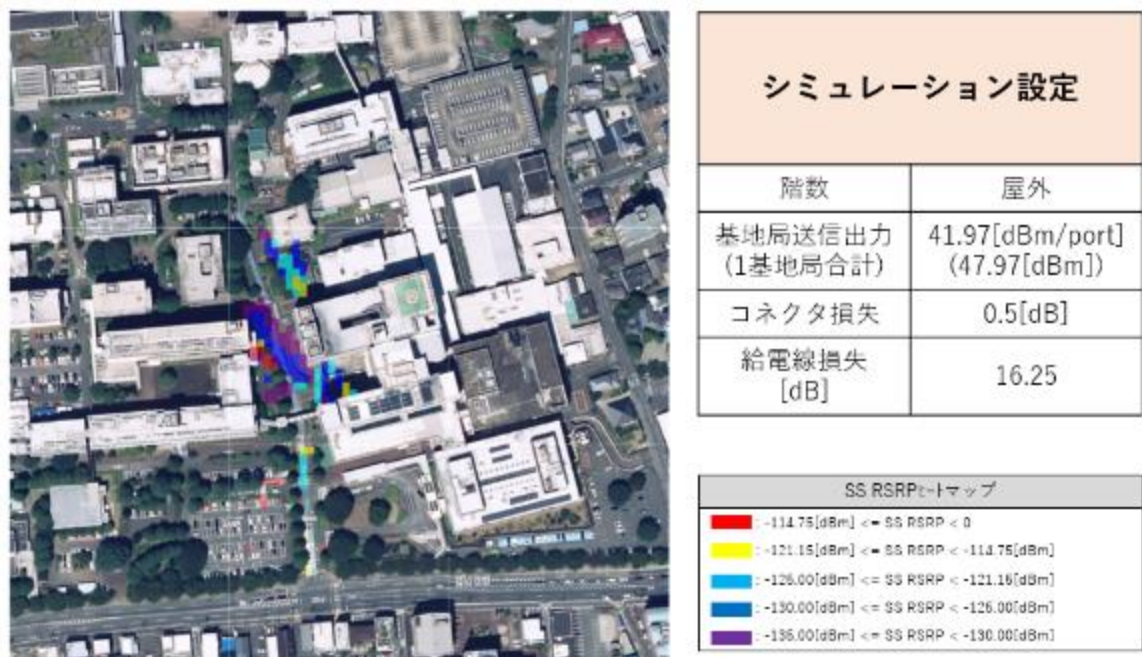
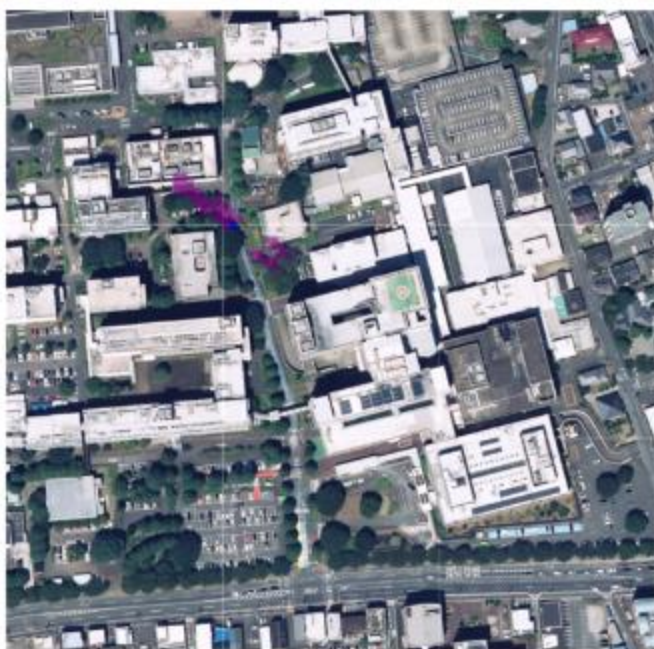


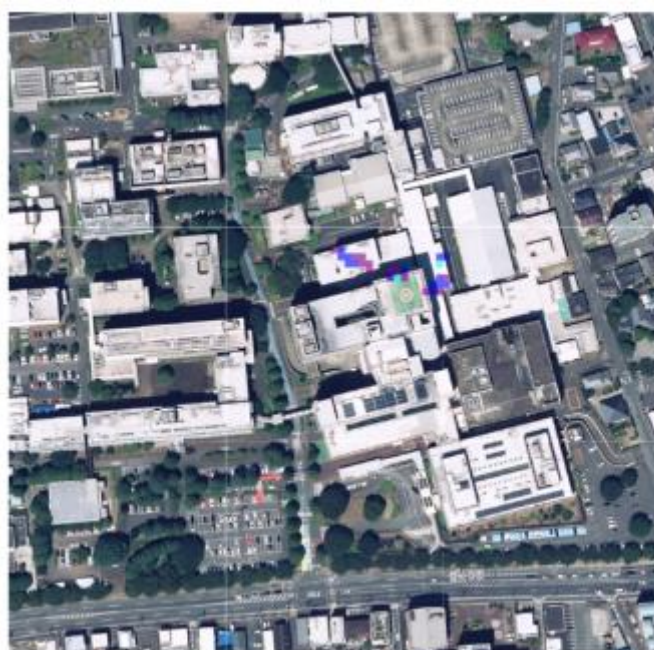
図 3-43 再レイトレースシミュレーションの実施結果（アンテナ①単基運用時）



シミュレーション設定	
階数	屋外
基地局送信出力 (1基地局合計)	41.97[dBm/port] (47.97[dBm])
コネクタ損失	0.5[dB]
給電線損失 [dB]	9.75

SS RSRPヒートマップ	
Red	-114.75[dBm] ≤ SS RSRP < 0
Yellow	-121.15[dBm] ≤ SS RSRP < -114.75[dBm]
Light Blue	-125.00[dBm] ≤ SS RSRP < -121.15[dBm]
Dark Blue	-130.00[dBm] ≤ SS RSRP < -125.00[dBm]
Purple	-135.00[dBm] ≤ SS RSRP < -130.00[dBm]

図 3-44 再レイトレースシミュレーションの実施結果（アンテナ②単基運用時）



シミュレーション設定	
階数	屋外
基地局送信出力 (1基地局合計)	41.97[dBm/port] (47.97[dBm])
コネクタ損失	0.5[dB]
給電線損失 [dB]	8.125

SS RSRPヒートマップ	
Red	-114.75[dBm] ≤ SS RSRP < 0
Yellow	-121.15[dBm] ≤ SS RSRP < -114.75[dBm]
Light Blue	-125.00[dBm] ≤ SS RSRP < -121.15[dBm]
Dark Blue	-130.00[dBm] ≤ SS RSRP < -125.00[dBm]
Purple	-135.00[dBm] ≤ SS RSRP < -130.00[dBm]

図 3-45 再レイトレースシミュレーションの実施結果（アンテナ③単基運用時）

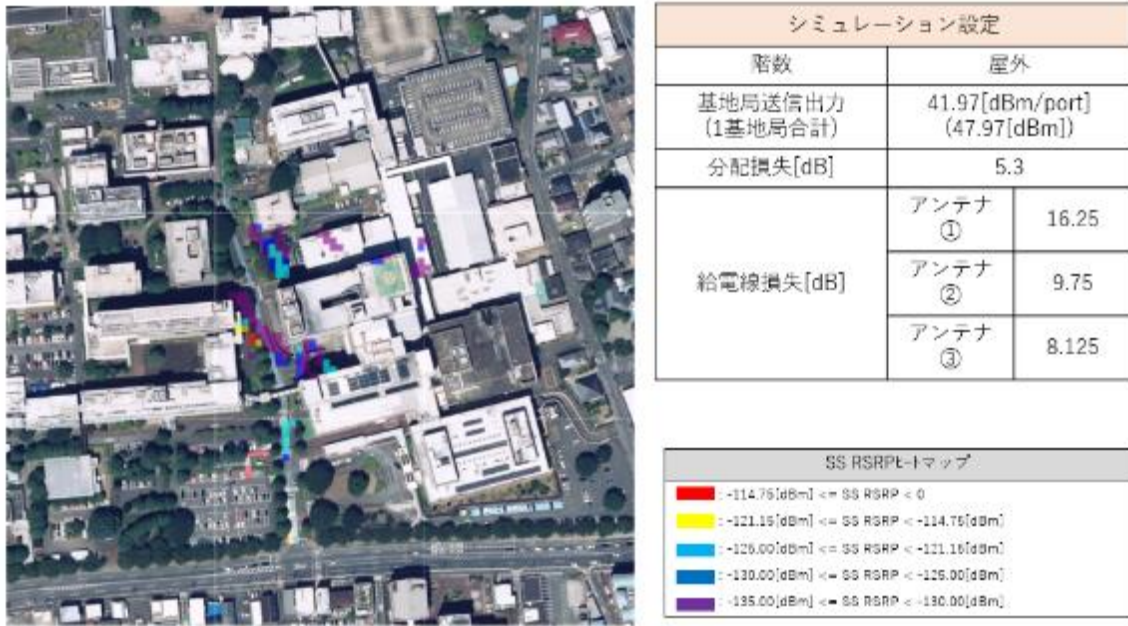


図 3-46 再レイトレースシミュレーションの実施結果（アンテナ全基運用時）

再レイトレースシミュレーションの結果（図 3-43・図 3-44）と、受信電力が確認できた各屋外測定点における実測値（表 3-14）を比較した結果を表 3-17 に示す。

表 3-17 屋外測定点における再レイトレースシミュレーション値と実測値の比較

測定 ポイント	再レイトレース シミュレー ション値 (dBm)	SS-RSRP 実測値 (dBm)	差分 (dB)	適合
5	-135.27	-132.7	2.57	適合
10	-137.37	-132.6	4.77	適合
14	-	-134.2	-	不適合
19	-	-137.7	-	不適合
31	-140.76	-136.3	4.46	適合
32	-128.37	-127.9	0.47	適合
33	-123.77	-129.76	-5.99	適合
34	-136.55	-135.2	1.35	適合
35	-124.8	-126.5	-1.7	適合
36	-	-126.6	-	不適合
37	-132.74	-122.1	10.64	不適合
38	-130.42	-132.2	-1.78	適合
39	-136.22	-130.9	5.32	適合
40	-	-128.4	-	不適合
41	-135.21	-133.5	1.71	適合
42	-134.86	-133.0	1.86	適合
43	-130.62	-131.4	-0.78	適合
44	-133.19	-133.9	-0.71	適合
45	-127.97	-131.2	-3.23	適合
46	-135.24	-130.0	5.24	適合
47	-126.04	-129.1	-3.06	適合

測定 ポイント	再レイトレース シミュレー ション値 (dBm)	SS-RSRP 実測値 (dBm)	差分 (dB)	適合
48	-133.48	-131.5	1.98	適合
49	-138.48	-132.9	5.58	適合
50	-135.27	-132.8	2.47	適合
51	-	-134.2	-	不適合
52	-132.44	-130.1	2.34	適合
53	-136.34	-130.7	5.64	適合
54	-140.34	-135.1	5.24	適合
55	-	-132.3	-	不適合
56	-132.96	-134.7	-1.74	適合
57	-135.01	-135.5	-0.49	適合
58	-	-132.7	-	不適合
59	-	-131.9	-	不適合
60	-	-135.7	-	不適合
61	-	-134.9	-	不適合
62	-	-135.2	-	不適合
63	-	-134.3	-	不適合
64	-	-131.8	-	不適合
65	-	-133.2	-	不適合
66	-	-132.9	-	不適合
67	-137.34	-131.6	5.74	適合

表 3-17 に示した通り、レイトレースシミュレーション値が適合したポイントは、全 41 ポイント中 25 ポイントとなっており、全体の適合率は 60.98%に改善された結果となった。また、シミュレーション値と実測値の平均差分は 3.34dB であった。上記の結果より、屋外に面する建物構造・損失値を精緻に設定することで、レイトレースシミュレーションの精度が大幅に向上されることが分かる。このように、本実証環境のような病棟環境でレイトレースシミュレーションを実施する際には、屋内のモデリングだけでなく、屋外に面するバルコニー等の構造・損失パラメータを精緻に設定することが重要であると考えられる。

最後に、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、周辺に建造物が囲まれている場合や、屋外に面する構造物が複雑である場合など、方位や建物構造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際には、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、位置関係などを現地調査時に確認した結果をシミュレーション時に再現することが精度に大きく影響するため、そのためにはシミュレーションソフトを扱うための 3D モデリング技術が必要となる。本実証におけるモデリングでは、バルコニーにおける伝搬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いえる。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。

費用面については、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であるため、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、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。

b. 遮蔽物による電波伝搬損失

本実証環境における実測値に基づいた遮蔽物による電波伝搬損失について考察を述べる。本検証では、表 3-4 の 2 に示す手順に従って、病棟環境に存在する様々な材質の遮蔽物を電波が透過する際における電波伝搬損失から、各遮蔽物の透過損を算出した。

各遮蔽物前後における測定ポイントは図 3-24・図 3-25・図 3-26 に、各遮蔽物前後における受信電力の実測値、および電界強度差分・自由空間損失差分を表 3-11 に、表 3-11 の結果より導出した各遮蔽物における透過損の一覧を表 3-18 に示す。

表 3-18 遮蔽物前後の受信電力差分より導出した各遮蔽物における透過損

遮蔽物	素材	透過損 (dB)
屋内壁（石膏）	石膏	5.78
屋内壁（鋼材）	鋼材	16.16
スライド式扉（各病室）	木材	8.12
窓（外壁）	ガラス	2.73
自動ドア（ナースステーション）	ガラス	3.63
開閉式扉（面談室）	鉄材	-
開閉式扉（テレホンルーム）	ガラス	2.82
円柱（ナースステーション）	木材	7.91
デッキプレート	鋼材	29.05
屋内壁（鋼材）＋屋内壁（石膏）	-	21.9
円柱（木材）＋屋内壁（石膏）	-	13.19
窓＋窓	-	9.64

表 3-18 に示す通り、本検証で測定対象とした遮蔽物の材質は、屋内壁の材質である石膏、屋内壁やデッキプレートに使用されている鋼材、窓や自動ドア等のガラス、スライド式扉や円柱などの木材、開閉式扉（面談室）にて使用される鉄材の計 5 種類である。ただし、材質が鉄材である「開閉式扉（面談室）」については、遮蔽物透過損が大きく遮蔽物後での受信電力が測定できなかったことから、本項目の考察対象から外すものとする。

透過損算出結果について材質毎に注目すると、材質が石膏である遮蔽物（屋内壁）の場合は 5.78 dB、鋼材である遮蔽物（屋内壁）の場合は 16.16 dB、ガラスである遮蔽物（窓・自動ドア・開閉式扉）の透過損平均は 3.06 dB、木材である遮蔽物（スライド式扉・円柱）の透過損平均は 8.02 dB となった。同じ材質で構成された遮蔽物間では近似した透過損値が得られていること、および材質ごとに異なる透過損値が得られていることから、病棟環境のように遮蔽物が多い屋内環境でのエリア設計時には、それぞれの遮蔽物材質ごとにおける遮蔽損を仮定することで、より精緻な遮蔽損を算出することができるものと考えられる。また、天井・床面に設置されているデッキプレートを除外した 7 種類の遮蔽物透過損を平均すると、約 6.7dB であった。

また、階跨ぎにおけるデッキプレートの遮蔽損算出結果は 29.0 dB となった。これは、実証

仮説に示した「上下フロアに対しては壁を2枚透過するため侵入損を $16.2\text{dB} \times 2$ 枚より $R=32.4\text{dB}$ とする」とした仮定に近い実測結果となっている。本実証環境のように床面にデッキプレートが使用されている病棟環境は一般に多いと考えられるため、基地局の設置位置が2階以上となるケースで業務区域外への電波漏洩影響を検討する際には、デッキプレートによる遮蔽損を考慮する必要があるといえる。

次に、遮蔽物を複数透過する場合の透過損について考察する。表 3-18 に示す通り、本検証では表 3-19 に示す3パターンで遮蔽物を複数透過する場合の透過損について算出した。

表 3-19 複数遮蔽物を透過する場合の透過損

複数遮蔽物透過パターン	透過損 (dB)
屋内壁（鋼材）＋屋内壁（石膏）	21.9
円柱（木材）＋屋内壁（石膏）	13.19
窓（ガラス）＋窓（ガラス）	9.64

上記3パターンの透過損の平均値は 14.91dB であった。これは、前述した遮蔽物7種類の平均透過損 6.7dB を2倍した値である 13.4dB に近い値となっている。このことから、遮蔽物を複数枚透過する場合に想定される平均的な透過損についても、この平均透過損 6.7dB と遮蔽物の枚数を掛け合わせることで近似できると想定される。

また、漏洩電波が屋外へ到達するまでに屋内環境にて減衰される「一次遮蔽」について、その減衰量を算出する場合には、屋内における遮蔽物透過損を考慮する必要がある。エリア設計時には屋内に存在する全ての遮蔽物における透過損を測定することは現実的ではないため、上記のように屋内遮蔽物の平均透過損を用いることで「一次遮蔽」における減衰量の近似値を導出する手法が望ましいと考えられる。

c. 病棟環境におけるマルチパス

本実証環境において確認されたマルチパスの測定結果について考察を述べる。本実証では、表 3-5 に示す手順に従って病棟環境で発生するマルチパスの測定を実施した。マルチパス波の検出は、測定器の遅延波検知機能を用いて遅延波を検出する方法で実施しており、図 3-32 に示す通りアンテナ①単基運用時に 3 ポイント、アンテナ②単基運用時に 2 ポイント、アンテナ③単基運用時に 2 ポイントの、計 7 ポイントにてマルチパス波が観測された。

マルチパス波が検出された測定点では、指向性アンテナを 360 度回転させながら受信電力を測定することで、最もマルチパス波の影響の強い方角を特定した。最も強いマルチパス波が検出された方角については図 3-32 に、みなし直接波とマルチパス波の受信電力実測値の比較については表 3-10 に示している。表 3-10 に示す通り、今回観測されたマルチパス波と直接波の受信電力差分は最大で 11.8dB となっており、受信電力に与える影響の強いマルチパスが発生していることが確認できる。これらの結果より、病棟内はマルチパスが複数発生しやすい環境であることが推察される。

また、病棟フロアにおけるマルチパスの発生要因について考察を述べる。今回マルチパスが観測された計 7 ポイントにおける周辺環境の共通項として、図 3-47 に示すような非常用出口・防火扉といった金属製の扉・壁の存在が挙げられる。これらの金属扉・金属壁と、マルチパス発生方角の位置関係を図 3-48 に示す。



図 3-47 マルチパス波方向にある金属製扉

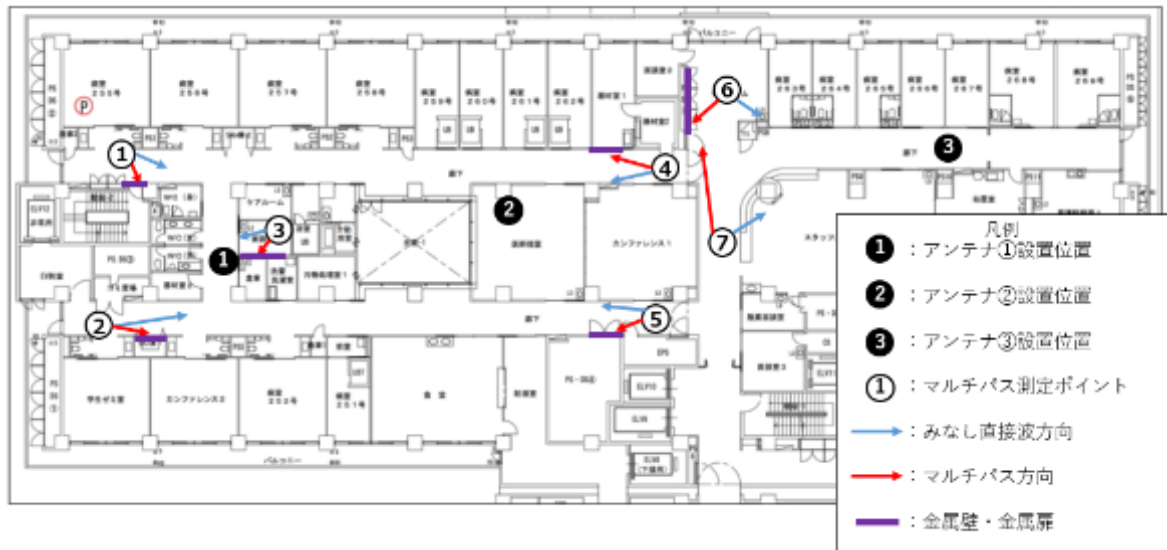


図 3-48 マルチパス観測ポイントと金属壁・金属扉の位置関係

病棟環境は元来、看護師や患者といった人間の往来が多く、また点滴スタンドやストレッチャー等といった医療什器が行き交う環境であるため、マルチパスの発生に繋がる動的要因が多い環境であると考えられる。そのため、病棟内で発生する全てのマルチパスに対して、詳細な発生要因を特定することは困難である。しかし、図 3-48 に示す通り、今回観測された全てのマルチパス波の方角には金属製の扉・壁が存在しており、これらがマルチパス発生の静的要因の一つであることは明白である。このような金属製の扉・壁は、非常用階段や EPS 室といった病棟内のメインエリアから離れた場所に存在していることが多いため、カバーエリア端でのマルチパス発生に繋がる要因となる可能性が考えられる。そのため、病棟内における他者土地への電波漏洩影響を推測する際には、これらの金属面によるマルチパス発生についても考慮する必要があるといえる。

d. 複数基のアンテナ同時運用における受信電力の仮説検討

複数基のアンテナを同時運用する場合における受信電力について考察を述べる。本実証では「複数の送信点が隣接する場合、各測定点の受信電力は複数アンテナから受信する電力の総和となる」と仮定している。この仮説を本実証環境に適用する場合、下記の式で表現することができる。

$$Pr_{ALL} = Pr_{①} + Pr_{②} + Pr_{③}$$

ただし、式中のパラメータは下記に示す通りである。

Pr_{ALL} : 全基運用時における受信電力 [dBm]

$Pr_{①}$: アンテナ①単基運用時における受信電力 [dBm]

$Pr_{②}$: アンテナ②単基運用時における受信電力 [dBm]

$Pr_{③}$: アンテナ③単基運用時における受信電力 [dBm]

本実証では、上記仮説を検証するべく表 3-6 に示す手順に従って、アンテナ 3 基の各単基運用時の受信電力実測値の総和と全基運用時における受信電力実測値の比較を行った。単基運用時および全基運用時の測定ポイントは図 3-28 に、各測定結果については表 3-13 に、表 3-13 の結果を散布図にしたものを図 3-49 に示す。

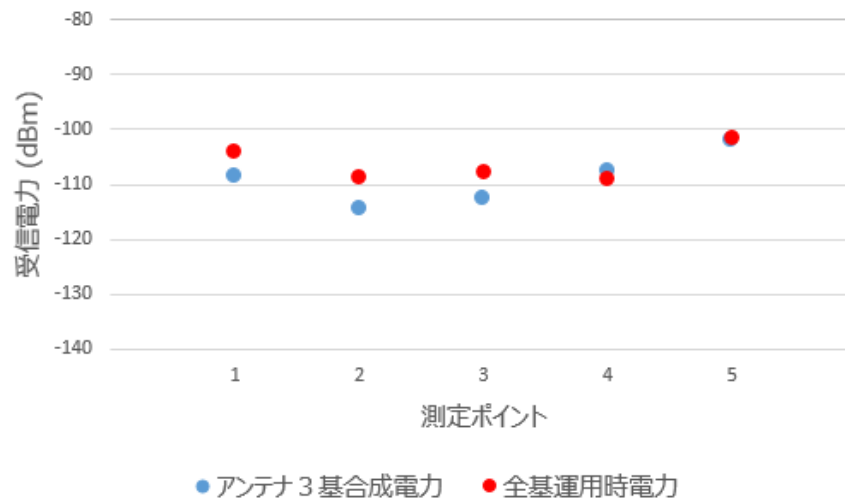


図 3-49 各単基運用時の受信電力総和値と、全基運用時の受信電力実測値の比較

表 3-13 および図 3-49 に示す通り、アンテナ①・②・③の各単基運用時受信電力の総和値と、全基運用時における受信電力実測値の平均差分は 3.3dB となっている。本測定は屋内環境で実施しており、遮蔽物による反射波等の影響により同一測定点の測定結果においても時間的な変動値として約±3.5dB を確認しており、これらの特性が平均差分に結び付いたと推定される。この結果から「複数の送信点が隣接する設計の場合、各測定点の受信電力は複数アンテナから受信する電力の総和となる」という本実証における仮説は、概ね実態に即しているといえる。これらの分析より、DAS アンテナのように複数の送信点が同一フロアに設置される等のケースでは、各送信点における受信電力の算出値の総和からカバーエリアを導出することで、より実態に即したエリア設計を行うことができると考えられる。

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

本実証は 3.3.1 章と同様に群馬大学医学部附属病院の北病棟 2 階（図 3-50）で実施した。本環境は複数の壁面や柱等が入り組んでおり、業務区域をくまなくカバーエリアする場合に、アンテナ単基では壁や柱が遮蔽物となり電波が行き届かない不感地帯が発生する（図 3-51）。このように遮蔽物による不感地帯の発生が想定されるエリアにおいては、不感地帯の改善が課題となる。本実証では不感地帯の改善方法として、基地局をむやみに増設することなく対処可能な方法である分散アンテナシステムを採用し、病棟フロア内におけるエリア構築での有効性について検討した。

分散アンテナシステムは上記のような環境特性や改善エリアの範囲の面から、エリア改善のアプローチ手法として本実証環境に適していると判断し採用した。基地局増設を行わない不感地帯改善手法としては、分散アンテナシステムの他にリピータや反射板が挙げられる。リピータは屋内の遮蔽環境によるクリアランスの確保が難しいことから設計が困難と考えられ、反射板は入院病棟における設置スペースおよび景観の課題が想定されるため、本実証の環境特性に適さないとして採用していない。

また、本実証は分散アンテナシステムの活用によって本ユースケースにおける所要性能を達成するための方策、及び分散アンテナシステム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て実施した。その際、テーマⅠで実施した屋外測定ポイントと同一ポイントにて測定を行い、分散アンテナシステムを導入したことによる他者土地への電波漏洩影響を確認した。

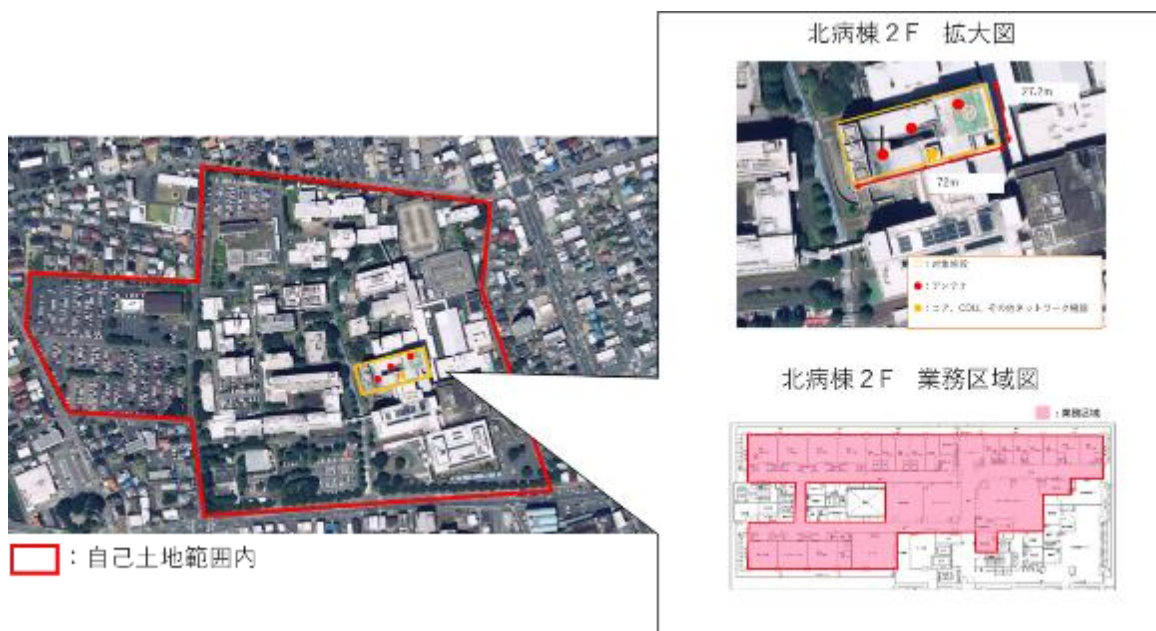


図 3-50 群馬大学医学部附属病院 自己土地範囲・業務区域図

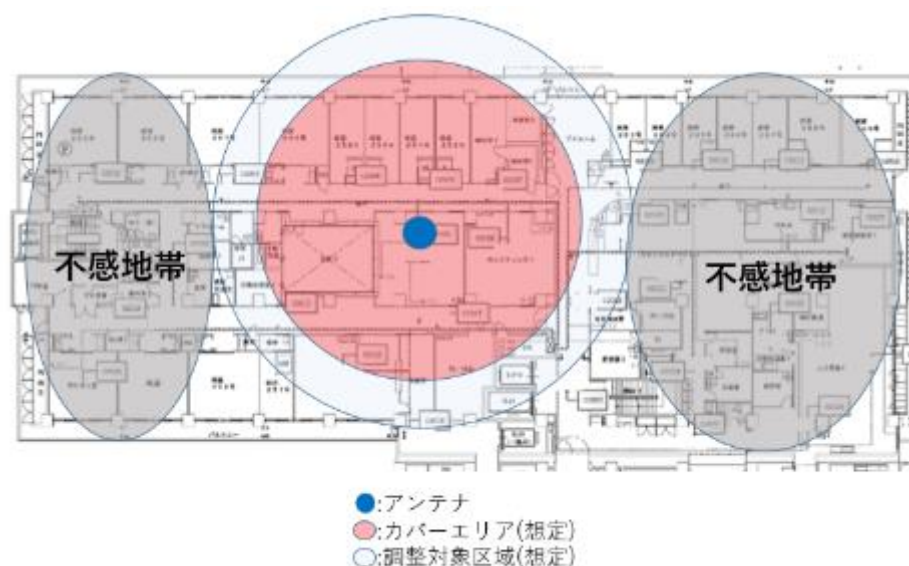


図 3-51 アンテナ単基運用時の不感地帯イメージ

2) 実証目標

アンテナ単基運用時に発生する不感地帯の改善に向けて、アンテナ単基と全基それぞれの運用時における受信電力と伝送性能を比較し、分散アンテナシステム利用時における不感地帯の改善効果について分析することを目標とした。また単基運用時と全基運用時における比較検証のみではなく、絶対評価として本ユースケースの所要性能（受信電力-84.6dBm、UL スループット：120Mbps、伝送遅延：50ms）の達成を目標とした。なお、伝送遅延の測定区間は『UE～NAT ルータ区間』とした。（図 3-52）



図 3-52 伝送性能測定区間 模式図

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

本実証と類似する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2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. 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」がある。当該実証では、病院内におけるパラメータ $R=18.1$ という値が算出されたが、更なる課題として「DAS システム等を採用することによる、カバレッジの広域化」が提言されている。

以上を踏まえ、本実証では分散アンテナシステムを導入した点で新規性があるといえる。分散アンテナシステムはカバーエリアを広域化し、不感地帯改善に対して有効であるとして採用した。そして各アンテナ単基運用時で受信電力を測定したポイントにてアンテナ全基運用時でも同様に測定することで、カバーエリアが拡張されたことの確認及び当該システムの運用効果の検証を行った。このようにカバレッジの広域化実現に向けて分散アンテナシステムが有効であるか検証を行った点で過年度からの発展性を有しているといえる。

(2) 実証仮説

実証環境は病室・検査室・処置室など様々な空間が開閉ドアや壁で仕切られており、アンテナ単基で北病棟2階の業務区域(図 3-3)をくまなくカバーするとした場合、壁や柱などが遮蔽物となって電波が弱くなる「弱電界エリア」や、電波が行き届かない「不感地帯」が発生することが想定される。そこで本実証では、アンテナ単基運用時の弱電界エリアや不感地帯はアンテナ3基による全基運用で改善されると仮定し、仮説実証を行った。また、分散アンテナシステムがエリア構築の柔軟性向上において有効な手段であるか検証した。

本実証環境で想定される弱電界エリアは図 3-53 に示した3か所で、それぞれ病棟の端に位置する病室である。各病室はアンテナ②から20m以上の距離があり、アンテナと各部屋との間に建物構造物や複数枚の遮蔽物(表 3-1)が存在するため、閾値より低い値となることが想定された。上記のようなアンテナ単基運用時に発生した不感地帯がアンテナ全基運用時には改善し、業務区域をくまなくエリアカバー化できるとして、仮説を設定した。改善確認のための基準として、「-66.6dBm~-76.6dBm」を弱電界エリア、「-76.6dBm未満」を不感地帯と定義した。本実証にて使用するローカル5G端末にて所要スループット(120Mbps)を確保するために必要な受信電力は「-74.6dBm」程度を想定しており、そこから人体吸収損を考慮しない環境での測定のため、8dBmを加算した「-66.6dBm」を基準とした。



図 3-53 アンテナ②単基運用時のエリア形成に弱電界が考えられるエリア

分散アンテナシステムの導入が不感地帯改善に対して効果的であると、期待する効果として以下の内容が挙げられる。

- 分散アンテナにより、低コストにて共用部や各仕切られた部屋等、フロアをくまなくエリア形成することが可能
- 分散アンテナ化により屋外基地局より出力を最小限に抑えることで、他者土地への電波漏洩を抑えることが可能
- 分散アンテナ化による、利用したい複数の場所(フロア単位)での受信電力や伝送性能の改善が見込まれる

分散アンテナシステム導入により、病棟の業務区域をくまなくエリアカバー化できると仮定し、そのイメージ図を「図 3-54」に示す。カバーエリアが拡張されることにより、本ユースケースにおけるソリューションがそのパフォーマンスを下げることなく効率的に実施され、医療現場の抱える課題の解決に大きく寄与することが期待される。

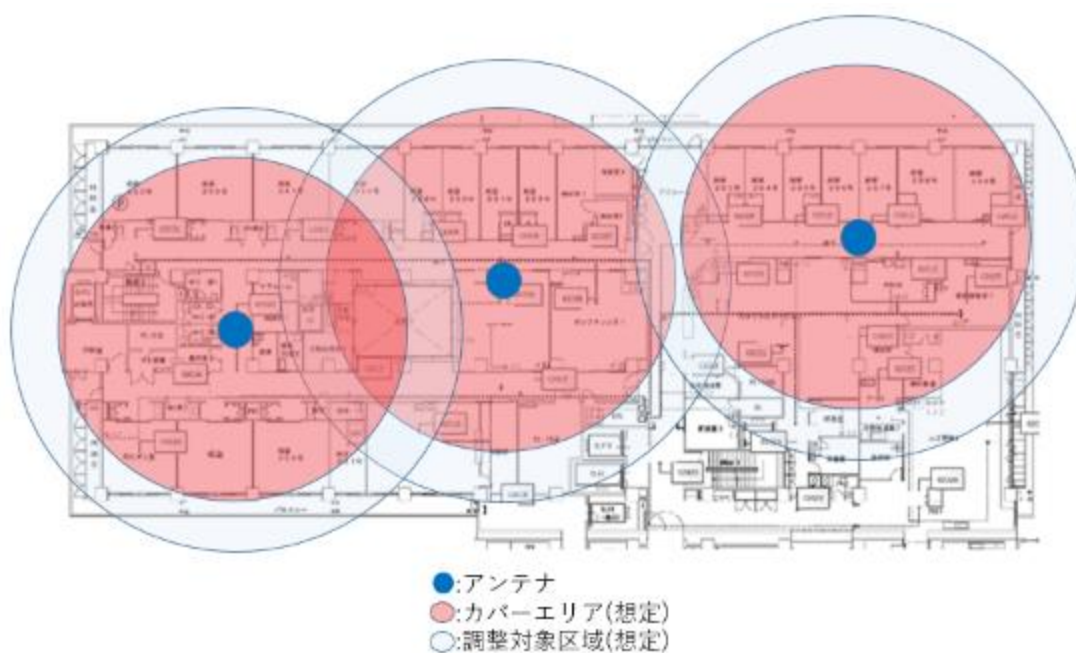


図 3-54 分散アンテナシステムのカバーエリアと調整対象区域のイメージ

以上の仮説に基づき、分散アンテナシステムのカバーエリアに対する効果検証として本実証を実施する。事前検証として、エリア算出法とレイトレース法に基づくシミュレーションを実施し、エリア構築を行った。具体的には各シミュレーションによるエリア設計及び測定ポイントの選定であり、詳細な手順は「表 3-20 エリア構築手法」に示した通りである。

表 3-20 エリア構築手法

項番	中項目	小項目	対応図表
1	エリア算出法によるシミュレーション	アンテナ①～③の各単基運用時のカバーエリア・調整対象区域図の作図し、各アンテナの測定ポイントを選定及びアンテナからの距離を確認 ※3.3.1章で作成済み	アンテナ ①：図 3-15 ②：図 3-16 ③：図 3-17
2		アンテナ全基運用時のカバーエリア・調整対象区域図の作図 ※アンテナ全基は各アンテナで選定したポイントで測定	図 3-87
3	レイトレースシミュレーション	建物構造や壁面、壁、ドアの材質素材（材質、厚さ）の情報収集 ※情報をシミュレータへ環境パラメータとして設定（屋内 3D モデリング） 設定項目：遮蔽テンプレート選定、素材、サイズ（高さ、長さ等）、厚み等	表 3-1 図 3-55
4		項番 3 による情報を考慮し、アンテナ単基運用時のレイトレースシミュレーションを実施	図 3-56

項番	中項目	小項目	対応図表
5		シミュレーション結果から、強電界エリア(アンテナ周辺)と弱電界エリア(建物端や複数遮蔽物周辺)の境界線を確認	図 3-58
6		全基アンテナ(3基)運用時のレイトレースシミュレーションを実施	図 3-57
7		項番5による弱電界エリアがアンテナ全基運用による強電界エリアであることを確認	図 3-58
8		項番4・6を踏まえて測定ポイントの決定と、アンテナ②からの距離(図面上)の確認 【建物内の測定ポイントの測位】 基地局から測定点間による水平距離計測は、測位できる場所(屋外バルコニー等)より建物内測定点の距離を測り、国交省HP「距離と方位角の計算」より算出	図 3-59 表 3-21
9		項番9で選定した測定ポイントについて各アンテナからの距離(図面上)の確認 ※確認方法は項番8と同様	図 3-60 表 3-22

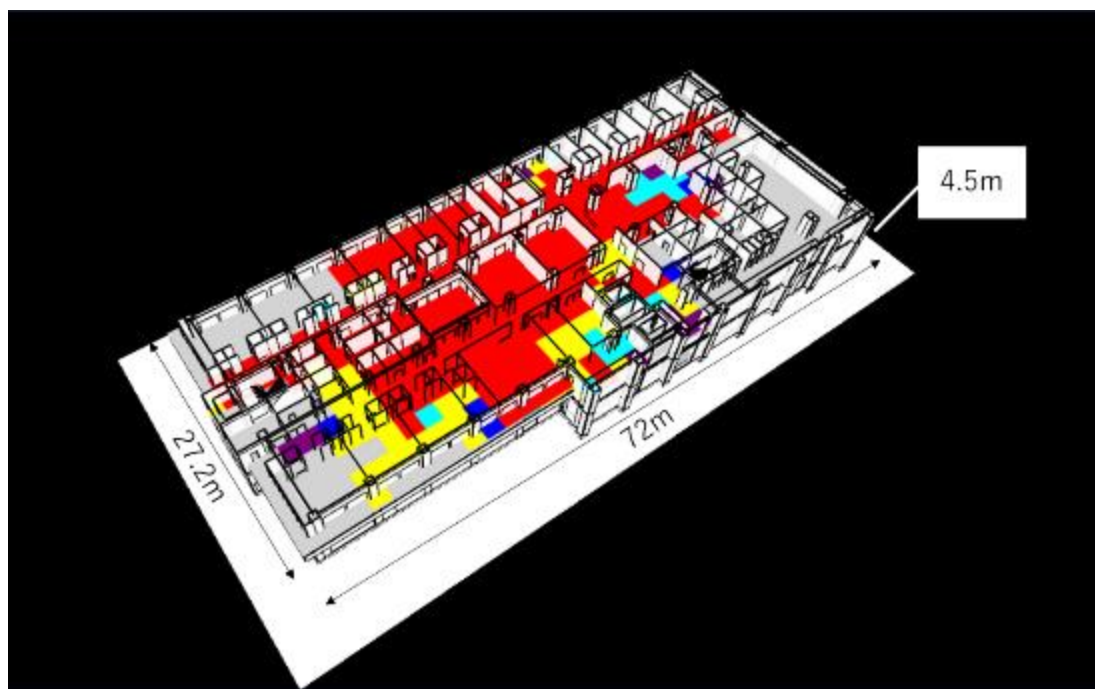


図 3-55 北病棟 2F における屋内 3D モデリング

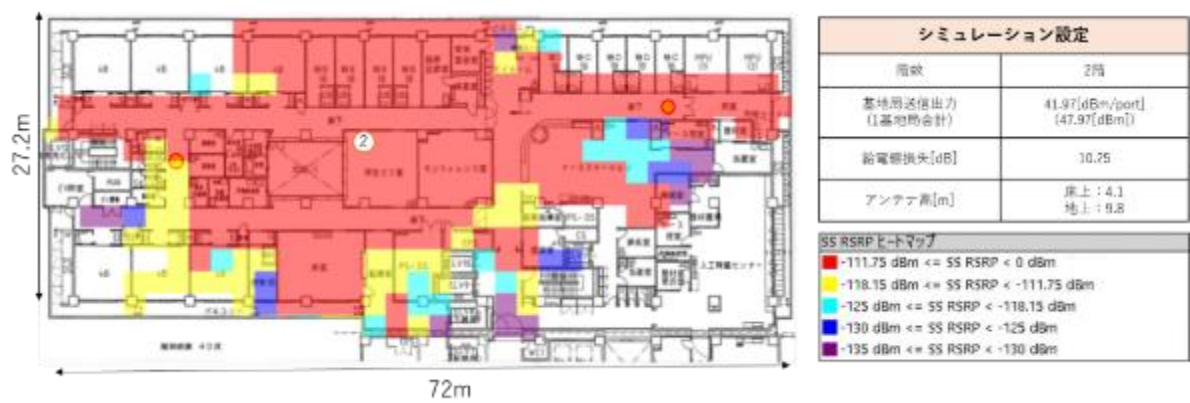


図 3-56 レイトレースシミュレーション (アンテナ②単基運用時)

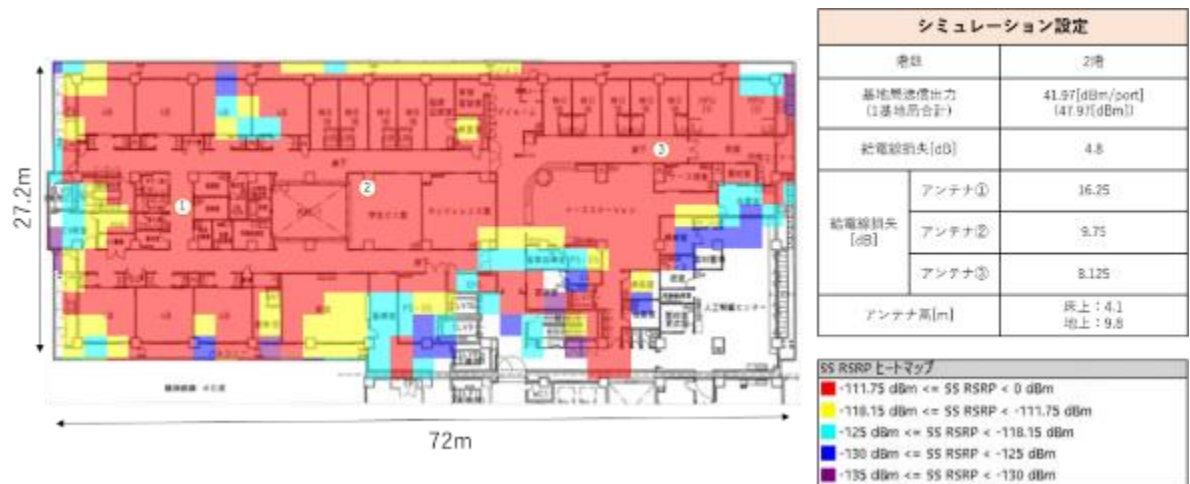


図 3-57 レイトレースシミュレーション (アンテナ全基運用時)

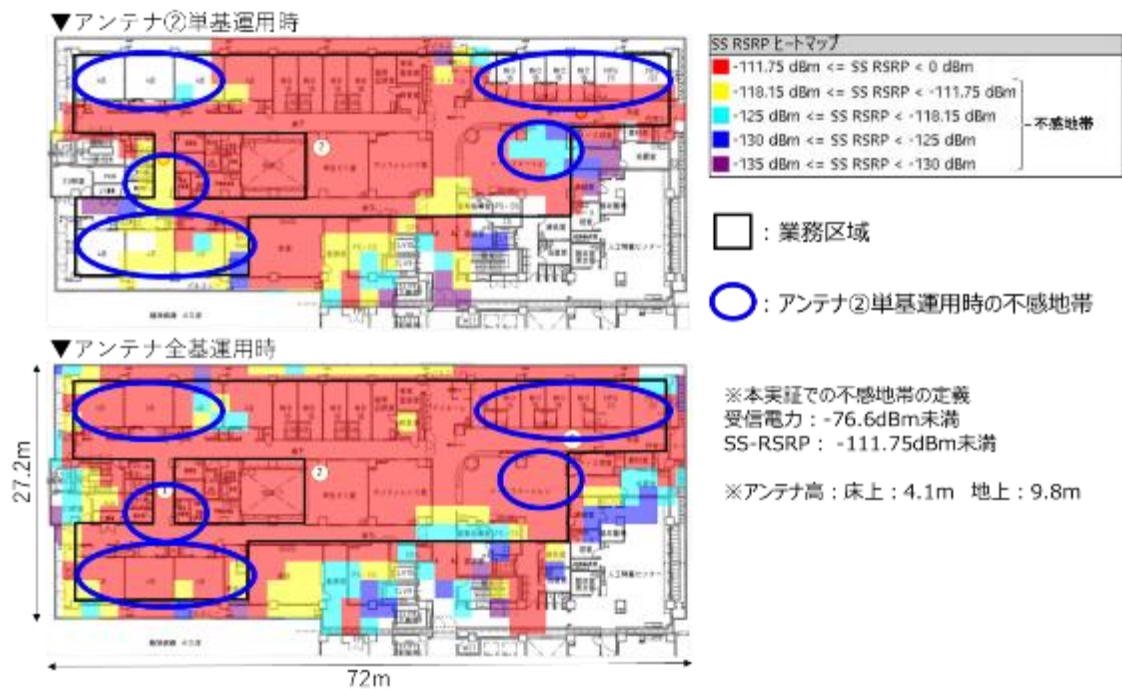


図 3-58 不感地帯確認 (アンテナ②単基運用と全基運用のシミュレーション比較)

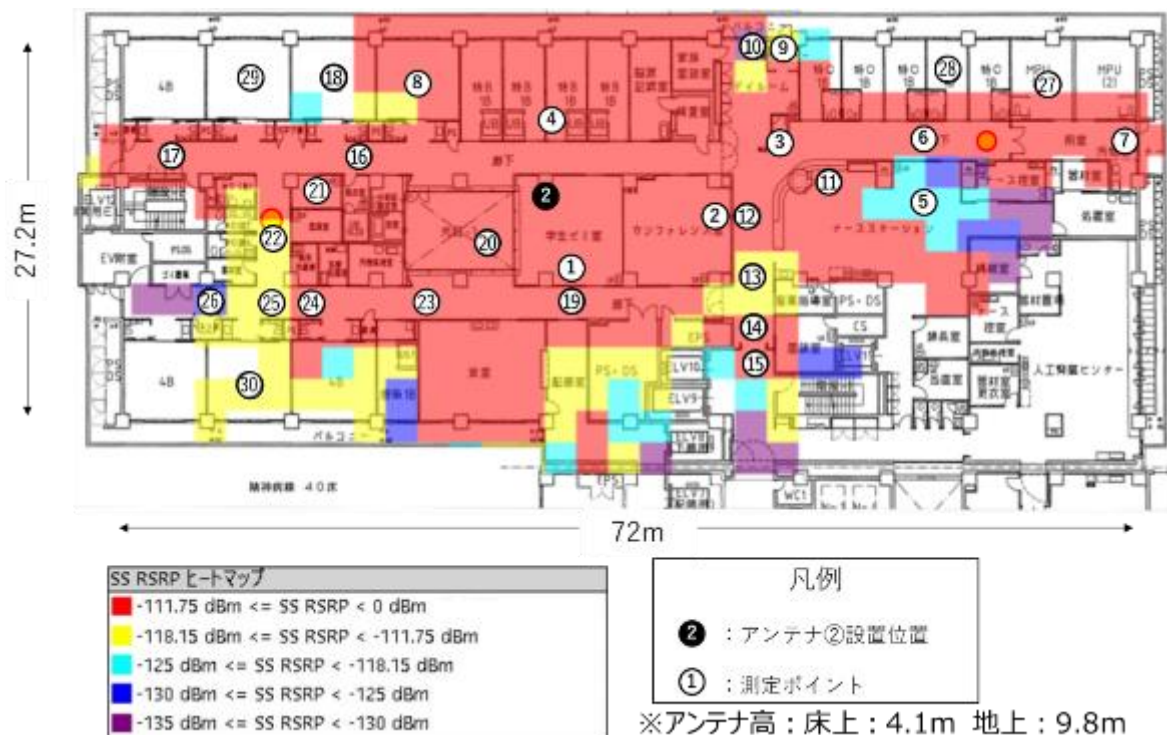


図 3-59 測定ポイント (アンテナ②単基運用時シミュレーション結果)

表 3-21 各測定ポイントとアンテナ②の距離

測定点 ID	基地局との 3D 距離 (m)	基地局との水平距離 (m)
1	6.1	5.39
2	12.1	11.77
3	17.2	16.97
4	7.4	6.85
5	26.8	26.64
6	27.6	27.43
7	41.5	41.40
8	12.7	12.39
9	20.3	20.14
10	18.2	18.01
11	20.4	20.17
12	14.2	13.92
13	15.7	15.40
14	17.6	17.33
15	19.1	18.91
16	13.9	13.57
17	27.1	26.93
18	16.7	16.41
19	8.2	7.70
20	6.5	5.78
21	16.6	16.39
22	19.7	19.45
23	12.1	11.75
24	18.7	18.50
25	21.2	20.98
26	25.4	25.26
27	40.5	40.39
28	32.6	32.45
29	20.1	19.87
30	22.6	22.38

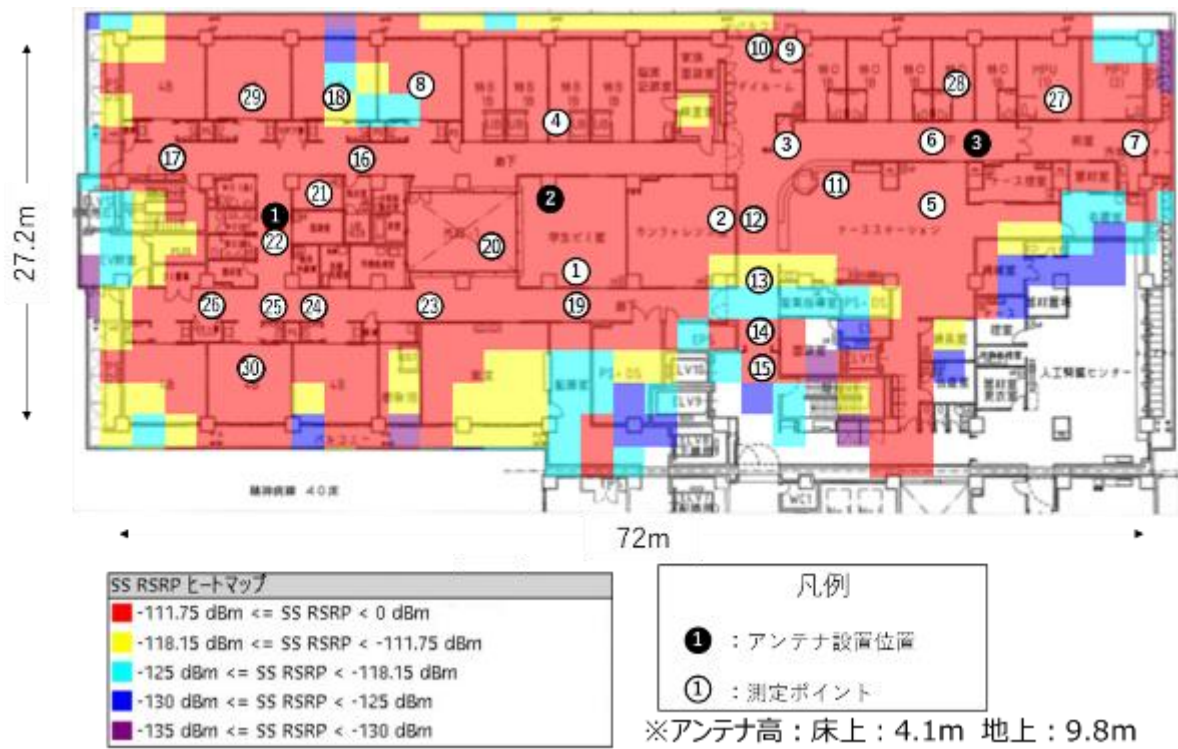


図 3-60 測定ポイント（アンテナ全基運用時シミュレーション結果）

表 3-22 分散アンテナシステムにおける各アンテナと測定ポイントの距離

測定点 ID	DAS ID	アンテナとの 3D 距離 (m)	アンテナとの水平距離 (m)
1	1	20.9	20.7
	2	6.1	5.4
	3	31.7	31.5
2	1	31.2	31.1
	2	12.1	11.8
	3	20.2	20.0
3	1	36.4	36.2
	2	17.2	17.0
	3	15.1	14.8
4	1	22.8	22.6
	2	7.4	6.9
	3	29.8	29.7
5	1	46.0	45.9
	2	26.8	26.6
	3	7.2	6.6
6	1	46.9	46.8
	2	27.6	27.4
	3	5.0	4.1
7	1	60.8	60.8
	2	41.5	41.4
	3	10.4	10.0
8	1	12.3	12.0
	2	12.7	12.4
	3	42.0	41.9
9	1	38.5	38.4
	2	20.3	20.1
	3	16.1	15.9
10	1	36.1	36.0
	2	18.2	18.0
	3	18.5	18.2
11	1	39.6	39.5
	2	20.4	20.2
	3	11.8	11.5

測定点 ID	DAS ID	アンテナとの 3D 距離 (m)	アンテナとの水平距離 (m)
12	1	33.3	33.1
	2	14.2	13.9
	3	18.4	18.2
13	1	33.9	33.8
	2	15.7	15.4
	3	19.8	19.6
14	1	34.9	34.7
	2	17.6	17.3
	3	21.4	21.2
15	1	35.5	35.4
	2	19.1	18.9
	3	23.2	23.0
16	1	8.1	7.5
	2	13.9	13.6
	3	44.6	44.5
17	1	9.3	8.9
	2	27.1	26.9
	3	58.1	58.0
18	1	9.5	9.0
	2	16.7	16.4
	3	46.6	46.5
19	1	21.6	21.5
	2	8.2	7.7
	3	32.1	32.0
20	1	15.1	14.8
	2	6.5	5.8
	3	36.7	36.6
21	1	4.6	3.5
	2	16.6	16.4
	3	47.9	47.8
22	1	3.0	0.7
	2	19.7	19.4
	3	51.0	50.9
23	1	11.8	11.5

測定点 ID	DAS ID	アンテナとの 3D 距離 (m)	アンテナとの水平距離 (m)
	2	12.1	11.7
	3	42.1	42.0
24	1	6.6	6.0
	2	18.7	18.5
	3	49.6	49.5
25	1	6.4	5.7
	2	21.2	21.0
	3	52.2	52.1
26	1	7.9	7.4
	2	25.4	25.3
	3	56.6	56.5
27	1	59.7	59.7
	2	40.5	40.4
	3	9.8	9.4
28	1	51.7	51.6
	2	32.6	32.5
	3	6.0	5.3
29	1	8.5	8.0
	2	20.1	19.9
	3	50.2	50.2
30	1	10.1	9.7
	2	22.6	22.4
	3	52.8	52.7

また図 3-58 で確認した不感地帯については、実測値でも同様にアンテナ単基運用時と全基運用時で比較することとする。ただし、実測値はシミュレーション値とは異なり、面的な評価が困難であるため、表 3-23 のような手順で近似の面積で不感地帯を評価することとした。なお、入室が制限されている病室や部屋があり、その箇所についての測定は行わない。改善目標値は表 3-23 の通り、シミュレーションから算出したアンテナ全基運用時の不感地帯面積 59.2 m²とする。

表 3-23 不感地帯の評価方法

項番	手順	対応図表
1	<ul style="list-style-type: none"> ・ エリア全体をメッシュ化（1セル：5.44m×6m＝29.6 m²） ・ 図 3-3 で示した業務区域は、近似業務区域として設定 ・ 以下の通り、近似業務区域面積を算出 <ul style="list-style-type: none"> ・ 1セル面積：29.6 m² ・ 近似業務区域のセル枚数：45 枚 ・ 近似業務区域面積：1332 m² 	図 3-61
2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 図 3-56 のレイトレースシミュレーション結果を用いたアンテナ単基運用時の不感地帯を評価 ・ シミュレーションにおいて SS-RSRP -111.75dBm 未満が 5 割を占める部分を不感セルとして、その不感セルの枚数で不感地帯面積を算出 ・ 以下の通り、アンテナ単基運用時の不感地帯面積を算出 <ul style="list-style-type: none"> ・ 1セル面積：29.6 m² ・ 不感地帯セル枚数：18 枚 ・ アンテナ単基運用時の不感地帯面積：532.8 m² ・ 近似業務区域に対する不感地帯の割合：40% 	図 3-62
3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 図 3-57 のレイトレースシミュレーション結果を用い、アンテナ全基運用時の不感地帯を評価 ・ シミュレーションにおいて SS-RSRP -111.75dBm 未満が 5 割を占める部分を不感セルとして、セルの枚数で不感地帯面積を算出 ・ 以下の通り、アンテナ全基運用時の不感地帯面積を算出 <ul style="list-style-type: none"> ・ 1セル面積：29.6 m² ・ 不感地帯セル枚数：2 枚 ・ アンテナ全基運用時の不感地帯面積：59.2 m² ・ 近似業務区域に対する不感地帯の割合：4.4% 	図 3-63
4	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実測値においても不感地帯の評価を実施 ・ 改善目標値は前項にてシミュレーションから算出したアンテナ全基運用時の不感地帯面積 59.2 m²と設定 ・ 実測値では、セル内のポイントで測定を実施した定点測定値もしくはヒートマップのデータにおいて、SS-RSRP -111.75dBm 未満を記録した部分を不感地帯と設定 ・ ヒートマップの実測値は該当箇所で取得した全データの中央値から算出 ・ ※病院側の指示に従い、入室が制限されている病室や部屋は測定対象外 	図 3-64

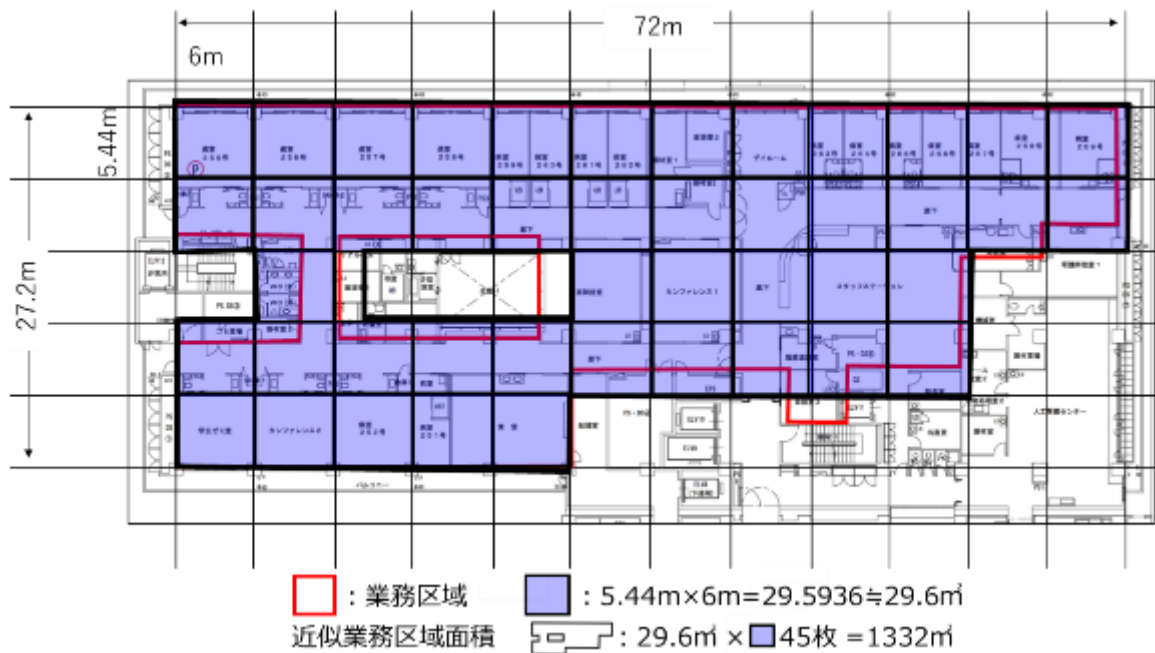


図 3-61 エリアメッシュ化と近似業務区域

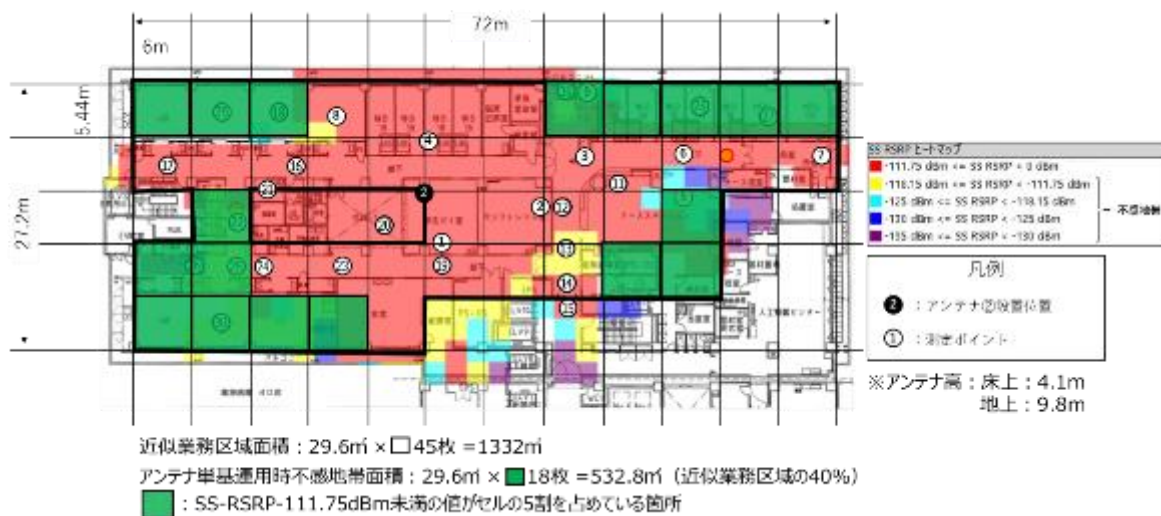


図 3-62 アンテナ単基運用時の不感地帯面積評価

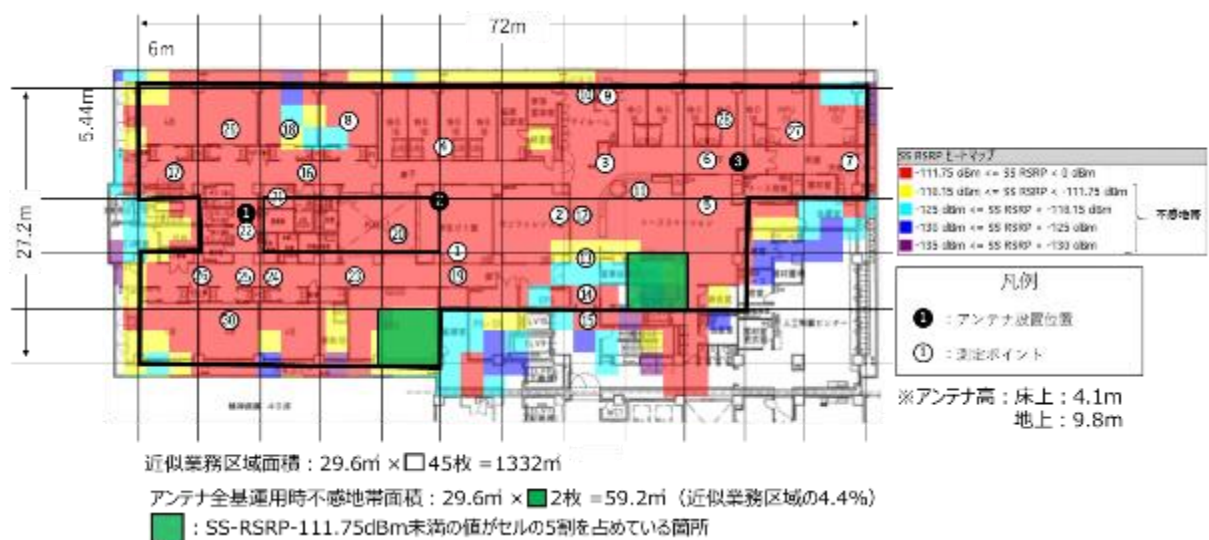


図 3-63 アンテナ全基運用時の不感地帯面積評価

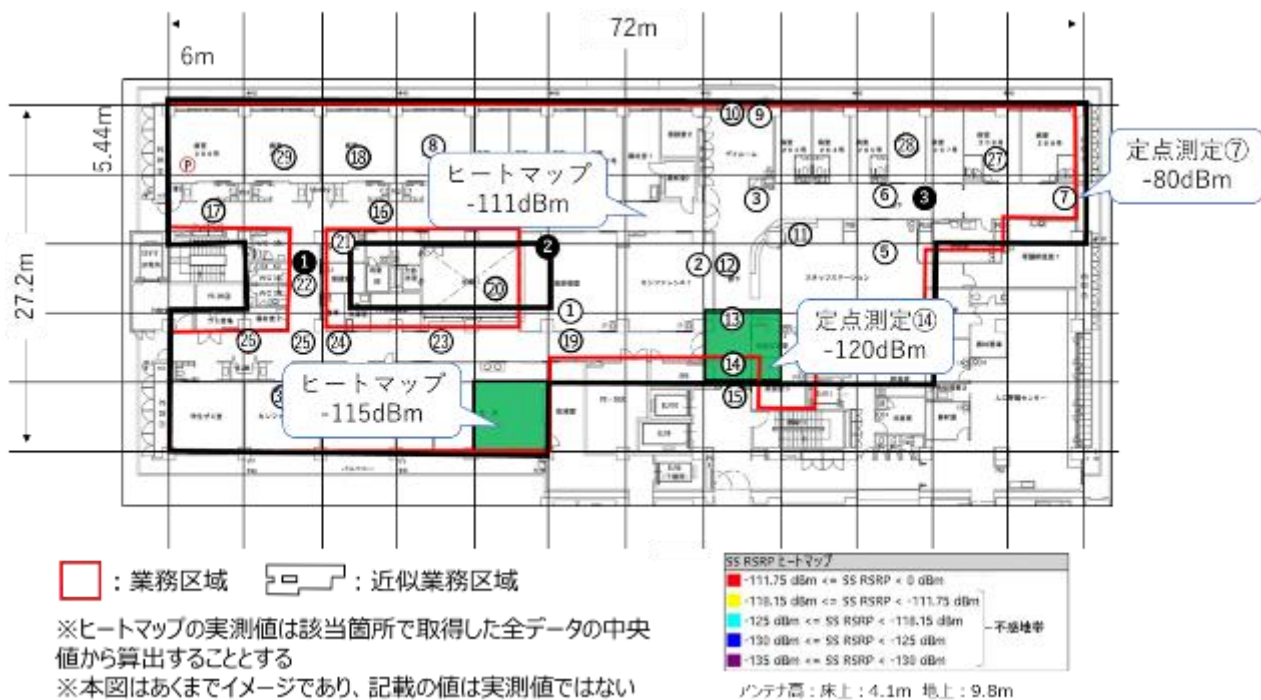


図 3-64 実測値における不感地帯面積の評価イメージ

(3) 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下の表 3-24 に示す。

表 3-24 評価・検証項目

項 番	大項目	中項目	小項目
1	分散アンテナシステムでカバーされたエリアにおける効果の確認	カバーエリア測定	・ 各アンテナ単基運用時と全基運用時における受信電力の定点測定及び歩行測定
2		受信電力・通信品質等の測定	<ul style="list-style-type: none"> ・ アンテナ単基運用時と全基運用時における受信電力の歩行測定 ・ アンテナ単基運用時と全基運用時における受信電力・伝送性能の定点測定

なお、以下の機器を用いて測定を実施した。

① ローカル 5 G 測定器（エリアスキャナー）仕様

ローカル 5 G の受信電力（SS-RSRP）の実測を行うため、以下の仕様の測定器を使用した。エリアスキャナーにおける受信電力の測定限界値は-130dBm である。今回 LNA（Low Noise Amplifier）を装着させ、受信電力値を 15dB（ケーブル損を含む）増幅させることで限界値を-145dBm まで拡張させた。

表 3-25 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）



図 3-65 ローカル 5G 測定器（エリアスキャナー） 外観

- ② ローカル 5 G測定器（ネットワークテスタ）仕様
 ローカル 5 Gのスループット・伝送遅延値の実測を行うため、以下の仕様の測定器を使用した。

表 3-26 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）



図 3-66 ローカル 5G 測定器（ネットワークテスタ） 外観

③ ローカル 5 G シミュレーションソフト仕様

ローカル 5 G の電波伝搬シミュレーションを行ったソフトウェアの仕様は以下の通りである。

表 3-27 ローカル 5G シミュレーションソフト仕様

ソフトウェア名	RANPLAN : Ranplan Professional
推奨 CPU	Core i7 7th 3.0GHz 以上
推奨 Memory	16GBbyte 以上
対応 OS	Windows10
必要 HDD 容量	SSD100GB 以上
推奨ディスプレイ	1920×1080
備考	レイトレースシミュレーション機能の他、本実証評価・検証に必要な機能を具備

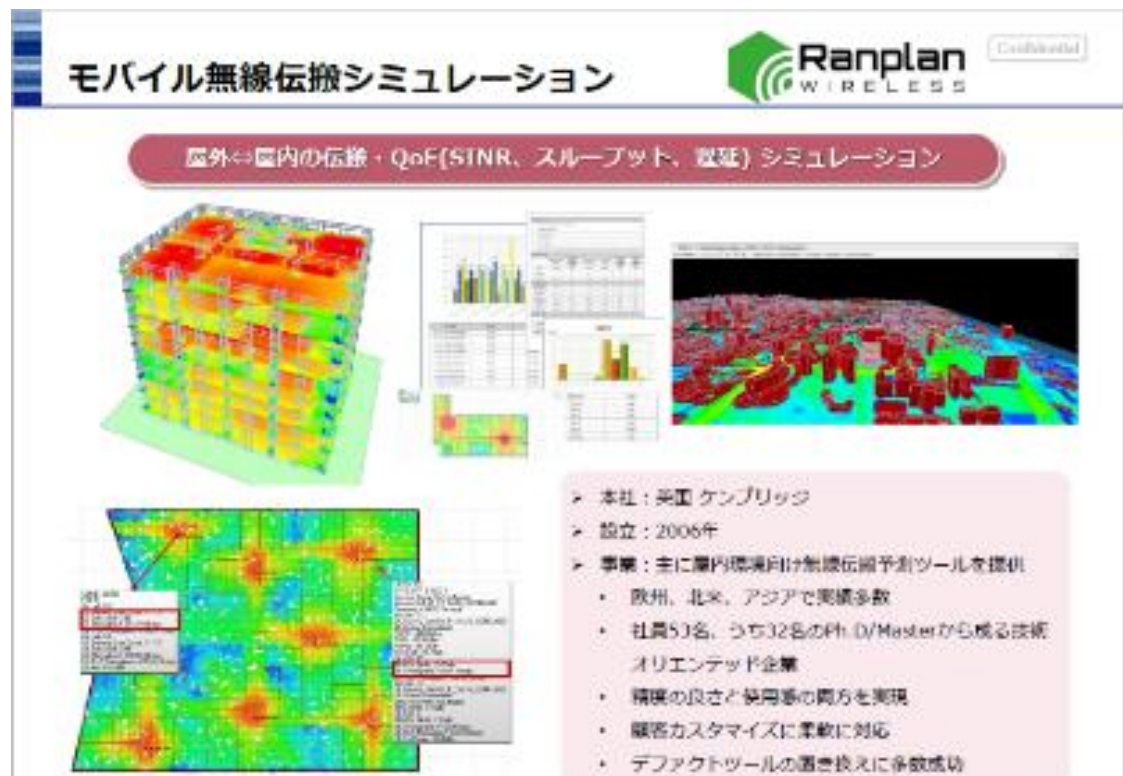


図 3-67 RANPLAN シミュレーションイメージ

(4) 評価・検証方法

本実証で利用した分散アンテナシステムを「図 3-68」「表 3-28」「表 3-29」「図 3-69」に示す。

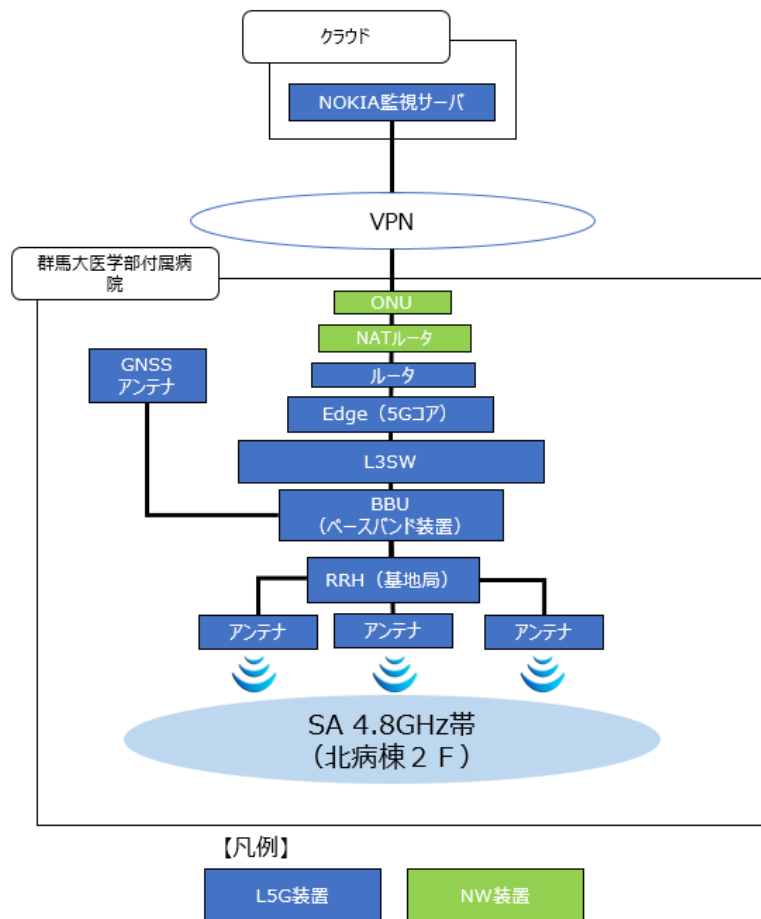


図 3-68 分散アンテナシステムイメージ図

表 3-28 分散アンテナシステム諸元

項目	基地局相当 (RRH)
対応周波数帯	4. 8-4. 9GHz
送信出力電力	20W×4Tx (免許制度上は15. 75W×4Txが上限)
外形寸法 (高さ×幅×奥行)	129mm×447mm×400mm AC/DC部 44. 5mm×482. 5mm×265mm
重量	約11kg (AC/DC部 約5. 2kg)
電源	DC-48V (AC/DC 部 AC100V)
製造ベンダ	NOKIA

表 3-29 無指向性アンテナ諸元

項目	無指向性アンテナ
外部インターフェイス	4.3-10 J型（4ポート）
アンテナ利得	4.7dBi
アンテナ指向性	水平360度
外形寸法（直径×厚さ）	210mm×14mm
重量	700g
電源	4T4R

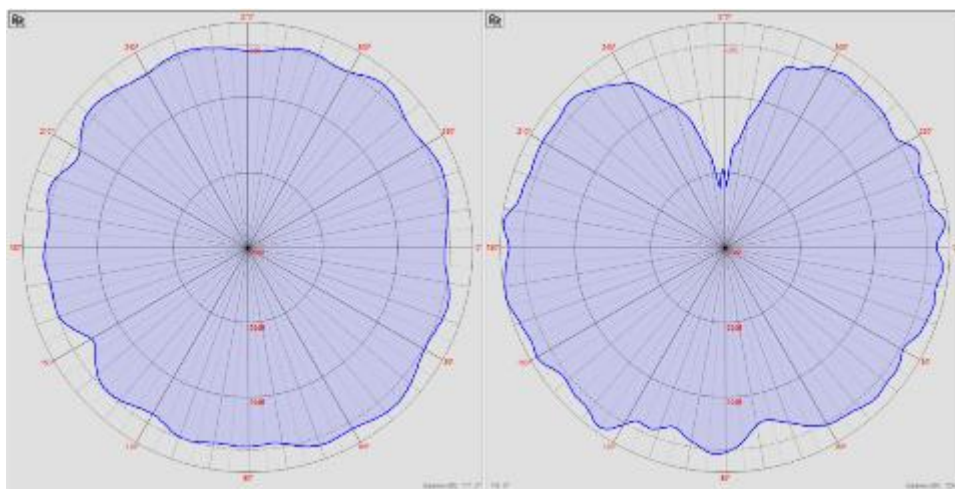


図 3-69 分散アンテナのアンテナパターン図

本実証にて実施した試験の手順を、以下の「表 3-30」に示す。

表 3-30 分散アンテナシステムでカバーされたエリアにおける効果確認の試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	<p>【カバーエリア測定】</p> <ul style="list-style-type: none"> アンテナ全基運用による受信電力測定 アンテナ全基運用時の歩行測定（SS-RSRPヒートマップ） <p>※各アンテナ単基運用のデータは3.3.1章より引用</p> <p>※測定時の留意事項は下記</p> <ul style="list-style-type: none"> エリアスキャナーにて SS-RSRP を測定実施、測定器アンテナは無指向性を使用 測定器設定は、空中線利得 0dBi、給電線損失 0dB、空中線地上高 1.5m 定在波影響を避けるため、1 測定点において 10λ で測定位置を 	

工程	実施内容	対応図表
	<p>動かしながら測定を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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実施 ・ 1 測定点において 1000 サンプル取得 ・ 取得したサンプルから中央値、平均値、標準偏差、上位 10%値、下位 10%値を算出 	
2	<p>【受信電力・通信品質等の測定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アンテナ単基運用時で、図 3-59 で選定した測定ポイントにて以下の測定を実施 <ul style="list-style-type: none"> ・ 定点測定⇒SS-RSRP, RSRQ, SINR のデータ取得 ・ 歩行測定⇒SS-RSRP ヒートマップ取得 ・ 伝送性能測定⇒スループット/遅延時間の測定 ※この時アンテナ②以外は終端し停波状態 ・ アンテナ全基運用時で、図 3-60 で選定した測定ポイントにて以下の測定を実施 <ul style="list-style-type: none"> ・ 定点測定⇒SS-RSRP, RSRQ, SINR のデータ取得 ・ 歩行測定⇒SS-RSRP ヒートマップ取得 ・ 伝送性能測定⇒スループット/遅延時間の測定 ・ ※この時アンテナ②以外の終端を外し発射 	
3	<p>【測定結果確認と考察】</p> <p>＜カバーエリア測定＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 測定した受信電力値とエリア算出値の比較を実施 ・ 分散アンテナシステム導入によるカバーエリア及び調整対象区域への影響を確認 ・ 測定結果及び上記比較事項に基づく考察の実施 <p>＜受信電力・通信品質等の測定＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アンテナ単基運用時に不感地帯が発生していることを確認 ・ アンテナ全基運用時に、アンテナ単基運用時における測定不可ポイントにて測定が可能であることを確認 ・ それぞれの測定結果の比較及び考察の実施 	<p>表 3-31表 3-32表 3-33</p>



図 3-70 測定の様子（中庭）

（5）実証結果及び考察

1) 実証結果

- ① 「図 3-15」「図 3-16」「図 3-17」にて図示したカバーエリア及び調整対象区域端における各測定ポイントにて、測定した受信電力値とエリア算出値の比較を行った。「表 3-31」に示した通り、アンテナ単基運用時とアンテナ全基運用時の値をまとめた。なお、以下記載の「－（測定不能）」については測定器の受信電力限界値を下回っていたことで捕捉できず、測定が行えなかったものである。

表 3-31 各屋外測定ポイントにおけるエリア算出値と実測値（アンテナ単基・全基運用時）

測定 ポ イ ン ト	エリア算出値 (dBm)	アンテナ単基運用時		アンテナ全基運用時	
		実測値(dBm)	差分(dB)	実測値(dBm)	差分(dB)
1	-108.9	－（測定不能）	－	－（測定不能）	－
2	-108.8	－（測定不能）	－	－（測定不能）	－
3	-107.2	－（測定不能）	－	－（測定不能）	－
4	-104.5	－（測定不能）	－	－（測定不能）	－
5	-103.1	-132.7	-29.6	-130.4	-27.3
6	-114.7	－（測定不能）	－	－（測定不能）	－

測定 ポイ ント	エリア算出値 (dBm)	アンテナ単基運用時		アンテナ全基運用時	
		実測値 (dBm)	差分 (dB)	実測値 (dBm)	差分 (dB)
7	-112.3	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
8	-111.6	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
9	-111.0	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
10	-109.8	-132.6	-22.8	-132.6	-22.8
11	-102.5	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
12	-99.5	- (測定不能)	-	-135.9	-36.4
13	-102.6	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
14	-102.4	-134.2	-31.8	-133.5	-31.1
15	-106.0	- (測定不能)	-	-130.6	-24.6
16	-107.4	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
17	-110.3	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
18	-108.5	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
19	-109.1	-137.7	-28.6	- (測定不能)	-
20	-110.0	- (測定不能)	-	-132.2	-22.2
21	-103.7	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
22	-103.8	- (測定不能)	-	-132.6	-28.8
23	-104.8	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
24	-103.4	- (測定不能)	-	-130.9	-27.5
25	-102.5	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
26	-111.2	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-
27	-111.4	- (測定不能)	-	-135.5	-24.1
28	-110.2	- (測定不能)	-	-133.2	-23.0
29	-107.3	- (測定不能)	-	-132.1	-24.8
30	-108.7	- (測定不能)	-	- (測定不能)	-

② 図 3-59 に図示した各測定ポイントにて、アンテナ単基運用時の受信電力、通信品質、伝送性能の測定を行った。結果を表 3-32 に示す。なお、以下記載の「-」については測定器の受信電力限界値を下回っていたことで捕捉できず、測定が行えなかったものである。

表 3-32 各測定ポイントでの受信電力、通信品質、伝送性能の測定結果一覧（アンテナ単基運用時）

測定ポイント	受信電力 (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SINR (dB)	UL スループット (Mbps)	UL スループット 120Mbps との差分	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
1	-91.53	-10.69	16.44	155.67	35.67	865.07	11.93	9.90
2	-111.76	-11.96	5.76	56.46	-63.54	556.59	11.54	10.23
3	-113.66	-12.53	4.57	50.57	-69.43	513.83	11.09	9.16
4	-100.98	-11.18	11.66	101.93	-18.07	826.97	11.63	10.20
5	-120.96	-16.59	3.64	4.57	-115.43	167.22	13.71	10.33
6	-120.89	-16.45	3.64	15.24	-104.76	348.04	8.55	10.17
7	-121.33	-17.00	3.56	5.21	-114.79	214.75	12.49	11.89
8	-116.19	-13.39	4.33	26.14	-93.86	434.10	11.55	10.46
9	-120.58	-16.28	3.63	10.83	-109.17	320.90	12.15	11.11
10	-122.18	-17.66	3.55	15.20	-104.80	331.94	11.62	10.46
11	-117.26	-14.20	3.93	12.61	-107.39	280.82	13.66	11.74
12	-118.95	-15.11	3.81	20.88	-99.12	384.37	11.65	9.81
13	-115.76	-13.49	4.11	32.36	-87.64	478.59	11.08	11.89
14	-115.90	-14.17	4.12	33.27	-86.73	522.98	10.96	9.41
15	-123.37	-18.79	3.54	11.54	-108.46	252.27	12.03	10.16
16	-105.41	-10.26	11.02	68.29	-51.71	620.60	11.38	9.35
17	-119.08	-15.45	3.75	11.01	-108.99	325.57	12.80	10.53
18	-117.23	-13.94	4.08	14.18	-105.82	322.75	12.86	10.98

測定ポイント	受信電力 (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SINR (dB)	UL スループット (Mbps)	UL スループット 120Mbps との差分	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
19	-102.74	-13.50	4.24	121.23	1.23	859.10	10.52	9.45
20	-95.28	-10.26	17.23	119.23	-0.77	863.57	11.93	10.12
21	-118.77	-15.22	3.79	8.99	-111.01	273.70	13.19	12.29
22	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-109.27	-11.28	6.54	57.72	-62.28	609.29	11.14	9.62
24	-114.92	-12.71	4.59	24.90	-95.10	421.50	11.55	11.76
25	-119.62	-15.94	3.58	10.74	-109.26	326.31	11.97	10.57
26	-132.64	-27.33	3.77	7.28	-112.72	216.96	12.20	22.67
27	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-123.15	-18.36	-	-	-	-	-	-
29	-122.50	-17.71	3.42	1.39	-118.61	139.12	13.33	7.70
30	-	-	-	-	-	-	-	-

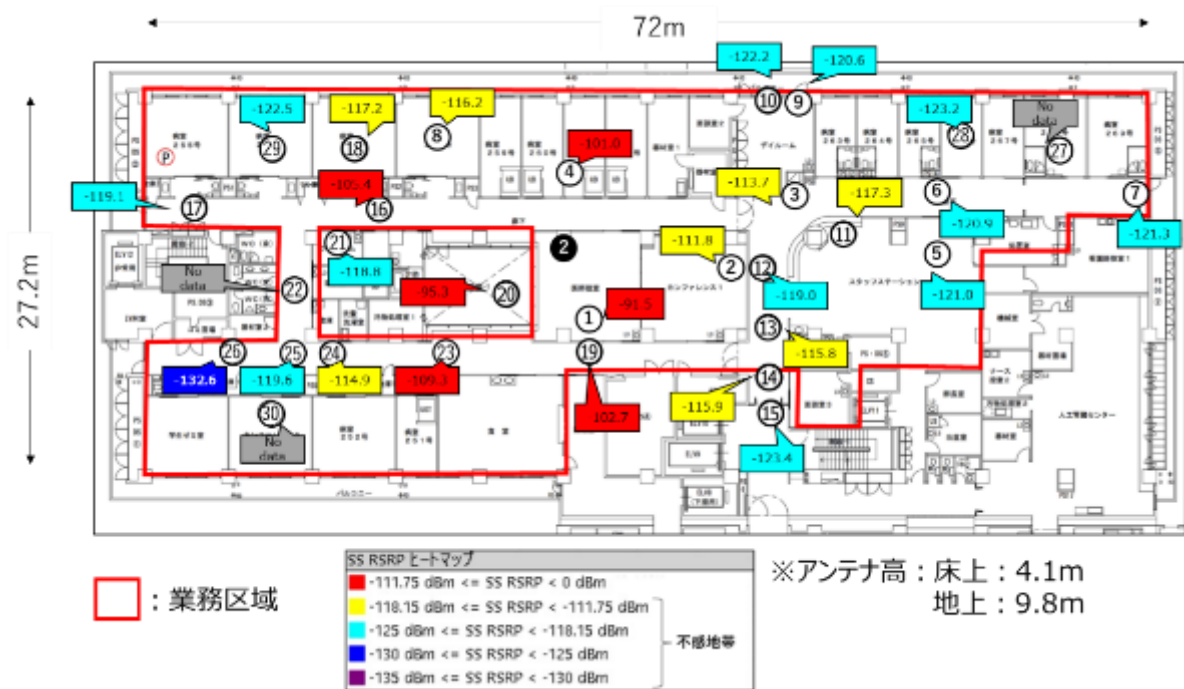


図 3-71 アンテナ単基運用時の SS-RSRP 値マップ

③ 図 3-60 に図示した各測定ポイントにて、アンテナ全基運用時の受信電力、通信品質、伝送性能の測定を行った。結果を表 3-33 に示す。

表 3-33 各測定ポイントでの受信電力、通信品質、伝送性能の測定結果一覧（全基運用時）

測定ポイント	受信電力 (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)	UL スループット (Mbps)	UL スループット 120Mbps との差分	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
1	-91.62	-10.37	18.64	147.49	27.49	849.38	10.44	9.90
2	-111.65	-12.32	5.32	44.46	-75.54	575.22	9.61	10.22
3	-104.11	-11.12	9.31	112.85	-7.15	838.90	10.20	9.19
4	-105.73	-10.47	13.96	77.25	-42.75	616.33	11.90	10.49
5	-90.33	-10.61	18.09	148.71	28.71	854.57	9.68	12.94
6	-86.93	-10.72	14.25	172.01	52.01	848.36	10.07	10.37
7	-97.09	-10.83	13.29	111.54	-8.46	854.54	10.06	11.89

測定ポイント	受信電力 (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)	UL スループット (Mbps)	UL スループット 120Mbps との差分	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
8	-112.41	-11.20	9.15	24.87	-95.13	372.90	12.15	11.00
9	-116.62	-14.14	4.14	24.97	-95.03	396.23	10.43	11.15
10	-112.84	-12.60	4.77	28.94	-91.06	424.69	10.39	10.65
11	-106.23	-10.76	9.12	64.67	-55.33	672.44	10.23	12.15
12	-110.94	-12.32	5.30	48.55	-71.45	523.11	9.63	9.97
13	-108.72	-11.90	5.81	45.00	-75.00	548.31	11.23	9.96
14	-114.10	-14.24	4.16	45.09	-74.91	528.27	10.23	9.43
15	-119.52	-16.01	3.64	18.21	-101.79	305.56	11.22	9.96
16	-109.73	-10.97	10.91	58.05	-61.95	579.35	11.39	10.35
17	-118.06	-13.98	3.95	39.12	-80.88	450.59	11.66	10.35
18	-113.92	-10.74	10.05	39.13	-80.87	346.99	12.70	11.01
19	-96.48	-10.15	15.68	124.01	4.01	848.34	10.07	9.58
20	-94.55	-11.29	17.39	143.43	23.43	848.34	10.07	10.09
21	-107.67	-11.15	7.99	53.57	-66.43	590.43	10.07	12.15
22	-89.17	-10.63	19.12	146.91	26.91	844.23	10.23	9.97
23	-108.98	-11.06	7.20	69.72	-50.28	670.69	10.29	9.56
24	-101.68	-10.46	13.52	99.61	-20.39	845.75	10.20	10.36
25	-83.15	-10.44	16.16	150.24	30.24	848.32	11.80	9.97
26	-100.69	-10.68	13.15	106.26	-13.74	848.33	11.59	10.10
27	-105.04	-10.80	9.64	83.93	-36.07	724.17	12.06	9.84
28	-89.64	-10.38	20.58	148.28	28.28	849.40	11.93	9.72

測定ポイント	受信電力 (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)	UL スループット (Mbps)	UL スループット 120Mbps との差分	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延 (ms)	DL 伝送遅延 (ms)
29	-108.72	-11.87	6.42	72.52	-47.48	641.39	11.54	10.10
30	-97.80	-10.46	15.38	73.02	-46.98	682.78	12.06	9.82

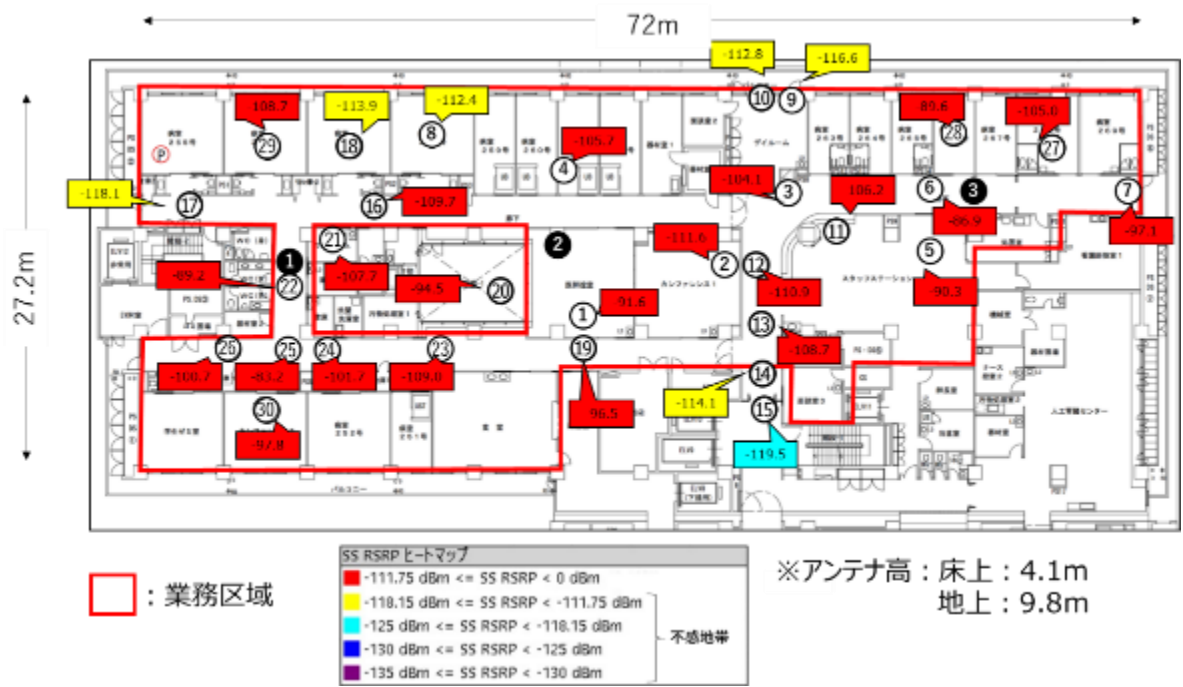


図 3-72 アンテナ全基運用時の SS-RSRP 値マップ

- ④ 受信電力の改善効果を明示化するため、アンテナ単基運用時と全基運用時それぞれのパターンで歩行測定を実施した際の SS-RSRP ヒートマップを以下の「図 3-73」「図 3-74」に示す。



図 3-73 アンテナ単基運用時の SS-RSRP ヒートマップ



図 3-74 アンテナ全基運用時の SS-RSRP ヒートマップ

- ⑤ 不感地帯の改善を評価するため、定点測定の実測値とヒートマップから得られた受信電力値をメッシュ化されたマップに反映させた。なお、ヒートマップの受信電力値はデータの中央値から算出した。

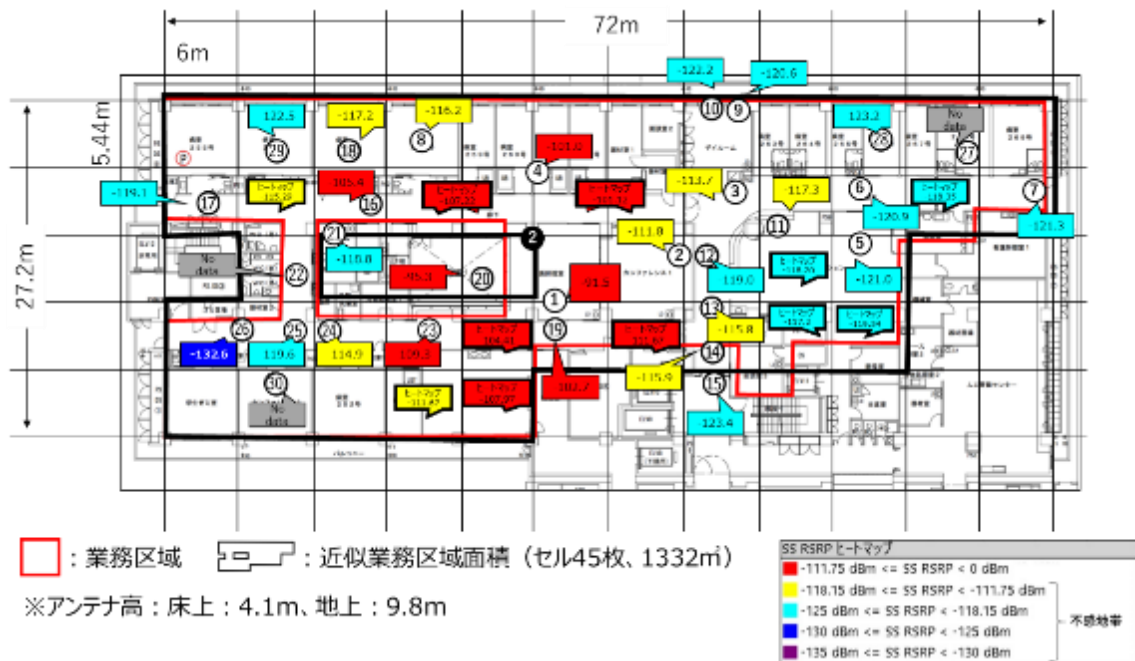


図 3-75 アンテナ単基運用時の受信電力+ヒートマップ実測マップ

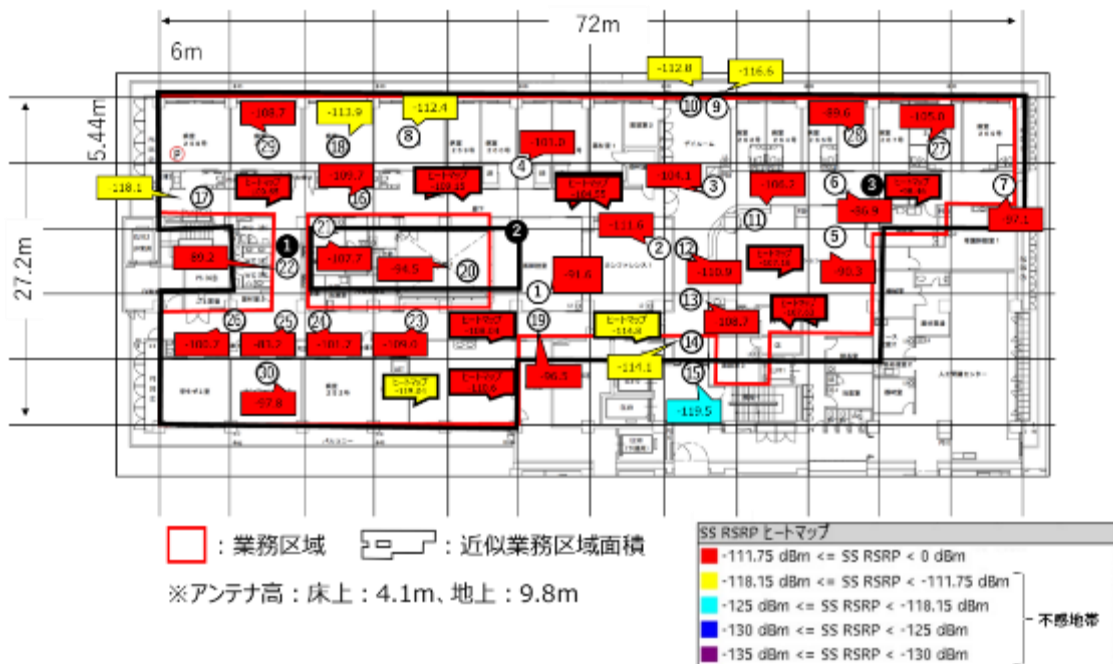


図 3-76 アンテナ全基運用時の受信電力+ヒートマップ実測マップ

- ⑥ ⑤のデータよりアンテナ単基運用時の不感地帯の評価を実施した。セル内のポイントで測

定を実施した定点測定値もしくはヒートマップのデータ（中央値）において、SS-RSRP 値が -111.75dBm 未満を記録した部分を不感セルとして各セルを判別した。なお、紫斜線のセルは測定が困難であった入室禁止エリアを示している。

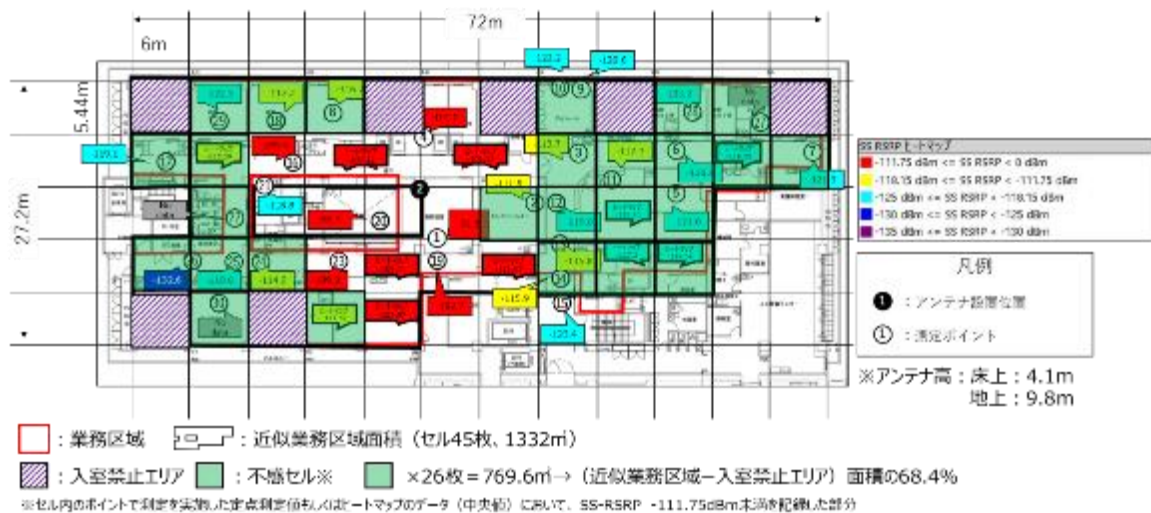


図 3-77 アンテナ単基運用時の不感地帯評価

上記図より、不感地帯評価結果を表 3-34 にまとめた。

表 3-34 アンテナ単基運用時の不感地帯評価結果

項番	項目	数値
1	不感セル	26 枚
2	不感地帯面積	769.6 m ²
3	近似業務区域に対する不感地帯面積割合	57.8%
4	入室禁止エリア	7 枚
5	近似業務区域から入室禁止エリアを引いた枚数	38 枚
6	5 に対する不感地帯面積割合	68.4%

近似業務区域から入室禁止エリアを引いた面積に対する不感地帯面積割合が 68.4%となり、シミュレーションで算出した 40%を上回る結果となった。

- ⑦ ⑤のデータよりアンテナ全基運用時の不感地帯の評価を実施した。⑥同様に、セル内のポイントで測定を実施した定点測定値もしくはヒートマップのデータ（中央値）において、SS-RSRP 値が-111.75dBm 未満を記録した部分を不感セルとして各セルを判別した。なお、紫斜線のセルは測定が困難であった入室禁止エリアを示している。

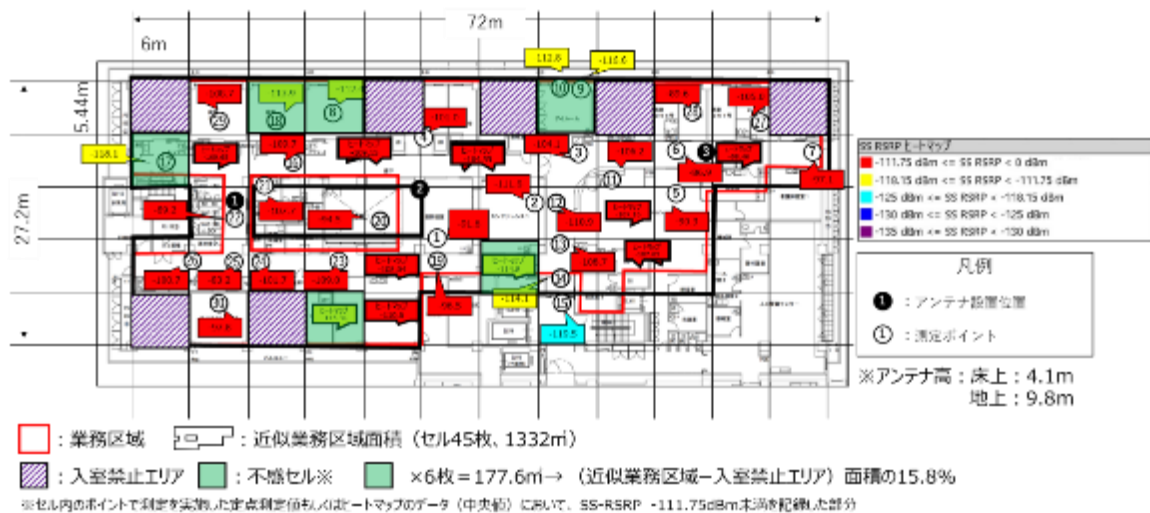


図 3-78 アンテナ全基運用時の不感地帯評価

上記図より、不感地帯評価結果を表 3-35 にまとめた。

表 3-35 アンテナ全基運用時の不感地帯評価結果

No.	項目	数値
1	不感セル	6 枚
2	不感地帯面積	177.6 m ²
3	近似業務区域に対する不感地帯面積割合	13.3%
4	入室禁止エリア	7 枚
5	近似業務区域から入室禁止エリアを引いた枚数	38 枚
6	5 に対する不感地帯面積割合	15.8%

近似業務区域から入室禁止エリアを引いた面積に対する不感地帯面積割合が 15.8%と、シミュレーションで算出した 4.4%を上回る結果となった。

- ⑧ アンテナ単基運用時と全基運用時における取得データの比較グラフを以下に示す。

・受信電力値

アンテナ単基運用時と全基運用時の差分を表 3-36 に示す。なお、フロア全域における DAS 有（全基運用時）における改善の中央値を導出した結果 7.0dB であった。詳細は 2) 考察にて言及する。なお、以下記載の「-（測定不能）」については測定器の受信電力限界値を下回っていたことで捕捉できず、測定が行えなかったものである。

表 3-36 アンテナ単基運用時と全基運用時の受信電力比較

測定 ポイント	アンテナ単基運用時 受信電力値 (dBm)	アンテナ全基運用時 受信電力値 (dBm)	差分 (dB)
1	-91.53	-91.62	-0.1
2	-111.76	-111.65	0.1
3	-113.66	-104.11	9.5
4	-100.98	-105.73	-4.8
5	-120.96	-90.33	30.6
6	-120.89	-86.93	34.0
7	-121.33	-97.09	24.2
8	-116.19	-112.41	3.8
9	-120.58	-116.62	4.0
10	-122.18	-112.84	9.3
11	-117.26	-106.23	11.0
12	-118.95	-110.94	8.0
13	-115.76	-108.72	7.0
14	-115.90	-114.10	1.8
15	-123.37	-119.52	3.9
16	-105.41	-109.73	-4.3
17	-119.08	-118.06	1.0
18	-117.23	-113.92	3.3
19	-102.74	-96.48	6.3
20	-95.28	-94.55	0.7
21	-118.77	-107.67	11.1
22	- (測定不能)	-89.17	- (算出不能)
23	-109.27	-108.98	0.3

測定 ポイント	アンテナ単基運用時 受信電力値 (dBm)	アンテナ全基運用時 受信電力値 (dBm)	差分 (dB)
24	-114.92	-101.68	13.2
25	-119.62	-83.15	36.5
26	-132.64	-100.69	31.9
27	- (測定不能)	-105.04	- (算出不能)
28	-123.15	-89.64	33.5
29	-122.50	-108.72	13.8
30	- (測定不能)	-97.80	- (算出不能)

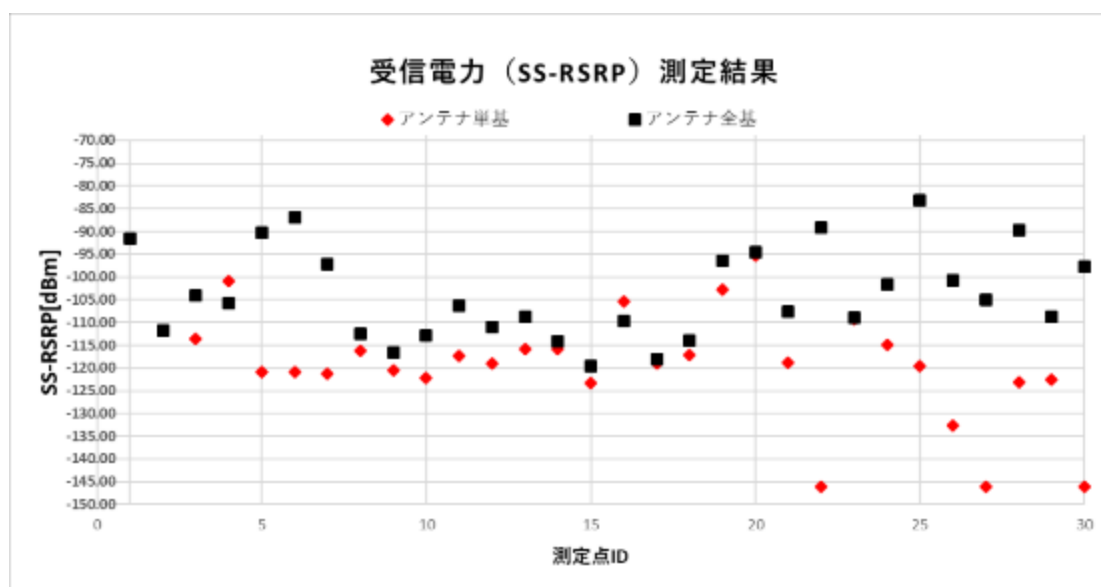


図 3-79 アンテナ単基運用時と全基運用時の受信電力比較

・ SS-RSRQ

アンテナ単基運用時と全基運用時の差分を表 3-37 に示す。アンテナ単基運用時は平均-14.9dBであったのに対して、アンテナ全基運用時は-11.5dBであった。このことからアンテナ全基運用時に改善が見られた。なお、以下記載の「- (測定不能)」については測定器の受信電力限界値を下回っていたことで捕捉できず、測定が行えなかったものである。

表 3-37 アンテナ単基運用時と全基運用時の SS-RSRQ 比較

測定 ポイント	アンテナ単基運用時 RSRQ (dB)	アンテナ全基運用時 RSRQ (dB)	差分 (dB)
1	-10.7	-10.4	-0.3
2	-12.0	-12.3	0.4
3	-12.5	-11.1	-1.4
4	-11.2	-10.5	-0.7
5	-16.6	-10.6	-6.0
6	-16.4	-10.7	-5.7
7	-17.0	-10.8	-6.2
8	-13.4	-11.2	-2.2
9	-16.3	-14.1	-2.1
10	-17.7	-12.6	-5.1
11	-14.2	-10.8	-3.4
12	-15.1	-12.3	-2.8
13	-13.5	-11.9	-1.6
14	-14.2	-14.2	0.1
15	-18.8	-16.0	-2.8
16	-10.3	-11.0	0.7
17	-15.4	-14.0	-1.5
18	-13.9	-10.7	-3.2
19	-13.5	-10.2	-3.3
20	-10.3	-11.3	1.0
21	-15.2	-11.1	-4.1
22	- (測定不能)	-10.6	- (算出不能)
23	-11.3	-11.1	-0.2

測定 ポイント	アンテナ単基運用時 RSRQ (dB)	アンテナ全基運用時 RSRQ (dB)	差分 (dB)
24	-12.7	-10.5	-2.3
25	-15.9	-10.4	-5.5
26	-27.3	-10.7	-16.7
27	- (測定不能)	-10.8	- (算出不能)
28	-18.4	-10.4	-8.0
29	-17.7	-11.9	-5.8
30	- (測定不能)	-10.5	- (算出不能)

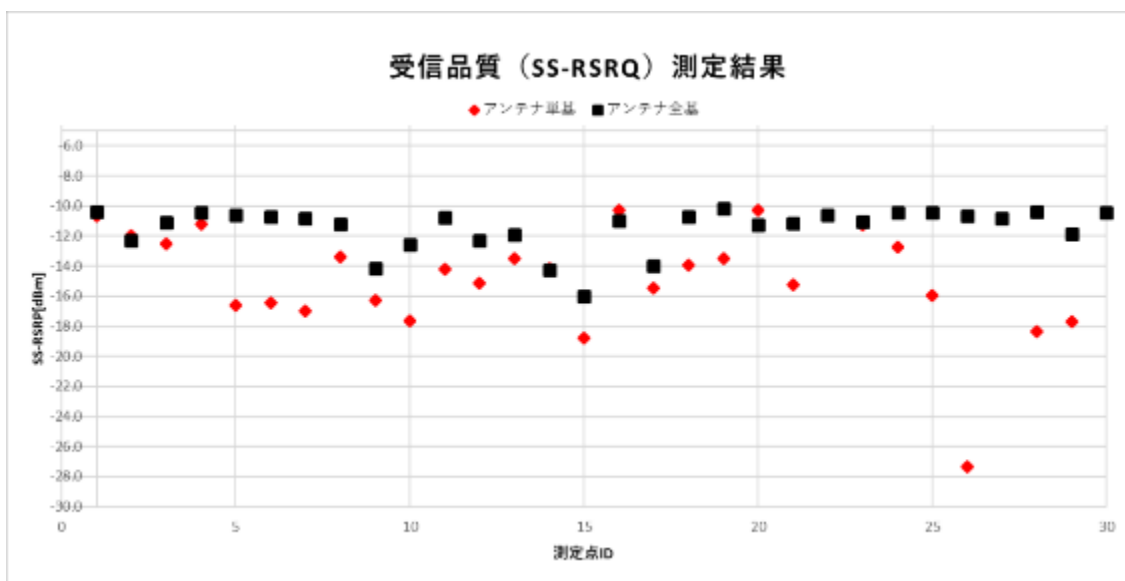


図 3-80 アンテナ単基運用時と全基運用時の SS-RSRQ 比較

・ SINR

アンテナ単基運用時と全基運用時の差分を表 3-38 に示す。アンテナ全基運用時に劣化したポイントは②と⑩であった。詳細は2) 考察にて言及する。なお、以下記載の「- (測定不能)」については測定器の受信電力限界値を下回っていたことで捕捉できず、測定が行えなかったものである。

表 3-38 アンテナ単基運用時と全基運用時の SINR 比較

測定 ポイント	アンテナ単基運用時 SINR (dB)	アンテナ全基運用時 SINR (dB)	差分 (dB)
1	16.44	18.6	2.2
2	5.76	5.3	-0.4
3	4.57	9.3	4.7
4	11.66	14.0	2.3
5	3.64	18.1	14.5
6	3.64	14.2	10.6
7	3.56	13.3	9.7
8	4.33	9.2	4.8
9	3.63	4.1	0.5
10	3.55	4.8	1.2
11	3.93	9.1	5.2
12	3.81	5.3	1.5
13	4.11	5.8	1.7
14	4.12	4.2	0.0
15	3.54	3.6	0.1
16	11.02	10.9	-0.1
17	3.75	3.9	0.2
18	4.08	10.1	6.0
19	4.24	15.7	11.4
20	17.23	17.4	0.2
21	3.79	8.0	4.2
22	- (測定不能)	19.1	- (算出不能)
23	6.54	7.2	0.7

測定 ポイント	アンテナ単基運用時 SINR (dB)	アンテナ全基運用時 SINR (dB)	差分 (dB)
24	4.59	13.5	8.9
25	3.58	16.2	12.6
26	3.77	13.2	9.4
27	- (測定不能)	9.6	- (算出不能)
28	3.56	20.6	17.0
29	3.42	6.4	3.0
30	- (測定不能)	15.4	- (算出不能)

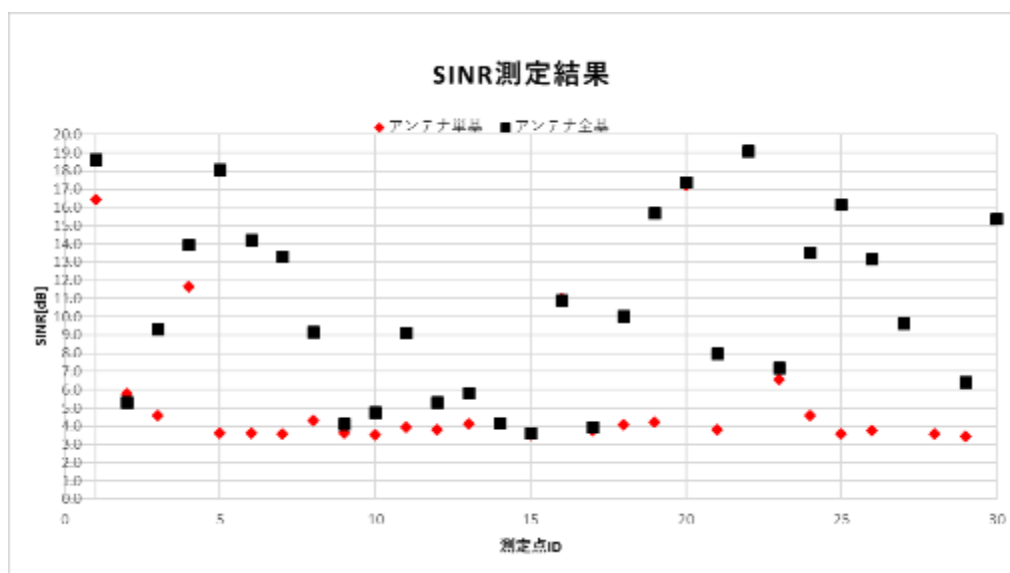


図 3-81 アンテナ単基運用時と全基運用時の SINR 比較

・スループット

アンテナ単基運用時と全基運用時の差分を表 3-39 に示す。詳細は 2) 考察にて言及する。なお、以下記載の「- (測定不能)」については測定器の受信電力限界値を下回っていたことで捕捉できず、測定が行えなかったものである。

表 3-39 アンテナ単基運用時と全基運用時のスループット比較

測定 ポイン ト	UL スループット (Mbps)			DL スループット (Mbps)		
	アンテナ 単基運用時	アンテナ 全基運用時	差分	アンテナ 単基運用時	アンテナ 全基運用時	差分
1	155.1	155.4	0.3	865.1	849.4	-15.7
2	56.5	44.5	-12.0	556.6	575.2	18.6
3	50.6	113.0	62.4	513.8	838.9	325.1
4	101.9	77.2	-24.7	827.0	616.3	-210.6
5	4.6	148.7	144.1	167.2	854.6	687.3
6	15.2	172.0	156.8	348.0	848.4	500.3
7	5.2	111.6	106.4	214.8	854.5	639.8
8	26.1	24.9	-1.3	434.1	372.9	-61.2
9	10.8	25.0	14.1	320.9	396.2	75.3
10	15.2	28.9	13.7	331.9	424.7	92.8
11	12.6	64.7	52.0	280.8	672.4	391.6
12	20.9	48.6	27.7	384.4	523.1	138.7
13	32.4	45.0	12.6	478.6	548.3	69.7
14	33.3	45.1	11.8	523.0	528.3	5.3
15	11.5	18.2	6.7	252.3	305.6	53.3
16	68.3	58.1	-10.2	620.6	579.3	-41.3
17	11.0	39.1	28.1	325.6	450.6	125.0
18	14.2	39.1	24.9	322.8	347.0	24.2
19	121.2	124.0	2.8	859.1	848.3	-10.8
20	120.0	143.4	23.4	863.6	848.3	-15.2
21	9.0	53.6	44.6	273.7	590.4	316.7

測定 ポイン ト	UL スループット (Mbps)			DL スループット (Mbps)		
	アンテナ 単基運用時	アンテナ 全基運用時	差分	アンテナ 単基運用時	アンテナ 全基運用時	差分
22	- (測定不能)	146.9	- (算出不能)	- (測定不能)	844.2	- (算出不能)
23	57.7	69.7	12.0	609.3	670.7	61.4
24	24.9	99.6	74.7	421.5	845.7	424.2
25	10.7	150.2	139.5	326.3	848.3	522.0
26	7.3	106.3	99.0	217.0	848.3	631.4
27	- (測定不能)	83.9	- (算出不能)	- (測定不能)	724.2	- (算出不能)
28	- (測定不能)	148.3	- (算出不能)	- (測定不能)	849.4	- (算出不能)
29	1.4	72.5	71.1	139.1	641.4	502.3
30	- (測定不能)	73.0	- (算出不能)	- (測定不能)	682.8	- (算出不能)

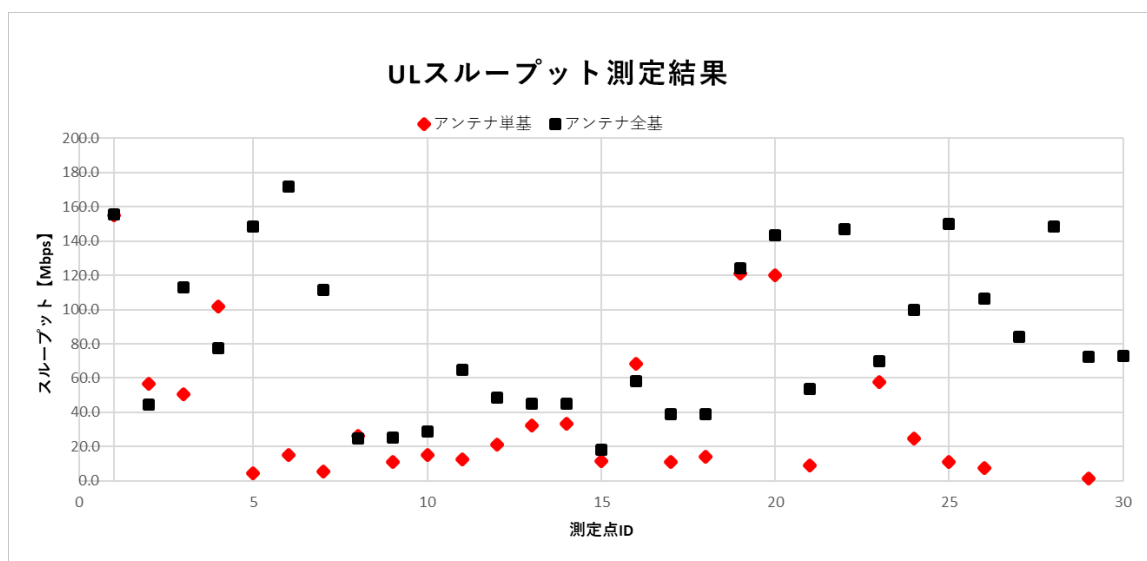


図 3-82 アンテナ単基運用時と全基運用時の UL スループット比較

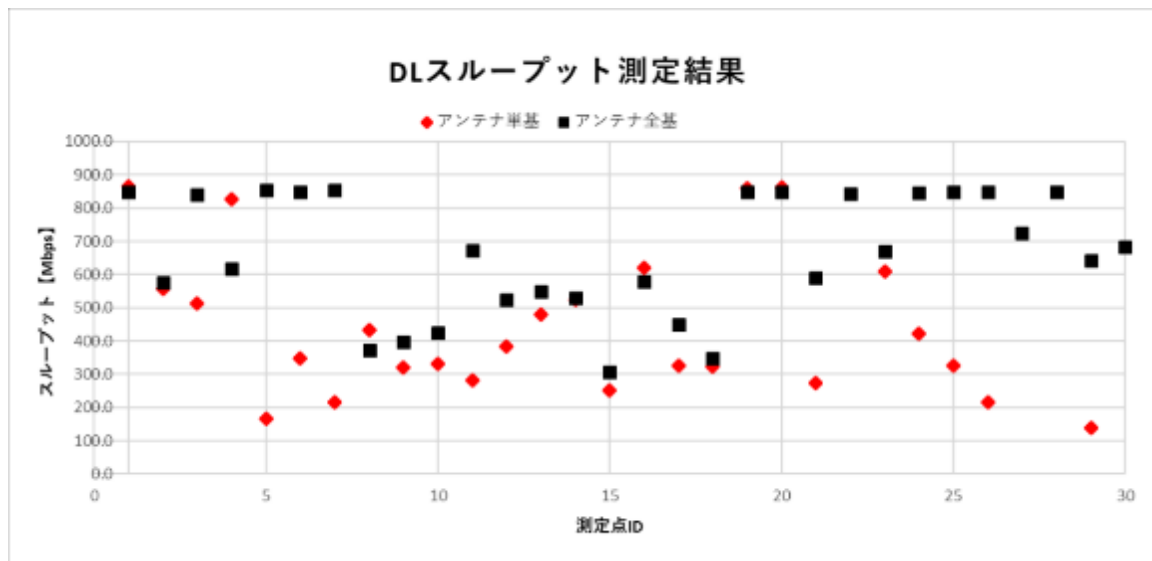


図 3-83 アンテナ単基運用時と全基運用時の UL スループット比較

・ 伝送遅延

アンテナ単基運用時と全基運用時の差分を表 3-40 に示す。アンテナ単基・全基ともに 50ms を超える遅延は見られなかったことから、所要性能として設定した伝送遅延 50ms を全てのポイントで満たした。詳細は 2) 考察にて言及する。なお、以下記載の「- (測定不能)」については測定器の受信電力限界値を下回っていたことで捕捉できず、測定が行えなかったものである。

表 3-40 アンテナ単基運用時と全基運用時の伝送遅延比較

測定 ポイント	UL 伝送遅延(msec)			DL 伝送遅延(msec)		
	アンテナ 単基運用時	アンテナ 全基運用時	差分	アンテナ 単基運用時	アンテナ 全基運用時	差分
1	11.9	11.8	0.2	9.9	9.9	0.0
2	11.5	11.9	-0.4	10.2	10.2	0.0
3	11.1	11.9	-0.8	9.2	9.2	0.0
4	11.6	11.9	-0.3	10.2	10.5	-0.3
5	13.7	12.3	1.4	10.3	12.9	-2.6
6	13.2	11.5	1.7	10.2	10.4	-0.2
7	12.5	11.9	0.6	11.9	11.9	0.0
8	11.5	12.1	-0.6	10.5	11.0	-0.5
9	12.1	12.4	-0.3	11.1	11.1	0.0
10	11.6	12.3	-0.7	10.5	10.7	-0.2
11	13.7	12.0	1.6	11.7	12.1	-0.4
12	11.7	11.9	-0.2	9.8	10.0	-0.2
13	11.1	12.3	-1.2	11.9	10.0	1.9
14	11.0	11.6	-0.7	9.4	9.4	0.0
15	12.0	12.3	-0.3	10.2	10.0	0.2
16	11.4	11.4	0.0	9.3	10.3	-1.0
17	12.8	11.7	1.1	10.5	10.3	0.2
18	12.9	12.7	0.2	11.0	11.0	0.0
19	10.5	12.0	-1.5	9.4	9.6	-0.1
20	11.9	12.3	-0.4	10.1	10.1	0.0
21	13.2	13.5	-0.3	12.3	12.1	0.1

測定 ポイント	UL 伝送遅延(msec)			DL 伝送遅延(msec)		
	アンテナ 単基運用時	アンテナ 全基運用時	差分	アンテナ 単基運用時	アンテナ 全基運用時	差分
22	- (測定不能)	11.2	- (算出不能)	- (測定不能)	10.0	- (算出不能)
23	11.1	11.6	-0.4	9.6	9.6	0.1
24	11.6	11.8	-0.2	8.4	10.4	-2.0
25	12.0	11.8	0.2	10.6	10.6	0.0
26	12.2	11.6	0.6	12.0	10.1	1.9
27	- (測定不能)	12.1	- (算出不能)	- (測定不能)	9.8	- (算出不能)
28	14.7	11.9	2.7	14.1	9.7	4.4
29	13.3	11.5	1.8	7.7	10.1	-2.4
30	- (測定不能)	12.1	- (算出不能)	- (測定不能)	9.8	- (算出不能)

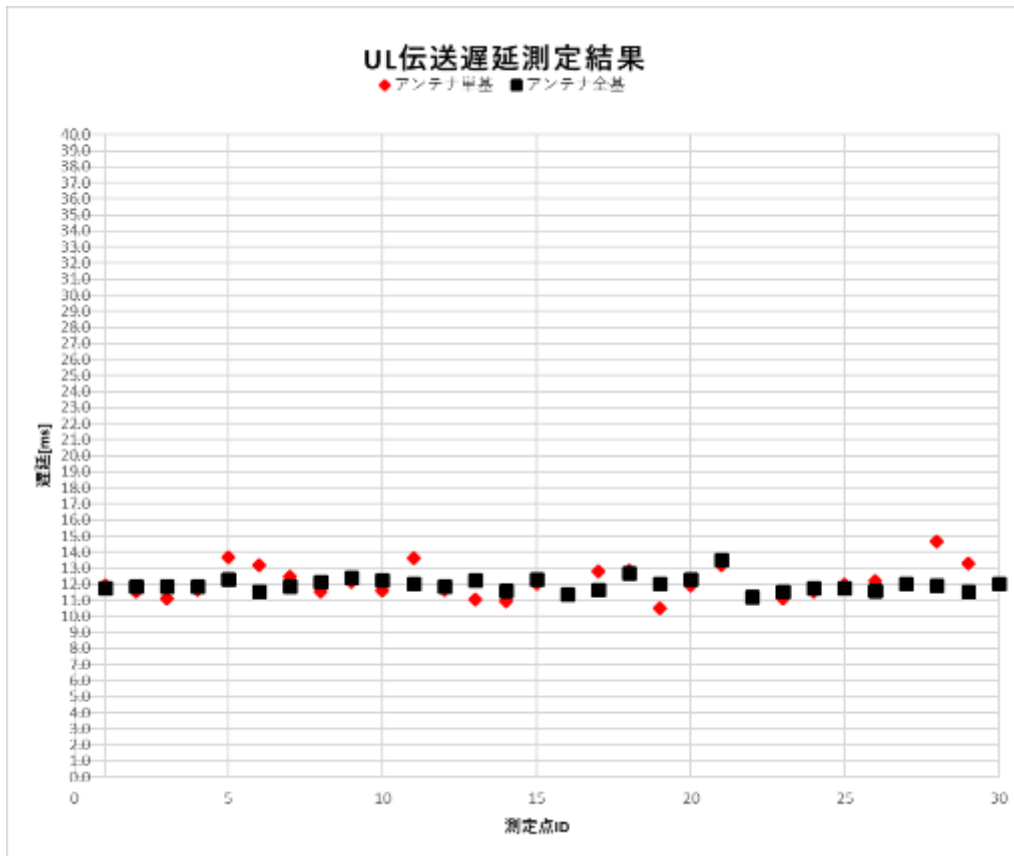


図 3-84 アンテナ単基運用時と全基運用時の UL 伝送遅延比較

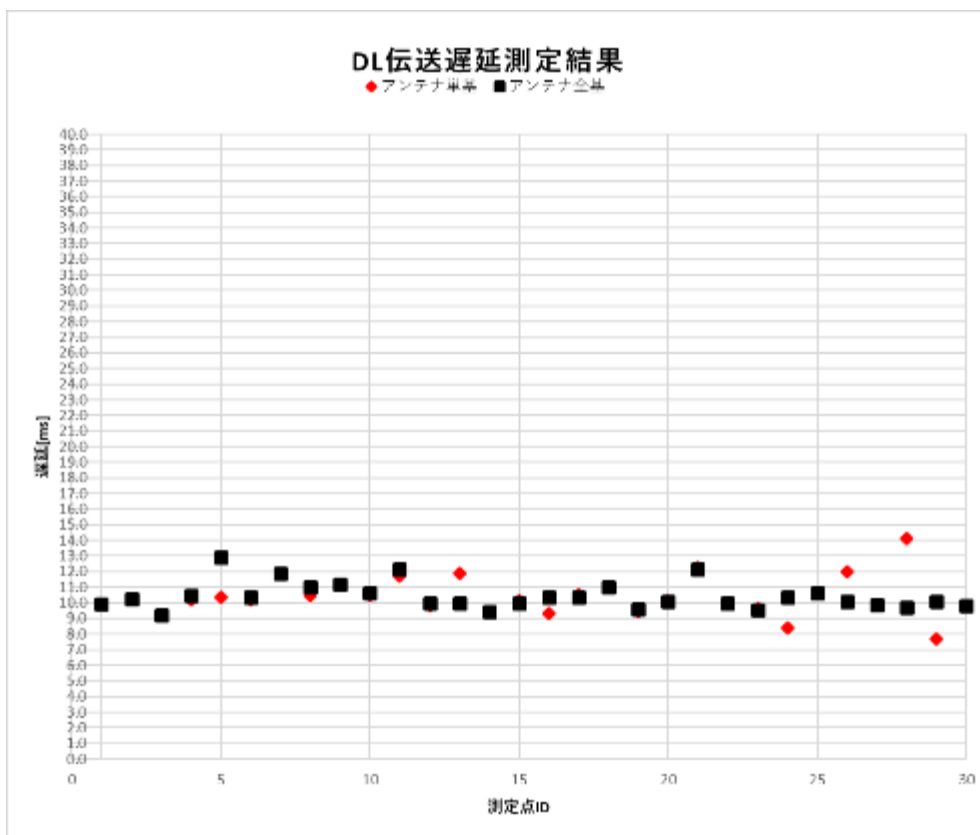


図 3-85 アンテナ単基運用時と全基運用時の DL 伝送遅延比較

2) 考察

a. DAS 導入によるカバーエリアの変化及び他者土地への電波漏洩について考察

表 3-31 に示す通り、測定した受信電力値とエリア算出値の比較をアンテナ全基運用時と各アンテナの単基運用時でそれぞれ実施した。その結果を図 3-86 に、比較対象となる測定ポイントの位置を図 3-87 に示す。

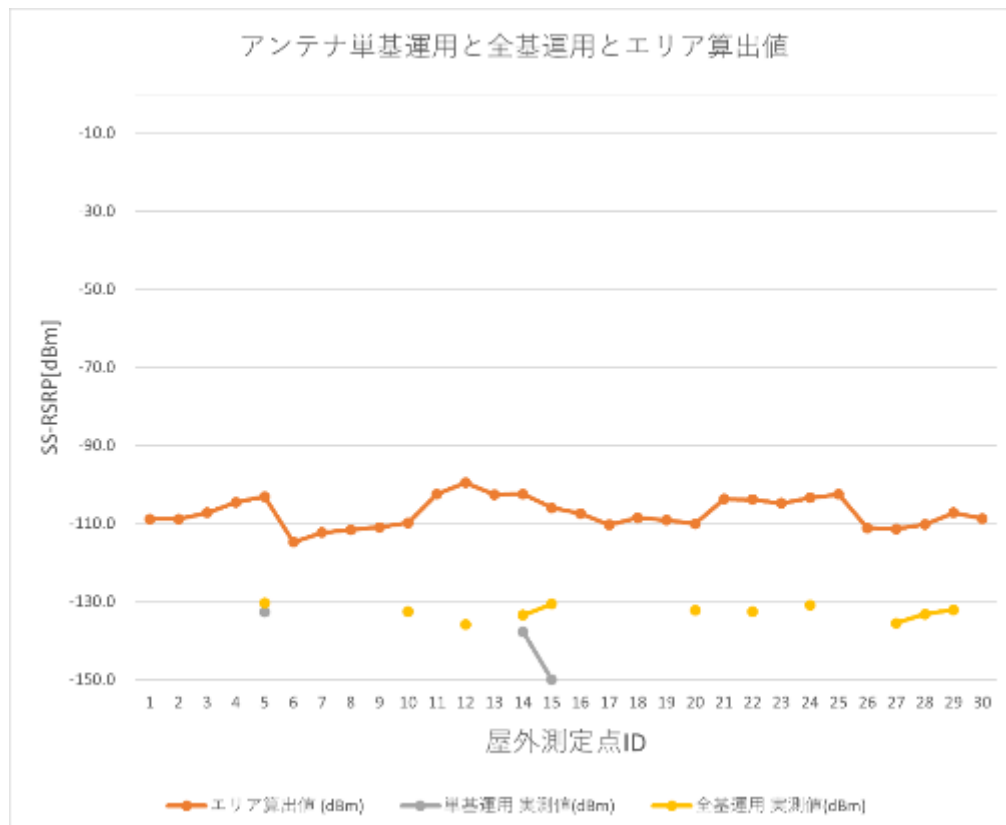


図 3-86 エリア算出値と実測値（アンテナ単基・全基）の比較

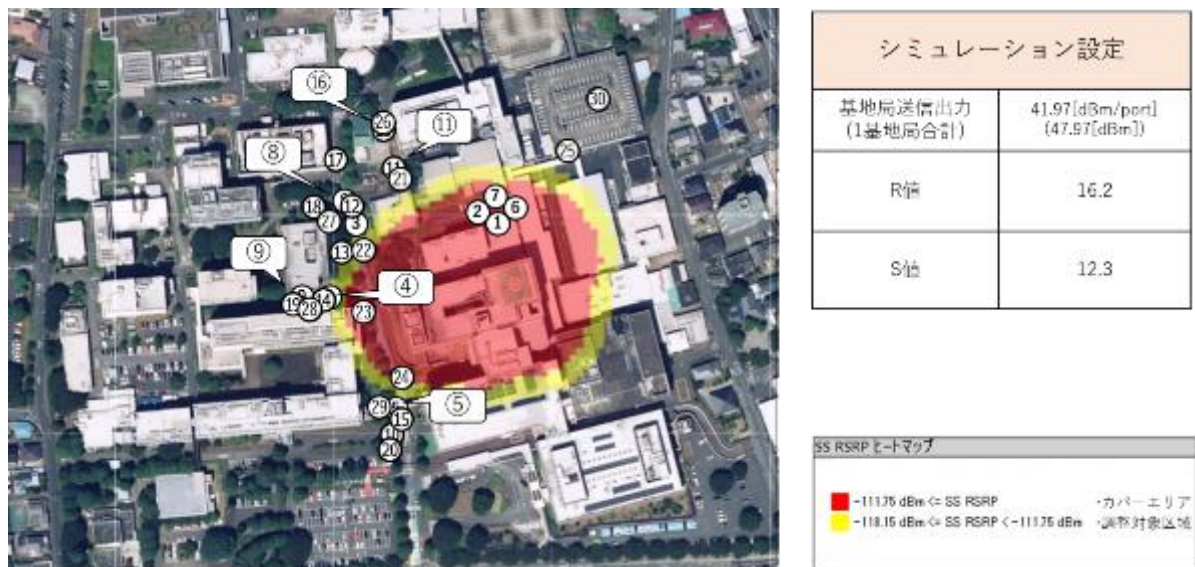


図 3-87 屋外測定点ポイント一覧

図 3-86 に示す通り、各アンテナ単基運用時と比較してアンテナ全基運用で受信電力値が上昇したポイントのうち、⑤と⑭はアンテナ単基運用時でも受信電力が確認できたポイントである。この2点において受信電力値の上昇が見られた要因は、アンテナ②からの漏洩電波だけでなくアンテナ①からの漏洩電波も受信するようになったためと考えられる。また、⑤・⑩・⑮・⑳・㉔・㉙はアンテナ①の位置に最も近い窓に対して見通しがとれた場所であった。アンテナ全基運用時にアンテナ①で発波されたことで漏洩電波が確認できるようになったと考えられる。さらに⑫・㉒・㉗でも受信電力値の上昇が見られた。これは、アンテナ①とアンテナ②の漏洩電波が合成されたことで受信できるようになったことが原因と考えられる。③や⑬では漏洩電波が確認できなかったにもかかわらず、⑫と㉗にて漏洩電波が確認された理由については、③の横にある建物にて漏洩電波が反射し、その反射波を受信したためと考えられる。



図 3-88 本実証環境の外観（再掲）

3.3.1 章の実証において、各アンテナの単基運用時の受信電力実測値との総和と、全基運用時の実測値が近似していることを確認した。このことからカバーエリアも同様に、アンテナが増えることで各アンテナのカバーエリアが合成される結果が得られるものと考えられる。したがって DAS 導入によるカバーエリア影響については、アンテナの設置台数や設置場所に起因すると考えられる。

また上記結果の通り、DAS 導入による変化が確認された測定ポイントは計 12 ポイントであったが、すべての測定ポイントにおいてエリア算出値を下回る値となった。これは遮蔽物が多い環境であることから、屋内のあらゆる遮蔽物やバルコニーの外壁によって屋外への漏洩電波が減衰されているといえる。3.3.1 章でバルコニーの外壁による漏洩電波減衰について示したが、アンテナ全基運用時の場合に漏洩電波がどのように変化するか確認する必要があるとして、図 3-89 の㊸から㊼ポイントにおいて追加で受信電力値の測定を実施した。

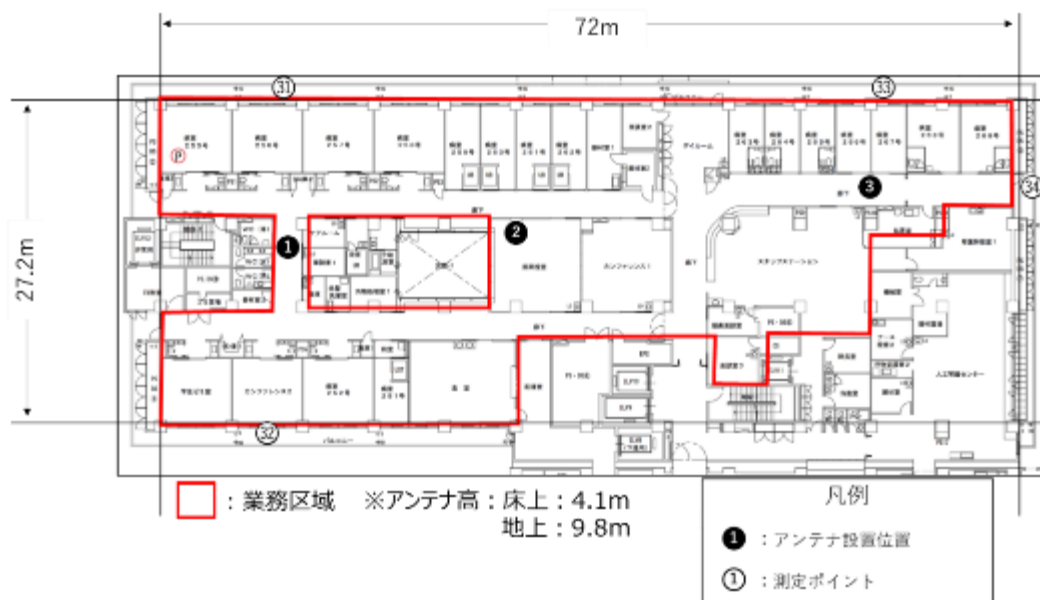


図 3-89 北病棟 2F バルコニー測定点

表 3-41 に示した結果より、アンテナ③から見通しの良い場所にある測定ポイント㊼はカバーエリア内であることが分かった。また、㊸と㊹も調整対象区域端の-118.15dBmを上回る値である。上記考察で示した通り、全基運用時におけるカバーエリアは各アンテナのカバーエリアが合成されると考えられるため、アンテナ①とアンテナ③から電波が出力されることでカバーエリアが広がっており、屋外への電波漏洩が増加している結果が得られている。なお、以下記載の「-（測定不能）」については測定器の受信電力限界値を下回っていたことで捕捉できず、測定が行えなかったものである。

表 3-41 バルコニー測定点における SS-RSRP 測定結果

測定 ポイント	アンテナ②単基運用時 SS-RSRP (dBm)	アンテナ全基運用時 SS-RSRP (dBm)	差分 (dB)
31	- (測定不能)	-121.22	- (算出不能)
32	- (測定不能)	-108.75	- (算出不能)
33	- (測定不能)	-108.06	- (算出不能)
34	- (測定不能)	-105.08	- (算出不能)

しかし、表 3-31 の結果に示す通り、屋外測定点における受信電力値は最大でも-132.6dBm となっており、これは調整対象区域端となる-118.15dBmを下回る値である。3.3.1 章の表 3-9 で示した屋外で測定可能なポイントにおいても最大受信電力値は-126.5dBm で同様であった。したがって 3.3.1 章で示した通り、本実証環境にて屋外へ漏洩する電波については、外壁やバルコニーによる遮蔽・反射の影響が強く表れているもの（図 3-90）と考察される。

これらの結果から、DAS 導入によってカバーエリアが拡張されることによる漏洩電波が発生する可能性はあるものの、本実証環境のように外壁・バルコニーのような遮蔽物が存在する場合は、屋外への漏洩が大きく減衰され、微弱な出力となることが想定される。表 3-31 に示す程度の電力値であれば、他者土地と隣接した場合にも深刻な電波干渉が発生するほどの影響はないと考えられる。

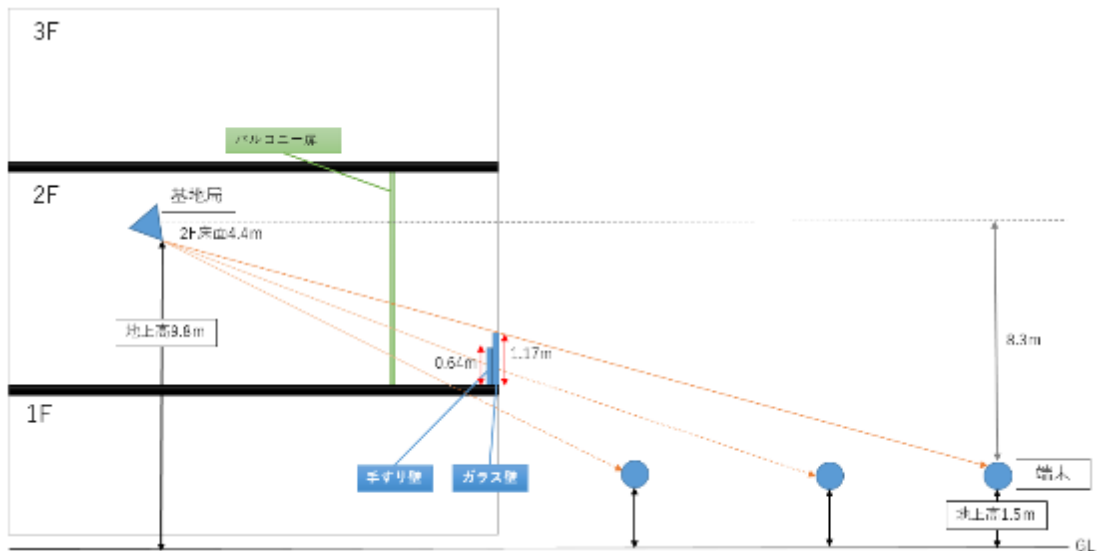


図 3-90 バルコニー断面図（再掲）

また、上記結果よりアンテナから横方向への電波漏洩については考察されたものの、縦方向への電波漏洩については確認が不十分である。そこで、北病棟 1 階と 3 階にて追加測定を実施した。測定ポイントを図 3-91・図 3-92 に、アンテナ単基運用時と全基運用時の測定結果を表 3-42 に示す。なお、以下記載の「-（測定不能）」については測定器の受信電力限界値を下回っていたことで捕捉できず、測定が行えなかったものである。

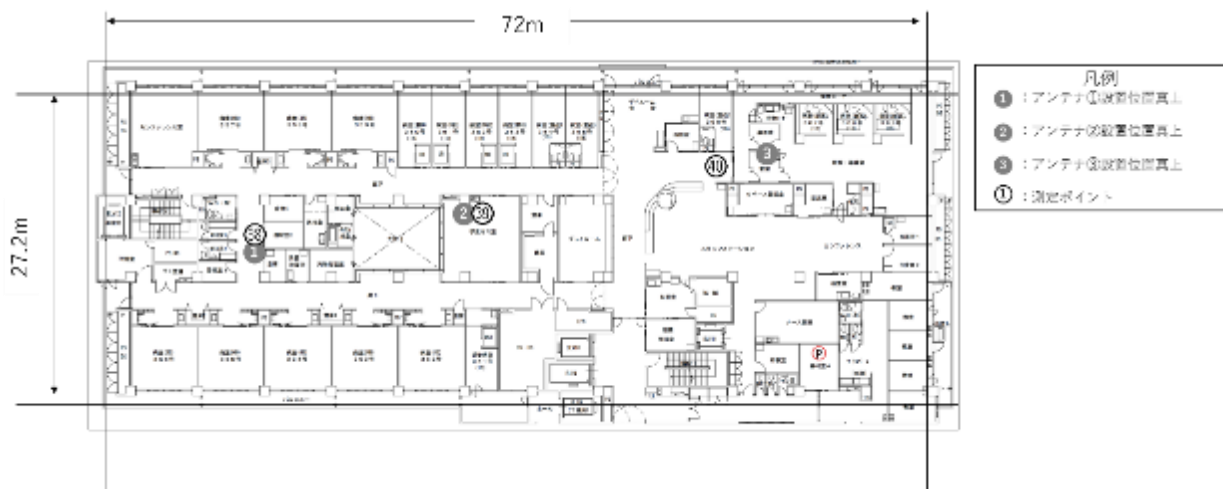
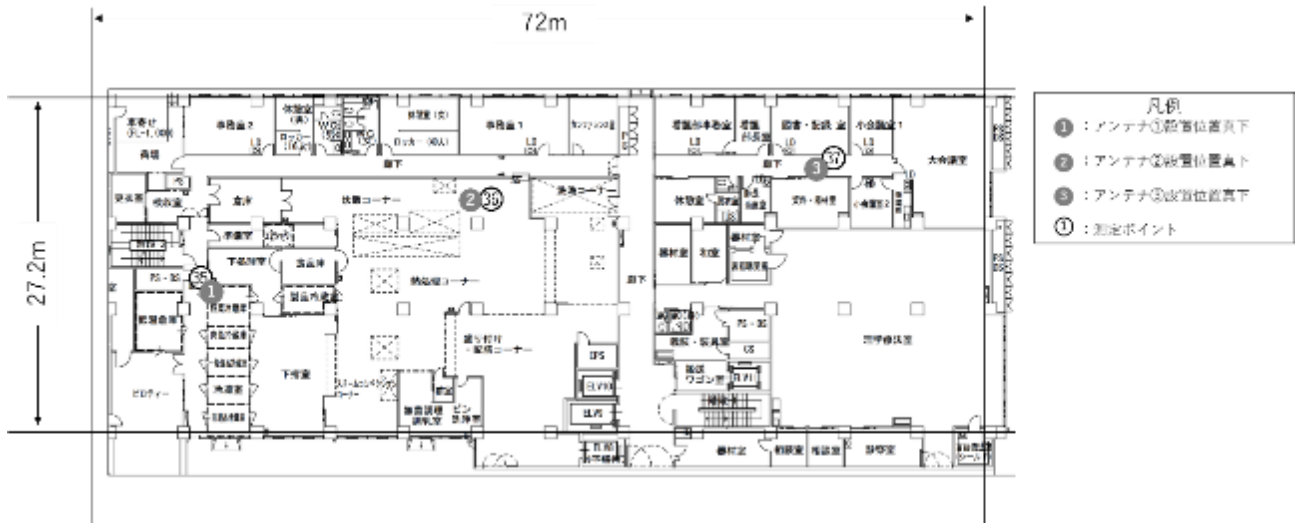


表 3-42 北病棟 1 階と 3 階の SS-RSRP 測定結果

測定 ポイント	アンテナ②単基運用時 SS-RSRP (dBm)	アンテナ全基運用時 SS-RSRP (dBm)	差分 (dB)
35	- (測定不能)	-135.38	- (算出不能)
36	- (測定不能)	- (測定不能)	- (算出不能)
37	- (測定不能)	-119.73	- (算出不能)
38	-120.85	- (測定不能)	- (算出不能)
39	-104.41	-117.84	-13.43
40	- (測定不能)	-135.38	- (算出不能)

それぞれの測定点は北病棟 2 階に設置しているアンテナ①・②・③の真下と真上に位置する。1 階の測定ポイントは㉔と㉖において全基運用時で受信電力の増加がみられた。しかし、同じ 1 階の測定ポイント間で比較すると、受信電力実測値の差が大きい。これは、㉖付近の天井が㉔と比べて低い構造となっており、㉖の方がデッキプレートによる遮蔽影響が少なかったためと考えられる。一方 3 階の測定ポイントは㉔と㉖では、アンテナ全基運用時に電力の低下が見られた。3 階は 2 階と同様にフロア中央付近に吹き抜けが存在しており、3 階の吹き抜けにはガラス窓が面しているため、2 階から透過してきたアンテナ②の電波を主に受信していると考えられる。全基運用時ではアンテナ②の送信電力が、分配損失の影響により単基運用時よりも低下するため、全基運用時に受信電力実測値が低下した結果となったと考えられる。これらの結果から上下階における受信電力は、床や天井の材質や屋内構造によって異なるものと考えられる。

以上より、DAS 導入によるカバーエリアの変化は、アンテナの設置台数や設置場所に影響されるものの、各アンテナにおけるカバーエリアの総和に近づく結果となると考えられる。そのため、アンテナ台数が増加すれば必然的にカバーエリアも拡張されることが想定される。また、バルコニーや上下階における測定結果からも DAS を導入したことで電波漏洩が増加することがわかる。これはカバーエリアが拡張されたことによって増加したと考えられる。つまり、DAS 導入によるアンテナの増設によって、業務区域外においてもカバーエリアが拡張される。しかし、DAS は分配損失や同軸ケーブルの給電線損失等によって EIRP を低下させることで送信出力が下がるため、必然的に漏洩電波も下げられる。また、3.3.1 章で示した通り、屋内における遮蔽物透過損による漏洩電波の減衰も考えられる。したがって、アンテナの設置位置だけでなく、分配損失・給電線損失や遮蔽物透過損を踏まえた設計を行うことで十分に他者土地への漏洩を抑制できるといえる。

b. 所要性能と実測値の比較による考察

本実証の所要性能は「(1)実証の目的・目標」に記載した通り、「SS-RSRP: -111.75dBm、UL スループット: 120Mbps、伝送遅延: 50ms」である。まず受信電力について考察を行う。以下の図 3-93・図 3-94 の通り、全基運用時に受信電力 (SS-RSRP) について所要性能を満たしたポイントは全 30 ポイント中 24 ポイントであった。ただし、所要性能を満たすことができなかった 7 ポイントのうち、⑧・⑩・⑭・⑮は所要性能との差分が 3dB 以内であることを考慮すると、所要性能を大きく満たすことができなかったポイントは⑨・⑮・⑰の 3 ポイントのみであった。

これら 3 ポイントが所要性能を大きく満たすことができなかった理由について考察する。まず、⑨についてはアンテナ③からの NLOS 環境であることと、アンテナとの間に位置するテレフォンルームによる遮蔽影響が原因と考えられる。近辺にある⑩の SS-RSRP 実測値とは 3.78dB の差が生じているが、これは表 3-18 に示す通りテレフォンルームの開閉式扉にて-2.82dB の減衰が生じていることから、テレフォンルーム自体の透過損が更に大きく、⑩と比較しても受信電力値が低下する環境であったと考えられる。⑮については、アンテナ②・③から離れた位置であることから、周辺の部屋やナースステーション等における遮蔽影響によって、両アンテナからの出力電波が十分に到達することができなかったことが原因と考えられる。また、⑬・⑭・⑮の位置するナースステーション前のエリアは、図 3-57 に示すレイトレースシミュレーションの結果においても、周辺より受信電力値が低いことが予測されており、実測値についてもシミュレーション結果に同様の結果が得られたと考えられる。⑰については、アンテナ①からの NLOS 環境であること、および⑰の位置する廊下の幅が狭いことから電波が十分に回折されなかったことが原因だと考えられる。

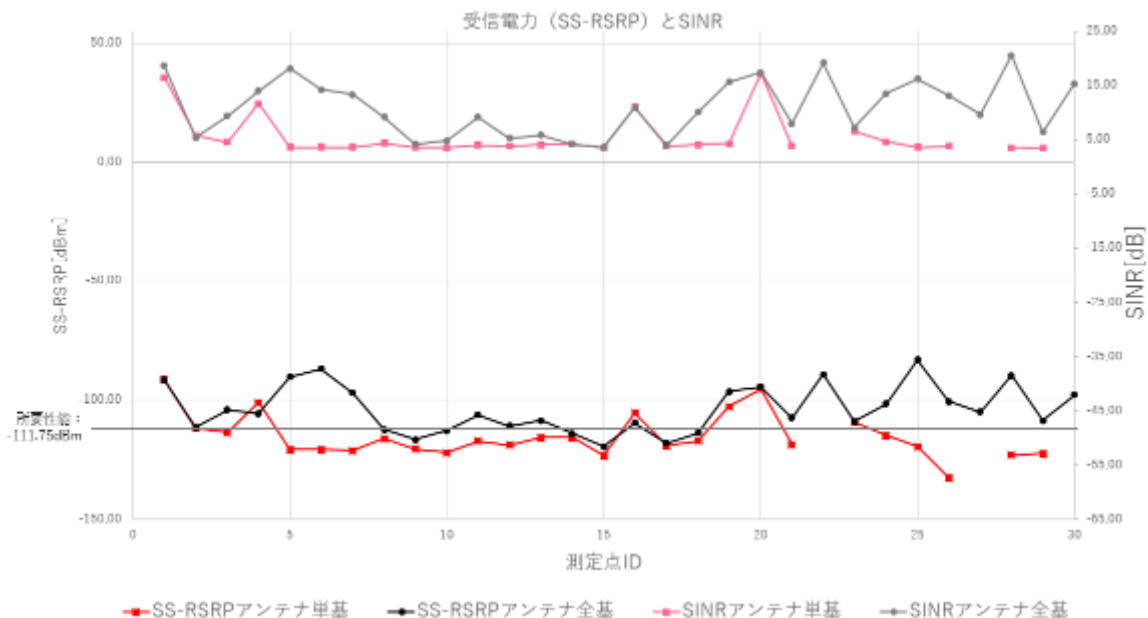


図 3-93 受信電力 (SS-RSRP) と SINR のアンテナ単基・全基運用時の比較図

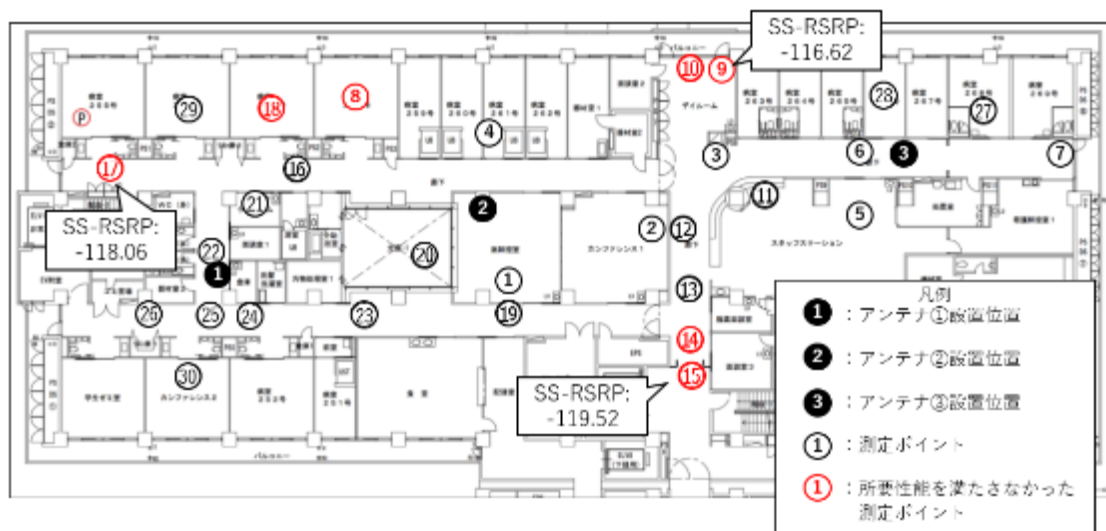


図 3-94 所要性能（SS-RSRP：-111.75dBm）を満たさなかった測定ポイント

また SS-RSRP と SINR をアンテナ単基と全基で比較した。SS-RSRP については、測定点 30 ポイントのうち 27 ポイント (90%) でアンテナ単基運用からアンテナ全基運用で改善がみられた。図 3-95 に示した通り、改善が見られなかった 3 ポイントは①、④、⑬であった。①は-0.1dB のため、誤差であると考えられる。④と⑬についてはアンテナ②の直接波の影響が大きいと考えられ、アンテナを分散させることで発生する分配損失 (4.8dB) の影響でアンテナ全基運用時に送信出力が低下したことが要因と考察される。

SINR については、全 30 ポイント中 28 ポイント (93%) で改善が見られた。図 3-96 に示した通り、改善が見られなかった 2 ポイントは②と⑬であった。⑬は SS-RSRP で数値が下がったことを確認しているため、電力低下により SINR も低下していると考えられる。一方で②に関しては、SS-RSRP 値は-111.76dBm から-111.65dBm と改善しているのに対して、SINR は 0.4dB 低下している。これは、アンテナ②の直接波とアンテナ③の反射波による電波干渉がわずかに発生していると考えられる。3.3.1 章で実施したマルチパス検証において、図 3-32 に示す通り測定点②のあるカンファレンス室の奥側の廊下でマルチパスが発生しており、これはアンテナ③からの電波が防火扉に反射していたことが分かった。ゆえに、その反射波が②付近まで入り込み干渉していると考察される。ただし SINR 値の差分は-0.4dB と微量であるため、重大な電波干渉は発生していないと考えられる。

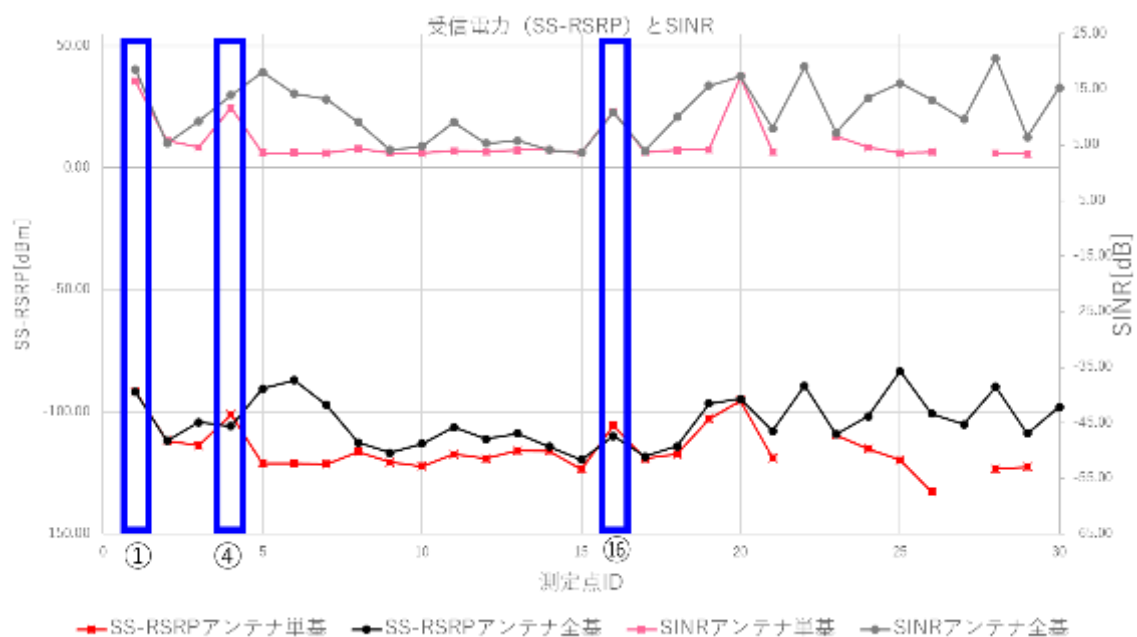


図 3-95 SS-RSRP と SINR の比較—SS-RSRP においてアンテナ単基から全基で値が下がった点

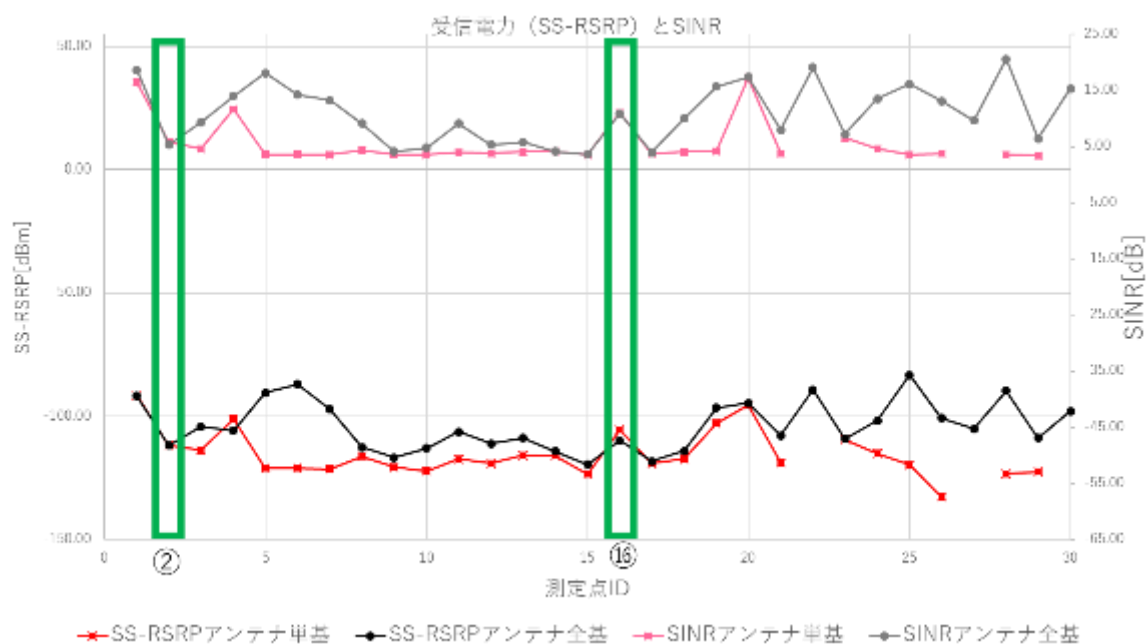


図 3-96 SS-RSRP と SINR の比較—SINR においてアンテナ単基から全基で値が下がった点

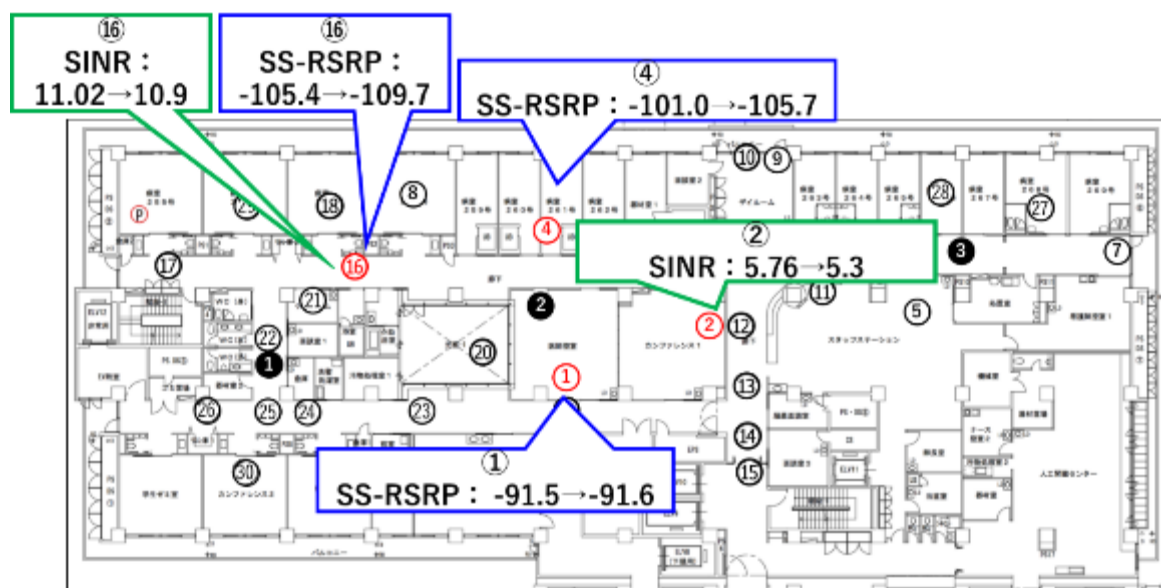


図 3-97 アンテナ単基から全基で値が下がった測定ポイント (SS-RSRP・SINR)

続いて UL スループットについても考察を行う。図 3-98 に示す通り、アンテナ単基から全基で全 30 ポイント中 26 ポイント (86.7%) において改善が見られた。特にアンテナ①と③付近の測定ポイントでは改善が著しいことが分かる。アンテナ全基で実測値が下がった 4 ポイントを図 3-99 に示し、表 3-43 と図 3-100 に 4 ポイントの SS-RSRP と SINR と UL スループットの実測値をまとめた。まず測定ポイント①6は全ての項目でアンテナ全基運用時に実測値が減少していることから、SS-RSRP の考察で示した通り分配損失による送信電力の低下が原因と考えられる。測定ポイント②は SS-RSRP で改善したものの、SINR と UL スループットで実測値が減少した。これは、SINR の考察で示した通り、アンテナ③からの反射波とアンテナ②の直接波において干渉が発生しているためと考えられる。測定ポイント④に関しては SS-RSRP とスループットが減少していた一方で、SINR 値は改善している。これは SS-RSRP の受信電力が減少したことにより起因していると考えられる。⑧に関しては SS-RSRP と SINR が改善している一方で UL スループットが減少した結果となった。しかし UL-スループットの差が 2Mbps であることから、誤差であると考えられる。

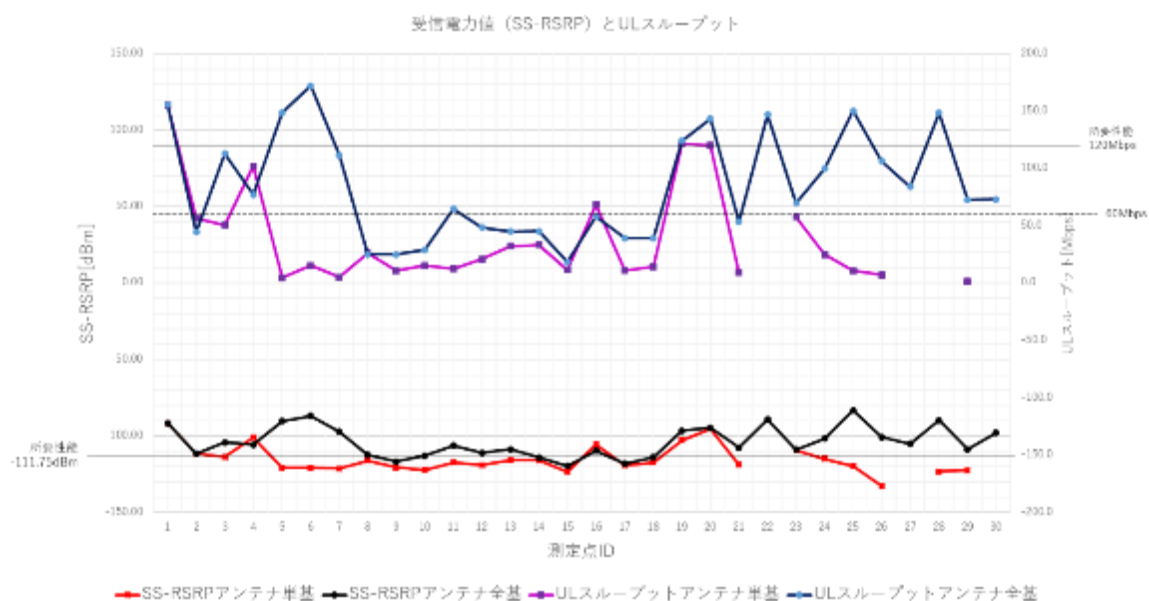


図 3-98 受信電力値 (SS-RSRP) と UL スループットのアンテナ単基・全基運用時比較

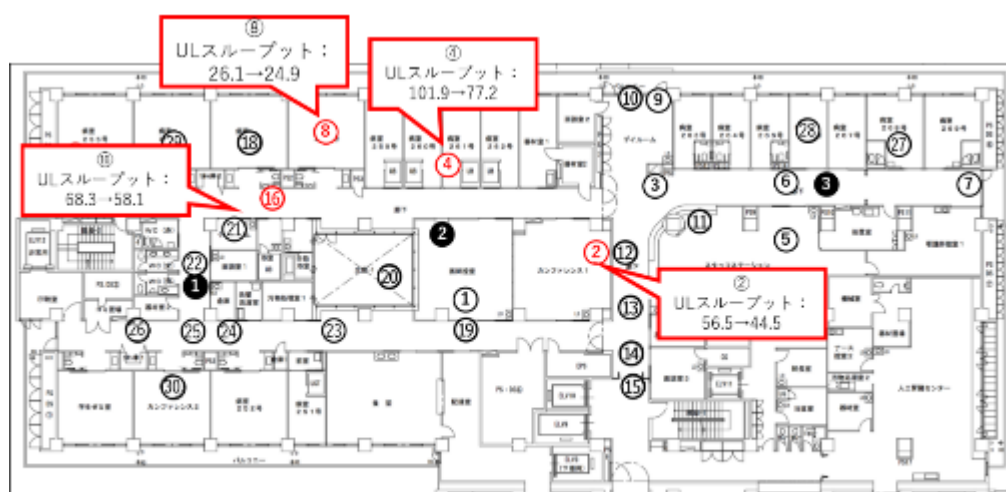


図 3-99 アンテナ単基から全基で値が下がった測定ポイント (UL スループット)

表 3-43 測定ポイント②、④、⑧、⑯における SS-RSRP と SINR と UL スループット比較

測定 ポイント	アンテナ単基			アンテナ全基		
	SS-RSRP (dBm)	UL スルー プット (Mbps)	SINR (dB)	SS-RSRP (dBm)	UL スルー プット (Mbps)	SINR (dB)
2	-111.76	56.5	5.76	-111.65	44.5	5.3
4	-100.98	101.9	11.66	-105.73	77.2	14.0
8	-116.19	26.1	4.33	-112.41	24.9	9.2
16	-105.41	68.3	11.02	-109.73	58.1	10.9

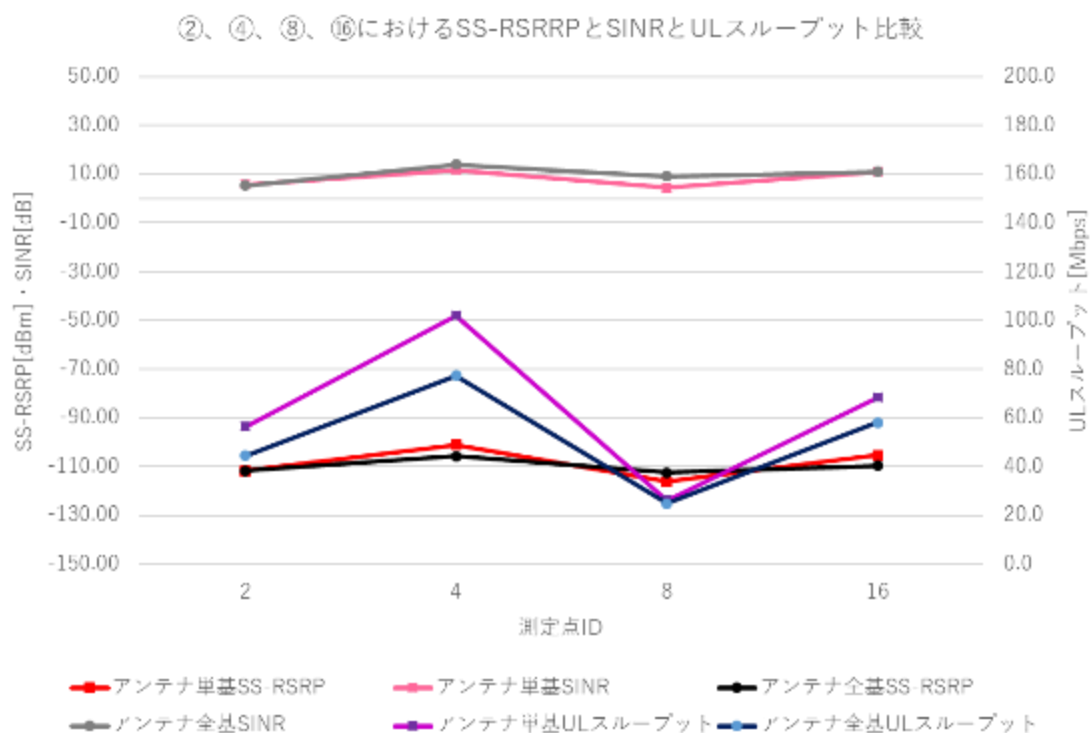


図 3-100 測定ポイント②、④、⑧、⑩における SS-RSRP と SINR と UL スループット比較

また所要性能 UL スループット：120Mbps については、全 30 の測定ポイントのうちアンテナ単基では 3 ポイント（10%）、アンテナ全基では 8 ポイント（26.7%）で満たす結果であった。この所要性能を満たすポイントは全てアンテナに近い場所である。UL スループットは、UE からアンテナまでの距離が近い方がより強く電波を受信できる傾向にあるためであると考えられる。

一方で、所要性能を満たしたポイントがアンテナ全基時においても 26.7%と低い結果となった。今回所要性能を 120Mbps とした数値的根拠は、課題実証側で使用する自立型走行ロボットの所要性能にある。このロボット 1 台の所要性能が UL スループット 60Mbps のため、ロボット 2 台を走行させると想定して、60Mbps×2 台で 120Mbps と設定した。しかし 1 人の看護師 1 台のロボットが追従する形となるため、2 台の自立型走行ロボットが同じ場所を走行することは想定されにくい。そこで、1 台の走行に十分な UL スループットを 60Mbps として実測値を確認すると、アンテナ単基では 5 ポイント（16.7%）、アンテナ全基では 18 ポイント（60%）で満たす結果となった。残りの 12 ポイントに関しては、測定点⑧や⑩といった遮蔽物によって電波が減衰しやすい環境であった。したがって、自立型走行ロボット 1 台を走行させるための所要性能としては 60%のポイントで達成することができたが、今後カバーエリア設計をする際は遮蔽物影響を加味する必要があると考えられる。

併せて、UL/DL スループットにおける理論値との比較を行う。ただし、本実証で使用したローカル 5 G システムは Dynamic MCS を採用しているため、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。そのため、システム諸元（帯域幅 100MHz・サブキャリア 30kHz）から想定される MCS 値、理論値を算出した結果を表 3-44 に示す。

表 3-44 スループット理論値算出結果

【計算パラメータ】

Band	Sub-6	Sub-6
Direction	Downlink	Uplink
MIMO	4	2
f	1	1
N-RB	273	273
T-Symbol	0.0000357	0.0000357
R-OH	0.14	0.08
R-UL/DL	0.743	0.228

256QAM ONの場合

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
				Sub-6	Sub-6
				4.9GHz	4.9GHz
0	2	120	0.2344	55.0	4.5
1	2	193	0.377	88.4	7.3
2	2	308	0.6016	141.1	11.6
3	2	449	0.877	205.7	16.9
4	2	602	1.1758	275.8	22.6
5	4	378	1.4766	346.3	28.4
6	4	434	1.6953	397.6	32.6
7	4	490	1.9141	448.9	36.8
8	4	553	2.1602	506.7	41.6
9	4	616	2.4063	564.4	46.3
10	4	658	2.5703	602.8	49.5
11	6	466	2.7305	640.4	52.6
12	6	517	3.0293	710.5	58.3
13	6	567	3.3223	779.2	63.9
14	6	616	3.6094	846.6	69.5
15	6	666	3.9023	915.3	75.1
16	6	719	4.2129	988.1	81.1
17	6	772	4.5234	1060.9	87.1
18	6	822	4.8164	1129.7	92.7
19	6	873	5.1152	1199.7	98.5
20	8	682.5	5.332	1250.6	102.6
21	8	711	5.5547	1302.8	106.9
22	8	754	5.8906	1381.6	113.4
23	8	797	6.2266	1460.4	119.9
24	8	841	6.5703	1541.0	126.5
25	8	885	6.9141	1621.6	133.1
26	8	916.5	7.1602	1679.4	137.8
27	8	948	7.4063	1737.1	142.6

表 3-33 に示した UL/DL スループット実測値、および表 3-44 の理論値算出結果より本実証環境における UL/DL スループット理論値を推定する。

DAS 導入前の UL スループット平均値は 38.4Mbps であったため、表 3-44 より MCS 値は 8～13 程度、理論値は 41.6～63.9Mbps 程度であったと推測される。DL スループット平均値は 441Mbps であったため、表 3-44 より MCS 値は 7～12 程度、理論値は 449～710Mbps 程度であったと推測される。

DAS 導入後の UL スループット平均値は 84.0Mbps であったため、表 3-44 より MCS 値は 14～19 程度、理論値は 69.5～98.5Mbps 程度であったと推測される。DL スループット平均値は 661Mbps であったため、表 3-44 より MCS 値は 12～17 程度、理論値は 710～1060Mbps 程度であったと推測される。

最後に伝送遅延についても考察する。50ms を所要性能と設定したが、全測定ポイントで満たす結果となった。アンテナ単基運用時の平均遅延時間は 12.1ms、アンテナ全基運用時の平均遅延時間は 12.0ms であり、アンテナ単基・全基で大きな違いがみられなかった。したがって、DAS 導入においては伝送遅延の劣化に影響を与えないと考えられる。

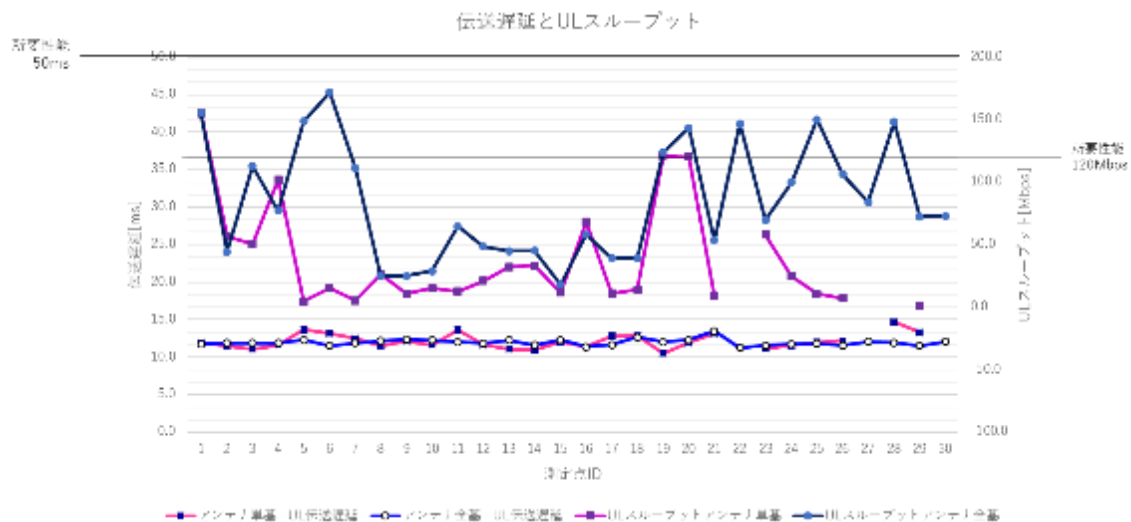


図 3-101 UL 伝送遅延と UL スループットのアンテナ単基・全基運用時比較

所要性能「SS-RSRP：-111.75dBm、UL スループット、120Mbps、伝送遅延：50ms」について、本実証における全ポイントでの達成に向けた改善策として、以下の方策が考えられる。

- 基地局からの送信出力を増加させる（SS-RSRP 改善）
- DAS アンテナを増設する
- アンテナと基地局の間にアンプを導入する（SS-RSRP 改善）
- Active DAS を採用する（SS-RSRP 改善）
- 制度化済み TDD 準同期方式（以下、準同期方式）を採用する（UL スループット改善）

DAS を採用時には分配損失が発生するため、発波される電波は基地局からアンテナまでの間に減衰された状態となる。そこで電力減衰を考慮して基地局の送信出力を増加させれば、アンテナに到達する電力も増強される。また、DAS アンテナ増設や減衰した電力をアンプで増強させることも対策として挙げられる。さらに、本実証で採用した Passive DAS はアンテナごとの送信出力設定ができない構成であるが、アンテナに無線機が搭載されている Active DAS を採用することで、アンテナごとに送信出力が設定可能となり、より柔軟なエリア設計が可能となる。

また、UL スループットの改善については、UL スループットを増大させることが期待できる準同期方式の採用が有効と考えられる。

c. 不感地帯改善について考察

本実証の目標である不感地帯改善について、アンテナ単基運用時と全基運用時の比較だけでなく、シミュレーション結果の予測値との比較を行いながら考察する。

まず、アンテナ単基運用時と全基運用時の比較を図 3-102 に示す。図 3-102 に示す通り、DAS 導入により不感地帯面積が 68.4%から 15.8%に改善されている。また、上記の測定結果から SS-RSRP は 7.0dBm、SINR は 3.0dB、UL スループットは 24.9Mbps ほど改善されていることが分かる。これらの結果は、DAS 導入によって本実証環境における不感地帯が改善されていることを示しており、カバーエリア設計において DAS が有用であるといえる。

一方で、レイトレースシミュレーション結果とは異なり、DAS 導入後においても全ての不感地帯を改善することはできなかった。これはレイトレースシミュレーションを用いた予測よりも、屋内構造物による遮蔽減衰の影響が大きかったことが要因と考えられる。不感地帯面積を 0%に近づけるためには、レイトレースシミュレーションの精度を高め、カバーエリアを可能な限り正確に把握することが有効であると考えられる。

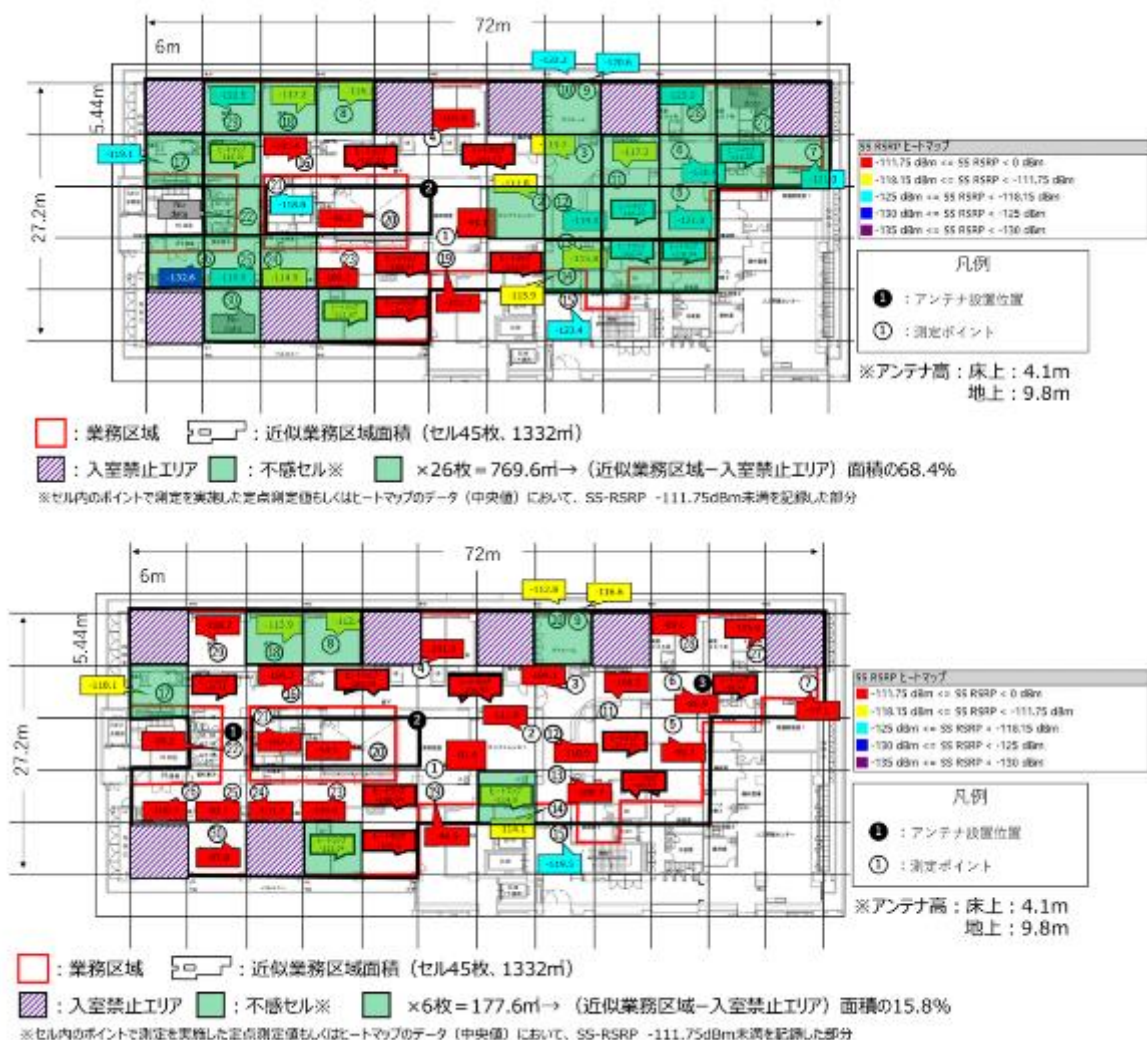


図 3-102 アンテナ単基運用時と全基運用時の不感地帯面積（不感セル）比較

また、アンテナ単基運用時と全基運用時におけるカバーエリア・調整対象区域の比較を図

3-104 に示す。図 3-104 に示す通り、DAS 導入によって本実証環境におけるカバーエリア端は大きく広がり、方角によっては業務区域の外まで拡大されている結果となった。しかし、表 3-31 の結果から分かる通り、屋外における測定ではカバーエリア端・調整対象区域端と見なすことができるポイントは確認ができなかった。このことから、DAS 導入によって拡大されたカバーエリア・調整対象区域においても、領域端は屋外環境までは到達していないものと考えられる。

なお、アンテナ単基運用時のアンテナ②を起点とし、カバーエリアセル端までの距離を表 3-45 に示した。方角と距離については以下の図 3-103 のように設定した。

表 3-45 アンテナ②からカバーエリアセル端までの距離

カバーエリアセル	アンテナ単基運用	アンテナ全基運用
北方向（縦方向）	10.88m（2 セル）	10.88m（2 セル）
南方向（縦方向）	16.32m（3 セル）	16.32m（3 セル）
東方向（横方向）	12m（2 セル）	42m（7 セル）
西方向（横方向）	18m（3 セル）	30m（5 セル）
北東方向（斜め方向）	8.10m（1 セル）	37.61m（6 セル）
南東方向（斜め方向）	16.20m（2 セル）	31.91m（5 セル）
南西方向（斜め方向）	16.20m（2 セル）	26.35m（4 セル）
北西方向（斜め方向）	8.10m（1 セル）	29.02m（5 セル）

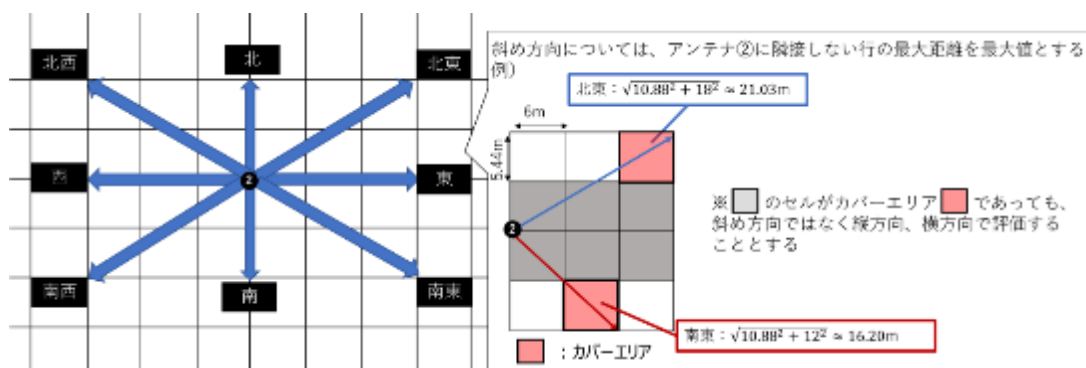


図 3-103 アンテナ②起点の方角と距離の設定と具体例

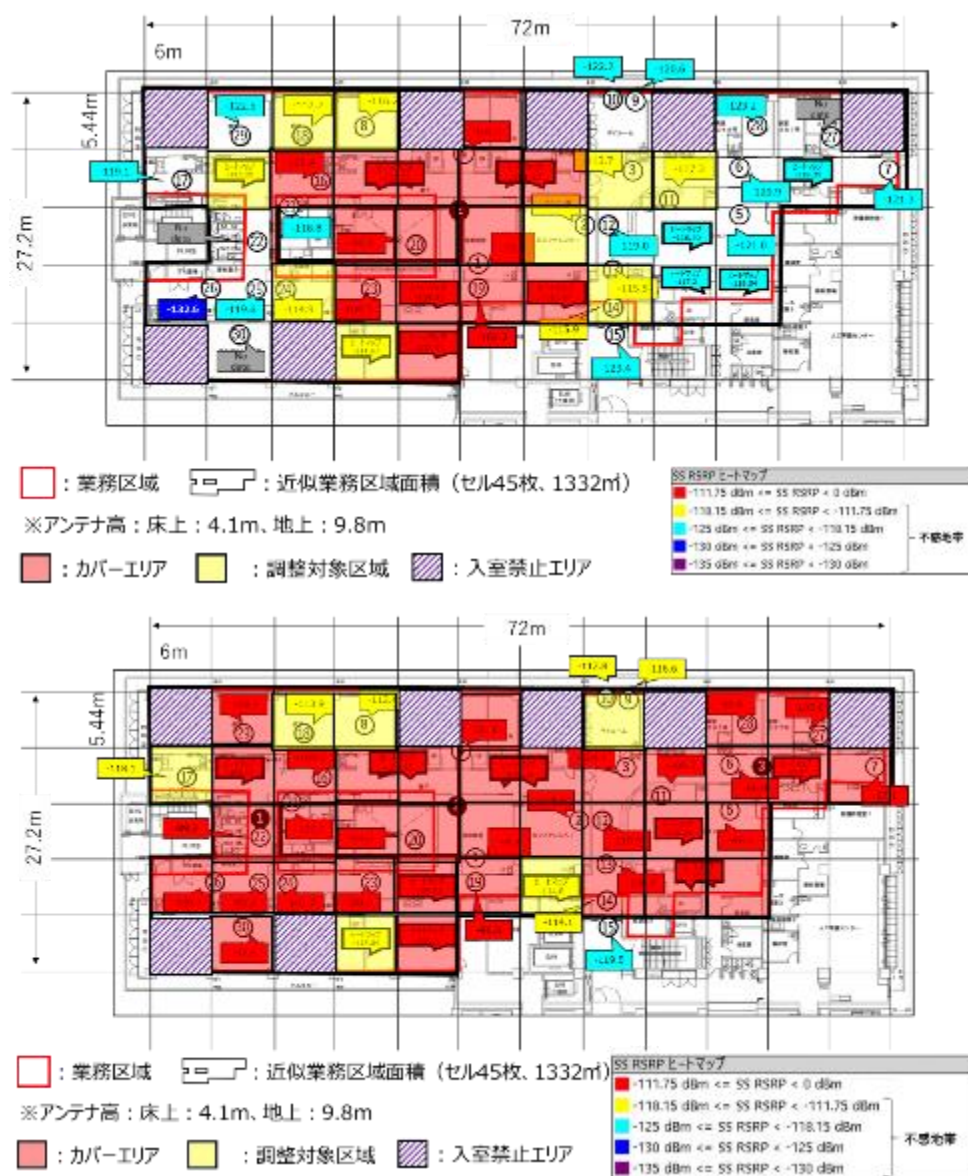


図 3-104 アンテナ単基運用時と全基運用時のカバーエリア・調整対象区域の比較

続いて、アンテナ全基運用時におけるレイトレースシミュレーションの予測値と実測値の比較を行う。レイトレースシミュレーション時には不感地帯面積が全体の 4.4%まで軽減されると予測していた。しかし入室禁止エリアがあったため、該当箇所を除外したエリア（近似業務区域 - 入室禁止エリア）に対する不感地帯面積予測は 5.3%となる。実測の不感地帯面積は全体の 15.8%という結果となった。これらの比較結果を図 3-105 に示す。

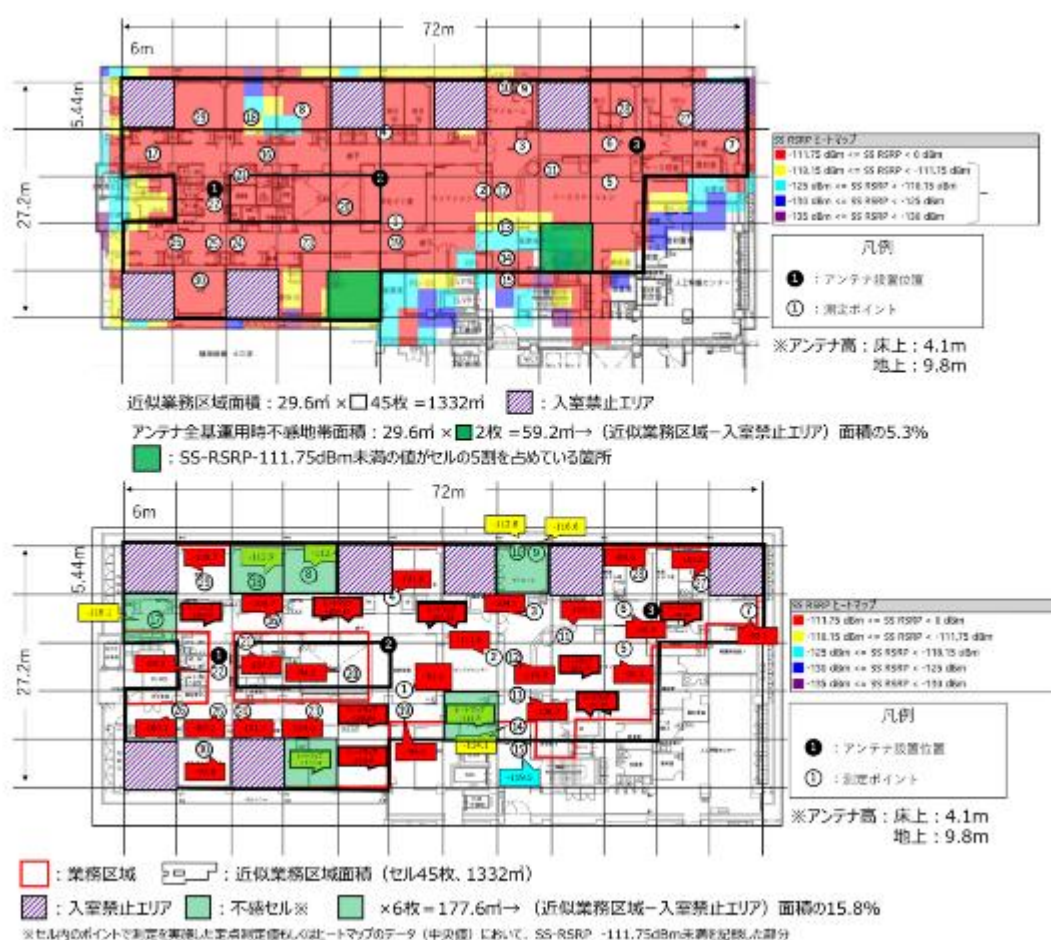


図 3-105 アンテナ全基運用時の不感地帯予測と実測値における不感地帯面積比較

この要因について考察するべく、SS-RSRP 値について、レイトレースシミュレーション値と実測値の比較を、アンテナ全基運用時における屋内測定点 30 ポイントで実施した。屋内測定点計 30 ポイントにおけるレイトレースシミュレーション結果 (図 3-57) と、アンテナ全基運用時における実測値 (表 3-33) を比較した結果を表 3-46 に示す。なお、表 3-16・表 3-17 と同様に、シミュレーション値と実測値の差分が 6[dB] 以内であれば適合、それ以外であれば不適合とした。

表 3-46 屋内測定点における実測値とレイトレースシミュレーション値の比較

測定 ポイント	SS-RSRP 実測値 (dBm)	レイトレース シミュレー ション値 (dBm)	差分 (dB)	適合
1	-91.62	-96.48	4.86	適合
2	-111.65	-111.57	-0.08	適合
3	-104.11	-86.32	-17.79	不適合
4	-105.73	-90.87	-14.86	不適合
5	-90.33	-104.59	14.26	不適合
6	-86.93	-87.48	0.55	適合
7	-97.09	-103.67	6.58	不適合
8	-112.41	-94.72	-17.69	不適合
9	-116.62	-106.3	-10.32	不適合
10	-112.84	-107.4	-5.44	適合
11	-106.23	-101.51	-4.72	適合
12	-110.94	-111.1	0.16	適合
13	-108.72	-117.77	9.05	不適合
14	-114.1	-97.99	-16.11	不適合
15	-119.52	-105.86	-13.66	不適合
16	-109.73	-96.29	-13.44	不適合
17	-118.06	-100.78	-17.28	不適合
18	-113.92	-124.33	10.41	不適合
19	-96.48	-98.78	2.3	適合
20	-94.55	-80.7	-13.85	不適合
21	-107.67	-95.78	-11.89	不適合

測定 ポイント	SS-RSRP 実測値 (dBm)	レイトレース シミュレー ション値 (dBm)	差分 (dB)	適合
22	-89.17	-92.33	3.16	適合
23	-108.98	-90.65	-18.33	不適合
24	-101.68	-107.68	6.00	適合
25	-83.15	-84.57	1.42	適合
26	-100.69	-95.86	-4.83	適合
27	-105.04	-100.57	-4.47	適合
28	-89.64	-93.04	3.4	適合
29	-108.72	-84.16	-24.56	不適合
30	-97.8	-94.98	-2.82	適合

表 3-46 に示す通り、レイトレースシミュレーション値が適合したポイントは、全 30 ポイント中 14 ポイントであり、全体の適合率は 46.7% となった。また、シミュレーション値と実測値の平均差分 9.14dB であった。表 3-16 の結果と比較すると、比較的高い適合率が得られているものの、期待していた水準には満たしていない結果となっている。特にシミュレーション値と実測値の乖離が大きいポイントは、アンテナと測定点の間に遮蔽物が多い環境であった。レイトレースシミュレーションを実施する際は、建物構造や壁面、壁・ドアの特性（材質、厚さ）などの環境特性を環境パラメータとして設定する必要があり、本実証では Traditional 勧告 ITU-R P. 2109 を参考にして環境パラメータを設定してレイトレースシミュレーションを実施していた。上記のように実測値と乖離していた理由としては、上記の参照環境パラメータ値と本実証環境における実際の遮蔽物透過損との差分が主な乖離要因であると考察される。

レイトレースシミュレーションの精度を精緻なものとするために、3.3.1 章と同様の条件で 3D モデルにおけるシミュレーション上の損失パラメータを調整し、再度レイトレースシミュレーションを実施した。再レイトレースシミュレーションの結果を、図 3-106 に示す。

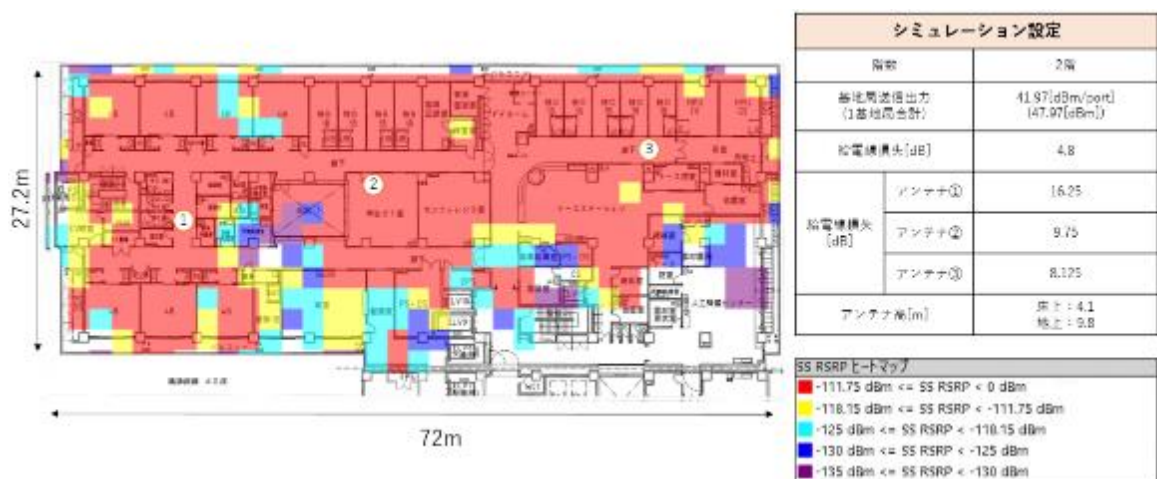


図 3-106 再レイトレースシミュレーションの実施結果（全基運用時）

再レイトレースシミュレーションの結果（図 3-106）と、アンテナ全基運用時における実測値（表 3-33）を比較した結果を表 3-47 に示す。

表 3-47 屋内測定点における実測値と再レイトレースシミュレーション値の比較

測定 ポイント	SS-RSRP 実測値 (dBm)	レイトレース シミュレー ション値 (dBm)	差分 (dB)	適合
1	-91.62	-92.09	0.47	適合
2	-111.65	-111.55	-0.1	適合
3	-104.11	-87.15	-16.96	不適合
4	-105.73	-99.82	-5.91	適合
5	-90.33	-111.93	21.6	不適合
6	-86.93	-91.35	4.42	適合
7	-97.09	-102.39	5.3	適合
8	-112.41	-94.67	-17.74	不適合
9	-116.62	-107.05	-9.57	不適合
10	-112.84	-108.09	-4.75	適合

測定 ポイント	SS-RSRP 実測値 (dBm)	レイトレース シミュレー ション値 (dBm)	差分 (dB)	適合
11	-106.23	-102.36	-3.87	適合
12	-110.94	-111.08	0.14	適合
13	-108.72	-117.15	8.43	不適合
14	-114.1	-97.99	-16.11	不適合
15	-119.52	-105.86	-13.66	不適合
16	-109.73	-103.76	-5.97	適合
17	-118.06	-100.78	-17.28	不適合
18	-113.92	-124.11	10.19	不適合
19	-96.48	-93.29	-3.19	適合
20	-94.55	-98.51	3.96	適合
21	-107.67	-101.86	-5.81	適合
22	-89.17	-93.08	3.91	適合
23	-108.98	-125.74	16.76	不適合
24	-101.68	-106.99	5.31	適合
25	-83.15	-84.84	1.69	適合
26	-100.69	-96.24	-4.45	適合
27	-105.04	-102.96	-2.08	適合
28	-89.64	-94.33	4.69	適合
29	-108.72	-83.74	-24.98	不適合
30	-97.8	-93.95	-3.85	適合

表 3-47 に示した通り、レイトレースシミュレーション値が適合したポイントは、全 30 ポイント中 19 ポイントとなり、全体の適合率は 63.33%まで改善された結果となった。また、シミュレーション値と実測値の平均差分は 8.10dB であった。上記の結果より、屋内環境においても遮蔽物となる建物構造・損失値を精緻に設定することで、レイトレースシミュレーションの精度が大幅に向上されることが分かった。このように、本実証環境のような病棟環境でレイトレースシミュレーションを実施する際には、屋内のモデリングについても建物構造・損失パラメータを精緻に設定することが重要であると考えられる。

最後に、本実証から得た知見よりレイトレースシミュレーションの有用性について述べる。現行のエリア算出法では、屋内における遮蔽物透過損を反映するパラメータが設定されていない。しかし実環境では屋内に存在する多様な遮蔽物により伝搬電波が減衰し、エリア算出法ではカバーエリアとされるエリアにおいても不感地帯が発生する可能性がある。そのため、エリア算出法のみでは、エリアをくまなくカバーする目的のエリア設計を精緻に行うことは困難である。一方で、レイトレースシミュレーションは 3D モデルを作成して電波伝搬モデルの予測を実施するため、エリア算出法よりも精緻に不感地帯の発生予測を行うことができる。

本実証におけるシミュレーション結果においてもシミュレーション適合率 63.33%という結果が得られており、このことからレイトレースシミュレーションは不感地帯発生予測に有用であるといえる。また、遮蔽物影響が大きい場所においては、実測値と乖離が生まれやすいことが予測されるため、レイトレースシミュレーション時には環境情報を精緻に設定することが重要である。

上記を踏まえ、本実証では実現できなかった不感地帯面積の完全な解消に向けては以下の改善策が有効であると考察した。

- DAS アンテナの増設
- 基地局からの送信出力を増加させる
- アンテナと基地局の間にアンプを導入する
- Active DAS を採用する

d. 設置容易性・コスト比較

「(1) 実証の目的・目標」でも述べたように、本実証で採用した DAS 以外にも、不感地帯を改善するための手法は複数存在する。そこで本実証環境のような遮蔽物の多い病棟環境の不感地帯の改善時における、DAS と DAS を使用しない改善手法（電波反射板・中継器・LCX）の比較を設置の容易性やコストに着目して行い、DAS が有効となる環境条件や用途について示す。

表 3-48 設置の容易性比較

評価項目		電波反射板 (反射板材質：金属板(アルミ合金板))	中継局 (リピータ)	分散アンテナシステム(DAS)	漏洩同軸ケーブル(LCX)
設置位置	アクセス容易性	容易 ただし反射板の取付金具が支持可能な鋼材が必要	比較的容易(平地の場合) 高所の場合は別途、高所作業車が必要	やや困難 高所の場合は別途、高所作業車が必要	比較的容易 高所の場合は別途、高所作業車が必要 敷設がGLの場合は地上転がして敷設
	面積	数m×数mの空きスペース ※不感地帯の大きさ次第で反射板サイズも大きくなる	数m×数mの空きスペースが必要	制約なし	制約なし
付帯設備（電源・バッテリー等）の必要性		不要	必要(AC電源)	必要(AC電源)	不要
伝送路の必要性		不要：自由空間	必要 (電気・同軸の伝送路)	必要 (同軸の伝送路)	必要 (同軸の伝送路)
施工の容易性		難易度低 (地面から1.5m程度の高さを想定)	難易度中	難易度高	難易度低 (敷設用の伝送路がある事が条件)
導入リードタイム		設計～製作まで3～4ヶ月程度	設計～製作まで半年～1年以上	設計～製作まで4～5ヶ月程度	設計～製作まで3～6ヶ月程度
移設の容易性		比較的容易	比較的容易	困難	困難
遮蔽物多数環境への導入		×	×	◎	△
		多数設置が必要 エリア設計が困難	多数設置が必要 エリア設計が困難	アンテナ増設で柔軟なエリア設計が可能	柔軟なエリア設計が困難
実現可能性 病棟環境における設置	物理	×	×	◎	◎
	景観	×	×	◎	◎
		反射板を多数設置は景観に難あり	リピータ多数設置は景観に難あり	天井敷設で景観への影響なし	天井敷設で景観への影響なし
総合評価		×	×	◎	△
DAS が有効となる条件や使い方		<ul style="list-style-type: none"> ・使用する環境において遮蔽物が多く存在し、柔軟なエリアカバー化が求められる場合 ・業務区域での設置スペース確保が十分に行えない場合 			

表 3-49 設置のコスト比較

評価項目	電波反射板 (反射板材質：金属板(アルミ合金板))	中継局	分散アンテナシステム(DAS)	漏洩同軸ケーブル(LCX)
設備費用	50 万～数百万程度	100 万～数百万程度	数百万～1000 万程度	100 万～数百万程度
設備施工費用	10 万～数十万程度	数十万～100 万程度	数百万～1000 万程度	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	数十万～100 万程度	数十万～100 万程度	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	数十万～100 万程度	数十万～100 万程度	数十万～100 万程度
伝送設備費用(光、無線)	不要	10 万～数十万程度	10 万～数十万程度	10 万～数十万程度
伝送設備施工費用(光、無線)	不要	数十万～100 万程度	数十万～100 万程度	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	数十万～100 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	数十万～100 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	数十万程度 ※設置箇所は GL で地上転がしを想定
概算合計金額	100 万～数百万程度	数百万程度～1 千万程度	数百万～2 千万程度	数百万程度～1 千万程度
総合評価	◎	△	×	○
DAS が有効となる条件や使い方	コスト面よりもエリアカバーの柔軟性や設置容易性を優先する必要がある場合			

DAS は天井敷設が可能であるため、反射板や中継局とは異なり設置時のスペース確保や景観等の制約に縛られることなく、エリア設計を進めることができる点において優位性がある。また、同様に設置スペースを必要としない漏洩同軸ケーブルと比較しても、電源・伝送路の確保が可能な環境であれば、アンテナ数を増設することでより柔軟なエリア設計が可能となる。

例えば本実証環境のように、屋内遮蔽物が多数存在する環境下で、クリアランスの確保や景観の問題から反射板や中継局が難しいケースでは、DAS や漏洩同軸ケーブルの採用が望まれる。またその中で、既存配線などによりフロアの天井をくまなく伝送路として確保することが難しい場合は DAS によるエリア構築が最も適していると考えられる。

e. DAS を用いたエリア設計手法のモデル化

DAS を用いたエリア設計には、事前のシミュレーションやリンクバジェット算出、アンテナ設置位置の検討といった留意事項が数多く存在するため、本実証で得られた知見より DAS を用いたエリア設計手法のモデル化を行った。屋内設置を想定した DAS 活用時におけるエリア設計手法モデル化に向けた設計手順を表 3-50 に示す。

表 3-50 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 他者土地電波漏洩の予測	・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 (R, S) の適用
②	解決方策の検討	反射板/中継器/DAS/LCX 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 DAS を選定した場合について記載	・DAS に求められる仕様の検討 ・アンテナ設置位置の要件整理
④	解決方策適応前後のリンクバジェット・シミュレーション実施	・不感地帯改善予測 (リンクバジェット・レイトレースシミュレーション) ・サービスアンテナの設置位置決定
⑤	解決方策の適応	・DAS 設置時の留意事項
⑥	不感地帯・他者土地電波漏洩軽減確認	・電波強度、伝送性能等を測定し不感地帯や他者土地電波漏洩の確認
⑦	次回設計へのフィードバック	・手順④, 手順⑤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・他者土地電波漏洩の予測

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で記したように、屋内に多数存在する屋内壁、窓、各病室のスライド式扉、天井や床面に設置されているデッキプレート等、多様な素材で構成される遮蔽物による透過・反射を考慮した 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・大きさの確認と他者土地への電波漏洩レベルの確認を実施する。

なお、レイトレースシミュレーションは一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、本実証で得られた遮蔽物透過損を用いたエリア算出手法を推奨する。

「3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化」の実証にて得られた屋内遮蔽物における遮蔽物透過損を表 3-51 に示す。この各遮蔽物の透過損値を平均すると、屋内遮蔽物に対する透過損失の平均値は 6.7 (dB) となる。

表 3-51 遮蔽物前後の受信電力差分より導出した各遮蔽物における透過損（再掲）

遮蔽物	素材	透過損 (dB)
屋内壁（石膏）	石膏	5.78
屋内壁（鋼材）	鋼材	16.16
スライド式扉（各病室）	木材	8.12
窓（外壁）	ガラス	2.73
自動ドア（ナースステーション）	ガラス	3.63
開閉式扉（テレフォンルーム）	ガラス	2.82
円柱（ナースステーション）	木材	7.91

本手法ではまず、カバーエリア化したい対象を定め、アンテナの台数・設置場所を仮定する。本実証環境に基づいた例を示すと、図 3-107 のように 3 か所にアンテナを設置すると仮定して、それぞれに①から③の番号を平面図にプロットする。次にアンテナの仕様に基づき、アンテナの電波到達範囲の円を描いて 12 等分する。12 等分した各区画に対して、業務区域内で遮蔽物がいくつ存在しているかを確認し、区画内を電波が透過する際の遮蔽物平均枚数・最大枚数を算出する。ただし、業務区域が含まれない区画については遮蔽物確認の対象外とする。図 3-107 に記した例では、12 等分した方向の遮蔽物平均枚数は 1.7 枚、最大枚数は 4 枚となる。

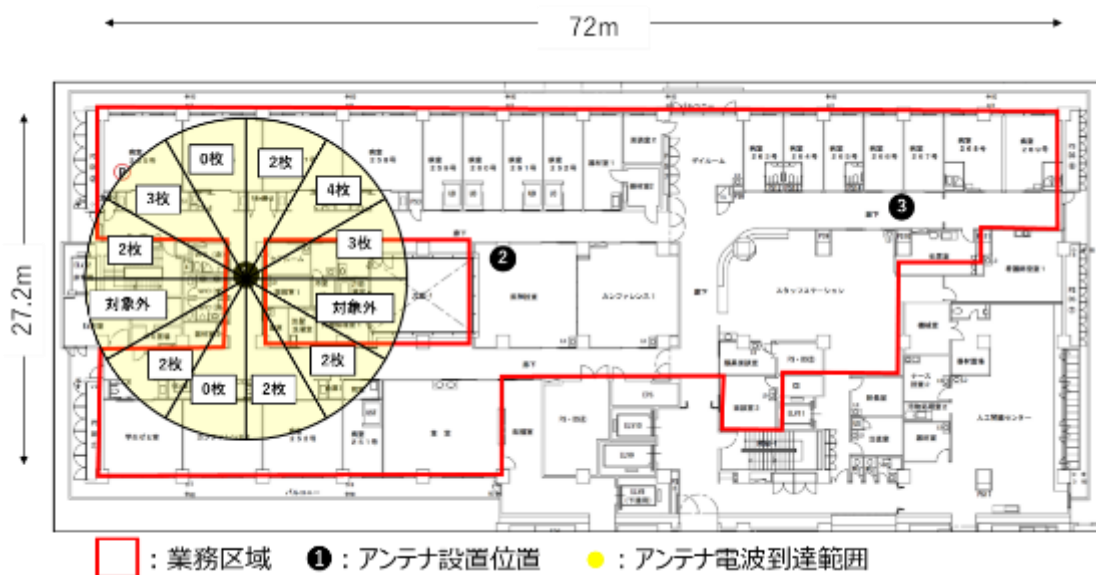


図 3-107 アンテナ電波到達範囲内の遮蔽物カウント

次に、アンテナ付近における遮蔽物透過損の予測値を算出する。対象とする区画を大まかにカバーしたい場合は遮蔽物平均枚数より、区画全域をカバーしたい場合は遮蔽物最大枚数を用いて、本実証結果から得られた1遮蔽物あたりの平均遮蔽透過損「約6.7dB」より透過損予測値を算出する。本例では、遮蔽物平均枚数1.7枚を用いた場合は約11.4dBが、遮蔽物最大枚数4枚を用いた場合は26.8dBが遮蔽物透過損の予測値として算出される。手順④では、この遮蔽物透過損を用いてエリア設計を実施する。

◆ 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/中継器/DAS/LCXの中から、不感地帯の解消に最適な解決方策を検討する。不感地帯が発生する位置や不感地帯の大きさ等から、表 3-52 をもとに解決方策を選定する。

表 3-52 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))	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	Sub6・ミリ波	Sub6	Sub6・ミリ波
不感地帯の分布	単一箇所	単一箇所	散在	散在
不感地帯の範囲	1～20 m ²	50～100 m ²	50～100 m ²	50 m ² ～100 m ² (同軸長が10mの場合/線状にエリアが構築される)

評価項目	電波反射板 (反射板材質：金属板(アルミ合金板))	中継局	分散アンテナシステム	漏洩同軸ケーブル (LCX)
基地局からのクリアランス	必要	基地局ードナーアンテナ間は必要	不要	不要
伝送路の必要性	不要	・基地局～ドナーアンテナ間は不要 ・中継器～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	必要(AC 電源)	必要(AC 電源)	不要
設置制約	・基地局ー反射板間で強電界を得られること ・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	・基地局～ドナーアンテナ間で強電界を得られること ・ドナー～中継器・中継器～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	・基地局から張り出しアンテナまでの同軸配線が物理的に可能であること	・基地局からの同軸配線が物理的に可能であること

本実証環境である病棟環境のように、多数の遮蔽物による不感地帯が散在しており、不感地帯の大きさが各々50～100 m²程となるフィールドにおいては DAS の設置が適当であるといえる。

◆ 手順③：設備・設置仕様の検討

不感地帯の改善方策として DAS を採用する場合、Active DAS と Passive DAS のどちらを採用すべきかを検討する必要がある。Active DAS と Passive DAS の比較について、表 3-53 に示す。

表 3-53 Active DAS と Passive DAS の比較

比較項目	Active DAS	Passive DAS
無線機の位置	アンテナに搭載	基地局に搭載
給電線損失の有無	発生しない	発生する
コスト面の比較	Passive DAS より高価	Active DAS より安価
アンテナごとの電波出力設定	設定可	設定不可

表 3-53 に示す通り、Active DAS と Passive DAS の違いは、無線部がアンテナに内蔵されているかどうかであり、Active DAS であれば給電線損失を考慮する必要が無く、アンテナごとの電波出力設定が可能となるというメリットがあるものの、Passive DAS よりもコストが高額となってしまうデメリットも存在する。これらの項目を比較することで、Active DAS と Passive DAS のどちらが導入環境に適するかを検討することが推奨される。

また、DAS 採用時にはアンテナ種別・位置の設計も併せて検討する必要がある。アンテナの指向性の有無については、解消したい不感地帯の範囲・形状に従って選定する。本実証環境のように、屋内をくまなくカバーしたいケースにおいては、無指向性アンテナの選定を推奨する。また、アンテナ選定時には、選定候補のアンテナが「分散アンテナシステムとしての構成」をもって技術基準適合証明を取得していることを確認する必要がある。これは、無線機として技術基準適合証明を取得しているローカル 5 G システムであっても、分散アンテナシステムとしては取得されていない場合が存在するためである。

アンテナの設置構成についても、周辺環境や用途を考慮して検討する必要がある。病棟環境におけるクリアランスの確保を考慮する場合は、天井への敷設を検討することが望まれる。さらに、Passive DAS を採用する場合には、分配損失および給電線損失を考慮した設置位置の設計も行う必要がある。本実証で用いた Passive DAS では分配損失が 4.8dB、ケーブル損失は 100m あたり 32.518dB であった。各アンテナのケーブル長はアンテナ①が 50m、アンテナ②が 30m、アンテナ③が 25m であったため、給電線損失はそれぞれ、アンテナ①は 16.25dB、アンテナ②は 9.75dB、アンテナ③は 8.125dB となる。このように、給電線損失は同軸ケーブル長によって変わるため、アンテナ設置位置を検討する際は給電線損失による減衰量が許容できることを踏まえて設計する必要がある。減衰量が許容できない場合は、各アンテナに無線機が内蔵されており、アンテナごとに送信出力を設定できる Active DAS を検討することを推奨する。

◆ 手順④：解決方策適応前後のシミュレーション実施

手順③に示した設置要件をもとにアンテナの設置位置を決定した後、DAS における各アンテナのカバーできるエリアを推定することで、目標としている不感地帯の改善効果についてシミュレーションを実施する。カバーエリアの推定方法については、本実証のようにレイトレースシミュレーションを用いる手法を推奨する。しかし、手順①でも述べたようにレイトレースシミュレーションの利用については、費用面・技術面におけるハードルが大きいことから、電波法関係審査基準エリア算出法に基づいた各アンテナにおけるリンクバジェット算出方法を示す。

DAS 設置時の各アンテナのリンクバジェットの算出式を下記に示す。

$$Pr = Pt + Gt - Lf + Gr - L - 8$$
$$L = 32.4 + 20 \log_{10}(f) + 10 \log_{10}\left\{(d_{xy})^2 + \frac{(H_b - H_m)^2}{10^6}\right\} + R'$$

ただし、式中のパラメータは下記に示す通りである。

Pr ：受信レベル（受信電力）[dBm]

Pt ：送信電力（基地局の空中線電力）[dBm]

Gt ：送信アンテナ利得 [dBi]

Lf ：基地局の給電線損失 [dB]

Gr ：受信アンテナ利得 [dBi]

L ：伝搬損失 [dB]

f ：使用する周波数 [MHz]

d_{xy} ：基地局と伝搬損失を算定する地点との距離 [km]

H_b ：基地局の空中線地上高 [m]

H_m ：陸上移動局の空中線地上高 [m]

R' ：屋内における遮蔽物透過損。手順①で算出した値を適用する。

また、一例として本実証で使用したパラメータ（表 3-54）を用いて、アンテナ①より 15m 離れた位置におけるリンクバジェット算出結果を示す。ただし、屋内における遮蔽物侵入損は、遮蔽物平均枚数より算出した 11.4dB を適用する。

表 3-54 リンクバジェット算出パラメータ (例)

パラメータ	計算値	単位	備考
P_t	46	dBm	送信電力（基地局の空中線電力）
G_t	1	dBi	送信アンテナ利得
L_f	16.25	dB	基地局の給電線損失
G_r	0	dBi	受信アンテナ利得
f	4849.98	MHz	使用する周波数
d_{xy}	0.015	km	基地局と伝搬損失を算定する地点との距離
H_b	9.8	m	基地局の空中線地上高
H_m	6.9	m	陸上移動局の空中線地上高
R'	11.4	dB	屋内における遮蔽物透過損

$$\begin{aligned}
L &= 32.4 + 20 \log_{10}(f) + 10 \log_{10} \left\{ (d_{xy})^2 + \frac{(H_b - H_m)^2}{10^6} \right\} + R' \\
&= 32.4 + 20 \log_{10}(4849.98) + 10 \log_{10} \left\{ 0.015^2 + \frac{(9.8 - 6.9)^2}{10^6} \right\} + 11.4 \\
&\approx 81.2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Pr &= P_t + G_t - L_f + G_r - L - 8 \\
&= 46 + 1 - 16.25 + 0 - 81.2 - 8 \\
&= -58.45 \text{ [dBm]}
\end{aligned}$$

ただし、実際のエリア設計ではレイトレースシミュレーションや上記のリンクバジェット算出式による推定値と、実測値の間に誤差が生じることが想定されるため、+10dB 程度のマージンを持たせたエリア設計を行うことを推奨する。

手順③・④で示した設置要件・推定カバーエリアなどを元にアンテナ設置位置・方式を決定した後、DAS 導入後における所要改善量を確認し、導入後の受信電力改善目標値 (dB) を設定する。

◆ 手順⑤：解決方策の適応

DAS 導入時の留意事項として、下記の設置要件を満たしていることが必要である。

- ✓ 張り出しアンテナの AC 電源が確保できる環境であること
- ✓ 基地局から張り出しアンテナまでの同軸ケーブル配線が物理的に可能であること
- ✓ 張り出しアンテナの設置位置にて、敷設工事が可能であること（天井施工など）
- ✓ Passive DAS を採用する場合、給電線損失による減衰量が許容できる距離までにアンテナ設置位置が設計されていること
- ✓ 基地局から各アンテナへの分配を行うための、分配器の設置が可能なスペースが確保されていること

設置後は、各アンテナ下において 1000 サンプル以上のデータ取得を行い、受信レベルおよび安定性が目標値を満たしているかを確認することを推奨する。

◆ 手順⑥：不感地帯・他者土地電波漏洩軽減の確認

DAS 設置後における不感地帯・他者土地電波漏洩軽減効果を確認する手法を示す。まず、対象とする業務区域を等間隔でメッシュ上に区分けし、各メッシュ内にて測定点を設定する。設定した各測定点にて DAS 設置前後の下記パラメータを取得することで、受信電力・伝送性能から改善効果を比較する。

- ・ 受信電力（SS-RSRP）
- ・ 伝送性能（SINR, UL・DL スループット・UL・DL 伝送遅延）

他者土地漏洩軽減の確認には、屋外もしくはバルコニーなどの半屋外で取得した屋外受信電力と屋内の受信電力を DAS 設置前後で測定し、その差分から透過損失を確認することで行う。

◆ 手順⑦：次回設計へのフィードバック

手順④で推定したリンクバジェット（レイトレースシミュレーションを実施している場合はレイトレースシミュレーションに基づくシミュレーション値）と手順⑥で確認した不感地帯における受信レベルを比較することで、DAS 導入による不感地帯解消の効果について評価を行う。手順④で設定した受信電力改善目標値を下回るエリアについては、下記の方策によって導入効果が向上する可能性について検討する。

- ・ 基地局の送信出力を変更
- ・ アンテナの増設や、一部のアンテナを指向性アンテナに置換する

また、本実証環境のように遮蔽物の多い屋内環境では、壁や窓、各個室の開閉扉などによって様々な遮蔽・回折などの影響が生じるため、エリア設計時には想定されていなかったマルチパス波や電波伝搬の大幅な減衰が発生する可能性が考えられる。そのため、下記に示す測定を実施することで、類似環境におけるレイトレースシミュレーション実施時に資するモデルの精緻化を実施することが可能となる。

- ・ マルチパスの発生箇所における周辺環境から、発生原因を特定する
- ・ 屋内の様々な遮蔽物に対して、遮蔽物前後の受信電力差分より遮蔽損を算出する

f. まとめ

最後に、本実証における DAS の有効性評価を行う。本実証では「(1)実証の目的・目標」に記載の通り、本ユースケースの所要性能である受信電力-84.6dBm (SS-RSRP: -111.75dBm)、UL スループット: 120Mbps (60Mbps×2 台)、伝送遅延: 50ms を達成することを実証目標としていた。本実証結果より、DAS 導入後における全 30 ポイント中、受信電力については 24 ポイント、UL スループットについては 18 ポイント、伝送遅延については 30 ポイントで所要性能を達成していることが確認できた。また不感地帯面積については、DAS 導入前後で 68.4%から 15.8%まで改善されていることが確認できた。この結果より、遮蔽物の多い病棟環境内にて生じる不感地帯に対して DAS 導入が不感地帯改善手法として有効性が高いことが確認できた。以上より所要性能及び不感地帯について、本実証における全ポイントでの達成に向けた改善策として、以下の方策が考えられる。

- 基地局からの送信出力を増加させる
- DAS アンテナを増設する
- アンテナと基地局の間にアンプを導入する
- Active DAS を採用する
- 準同期方式を採用する

DAS を採用時には分配損失が発生するため、発波される電波は基地局からアンテナまでの間に減衰された状態となる。そこで電力減衰を考慮して基地局の送信出力を増加させれば、アンテナに到達する電力も増強される。また、アンテナ増設や減衰した電力をアンプで増強させることも対策として挙げられる。さらに、本実証で採用した Passive DAS はアンテナごとの送信出力設定ができない構成であるが、アンテナに無線機が搭載されている Active DAS を採用することで、アンテナごとに送信出力が設定可能となり、より柔軟なエリア設計が可能となる。また、UL スループットの改善については、UL スループットを増大させることが期待できる準同期方式が有効と考えられる。

上記を踏まえ、本実証に基づく DAS 導入時における不感地帯の予測手法やリンクバジェット、アンテナ設置位置の検討手法を取りまとめモデル化も合わせて実施した。全体を通した今後の展望としては、屋内環境に導入する際の Active DAS と Passive DAS の不感地帯改善効果の比較、屋内に存在する遮蔽物における透過損の更なる検証、レイトレースシミュレーションを実施する際の環境パラメータの設定・修正におけるノウハウの蓄積・共有する仕組みの整備が望まれる。

3.3.3 準同期 TDD の追加パターンの開発

このテーマには取り組まなかった

3.3.4 基本的な電波伝搬データの取得

このテーマには取り組まなかった

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

本実証ではローカル 5G の大容量通信・安定性の特徴を活かし、AI・薬剤自動認識装置を搭載した自立走行型コミュニケーションロボットを活用した薬剤識別業務支援によるタスクシフト・医療インシデントの削減の実現に向け、以下の実証を実施した。

実証 1：患者持参薬の確認

患者持参薬を、薬剤認識システムのカメラで撮影し、薬剤の形状や刻印を自動認識するとともに、薬剤名や数量をリアルタイムに判別する。

実証 2：処方薬の配薬

医師の処方オーダー情報を薬剤認識システムと連携させ、配薬予定の薬剤を薬剤認識システムのカメラで撮影し、薬剤の形状や刻印、数量を自動認識することで、配薬予定の薬剤や数量に誤りがないかをリアルタイムに判別し、電子カルテの薬剤ステータスを配薬済みに変更する。

実証 3：服薬前確認

自立走行型コミュニケーションロボットが病棟を巡回しながら、ロボットに搭載した薬剤認識システムのカメラで服薬前の患者管理の薬剤を撮影し、患者が飲む予定の薬に誤りがないか、リアルタイムに判定する。

実証 4：服薬後確認（飲み殻確認）

自立走行型コミュニケーションロボットが病棟を巡回しながら、ロボットに搭載した薬剤認識システムのカメラで服薬後の患者管理の薬剤の飲み殻を撮影し、患者が飲む予定の薬で誤りがないか、患者がしっかりと服薬できたかを系統的に管理し、薬剤ステータスを服薬済みに変更する。

実証 5：病院・院外薬局間での情報連携

病院・院外薬局間において必要な患者情報（病歴、薬歴等）の共有を電子的に実施するとともに、トレーシングレポート（患者から聞き取った情報：アドヒアランス、残薬の状況、複数病院の受診および服薬歴、健康食品の服用等について、担当医師へフィードバックするレポート）の作成・共有を電子的に行う。



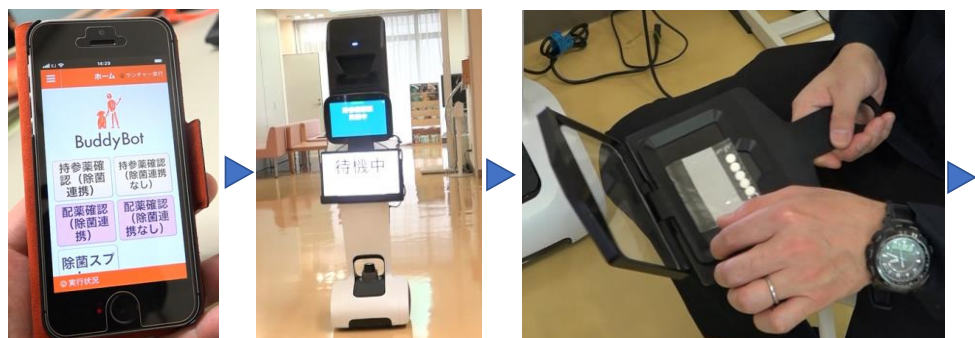
図 4-1 基本的な入院～退院～通院時の薬剤の流れ

実証 1～実証 4 については以下のシステムフローのとおり実施した。

・実証 1：患者持参薬の確認フロー

患者が入院する際に、他の病院で処方された薬や常飲している薬がある場合に、持参薬確認を行う。薬剤師がロボットに対して持参薬確認の指示を出し、その指示を受けてロボットが持参薬の確認を行う特定の場所まで自動的に移動する。ロボットの音声アナウンスに従い患者がトレイに薬を投入する。ロボットに搭載した鑑別システムにて薬を撮影し、ローカル 5G を介して画像伝送し、鑑別サーバにて薬を特定する。薬剤師は鑑別システムから提示された候補薬剤を確認し、選択する。確認作業終了後はロボットにホームに戻る指示を出せば、自動的にホームに戻り、消毒スプレーを噴射してフロー完了となる。

持参薬確認の流れ（持参薬確認場所で、薬剤師が操作）



①持参薬確認場所より
持参薬確認ボタンを押す

②ロボットが持参薬確認場所
へ来る

③ロボットからトレイを取り出し、薬を入れる



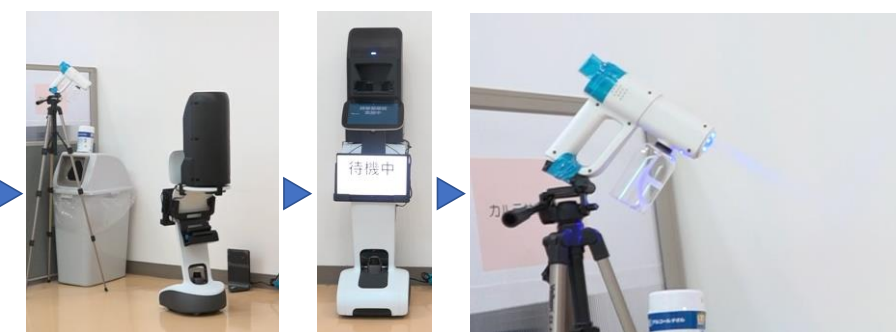
④薬を入れたトレイをセット

⑤撮影しローカル5Gにて画像送信



⑥候補の薬がパソコンに表示され
るので、選択

⑦持参薬確認業務が終了した後、
ロボット画面のホームにもどすボ
タンを押す



⑧ロボットがホームへ戻る

⑨ホーム到着

⑩到着後、消毒用アルコールスプレーが
噴射される

図 4-2 持参薬確認フローイメージ

【持参薬の確認フロー】

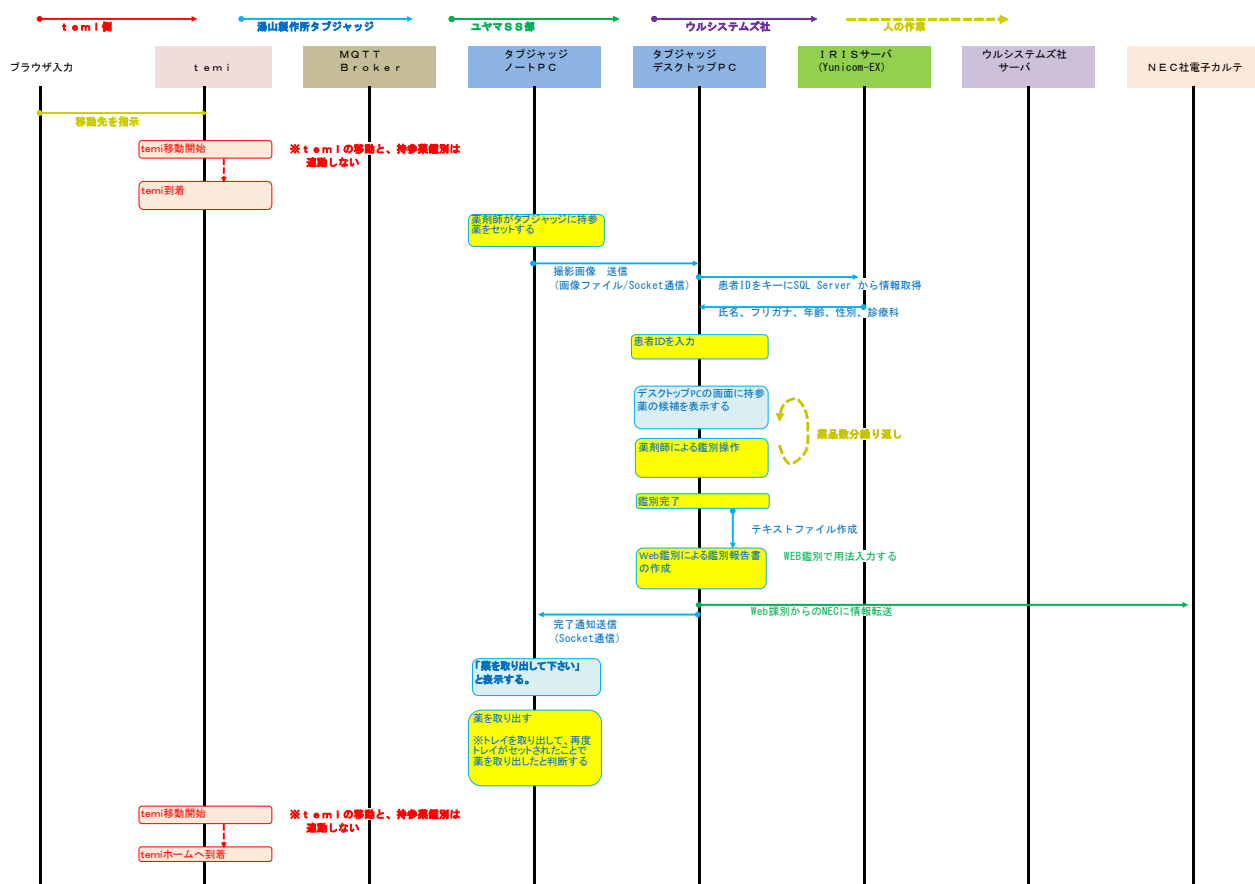


図 4-3 持参薬確認フロー

具体的な確認手順や画面イメージは以下のとおりである。

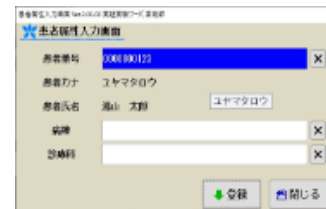
- ① 持参薬をシャーレの上に置く。錠剤は上下の向きに関係なく置いても構わないが、カプセルは印刷面が上下のどちらかになるように置く。黒い波板の上に置くと転がらずに簡単における
- ② シャーレを、タブジャッジの中にセットする。
- ③ ノートPCの「持参薬撮影」を押すと、撮影が開始する。
- ④ 撮影した画像がデスクトップPCに表示される。
- ⑤ シャーレの薬品をひとつずつ、候補から選ぶ。候補に出ない場合は、手動検索を行う。
- ⑥ 登録を押すと、持参薬の確認は完了。

持参薬確認



持参薬をシャーレの上に置く

ノートP Cの「持参薬撮影」を押すと撮影が開始する



患者情報入力画面

デスクトップP Cにて薬品を選択する



登録を押すと、持参薬の確認は完了

(次の頁へ続く)

【一包化を鑑別する方法】



トレイに一包化した分包紙をはさみ、タブジャッジにセットする。



「シャーレ」を押すと「薬包」に切り替わる。分包紙の鑑別を行う場合は薬包を選択してください



錠剤検出確認画面で錠数を確認する

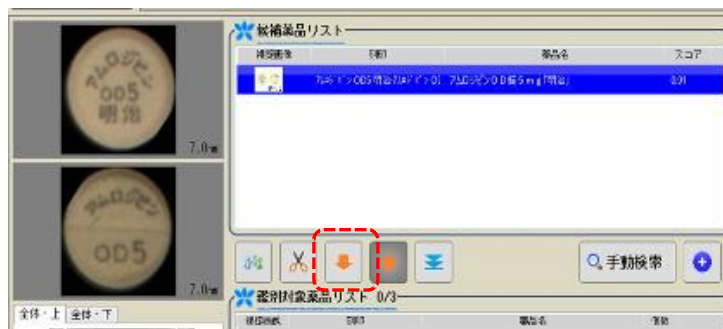


鑑別画面

【薬品の選択方法】

A. 候補から選ぶ

候補が表示されるので、撮影した画像とおなじ 薬品を選択し、下矢印のボタンを押す



B. 手動選択で薬品名・識別表示から検索する

刻印・薬品名のいずれかを選択し、検索文字を入力する。候補の中から選択し、選択ボタンを押す



C. バーコードリーダーで読み込む

リーダーでバーコードを読み込むと、個数入力画面に移り、錠数を入力後にOKを押す。



図 4-4 持参薬確認手順イメージ

・実証2：処方薬の配薬の確認フロー

院内で処方された薬剤を入院患者へ配薬する際に行う。看護師がロボットに対して配薬確認の指示を出し、その指示を受けてロボットが配役確認を行う特定の場所まで自動的に移動する。ロボットの音声アナウンスに従い看護師がトレイに薬を投入する。ロボットに搭載した鑑別システムにて薬を撮影し、ローカル 5G を介して画像伝送し、鑑別サーバにて薬を特定する。看護師は鑑別システムから提示された候補薬剤を確認・選択し、処方と配薬の内容が一致していることを確認する。確認作業終了後はロボットにホームに戻る指示を出せば、自動的にホームに戻り、消毒スプレーを噴射してフロー完了となる。

配薬確認の流れ（配薬確認場所で、看護師が操作）



①配薬確認場所より配薬確認ボタンを押す

②ロボットが配薬確認場所へ来る

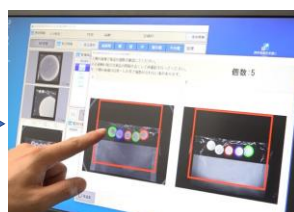
③ロボットからトレイを取り出し、薬を入れる



④薬を入れたトレイをセット



⑤撮影しローカル5Gにて画像伝送



⑥候補の薬がパソコンに表示されるので、選択



⑦配薬確認業務が終了した後、ロボット画面のホームにもどすボタンを押す



⑧ロボットがホームへ戻る



⑨ホーム到着



⑩到着後、消毒用アルコールスプレーが噴射される

図 4-5 配薬確認フローイメージ

【配薬前の確認フロー】

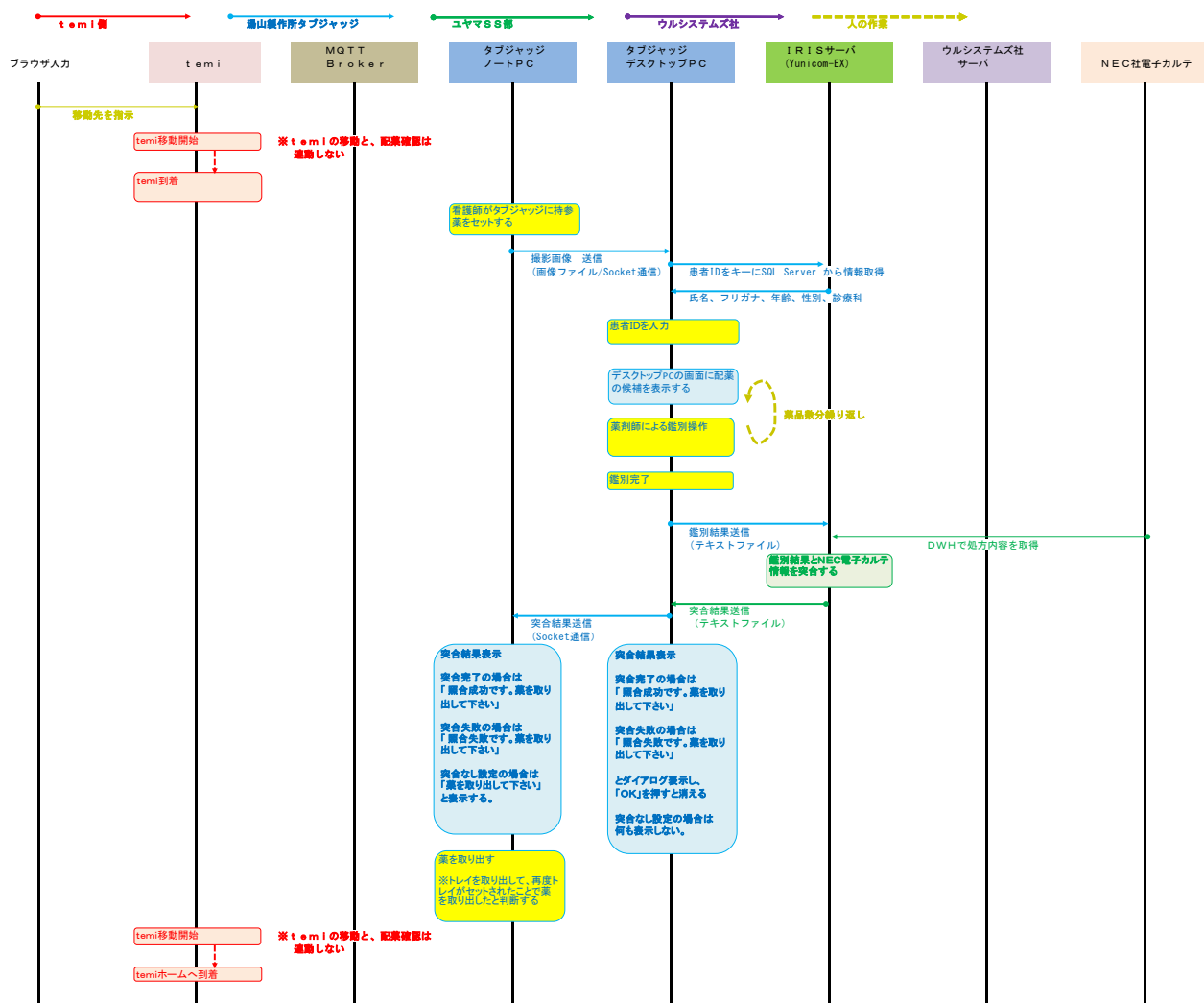


図 4-6 配薬確認フロー

具体的な確認手順や画面イメージは以下のとおりである。

- ① 配薬をシャーレの上に置く。錠剤は上下の向きに関係なく置いて構わないが、カプセルは印刷面が上下のどちらかになるように置く。黒い波板の上に置くと転がらずに簡単における。
- ② シャーレを、タブジャッジの中にセットする。
- ③ ノートPCの「配薬撮影」を押すと、撮影が開始する。
- ④ 撮影した画像がデスクトップPCに表示される。
- ⑤ シャーレの薬品をひとつずつ、候補から選ぶ。候補に出ない場合は手動検索を行う。
- ⑥ 登録を押すと、電子カルテの処方データとの比較表示を行い、照合確認の後「OK」を押すと完了。

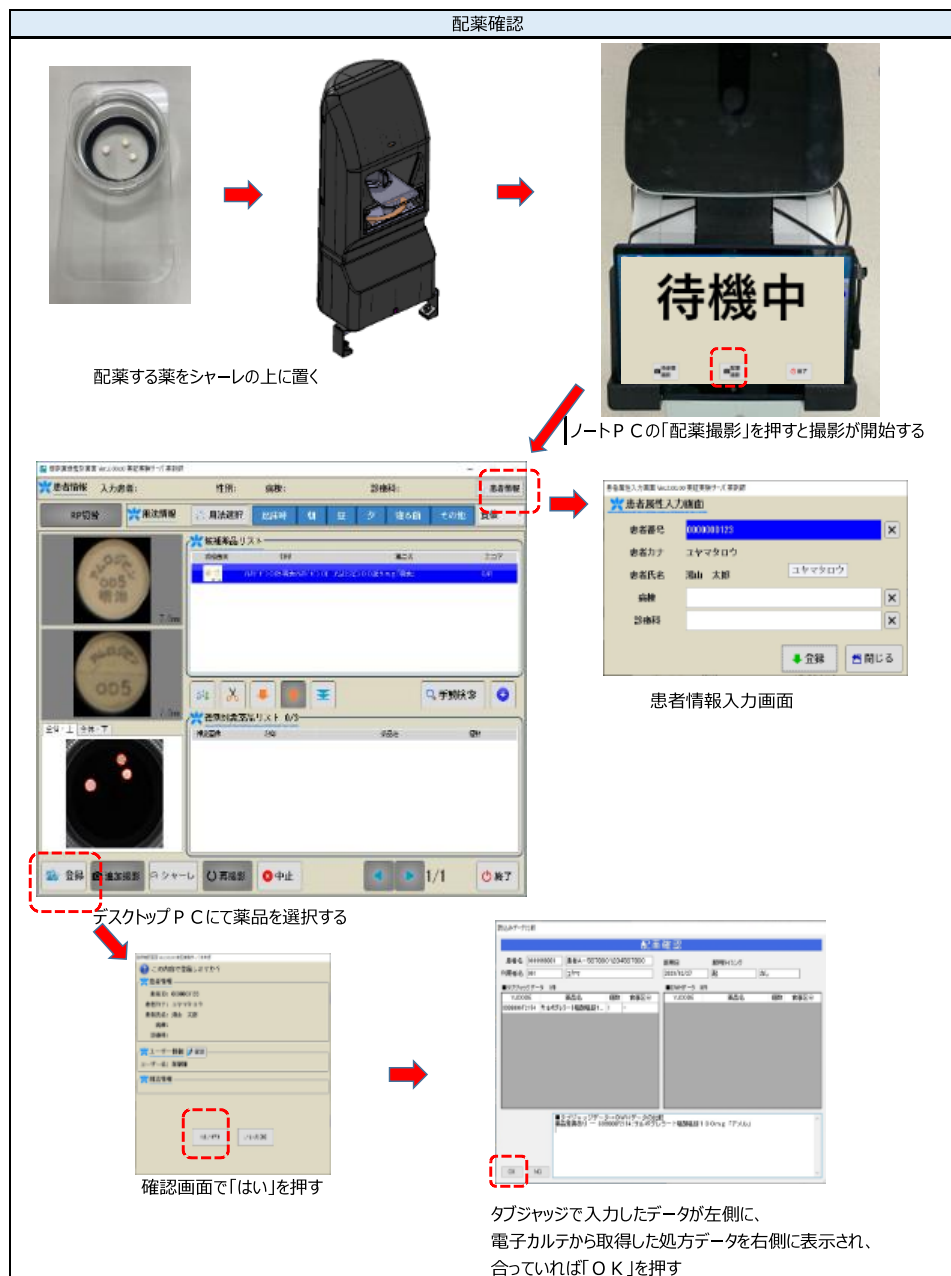


図 4-7 配薬確認手順イメージ

・実証3：服薬前確認フロー

入院患者が病室にて服薬前に実施する。看護師が対象の患者の ID ボタンを押すと、ロボットが対象の患者病室へ自動的に移動し、ベッド横で止まる。ロボットの音声アナウンスに従い患者がトレイに薬を投入する（薬は患者にて管理している）。ロボットに搭載した鑑別システムにて薬を撮影し、ローカル 5G を介して画像伝送し、鑑別サーバにて薬を特定する。鑑別結果がナースステーションに送られ、看護師は鑑別システムから提示された候補薬剤を確認・選択し、処方と服薬予定の薬剤の内容が一致していることを確認する。ナースステーションでの確認作業終了後、ロボットが患者に薬を取り出すようアナウンスし、取り出したことを確認すると自動的にホームに戻り、消毒スプレーを噴射してフロー完了となる。

服薬前確認の流れ（病室で、患者が操作）



図 4-8 服薬前確認フローイメージ

[illegible]

188

具体的な確認手順や画面イメージは以下のとおりである。

- ① タブジャッジをのせた Temi が、患者のベッドサイドに移動する。
- ② ノート PC に「これから飲む薬をトレイにセットしてください」と表示される。
服用する薬をシャーレの上に置く。
- ③ シャーレをタブジャッジにセットすると、自動的に撮影が始まる。撮影した画像がデスク
トップ PC に表示される。
- ④ シャーレの薬品をひとつずつ、候補から選ぶ。候補に出ない場合は、手動検索を行う。
- ⑤ 候補の選択が終わり登録を押すと、電子カルテの処方データとの比較表示を行い、照合確認の
後「OK」を押すと、ノート PC の画面に「お薬を取り出してください」と表示される。シャーレ
から薬を取り出し、シャーレをタブジャッジに戻すと、Temi は次の場所へ移動する。候補の選
択が終わり登録を押すと、ノート PC の画面に「お薬を取り出してください」と表示される。
シャーレから薬を取り出しシャーレをもとに戻すと、Temi は次の場所へ移動する。



(次の頁へ続く)

服薬後確認※飲み殻確認の流れ（病室で、患者が操作）



図 4-11 服薬後確認フローイメージ

【服薬後（飲み殻）の確認フロー】

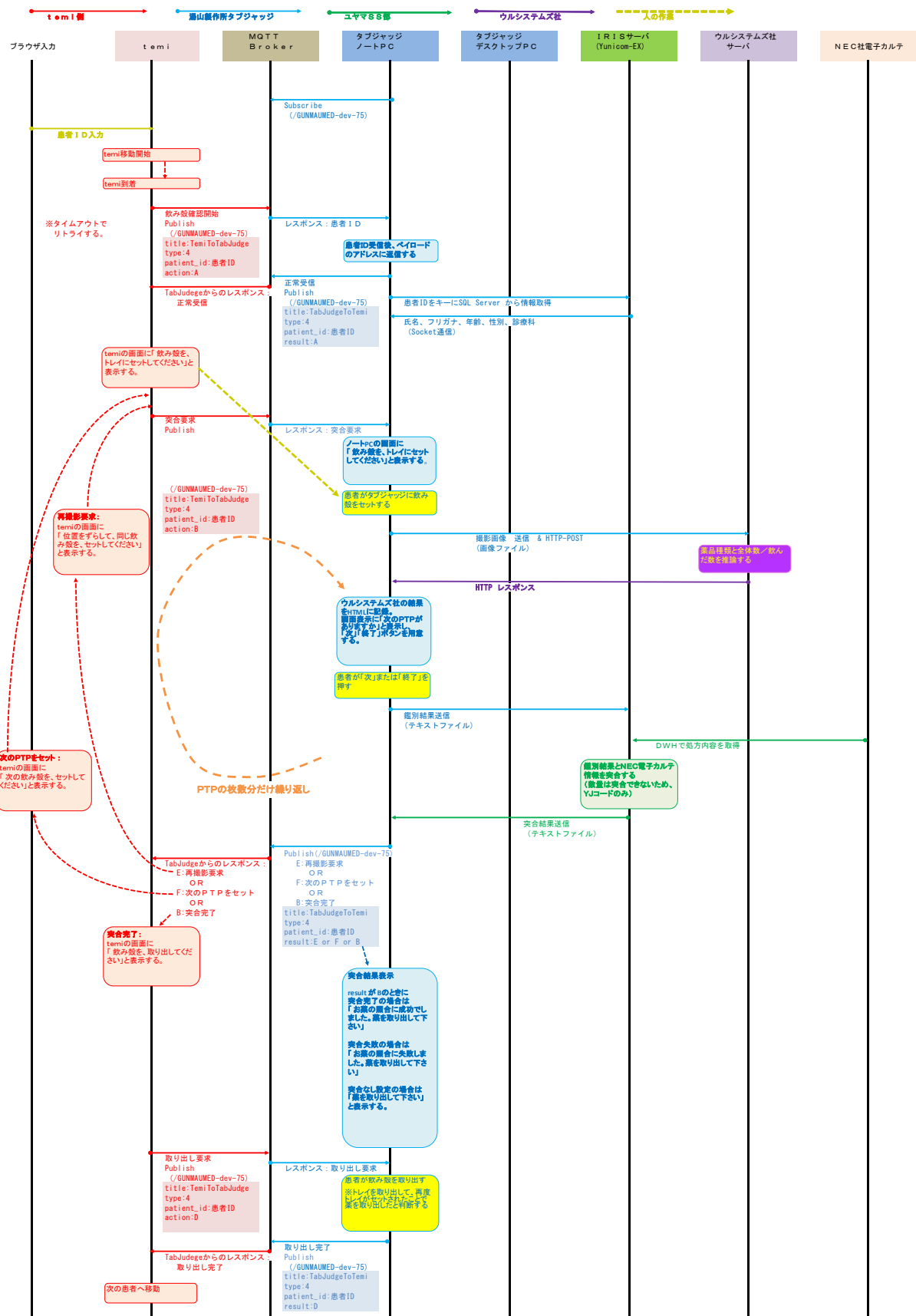


図 4-12 服薬後確認フロー

具体的な確認手順や画面イメージは以下のとおりである。

- ① タブジャッジをのせた Temi が、患者のベッドサイドに移動する。
- ② ノート PC に「飲み殻をトレイにセットしてください」と表示される。薬をトレイの上に置く。
- ③ トレイをタブジャッジにセットすると、自動的に撮影が始まる。
- ④ ウルシシステムズのサーバで判断した後、「未撮影の薬がありますか」とチャイム音と表示がされるので、あれば「はい」を、なければ「いいえ」を押す。「はい」の場合は、②から繰り返す。
- ⑤ すべて撮影が終わると、デスクトップ PC にて電子カルテの処方データとの比較表示を行い、照合確認の後「OK」を押すと、ノート PC の画面に「お薬を取り出してください」と表示される。トレイから薬を取り出し、タブジャッジに戻すと、Temi は次の場所へ移動する。



(次の頁へ続く)



図 4-13 服薬後確認手順イメージ

なお、実証1～実証4まで共通でロボットへの指示は以下の通りアプリケーション操作で行う。BuddyBot（アプリ）にて作業項目を選択。服薬前・服薬後確認の場合は、確認したい患者 ID ボタンを押すと Temi が患者のベッドサイドまで移動する。持参薬・配薬確認の場合は、各確認作業する場所に Temi が移動する。

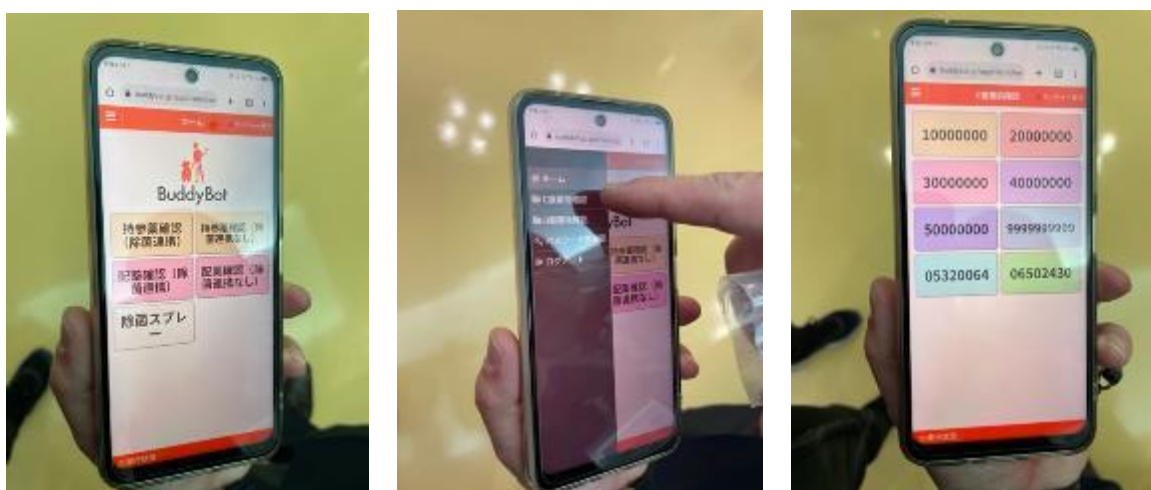


図 4-14 ロボットへの指示アプリ

4.1.1 背景となる課題

高齢化・人口減少による医療現場の人材不足・長時間労働、医療の高度化・複雑化に伴う、診療行為の確認漏れや判断ミス、情報伝達不良に伴う、患者に被害をもたらす医療インシデントのリスク増大が喫緊の課題であり、自動化・機械化による医療従事者の労力削減、また医療インシデントを未然に防ぐ人に拠らない仕組みの確立が強く求められている。

課題 1：現代医療における高度化リスク、労働力人口の減少とタスクシフトの実現性に関する課題

医療機関における薬剤の取扱いは複雑化の一途をたどっており、医療の高度化と相まって医療インシデントの急激な増加を招いている。高度化する医療について、安全性を維持向上しながら提供することは現代医療における喫緊の課題と言える。

同時に、労働者人口の減少と超高齢社会における医療需要の増加に伴い、医療機関における医師をはじめとする医療スタッフの長時間労働が大きな社会的問題となっている。「タスクシフト」と呼ばれる、医療スタッフでの業務移行が提案されているが、医療組織全体において真の労力削減につながる方法は「自動化、機械化」によってのみ達成されと考えられる。工業製品の加工における機械的労力の自動化と異なり、医療においては業務内における「照合」「識別」「状況判断」といった知的労働や情報労働の比率が高く、これまでの産業技術においては人的労働力の代替手段として機械化が貢献できる領域が限定されていた。特に高度急性期病院においては、前述の状況に加えて、高い労務負荷に対する迅速なレスポンスと高い機動性が強く求められる。こうした医療労働を支援する機械化手段については、情報処理装置の重量、サイズ、情報処理速度、通信速度の条件をもれなく充足しないと、真に医療現場で必要とされ定着するソリューションとはならないことがこれまでに明らかとなっている。このような状況下において、今回我々は病院業務における薬剤に付随した業務に着目した。

病院診療における「意図しない医療状態の発生」を意味する「医療インシデント」において、薬剤に関連するインシデントの件数は全体の約 4 割を占めている。インシデントの多くが、処方や注射における指示と実施の相違や薬剤の誤認識に伴うものであることが全国的な調査により示されており、薬剤関連インシデントは病院一般に広く知られ、また主要な課題となっていることが強く示唆される。(1.1 背景目的に詳細記載)

課題 2：病院内における、特に無線情報ネットワークの敷設性に関する課題

病院における医療機器の導入や情報システムの導入は、病院を稼働させながら行う場合が大勢である。個々の医療機器が高額であることから、機器の導入は部分的、段階的に行われる傾向にあるが、医療機器を業務において情報連携させるためには、「院内ネットワーク」を構成し、これに機器を接続する必要がある。この際、前述の理由により、部分的に構築されたネットワークに統一的な規則性を持たせる時機を逸するケースが多く発生している。このため、院内における LAN ケーブルや光ファイバーを用いた有線ネットワーク、ならびに Wi-Fi を用いた無線ネットワークのいずれにおいても追加設定を行うことが困難化している。さらに、患者や医療スタッフによって持ち込まれるポケット Wi-Fi のような 2.4GHz 帯、5GHz 帯では、元来の仕様より独立に確保で

きるチャンネルが限られているために、電波の干渉が生じる原因ともなっている。病院施設におけるこのような情報ネットワークの中で、医療現場で確実に動作することが不可欠であるような、信頼性の高いロボット制御や確実な音声/映像コミュニケーションを実現するためには、理想的には院内ネットワークの全体再設計を行う必要がある。しかしながら、医療機器ならびに情報システムは複数のベンダから構成されており、この調整を全国の病院が統一的に行える状況にはないと推測される。従って、今後機械化によるタスクシフトを、前述のような状況にある病院施設内で実現するためには、従前の通信方式と干渉せず、かつ有線制御では可動範囲が限定され、ワイヤの取り回し不良に基づく事故を生じないようにする目的により、ロボット制御等を可能とする確実な無線接続の提供が全国的かつ主要な課題であることが理解される。

課題3：病院業務における病院情報システム（電子カルテ等）との連動による業務支援に関する課題

電子化される以前より、医療プロセスの複雑化・分業化に伴うインシデント発生を抑止するための取り組みが積極的に推進されている。近年、電子的な情報操作の環境について、大幅な計算機性能の向上、電子化端末（タブレット、スマートフォン等）の小型化、高速化ならびに通信プロトコル等の共通化に伴う価格の低下などにより、これまで専ら医療スタッフの知的労力に依存してきた医療情報支援を電子化したシステムにより実施できる可能性が生じてきた。この実現に際しては、前述する院内ネットワーク環境の課題解決とともに、電子デバイスが情報サーバと頻回かつ確実に通信できる方式を採用することが不可欠である。既に広く利用されている Bluetooth は、最新の 5.2 では無干渉環境における通信距離が 400m とされている。しかしながら実運用においては 2.4GHz 帯との干渉が頻繁に生じる現象や、Bluetooth を利用する多くの院内 IoT デバイスが登場している。このため、電子化端末を十分かつ確実な情報バンド幅を確保することは、より医療施設を情報化により業務支援する際に生じる共通の課題であることが理解される。

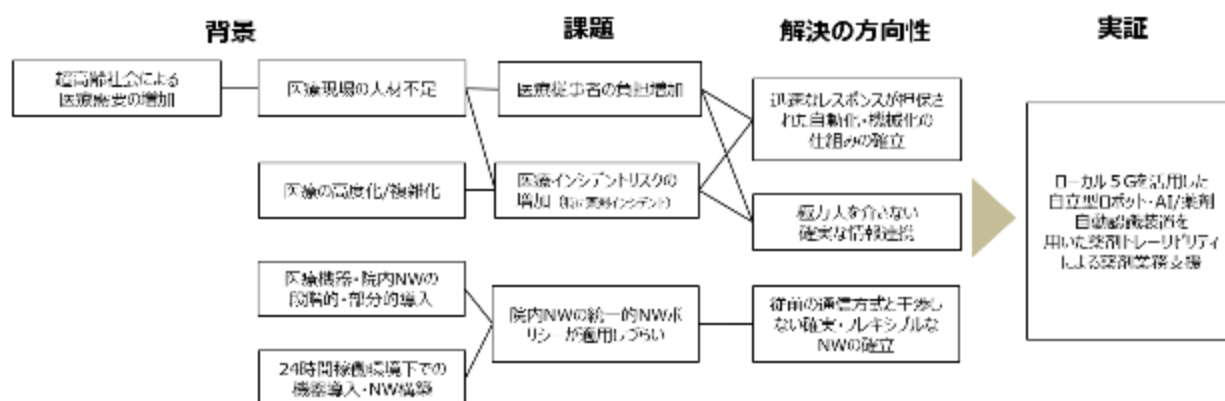


図 4-15 イシューツリー

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

前述の課題を踏まえ、ローカル 5G の大容量通信・安定性の特徴を活かし、AI・薬剤自動認識装置を搭載した自立走行型コミュニケーションロボットを活用した薬剤識別業務支援の実証を行う。

・自律型ロボットを用いたコミュニケーションを伴う複数タスクにおける薬剤識別業務支援の可能性

患者が入院時に持ち込む薬剤（以下、持参薬）や入院治療における処方薬剤は、その種類ならびにリスクが増加し続けており、その確認行為が病棟業務における大きな負担となっている。薬剤は医師の処方指示により、配薬、服薬が行われるが、高度急性期病院では患者容体が変化しやすく、これに対応する形で処方指示変更が頻回に行われる。また入院患者 1 人に対して処方される薬剤が 10 剤以上であることも少なくなく、薬剤種類の増加と併せてその確認をより確実に行う必要がある。この目的に対し、自立走行型コミュニケーションロボットと薬剤認識システム、電子カルテ連携システム、薬剤業務システムを組み合わせた「薬剤業務支援ユニット」(Medical Process Supporting Unit：以下 MPSU)を活用して実証を実施する。

この MPSU で用いられるロボットは院内の地理的状況を LiDAR(=Light Detection And Ranging、光による検知と測距)機能によって把握し、プログラミングによって移動する。MPSU で使用される薬剤認識システムは錠剤の包装に用いられる PTP シートがなくても、錠剤自体の形状や刻印からその薬剤を識別する能力を有している。

ロボットの自立走行性と薬剤認識性を組み合わせることにより、看護師が配薬前に行う薬剤の種類ならびにその量の確認について、薬剤認識システムにより支援することが可能となる。MPSU ロボットは薬剤部との画像を用いた通信インターフェイスを有し、薬剤の機能等について詳細な確認を必要とする際、離れた距離にある院内薬剤部の薬剤師と音声ならびに画像を用いた問い合わせを行う機能として活用できる。

本課題解決では、患者が服薬を完了した状態の確認を行う目的で、画像中に示される物体が飲み殻であり、薬剤が残っていないことを識別する機能について併せて検証を行う。これらの機能は、それぞれを単体で製品化することは原理的には可能であるが、現実的には費用対効果の壁が存在し、実現に至らない可能性が高いものである。本事業で提案する MPSU コンセプトは、共通に必要とされる機能である「薬剤の照合機能」について、配薬エリア、持参薬確認エリア、病室エリアなど場所を問わず行うことができ、前述する複数の目的を同時に達成することが可能な点に特長を有している。

ローカル 5G を用いて医療分野、病院における業務支援を拡大することを企図する場合、薬剤業務に付随する大きな課題点として、「業務情報の、情報システムへの入力負担」が挙げられる。薬剤の種類の増加ならびに指示変更の確認頻度の増大は、医療スタッフ自身による情報システムへの情報入力負担を増大させる。この入力負担の問題は、これまで「病院全体で汎用に用いられる電子カルテ」のように、複数回の画面把握とクリックののちに漸く入力画面に至るというインターフェイスにおいて顕著であった。ここから、病院業務における負担の多くが「情報操作」によるものであることが理解され、「情報操作の手間をいかに削減するか」が横展開を普及させる焦点であると考えられる。提案する MPSU コンセプトでは、病院外における、処方箋の適正さを確認するために必要な患者情報（病歴、薬歴等）の共有により、患者からのヒアリング時間の削減を行う。併せて、退院後の処方薬服薬に伴う副作用のうち、病院側に提供すべきと思慮される情報についての共有（トレーシングレポート）の電子化を併せて行い、病院薬剤部側でのトレーシングレポート情報の再入力業務を削減するとともに、転記ミスや入力忘れのような情報操作にまつわるインシデントの削減に寄与することを計画する。

医療機関における情報インフラを横展開する際の大きな課題として、既存の医療情報ベンダによる情報サーバの相互通信仕様が非共通である点が挙げられる。ベンダの数だけ通信仕様が存在する場合、50 を超える病院部門システムを接続する病院情報システムにおいては、この接続に関する労力負担ならびに費用が非常に大きく、他病院における横展開の大きな障壁となっていた。

本事業で提案する MPSU ユニットにおいては、ユニット内部および外部との医療情報通信において、一般社団法人医療情報標準化推進協議会（HELICS）における標準規格として認定された、HL7 FHIR (Fast Health Interoperable Resources) 規格にて通信実装を行う。HL7 FHIR に対する実装実績は国内では限られており、電子カルテシステムを含む標準化が充実している群馬大学医学部附属病院を実証サイトとすることにより、先進的な実証実験を行うことが可能となる。

〈実証ユースケース概要〉

実証 1：患者持参薬の確認

患者持参薬を、薬剤認識システムのカメラで撮影し、薬剤の形状や刻印を自動認識するとともに、薬剤名や数量をリアルタイムに判別する。

【現状】

病棟薬剤師が患者から持参薬・お薬手帳を預かり、薬剤名、規格、用法・用量を確認。用法・用量や類似薬等が不明の場合（特に、錠剤が不明の場合が多い）は、病棟薬剤師が調査。

【想定される効果】

- ・薬剤師の持参薬確認に要する労力・時間の削減
- ・持参薬の判別の確実性向上

実証 2：処方薬の配薬

医師の処方オーダー情報を薬剤認識システムと連携させ、配薬予定の看護師管理薬剤を薬剤認識システムのカメラで撮影し、薬剤の形状や刻印、数量を自動認識することで、配薬予定の薬剤や数量に誤りがないかをリアルタイムに判別し、電子カルテの薬剤ステータスを配薬済みに変更する。

【現状】

医師の指示に基づき、病棟に運搬された薬剤（1 週間～2 週間分）を病棟看護師が患者ごとに 1 回量をセットし、患者に配薬。

【想定される効果】

- ・ 看護師の配薬に要する労力・時間の削減
- ・ 配薬ミスによるインシデントの削減

実証 3：服薬前確認

自立走行型コミュニケーションロボットが病棟を巡回しながら、ロボットに搭載した薬剤認識システムのカメラで服薬前の患者管理薬剤を撮影し、患者が飲む予定の薬に誤りがないか、リアルタイムに判定する。

【現状】

病棟看護師が患者ベッドを巡回し、服薬確認を実施。

【想定される効果】

- ・ 看護師の服薬確認に要する労力・時間の削減

実証 4：服薬後確認

自立走行型コミュニケーションロボットが病棟を巡回しながら、ロボットに搭載した薬剤認識システムのカメラで服薬後の患者管理薬剤の飲み殻を撮影し、患者が飲む予定の薬で誤りがないか、患者がしっかりと服薬できたかを系統的に管理し、電子カルテの薬剤ステータスを服薬済みに変更する。

【現状】

病棟看護師が患者ベッドを巡回し、服薬確認を実施。

【想定される効果】

- ・ 看護師の服薬確認に要する労力・時間の削減

実証5：病院・院外薬局間での情報連携

病院・院外薬局間において必要な患者情報（病歴、薬歴等）の共有を電子的に実施するとともに、トレーシングレポート（患者から聞き取った情報：アドヒアランス、残薬の状況、複数病院の受診および服薬歴、健康食品の服用等について、担当医師へフィードバックするレポート）の作成・共有を電子的に行う。

【現状】

院外薬局の薬剤師は患者が持参する処方箋やお薬手帳に基づき、現在の症状・薬歴、病歴等についてヒアリング。その後、院外薬局の薬剤師はトレーシングレポートを作成し、FAXを用いて病院へ送付。病院薬剤部にてトレーシングレポートの情報を電子カルテへ再入力。

【想定される効果】

- ・薬剤師の患者へのヒアリング時間の削減
- ・病院薬剤部でのトレーシングレポート情報の再入力業務の削減、転記ミスや入力忘れなどの情報操作に関連するインシデントの削減

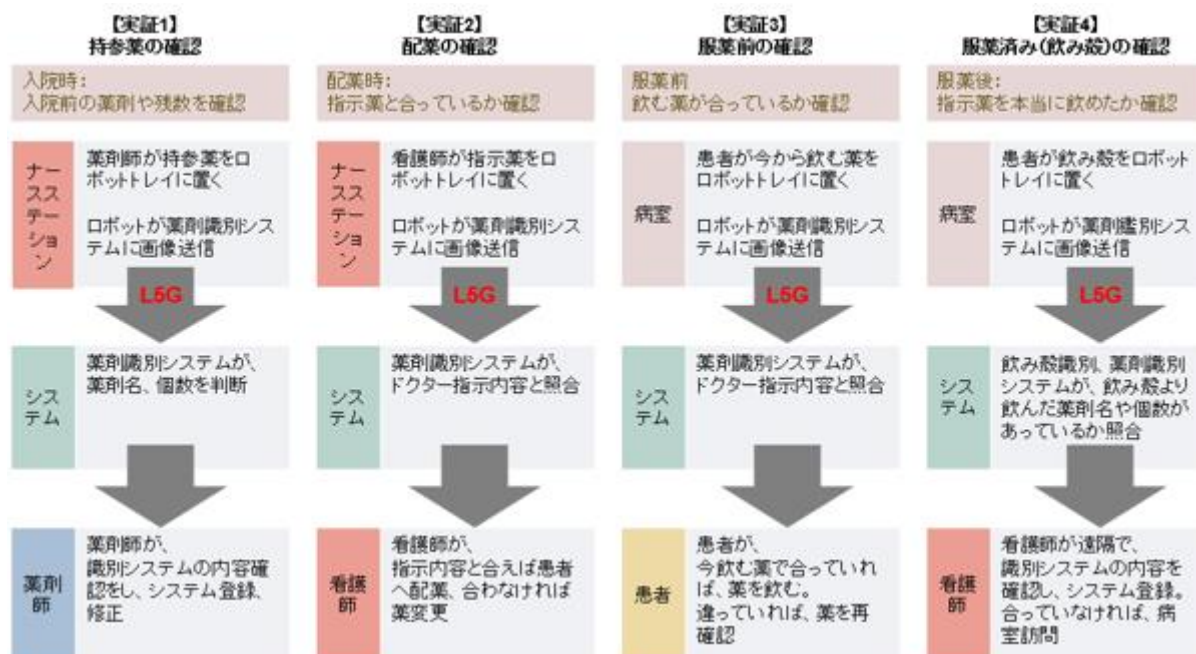


図 4-16 実証の全体像

(2) ローカル 5G 活用モデル（当初仮説）

本事業におけるローカル 5G インフラは、院内電子化連携で用いられる Wi-Fi と比較し、超低遅延・大容量通信・安全性が高いことをその特長としている。本実証においては、薬剤画像認識を確実に実施する目的で、ロボットと薬剤識別装置を組み合わせたソリューションを提案しており、院内業務の電子化においては医療安全の観点から堅牢さと確実な動作が求められている。また、入院患者もいる病棟内での利用という点を考慮するとロボットの安定・安全な制御は必要不可欠であり、Wi-Fi よりも干渉影響を受けづらいローカル 5G での運用が適していると考えた。これらの点において、通信ネットワークとしてローカル 5G を導入することはその目的に合致し、継続的な活用が見込まれると強く期待できる。

本実証は、群馬大学医学部附属病院内の 1 フロアでの利用に限ったものであるため、本実証の結果を踏まえつつ、今回実証を実施する救急科だけではなく、その他の診療科へ利用範囲を広げ、ロボットのその他の活用可能性についても検討する。また、群馬大学医学部附属病院にて継続的に利用・評価を行う。今回取り組む薬剤識別業務支援によるタスクシフト・医療インシデントの削減は、「安全、確実、迅速」を特に強く求められる高度急性期病院において重要な課題であるため、群馬大学医学部附属病院のみならず、今回の実証成果を同様の医療タスクを担う病院施設に対して広く発信することで横展開を図る。

現時点では、薬剤の識別精度を向上させる目的で、識別すべき薬剤を専用の装置に投入する運用を提案しているが、将来的には、スマートグラスと画像認識アルゴリズムを組み合わせることにより、専用装置でなくとも薬剤識別を実施する、医療スタッフ視線に併せて医療安全支援をリアルタイムに実施する等のデバイス活用などが期待される。

本実証事業で得られた成果をもとに、ローカル 5G インフラとソリューションをワンパッケージ化し、ネットワークから各種システムを一気通貫で導入・運用をサポートする体制を整え、特に、人口当たりの医療従事者数が少ない都道府県（東京都、埼玉県等）の急性期医療を担う医療機関へ展開することを検討予定である。

(3) ローカル 5G の必然性・必要性

① 病院の環境要件：分散アンテナ型ローカル 5G を用いた病院内ネットワーク網構築

病院ネットワークにおける新規敷設に際しては、病院の通常業務を稼働しながら実施するケースを想定する必要がある。また病棟における無線ネットワーク通信においては、展示会場のような頻回な敷設／撤去が困難であり、長期的な運用要求に応える性能であることが不可欠である。さらに、医療用 IoT の増加に伴う同時接続数容量の確保、ならびにエッジコンピューティングの増加に伴うネットワークトラフィックの増加に対して裕度のある方式を選択することが重要である。

この点に対し、ローカル 5G は、バックボーンネットワークの充実による大容量通信が可能であることから、複数の医療用機器での利用にも耐えられ、病院内ネットワークとして有用であると考えられる。また、病院内の Wi-Fi との干渉影響を考慮しなくてよいため、院内ロボット等の高精度動作制御なども安定して行えるメリットがある。

しかしながら、従来の設置方式では、電波の見通しが良好とはいえない環境への適用に関しては、基地局の複数台設置によって対応しており、敷設費用の増大が横展開の大きな障壁となっている。そこで本実証では分散アンテナを用いることによって、遮蔽物の多い病院という環境での効率的なローカル 5G 利用について検証を行う。分散アンテナ型の設置方式では、従来方式と比較して、基地局からの電波を同軸または光ファイバー変換にて伝達するため、コスト要因である基地局数を削減することができる。また、5GHz-20GHz 帯のような高周波帯の電磁波に特有の、空間伝播における電波の減衰ならびに乏しい回折性の物理的現象を補うための、空間における複数の電波発信源の設置が可能であることを利点としている。本方式は、医療機関のような特に複雑な構造を有するような室内空間における 5G 利用を目的とする場合に有効であると考えられる。

② システム要件：MPSU における自立走行型ロボット及び薬剤認識システムの必要性能

本システムは、病院内の病棟（約 70 メートル）をロボットが安定性を保った状態で自立走行・コミュニケーション等を行うため、有線ではない常時接続が可能な無線ネットワークが必要となる。ロボットが安定的に動作するためには、本来、クラウドサーバとの常時接続がロボット台数分必要であるため（40Mbps/台×ロボット台数）、ローカル 5G の特徴である安定性（他のトラフィックや干渉影響を受けない）・低遅延性が必要となる。

また、本実証では、薬剤認識システムに搭載した上下 2 つのカメラから照明角度、露光時間を変えた複数枚の撮影画像（15MB/枚×6 枚＝90MB を非圧縮送信）をリアルタイムに解析サーバへアップロードする。撮影画像の機械学習推論時における画像処理にあたっては、高解像度かつ複数枚画像のリアルタイム転送が必須であり、より遅延の少ない安定的かつ大容量なネットワークが必要となる。

以上のことから、病院という特殊環境下において、ロボットやシステムが医療従事者の業務を代替し、実運用に耐えうるためには、ローカル 5G の特徴である安定性・低遅延性が必要となる。

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

(1) 実証内容の新規性

医療現場では、医療の高度化と複雑化に伴い、診療行為の確認漏れや情報伝達不足に伴う、患者に影響をもたらす「医療インシデント」の増大が喫緊の課題となっている。中でも、薬剤に関連する医療インシデントは全体の約4割を占める最大の要因であり、発生元は看護師が約8割、薬剤師が約1割を占める。また、コロナ禍により、医療現場における人手不足はさらに深刻化しており、医師から看護師や薬剤師等の医療従事者へのタスクシフトとともに、看護師・薬剤師等自身の稼働削減が強く求められている。

上記課題に着目し、インシデントの原因となっている薬剤の種類増加に対応する「AI技術を用いた薬剤鑑別」の仕組みや、従来、医療従事者である「人」が行っていた業務を「ロボット」へ代替することで、医療インシデントの低減や看護師・薬剤師等の稼働削減（省人化）の実現を目指す。

また、医療現場で考えられるローカル5Gの利活用シーンは、院内外の遠隔診療における高精細な大容量通信による医療サービスの高度化を目的としたものが太宗であったが、今回、ロボットやAI技術といった低遅延通信も活かした、医療従事者の人的稼働の削減等を目的とした内容は過去になく、医療分野におけるローカル5G×ロボット×AI技術を用いた新規性の高い取り組みである。医療従事者である「人」の業務を「ロボット」が代替することで、医療インシデントの低減や医療従事者の稼働削減にチャレンジする先駆的な実証である。特に、ローカル5Gにより、ロボットの安定制御・走行や、様々な種類の薬剤鑑別を行うために、上下2つのカメラから照明角度、露光時間を変えた複数枚の撮影画像をリアルタイムに解析サーバへ伝送し、AIで解析する高難度な内容である。

また、患者が退院後に、病院とかかりつけ薬局の情報連携や、薬局における患者情報（既往歴やアレルギー歴）の参照や服薬確認といった、地域における一気通貫の薬剤トレーサビリティの仕組みを具現化。単に、病院のDX化だけではなく、地域の関連施設間の情報連携により、住民が安心安全に地域に暮らせる地域包括ケアを実現する内容である。

(2) 過年度実証事業との関連性

過年度実証と類似している点は、医療現場における人手不足の知的労働支援技術による解決を行うことである。

過去の医療実証では「人」to「人」の遠隔医療により業務効率化を目指した。しかし本実証は初の「ロボット」to「人」を目標とする。ローカル5Gによる高度なロボット運用、そこにAI/機械判定を実装することで、遠隔操作ではない半自動化ロボを造る。それはタスクシフトによる省人化だけでなく、人的ミスを大きな要因とする「薬剤インシデント」を削減し、導入するだけで医療事故を減らす未来に寄与する。

4.1.4 実証目標

本実証では、薬剤業務支援によるタスクシフト・医療インシデントの削減の実現に向けて、ローカル 5G 環境での薬剤自動認識装置を搭載した自立走行型コミュニケーションロボット等のシステム全体の機能・有効性等の検証を行った。

将来像としてロボットや AI 技術を活用した課題解決ソリューションにより、医療スタッフの業務効率化および心理的負担軽減を実現する医療現場を構築するとともに、インシデントの軽減により患者が安心安全に医療サービスを享受できる姿を実現することを構想している。

これらの将来像を実現するために、今年度の実証においては「医療現場のオペレーションに即した性能評価」に重点を置くこととした。随時状況や利用者（入院患者）が変わる医療現場において実装を目指すためには、現場のオペレーションに即してシステム機能を装備し、検証する必要がある。本実証では、予め薬剤部や看護部にヒアリングを実施し、実際の「患者持参薬の確認」「処方薬の配薬」「服薬確認」「病院・薬局間での情報連携」のオペレーションに合わせて、既存の電子カルテサーバと、本実証システムを連携させたソリューションを構築した。これにより、実証と実運用を切り離さず、一連のオペレーションとして実装に即した評価を行うことを計画した。その上で、以下の内容を実証目標として設定した。

※詳細な検証項目は、「4.3 実施事項」に記述する。

- ・医療現場のオペレーションに即した性能評価

① ローカル 5G 環境下での性能検証

目標数値は医療現場にて確認した実運用に適した精度・性能とした。薬剤自動認識は既存装置のスペック、飲み殻解析は実証医療機関より実運用で許容できるとされた精度・性能の約 2 倍を目標値として設定した。

【ロボットの安定運用】

実証目標：1 回の指示で 1 フロアの 80%以上を安定的に巡回

患者コミュニケーション時の看護師、薬剤師の支援率 20%以下

※巡回目標はナースカートの稼働可能範囲を目安としており、ナースカートを使用した医療従事者と同範囲で活動することを目標とする。

【高速での薬剤自動認識】

実証目標：候補薬剤を 3 秒以内に 5 つの候補に絞り込める確率が 80%以上

10 秒以内に飲み殻解析の結果を返せる確率が 80%以上

② 医療従事者の負担軽減効果の検証

目標設定においては介護ロボット導入に関する職員の賛否比データを参考とした。

否定的な意見は約3割で、要因の多くはロボットとともに働くこと自体に後ろ向きである。データはロボットに対する印象であるが、特にこの議題に関して否定的な意見を持つ方から前向きな意見をとることは難易度が高いと考えている。本実証では参考データと同様に、ロボット及び薬剤鑑別システムの利用に対して前向きな意見（システムを利用することで時間的・心理的負担の軽減を実現できる）を70%以上得ることを目標とする。

参考元データ：<https://fukushi-job.jp/lab/archives/4712>

【ロボット及び薬剤鑑別システムの有用性評価】

実証目標：各ユースケースにおいて、看護師・薬剤師の時間的・心理的な負担軽減を感じる方が70%以上

③ 医療機関におけるネットワークの敷設性の評価

本実証では、分散アンテナを用いて、医療機関という障害物や遮蔽物が多い環境下でも効率的なエリア設計を実施し、尚且つWi-Fi6を用いた場合との性能評価を実施する。この検証結果を今後の医療機関におけるネットワーク設計のベンチマークとすることも目標として設定した。具体的な評価項目としては通信の安定性試験として15秒ごとの疎通確認を1時間通して実施し、疎通可能数を比較する。また、アプリケーションへの影響としてロボットの自動地図作成機能をローカル5GとWi-Fi6の両方で実施し、作成された地図情報データの内容に差分があるか（部屋の構造を正しく認識できているか、障害物を認識できているか等）を比較する。

以上の目標を達成することにより、群馬大学医学部附属病院での実装及びその他の病院への横展開が可能と考える。実現するための手段、体制、時間軸としては下記を想定している。

R4年度：実証における各システムの機能の評価及び有効性の検証を実施。

利用にあたっての現場からの改善点を可視化。

R5/6年度：R4年度実証結果にて明らかになった課題の解消に向けた機能改善。

MPSUのソフトウェア、インターフェイスに関する改修を想定。

R7年度：改修したソフトウェア、インターフェイスにて実証病棟での実装。

別病棟にて検証開始。

R8年度：他の医療機関への横展開に向けた商品開発、販売戦略の開始。

販売時全病棟カバーできるようアクティブDASでのパッケージを想定。

R9年度：MPSUファーストユーザー獲得し、本格的な横展開開始。

※院内カルテ参照/トレーシングレポート送信システムは、R5年度より実装し別時間軸でビジネスモデルを検討していく。

4.2 実証環境

本実証は、群馬大学医学部附属病院（群馬県前橋市昭和町三丁目 39-15）内の北病棟 2F において「巡回ロボット／薬剤自動認識装置システム」「服薬トレーシングレポートシステム」の実証を行う。また、「服薬トレーシングレポートシステム」で連携する院外薬局として、同愛会薬局（群馬県前橋市昭和町 3 丁目 11-13 関越交通タクシービル）を実証フィールドとした。

<群馬大学医学部附属病院北病棟および院外薬局 実証フィールド>



図 4-17 群馬大学医学部附属病院北病棟および院外薬局

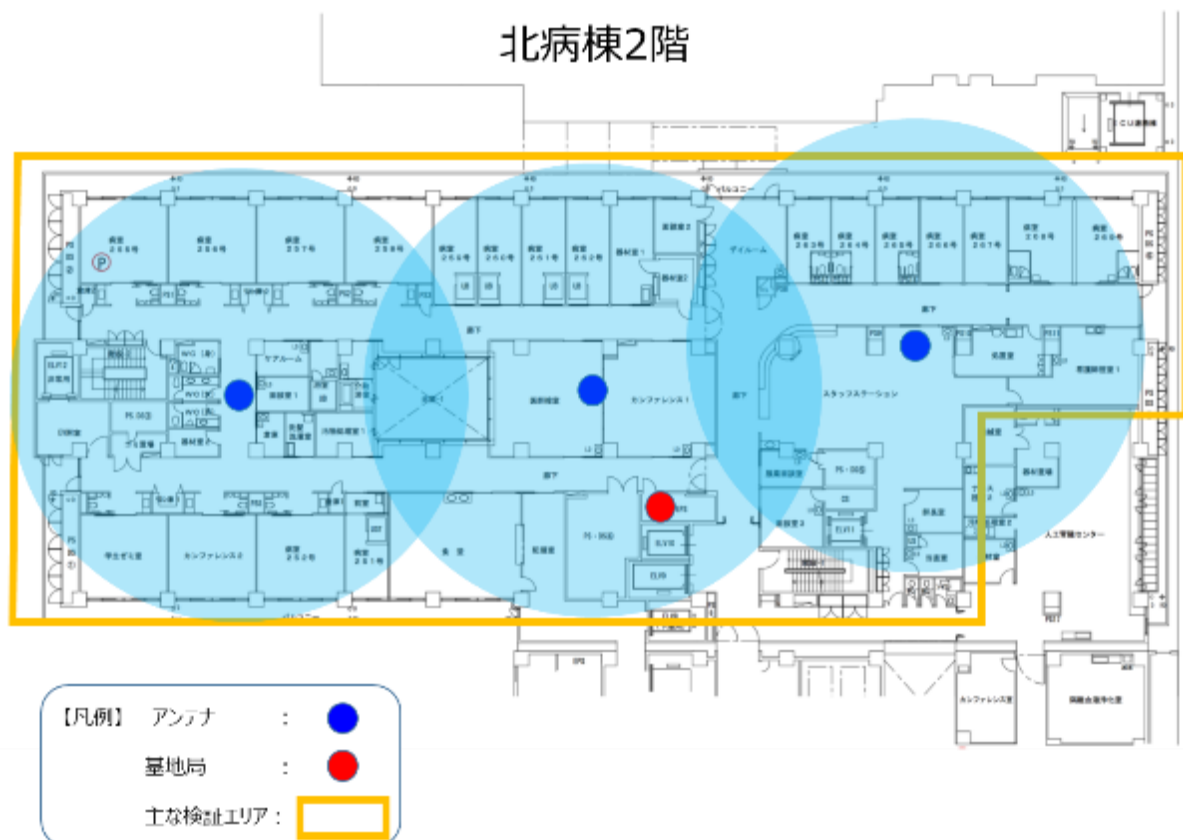


図 4-18 群馬大学医学部附属病院北病棟 2F

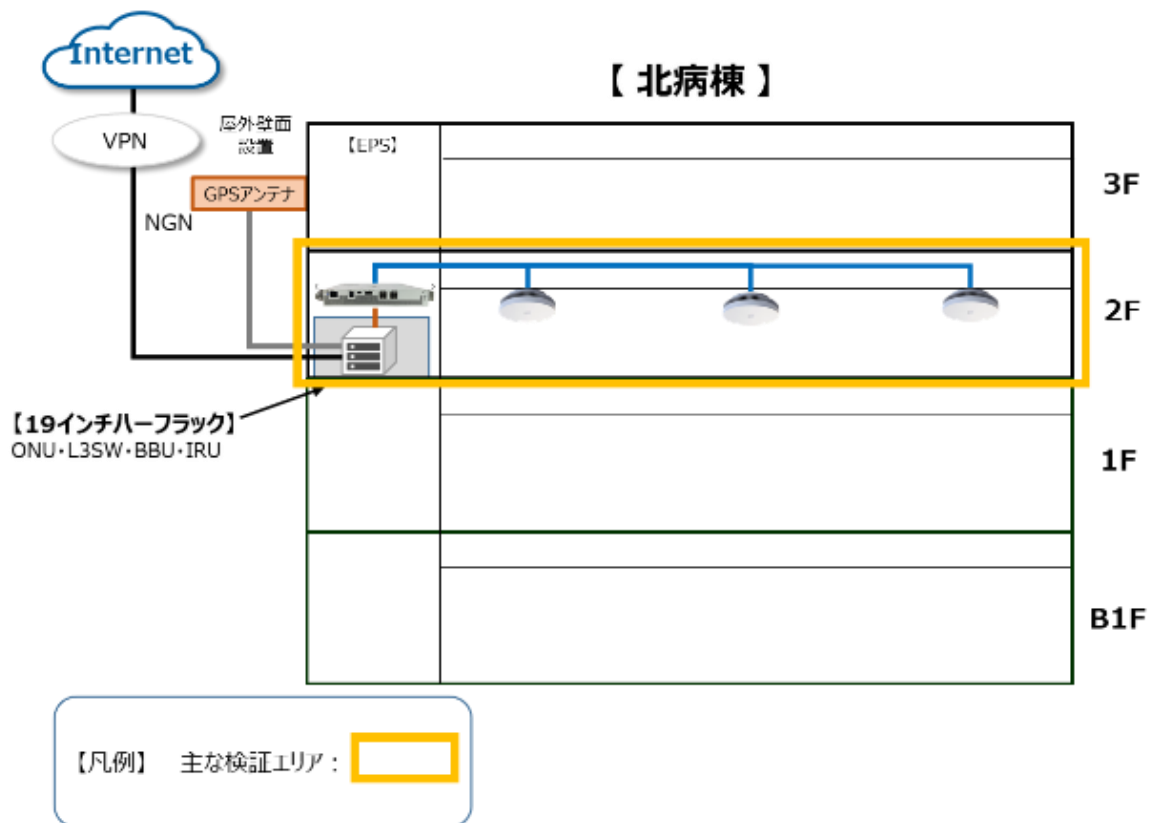


図 4-19 群馬大学医学部附属病院北病棟 2F

4.3 実施事項

本実証を行うにあたり、各システムの AI 学習やシステム連携のためのインターフェイス改修、筐体の改修を行った。

<飲み殻画像解析>

本実証にて機能・効果を検証するにあたり、飲み殻画像解析システムとしては以下の表 4-1 に記載の 11 種類の薬剤について事前の学習を行った。事前学習に用いた薬剤の量は 100 錠ずつとした。

表 4-1 飲み殻解析対象薬剤及び事前学習量

アムロジピン OD 錠 5mg 「明治」	100 錠
デエビゴ錠 5mg	100 錠
ネキシウムカプセル 10mg	100 錠
ネキシウムカプセル 20mg	100 錠
プレドニン錠 〈5mg〉	100 錠
フロセミド錠 20mg 「武田テバ」	100 錠
ミヤ BM 錠	100 錠
ランソプラゾール OD 錠 15mg 「武田テバ」	100 錠
レバミピド錠 100mg 「オーツカ」	100 錠
ロキソプロフェン錠 60mg 「EMEC」	100 錠
酸化マグネシウム錠 330mg 「ヨシダ」	100 錠



図 4-20 飲み殻解析対象薬剤

飲み殻解析の画像撮影はタブジャッジで行うが、一律の明るさで撮影するわけではなく、露光時間を 50,000・200,000・250,000・400,000 の 4 種類に分けて撮影し、その内、50,000・200,000・250,000 を HDR 画像処理に使用している。学習過程においては 1 錠分の飲み殻に対しても露光を変えた状態の複数枚の画像を利用し、認識精度を高める工夫を行った。



図 4-21 タブジャッジ撮影画像 下リング照明



図 4-22 タブジャッジ撮影画像 下間接照明



図 4-23 タブジャッジ撮影画像 上リング照明



図 4-24 タブジャッジ撮影画像 上間接照明

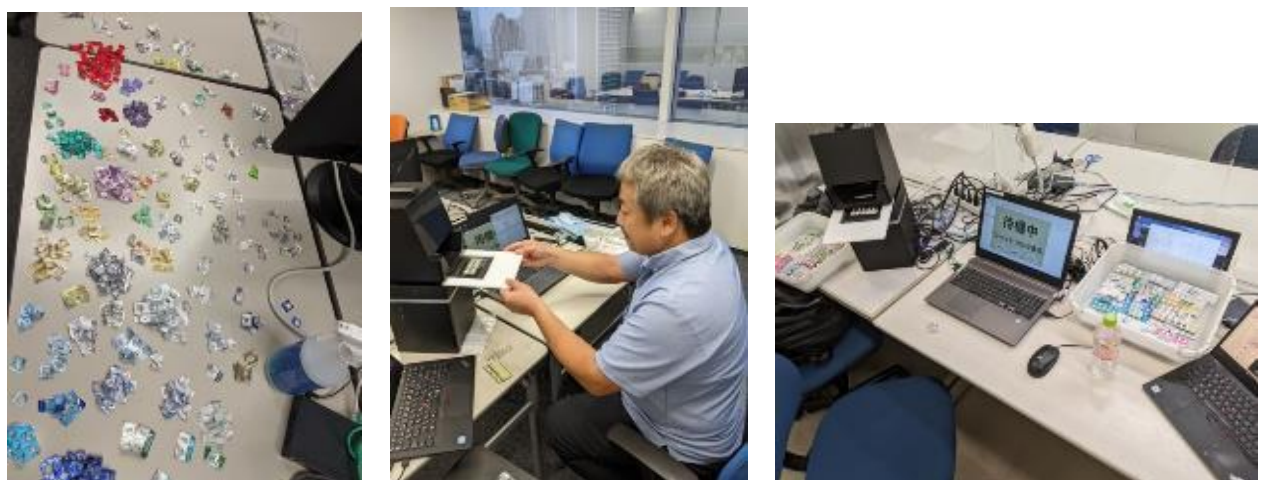


図 4-25 タブジャッジにて PTP シート、飲み殻の事前学習・撮影作業

薬剤名および飲み殻の判定には色統計情報による識別を使用する。表・裏をセットにして色情報の統計値を出して識別判定に利用する。色のみ(histogram)で類似度を判定すると、全く学習などをせずにヒストグラム比較のみで 0.75 程度の精度となった。薬剤名判別+殻判定モデルとうまくアンサンブルできるかどうか検証したが、あまり違いがなかったため現在は無効化している。

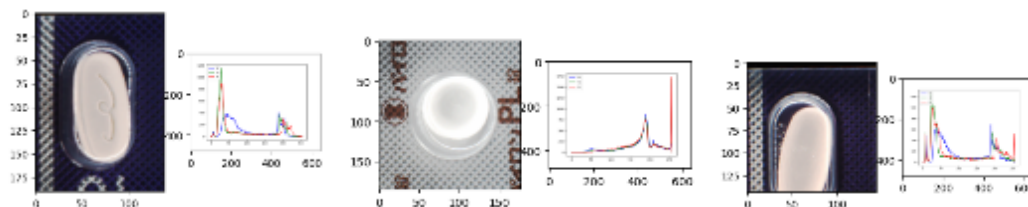


図 4-26 ヒストグラム判定例

薬剤名判定+飲み殻判定の学習状況を可視化すると以下の通りとなる。

図 4-27 は「薬剤名判定+殻判定」のモデル評価（学習状況の可視化）を可視化したものである。

縦軸は損失値を表し、損失を表す縦軸が 0 に近づくほど精度が高いと言える。横軸はエポック数といい、繰り返し回数を示す。青のグラフが学習時の結果を表し、オレンジのグラフが学習したモデルを評価したときのものである。青グラフはエポック数（学習の試行回数）が増えれば増えるほど損失値が 0 に近づいており、今回のモデル学習がうまくできていったと評価できる。オレンジのグラフは青グラフとは異なるデータ（写真）を使って評価した結果を表している。学習データと異なるデータでも正しく判定できており、汎化性能が高い（ロバスト性がある）判定システムとなっていることがわかる。

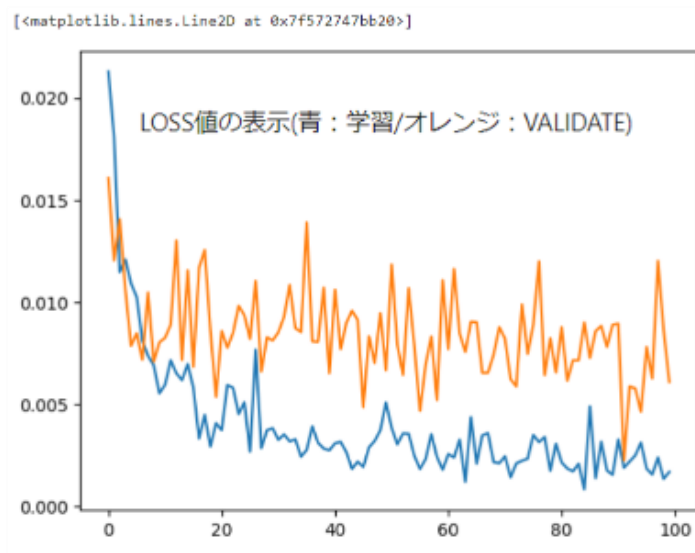


図 4-27 薬剤名判定+殻判定における損失グラフ

図 4-28 は薬剤判別システムに機械学習に用いた距離学習の結果を仮想的に可視化したものである。縦軸・横軸は特定の単位ではなく距離を表している。距離学習とは、個々の異なる薬剤（ターゲットとなる分類）が、均等に距離が離れていることをもって分類し、モデルが個々の薬剤の違いを認識し、同じ薬剤は近くなるように、異なる薬剤は遠くなるように構築する。図 4-28 のとおり、本実証の学習結果は、クラスとクラスの間がおおよそ均等に離れており、精度の高いシステムとなっていると判断できる。

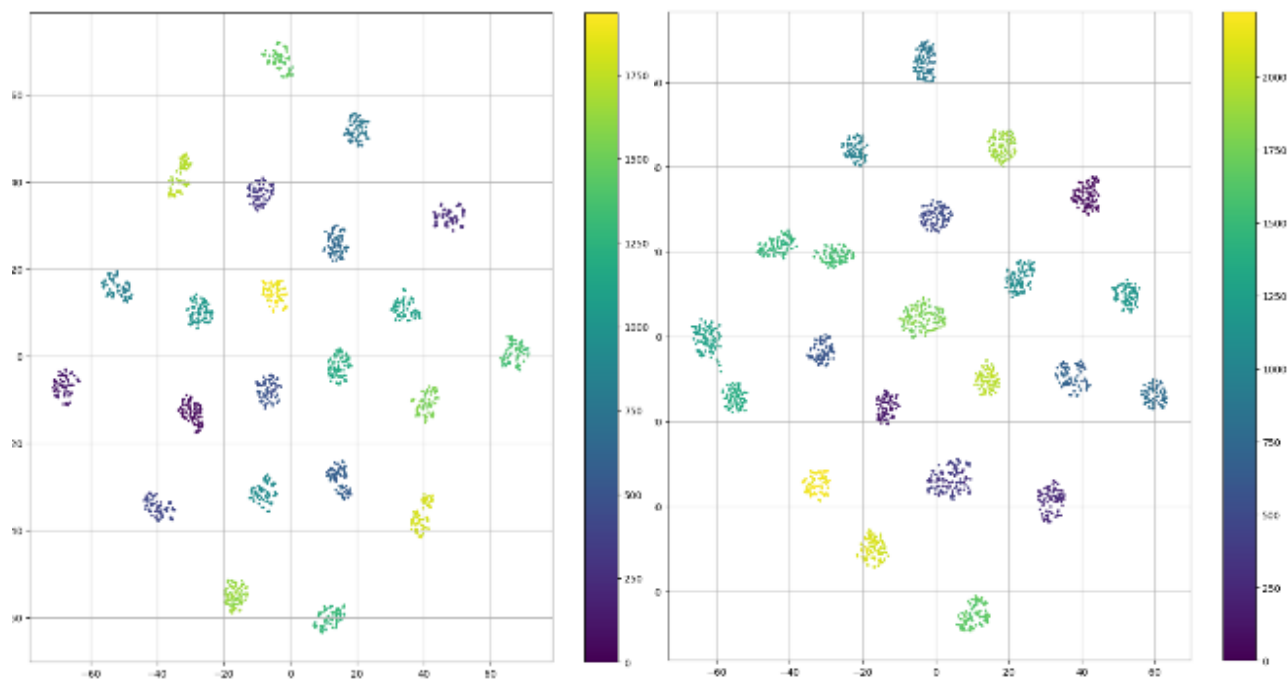


図 4-28 薬剤の埋め込みベクトルを二次元へ投射した仮想モデル（左：表面/右：裏面）

学習及び解析の際には薬剤及び飲み殻を 1 個体ずつに認識・抽出し、1 個体ごとに識別する。

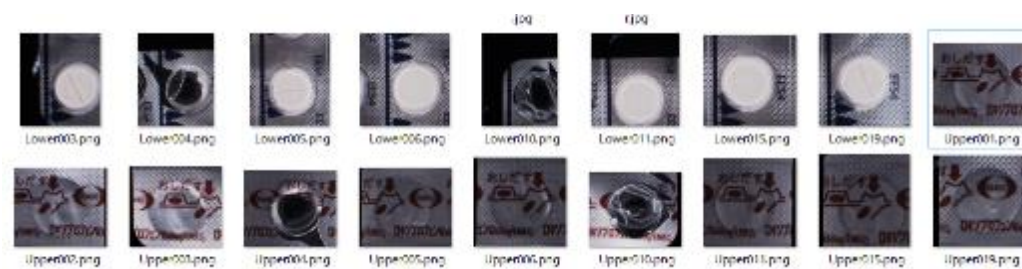


図 4-29 薬剤・飲み殻の 1 個体ずつの抽出イメージ

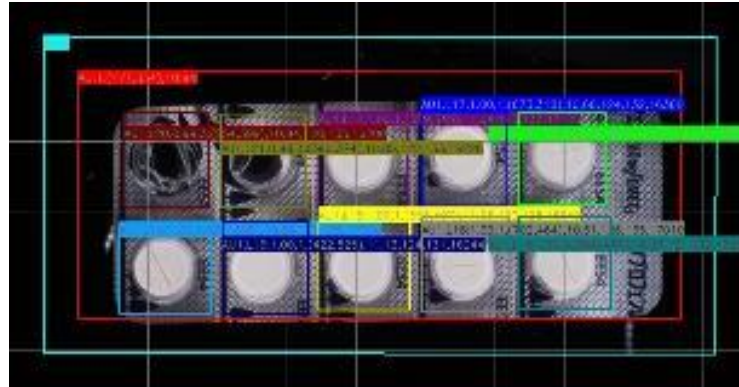


図 4-30 1 個体ごとに識別しているイメージ

システムの一連の機能・内部構造を図にしたものが以下の図 4-31 である。なお、以降タブジャッジと他システムのソフトウェア上の連携についてはタブジャッジのことを「ユヤマシステム/ユヤマサーバ」と表記する。API/Controller にてユヤマシステム/ユヤマサーバ「からの解析リクエストを受けて『1 個体の認識+1 個体の抽出モデル』および『薬剤名判別+殻判定モデル』をコントロールし処理する。

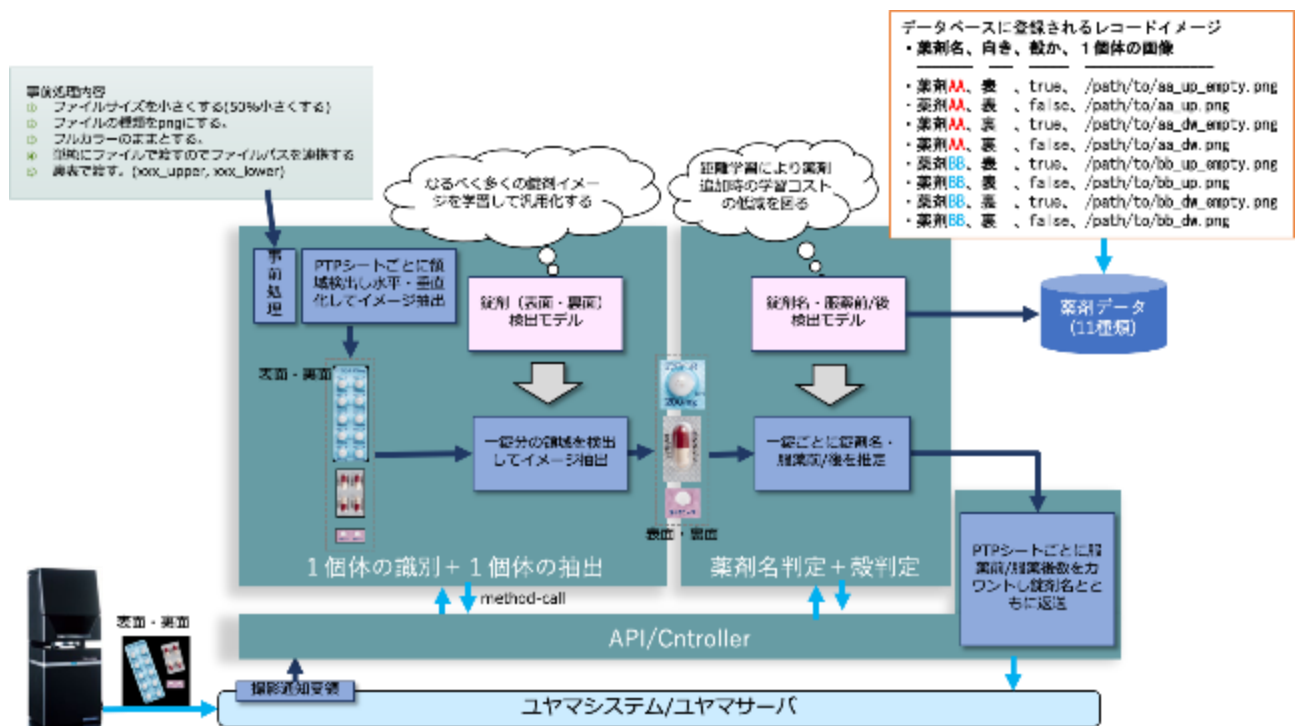


図 4-31 システム概要図の内部構造イメージ図

タブジャッジ等、周辺システムとの連携のために本実証において以下の通りインターフェイスの定義を行った。

<div>■ (仮) 画像解析リクエスト</div> <div>path http://<ウルサーバ①> >:port/path/to/request/recognize</div> <div>method POST</div> <div>headers Accept: application/json Content-Type: application/json; charset=UTF-8 X-gl5g-sharedkey: b31d032cfdcf47a399990a71e43c5d2a</div> <div>body { "images": [{ "src": "http://<ウルサーバ①>/images/0001.jpg", "condition": { "cameraPosition": "top or bottom", "lightBrightness": "1500000", "lightingPosition": "bottomRing", } }, { "src": "http://<ウルサーバ①>/images/0001.jpg", "condition": { "cameraPosition": "top or bottom", "lightBrightness": "1500000", "lightingPosition": "bottomIndirect", } }], }</div>	<div>■ (仮) 画像解析レスポンス</div> <div>Code 200</div> <div>headers Content-Type: application/json; charset=UTF-8</div> <div>body { "recognizeCount": 3 "recognizeImage": "http://<ウルサーバ①>/result/01.jpg" "result": [{ "name": "セルベックスカプセル50", "confidence": "0.97123", "takingCount": 3 "allCount": 20 }, { "name": "グリミクロン錠40", "confidence": "0.47123", "takingCount": 19 "allCount": 20 }, { "name": "メチコバール500", "confidence": "0.37123", "takingCount": 0 "allCount": 20 }] }</div>
--	--

図 4-32 ユヤマサーバとの IF 定義 (仮)

1 個体の識別+1 個体の抽出機能におけるシーケンス図は図 4-33 のとおりである。このモデルでは、物体検出（与えられた画像の中から目的の物体を探し当てる）を行う。物体検出モデルは推論速度と精度の両方が高い FasterRCNN (backborn:resnet) を総合的に判断し選定する。

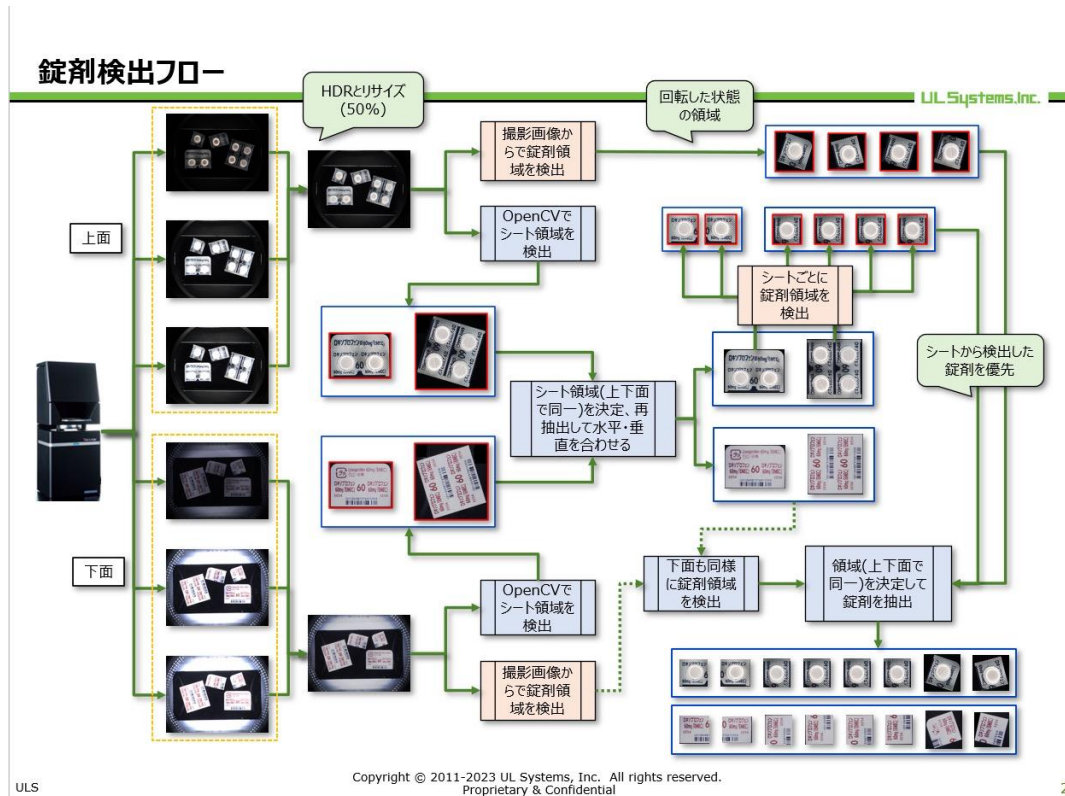


図 4-33 錠剤の1個体検出フロー

薬剤名判定+飲み殻判定機能のシーケンス図は図 4-34 のとおりである。このモデルでは、物体認識物(与えられた画像に写っている物体を分類分けすること)を行う。今回は日々追加される可能性が高い薬剤という特性上、再学習のコストを極力抑えることができる距離学習モデルを選定した。距離学習モデルは、実際に撮影した薬剤を使い評価した上で精度の高い Triplet Network (backbone: efficientnet) モデルを選定している。薬剤名判別モデルでは Tesseract OCR を組み込み、類似度を算出する。

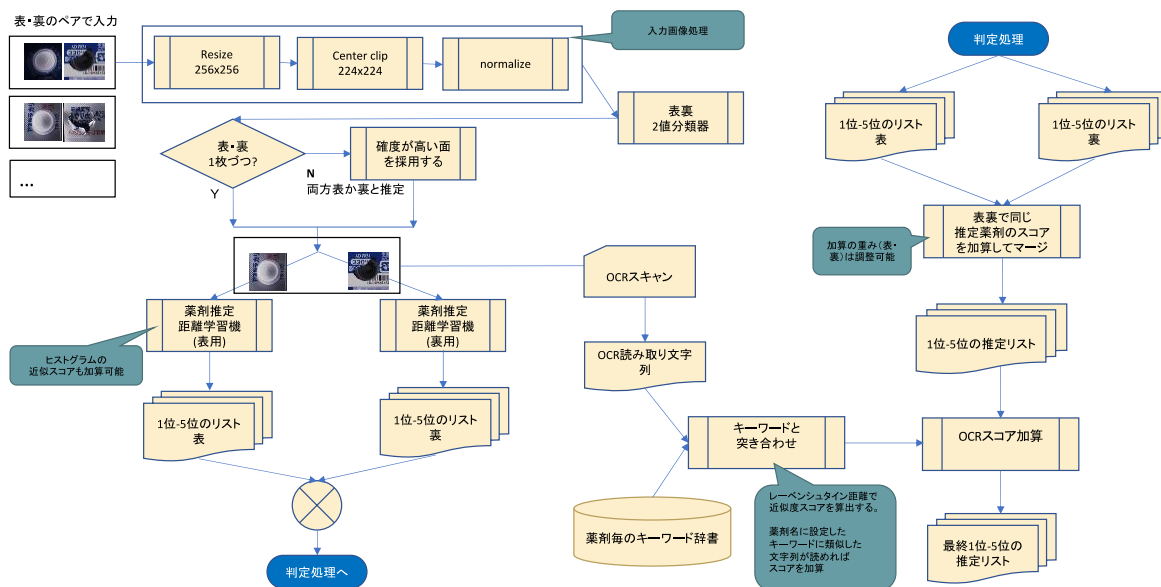


図 4-34 判定機能シーケンス図

システムの判定処理における推論時間と推論回数は以下の図 4-35 の通りである。

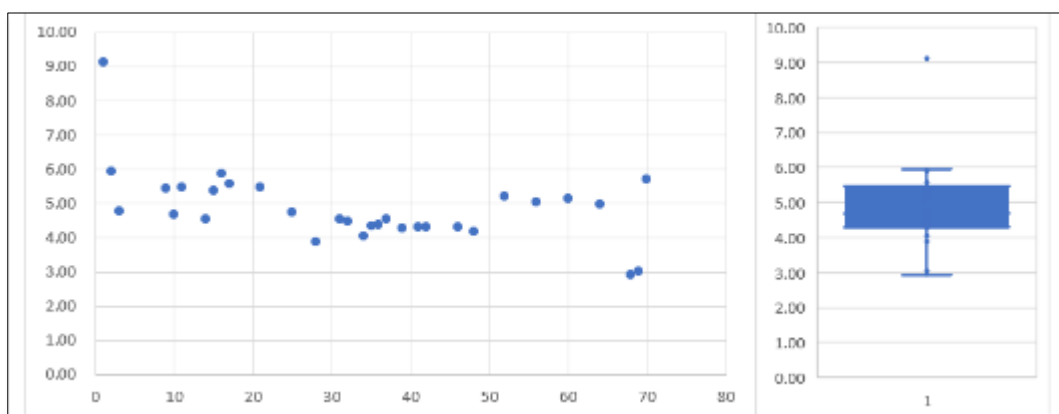


図 4-35 推論時間(秒)と推論(思考)回数

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

本実証を通じてローカル 5G を用いたソリューションについて評価・分析し、実証病院での継続利用及び、他病院への展開につながる機能について検証する。

1) 検証項目

【巡回ロボットの性能テスト】

・地図の自動学習テスト

病棟という環境下において、ロボットが自動学習のみで病棟内の地図情報の学習が可能か、また導入の際に専門知識が無い者でもロボットの巡回機能を使うことが可能かを検証し、実運用を見据えた性能テストを目的とする。また、Wi-Fi6 で実施した場合との精度比較も行う。

・巡回性能のテスト

「病室巡回」業務をどの程度ロボットにタスクシフト可能かを検証する。今回のテーマである薬剤関連の補助に限定せず、ロボットの巡回性能を計測することを目的とする。

なお、当初は1回の指示で巡回可能な病室数を検証することを計画していたものの、新型コロナウイルスの感染状況も鑑み、病室間を移動する際はロボットの消毒を行うという運用ルールを追加したため検証項目から除外した。

・コミュニケーションテスト

ロボットと患者がコミュニケーションをする際に、人（医療従事者）の支援がどの程度必要となるかを検証する。医療現場において、ロボットにタスクシフト可能なコミュニケーションの内容や項目の整理を目的とする。

【薬剤自動認識装置の性能テスト】

・薬剤名特定のテスト

刻印・印刷が見えている1つの薬剤に対して、3秒以内に、5つ以内の候補が表示される確率を検証する。（目標値：80%以上）

医療現場の実運用に適した精度・性能が発揮できるかを確認することを目的とする。

・飲み殻解析の性能テスト

薬剤自動認識装置で撮像された飲み殻画像に対して、服薬の推論結果を迅速に出せるかを検証する。（目標値：10秒以内）

医療現場の実運用に適した精度・性能が発揮できるかを確認することを目的とする。

・追加学習メンテナンスのテスト

実装後、医療機関で飲み殻画像を追加学習させる場合に、どの程度時間を要するのか、人による作業時間、ロボットの学習時間を計測する。

今後の普及に向けて必要な性能値を算出することを目的とする。

2) 検証方法

【巡回ロボットの性能テスト】

・地図の自動学習テスト

複数回地図自動学習を行う。学習テストは連続して行わず、障害物などのレイアウトが類似していない環境で実施する。学習能力の性能検証の他、医療現場においてロボットが認識不可能な特有の障害物等がないか含めて確認を行う。

・巡回性能のテスト

1回の指示で巡回件数のエラーが発生するまで負荷テストを行う。機械エラーのみではなく、ロボットや装備機器の充電切れ等も性能限界として扱う。1回の指示で、全病室を複数回にわたって巡回できた場合には、その件数を性能仕様とする。

※実証病棟は、他の病院病棟と比較して病室数、病床数に大きな差異はない。

・常時接続のテスト

ロボットの常時接続性の検証を行う。ローカル 5G 環境下における、安定的な走行や安定したコミュニケーションの確認を目的とする。

・コミュニケーションテスト

患者とのコミュニケーションが発生する服薬前後のシチュエーションにおいて、ロボットの音声出力内容を定めた運用シナリオを作成し、検証を行う。

患者がロボットとのコミュニケーションだけで（人を介在せずに）目的とする行動を行えたかどうか、また人が介在した場合には、どのような支援内容によって目的の行動を行うことができたかをシチュエーションごとに確認する。

【薬剤自動認識装置の性能テスト】

・薬剤名特定のテスト

薬剤の種類による分析と考察を行う。判別までの速度に関する目標値は目安とし、現場での使いやすさを主眼に分析・考察を行うものとする。また、判定結果の精度についても現場での運用が可能な精度が出ているか検証を行う。

・飲み殻解析の性能テスト

特定する薬剤は「PTP シート」であることとし、11 種類でテストを行う。一包化されているものは対象外とする。

薬剤ごとの解析時間、11 種類の平均解析時間の算出を行う。結果を踏まえ、飲み殻確認の

半自動化の実現可能性について分析・考察を行う。

- ・追加学習メンテナンスのテスト

専門スキルを有する者が学習させたものと同程度の学習を、医療機関で行うことを想定した検証する。

1 種類の薬剤を追加した場合に必要な人的作業内容とその時間、またロボットの学習時間を確認し、実装後のメンテナンスに係る労力と時間の性能値を算出。目標値の達成でなく、現場での使いやすさを主眼に分析・考察を行う。

3) 検証結果及び考察

【巡回ロボットの性能テスト】

- ・地図の自動学習テスト

病棟という環境下において、ロボットが自動学習のみで病棟内の地図情報の学習が可能か、また導入の際に専門知識が無い者でもロボットの巡回機能を使うことが可能か検証を行った。まず最初にロボットの地図情報の自動学習について、本実証フィールドである病棟全体を走行させ、地図情報の自動学習精度を検証した。

1) 病棟全体地図の作成

ロボットを追従モードとして動作させ、人の後ろをロボットが走行することで対象エリアを移動し、ロボットがカメラにて部屋の構造や障害物を自動認識することで地図の自動学習を行った。



図 4-36 ロボットが追従モードで移動する様子

自動学習させた結果が図 4-37 である。感染症対策のため一部病室には入れなかったが、それ以外の病

室は概ね学習できたと評価できる。個室である 259、260、261 の病室はベッド 1 つ分のエリアが障害物として判定され、その部分が白抜きの地図として反映されている。また、大部屋の 254 の病室においてもベッド 4 台分がちゃんと認識されている。一方、253 病室のようにベッドの認識ができていない病室もあった。これは地図作成の作業時にベッド間にカーテンが引かれており、カーテンそのものを壁（障害物）として認識してしまったと考えられる。これらの結果から、概ね自動学習で問題はないものの地図作成の条件整理と障害物の認識に一部課題が残った。

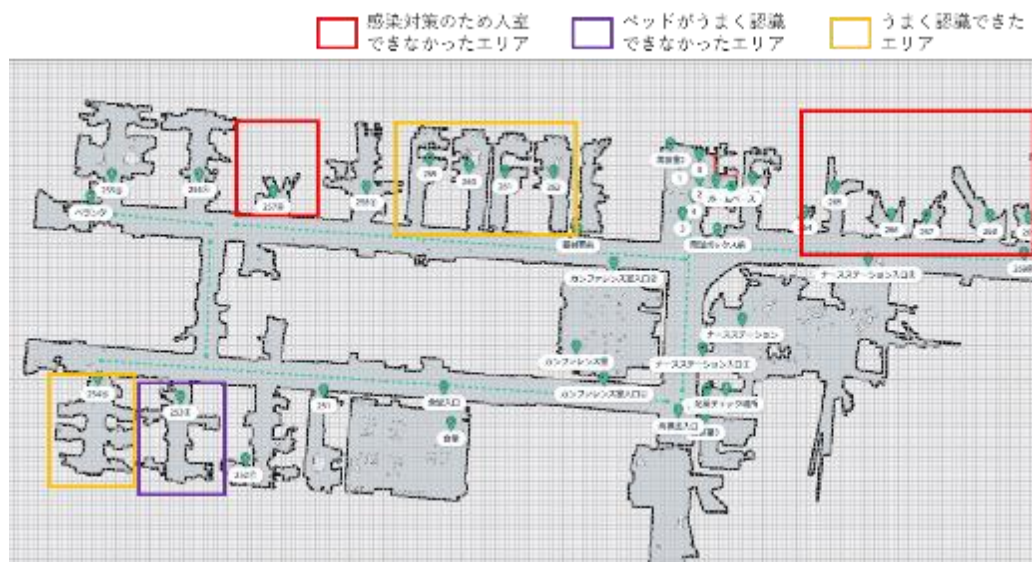


図 4-37 アウトプットイメージ（地図の自動学習テスト）

また、ベッドの認識以外にもガラスの認識にも一部課題があることもわかった。カーテンとは逆にガラスに対しては障害物認識をせず、進行エリアと認識してしまった。地図作成にはカメラを利用しているため、ガラス等透過する素材に対しての自動学習では限界があると考えられる。対策としては自動学習後に地図上で仮想ウォールを設定する必要があるということがわかった。



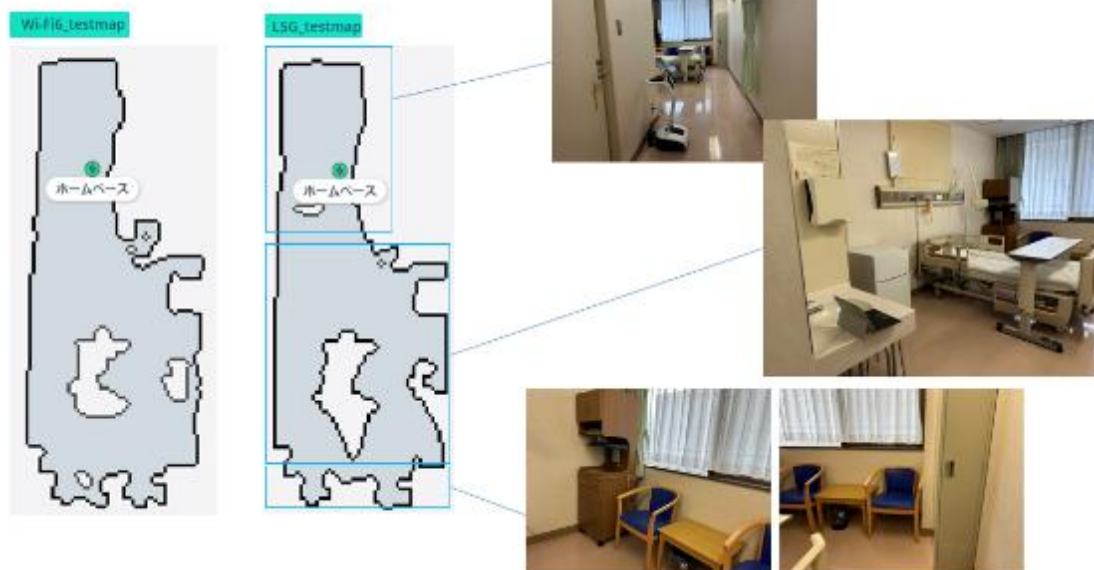
図 4-38 ガラス面への進行の様子（病棟電話ボックス前）

これらの検証結果から、システム上は特定の障害物の認識に課題が残るものの、追従モードで対象エリアを学習させるという工程については専門性を必要とせず、病院関係者でも実施可能と判断した。

2) Wi-Fi6 とローカル 5G での地図作成の比較

実証フィールドの病棟内で院内インフラとして利用されている Wi-Fi6 でも地図の自動学習を行い、ローカル 5G で運用した場合の地図精度を比較した。障害物の認識に多少の差が発生したものの、部屋の構造等はどちらも同程度に作成できており、ネットワークによる明確な差分は確認できなかった。これらの結果から、地図自動作成の工程においては十分な時間をかけてロボットを巡回させられたかどうか最も影響する要素であることがわかった。

Wi-Fi6とローカル5Gでの比較（260号室 個室）※2023/1/6



Wi-Fi6とローカル5Gでの比較（食堂）※2023/1/13

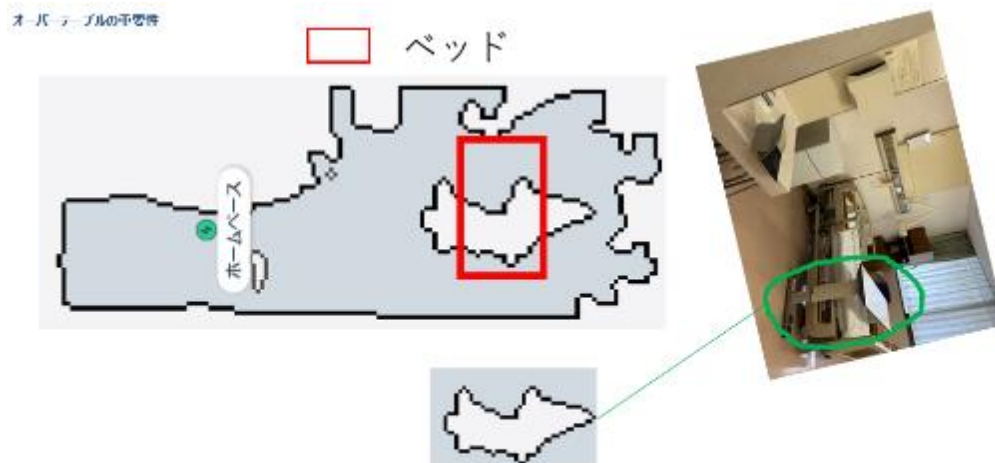


図 4-39 ローカル 5G と Wi-Fi6 での地図作成の比較

3) オーバーテーブルの重要性

地図作成における障害物の認識の点で、ベッドよりもオーバーテーブルのほうがはっきりと障害物認識されることがわかった。以下の図のとおり、本来ベッドがある位置を赤枠で囲っているが、この部分は障害物認識されていない。一方、ベッドを覆うように設置しているオーバーテーブルについてはかなりの精度で障害物認識していた。この原因として、ベッドは足元の空間が大きいいため、今回の実証ロボットの高さ（目線）からすると空いているスペースとして認識してしまったと考えられる。オーバーテーブルは足の部分がしっかり認識されていたため、ロボットでも認識できたと推測している。

今後の横展開のことを考慮すると、汎用品である本実証ロボットのハード面での改修は難しく、ベッドの認識率向上に向けてはオーバーテーブルを一つの指標とすることも検討していきたい。



ロボットが認識できているのは、ベッドではなくオーバーテーブル

図 4-40 ベッドとオーバーテーブルの認識の違い

なお、オーバーテーブルを指標とする際にも、片足タイプではベッド同様、十分に認識できない可能性があるため、運用面では両足タイプのオーバーテーブルが望ましいと考える。



利便性が高いのは片足タイプだが、本ソリューションでは両足タイプのほうが好ましい。

図 4-41 運用上望ましいオーバーテーブルの形状

・巡回性能のテスト

「病室巡回」業務をどの程度ロボットにタスクシフト可能かを検証するため、各走行シナリオでの評価シートを作成した。下記のようなシナリオ画面ごとに、巡回性能の評価シートを作成し、医療現場に適した巡回業務について検証する。



図 4-42 シナリオ例

シナリオについては、持参薬/配役確認、服薬前確認、服薬後確認の3パターン作成し、いずれのシナリオに対しても医療スタッフ、患者とロボットとのコミュニケーションでのトラブルは発生しなかった。この結果から、これら3業務については一定の条件下（患者がロボットの指示を認識し対応できる等）において、人と人との業務から人とロボットとの業務へのタスクシフトが可能であると考えられる。

・常時接続のテスト

ローカル 5G 環境下における、安定的な走行や安定したコミュニケーションの確認を目的としてロボットの常時接続性の検証を行った。また、比較対象として院内インフラとして整備されている Wi-Fi6 でも同様の試験を行った。

試験方法としては 15 秒に 1 回の通信確認による定点観測を 1 時間連続で実施し、疎通確認が取れた回数で比較を行った。なお、計測時はロボットを走行させず、定位置での測定とした。

結果としては Wi-Fi6 では疎通確認が 155/240(約 65%)、ローカル 5G では疎通確認が 224/240(約 93%) となり、ローカル 5G のほうが安定性を確保できると言える。

自動地図作成機能においてはローカル 5G と Wi-Fi6 ではアプリケーションへの影響は見られなかったが、追従モードではなくロボットの自立走行で病棟内を動かすことを考慮すると、通信の安定性は重要な要素となるため、ローカル 5G と Wi-Fi6 の比較ではローカル 5G のほうが本実証システムの運用ネットワークとして適していると判断した。

表 4-2 疎通試験結果（抜粋）
結果
(最大 240)

結果
(最大 240)

Wi-Fi6		155/240	L5G		224/240
January 14, 2023 at 10:01AM	1		January 14, 2023 at 02:01PM	1	
January 14, 2023 at 10:02AM	2		January 14, 2023 at 02:01PM	2	
January 14, 2023 at 10:02AM	3		January 14, 2023 at 02:01PM	3	
January 14, 2023 at 10:02AM	4		January 14, 2023 at 02:01PM	4	
January 14, 2023 at 10:02AM	5		January 14, 2023 at 02:02PM	5	
January 14, 2023 at 10:03AM	6		January 14, 2023 at 02:02PM	6	
January 14, 2023 at 10:03AM	7		January 14, 2023 at 02:02PM	7	
January 14, 2023 at 10:03AM	8		January 14, 2023 at 02:03PM	8	
January 14, 2023 at 10:03AM	9		January 14, 2023 at 02:03PM	9	
January 14, 2023 at 10:03AM	10		January 14, 2023 at 02:03PM	10	

・コミュニケーションテスト

ロボットと患者がコミュニケーションをする際に、人（医療従事者）の支援がどの程度必要となるかを検証するため、服薬前確認と服薬後確認の運用パターンごとにシナリオを作成した。

ロボットから音声アナウンスを流すタイミングとしては移動中及び「薬剤をセットする」など患者がシステムに対してアクションを行うタイミングとした。



図 4-43 服薬前確認シナリオ (抜粋)

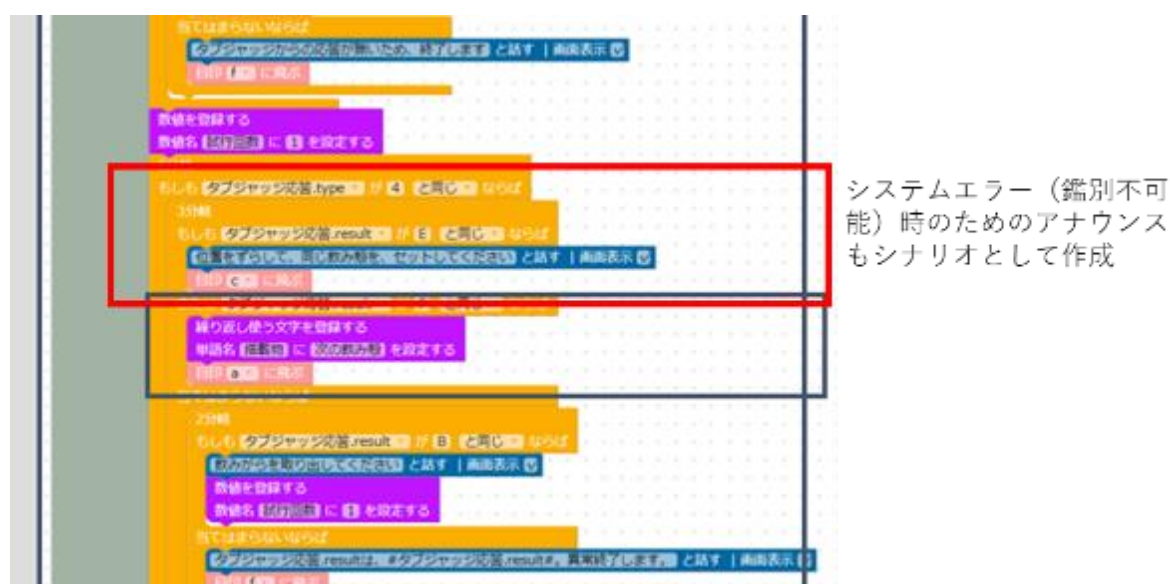


図 4-44 服薬後確認シナリオ (抜粋)

薬剤を患者自らが管理している場合、薬剤をセットするといったアクションは患者自身で行ってもらうことになるため、力があまりなく、電子機器が苦手な方でも操作できるように、患者ヒアリングにおいて操作の分かりやすさに関する難点がないかも確認した。

また、万が一葉が間違っていたといった不測の事態が生じた場合のことも想定し、ナースコールで職員に連絡するよう指示するシナリオも作成した。

以上の検討シナリオに沿って本実証に協力いただいた患者にて操作してもらったところ、以下の表のような意見が上がったが、概ねトラブルがなく利用できるという結果を得られた。

表 4-3 シナリオ検証結果

種別	検証患者人数	利用者及び医療従事者からの意見
持参薬確認	4 名	<ul style="list-style-type: none"> ・使いこなせば持参薬鑑別に関わる時間は 50% 短縮可能かもしれない（病棟薬剤師） ・薬を戻す際にも音声アナウンスが欲しい ・鑑別の待ち時間が長い
服薬前/服薬後確認	2 名	<ul style="list-style-type: none"> ・一連の動作に対して特に支障なし ・医療従事者の補助なくとも利用できる

この結果から、一定の条件下（患者が音声アナウンスを聞き取り、自発的に動作できる等）では医療従事者の支援なくロボットとのコミュニケーションを図れると考える。

【薬剤自動認識装置の性能テスト】

1) 服薬前確認/持参薬確認/配薬確認の性能テスト

医療現場の実運用に適した精度・性能が発揮できるかを確認することを目的として、刻印・印刷が見えている 1 つの薬剤に対して、3 秒以内に、5 つ以内の候補が表示される確率を検証した。（目標値：80% 以上）

〈検証概要〉

検証期間：2023 年 2 月 1 日～3 日

検証協力者：患者 3 名、薬剤師、看護師

検証工程：服薬前確認

対象薬品：患者 No. 1 14 種類

患者 No. 2 PTP シート 3 つ、一包化 7 錠

患者 No. 3 8 種類 8 分

〈検証結果〉

本項目で目標としていた薬剤鑑別結果表示 3 秒以内に対しては全 6 回の試験中 3 回の達成であり、50%という結果となった。目標達成しなかった 3 回のうち 1 回は 4 秒と、限りなく目標値に近い数値ではあった。残りの 2 回は 9 秒と 16 秒であり、大幅に目標値を超えているが、内容としては持参薬確認と配薬確認における一包化状態での識別だったため時間がかかったと考えられる。服薬前確認の患者を待たせないという観点では 4 回中 3 回は 3 秒以内で識別できていることから現時点の性能でも十分に現場での運用に耐えられると考える。時間のかかった一包化状態での識別については現場の手作業での確認と比較し、運用を含めて評価したい。

鑑別精度については平均すると 78%の目標達成率となった。達成しなかった 3 回のうち 2 回は一包化された薬剤であり、速度と合わせて精度についても向上に向けた改修が必要と判断した。残りの 1 回（2023/2/2 15:12 大部屋女性 6 錠）の精度は 16%と著しく低い結果であった。このエラー内容を確認すると 1 種類のみ鑑別できたものの、その他の薬については投入時の薬の向き（印刷面が上向きになっていない）や薬の汚れが原因と考えられる。中には原因不明のものもあり、引き続き鑑別精度向上に向けた学習が必要であると判断した。

表 4-4 薬剤自動認識装置の性能テスト

日付	時刻	実験種類	操作対象者	薬品種類	時間単位はすべて[分:秒.ミリ秒]									トータル時間
					タブジャッジ 鑑別精度	病室移動 時間	薬品セット 時間	撮影時間	転送時間	タブジャッジ 識別時間	鑑別操作 時間	薬品取出 時間	ホーム 移動時間	
2022/2/1	15:00	持参薬の確認	薬剤師	3錠 (一包化)	66%			00:01.9	00:26.1	00:09.0	03:52.0			04:29.0
2022/2/2 (昼食)	10:47	服薬前の確認	個室男性	1錠	100%	01:30.0	00:26.5	00:02.2	00:04.9	00:02.0	00:21.2	00:46.1	03:12.0	06:24.9
	10:57	服薬前の確認	大部屋女性	3錠	100%	02:28.0	00:48.8	00:02.1	00:05.7	00:04.0	00:26.8	00:16.1	02:56.0	07:07.5
	15:12	服薬前の確認	大部屋女性	6錠	16%	02:35.0	01:01.8	00:01.9	00:04.6	00:03.0	06:48.8	00:19.6	02:55.0	13:49.7
	15:29	服薬前の確認	個室男性	3錠	100%	01:18.0	01:00.3	00:02.0	00:05.1	00:02.0	01:45.2	00:16.5	02:37.0	07:06.1
2022/2/3	12:06	配薬の確認	看護師	7錠 (一包化)	85%			00:02.5	01:12.0	00:16.0	04:17.9			05:48.4
				平均	78%									

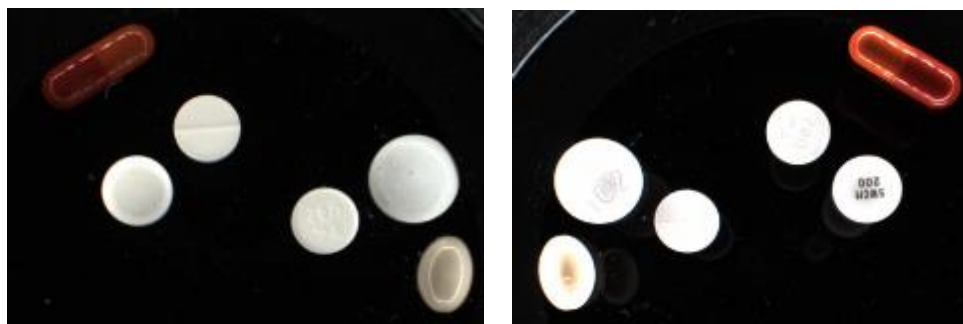


図 4-45 鑑別精度が低かったケースの実際の写真

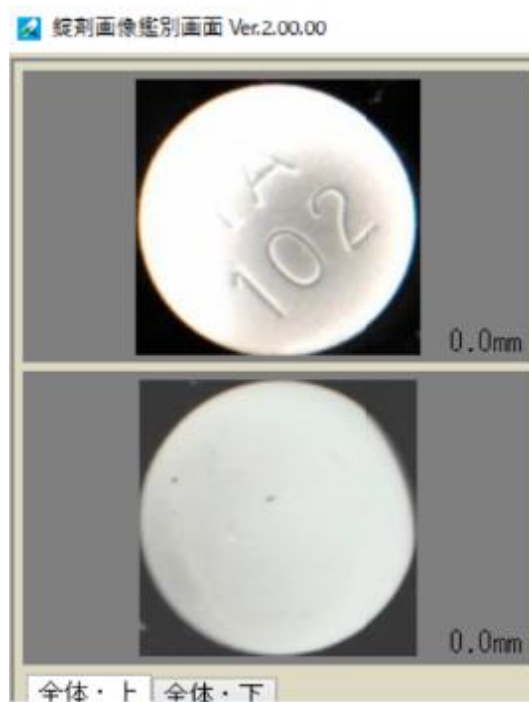


図 4-46 候補が出なかった薬剤（裏面の汚れが原因と分析）

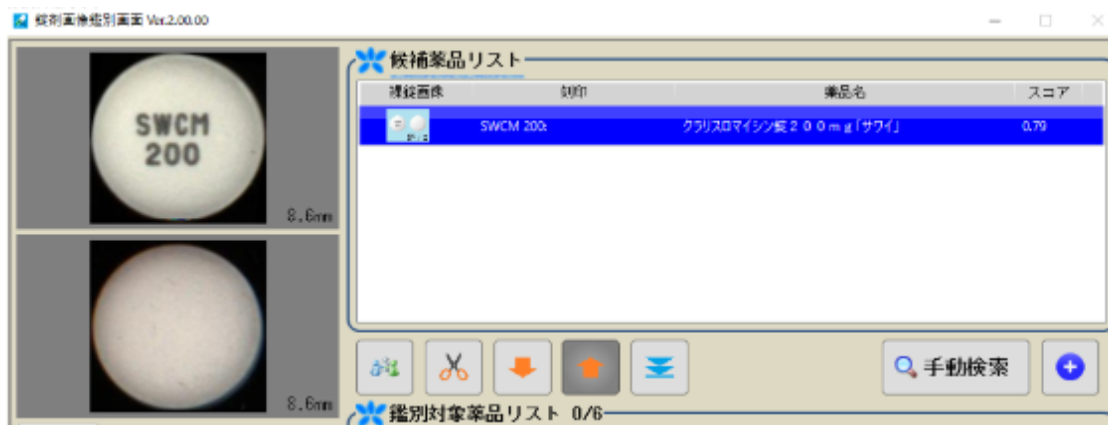


図 4-47 鑑別し候補を導き出せた薬剤

2) 飲み殻解析の性能テスト

医療現場の実運用に適した精度・性能が発揮できるかを確認することを目的とし、薬剤自動認識装置で撮像された飲み殻画像に対して、服薬の推論結果を迅速に出せるかを検証した。(目標値: 10 秒以内)

〈検証概要〉

検証期間: 2023 年 2 月 1 日～3 日

検証協力者: 患者 3 名、薬剤師、看護師

検証工程: 服薬後確認

対象薬品: 患者 No. 1 14 種類

患者 No. 2 PTP3、一包化 7 錠

患者 No. 3 8 種類 8 分

※特定する薬剤は「PTP シート」であることとし、11 種類でテストを行う。

一包化されているものは対象外とする。

《検証結果》

飲み殻鑑別については 1 シートごとにシステム投入する運用としていることから 1 人の患者でも複数回実施しており、試験回数は合計 11 回となった。本項目で目標としていた飲み殻鑑別結果表示 10 秒以内に対しては全ての試験で達成できた。鑑別精度は本実証で対象としている 11 種の薬剤以外のものが多かったため 4 回中 1 回しか候補薬剤の識別に至っていないが、そのうちの 1 回は正しい判別ができていた。以上のことから、速度については目標値を達成し十分現場での利用が可能であると考えられる一方で、精度については今後の対応種別の増加後に再検証が必要であると考ええる。今後対応種類が増加した場合も同様の速度・精度を維持するためには多くのデータで学習を行う必要があり、データ収集方法に課題が残る。

時間単位はすべて[分:秒.ミリ秒]														
1回目														
日付	時刻	実験種類	操作対象者	薬品種類	ウルサーバ鑑別精度	病室移動時間	薬品セット時間	撮影時間	転送時間	ウルサーバ応答時間	薬品取出時間	撮影時間	転送時間	ウルサーバ応答時間
2022/2/2	13:13	服薬後の確認	個室男性	1シート	100%	01:29.0	00:20.8	00:03.6	00:06.4	00:06.9	00:15.0			
(昼食)	13:21	服薬後の確認	大部屋女性	2シート	n/a	02:31.0	00:25.4	00:03.6	00:06.3	00:06.4	00:37.3	00:03.9	00:06.7	00:06.3
2022/2/2	18:50	服薬後の確認	大部屋女性	5シート	n/a	02:26.0	00:19.0	00:03.7	01:05.3	00:05.0	00:41.0	00:03.7	01:05.7	00:05.9
(夕食)	19:05	服薬後の確認	個室男性	3シート	n/a	01:23.0	00:24.4	00:03.8	00:50.0	00:03.7	00:32.4	00:03.7	00:54.5	00:03.7
				平均	100%									
※n/aは、辞書登録されていない薬剤であったため識別できない。														
2回目														
3回目														
撮影時間	転送時間	ウルサーバ応答時間	薬品取出時間	撮影時間	転送時間	ウルサーバ応答時間	薬品取出時間	撮影時間	転送時間	ウルサーバ応答時間	薬品取出時間	ホーム移動時間	トータル時間	
												02:42.0	02:21.7	
												02:58.0	04:24.0	
00:03.7	01:03.6	00:05.8	00:37.2	00:03.7	00:57.9	00:05.7	00:28.4	00:03.6	01:07.7	00:05.9	00:18.1	03:10.0	06:25.5	
00:03.7	00:58.3	00:06.4	00:13.5									01:53.0	04:48.1	

服薬前確認/服薬後確認ともに自動認識の速度としては概ね目標値を達成していることがわかり、実用性があるとわかった。しかし、薬品のセットから薬品取り出し時間までを一連の工程とすると、服薬前・服薬後確認では最短で6分24秒、最長で14分36秒かかっている。ロボットの移動時間や人の作業時間（薬品セット/鑑別操作/薬品取出）を除いた工程で時間がかかった項目としては画像転送時間が挙げられる。速ければ4秒程度でできている場合もある一方、最長では1分12秒かかった場合もあった。このばらつきの原因としてはローカル5Gの電波強度による影響があると考えられる。第3章でも記載の通り、本実証のローカル5Gシステムとして分散アンテナ方式を採用し、一定の効果を確認したものの、病室の奥のほうや人の影になる場所では電波性能が落ちてしまったと考えられる。また、最長で14分以上かかった作業については薬品が5シートに分かれており、シートごとに識別しないとけないため、5回同様の作業を実施した累計の時間となっている。現時点ではこの運用にせざるを得ないが、患者のユーザービリティを考慮すると改善の余地があると考ええる。これらの結果から、各システムとも十分な性能を発揮しているものの、実運用の場合に向けては予期せぬタイムロス（画像伝送時間の長期化、複数回の薬剤認識等）が発生した場合の対処方法を検討する必要がある。

表 4-5 システム速度の平均値・最大値・最小値

	平均	最大	最小
画像転送速度	00:36.5	01:12.0	00:04.6
薬剤鑑別速度	00:06.0	00:16.0	00:02.0
飲み殻鑑別速度	00:05.6	00:06.9	00:03.7

※飲み殻鑑別速度は、HTTP POST から レスポンス応答までの時間

3) 追加学習メンテナンスのテスト

本実証開始時には開発ベンダにて対象薬剤の学習を実施したが、医療現場で使用する薬剤の種類は日々増加することから、実装後、医療機関自身で飲み殻画像を追加学習させる場合に、どの程度時間を要するのか、人による作業時間、ロボットの学習時間を計測した。

追加学習の手順は以下の図の通りである。

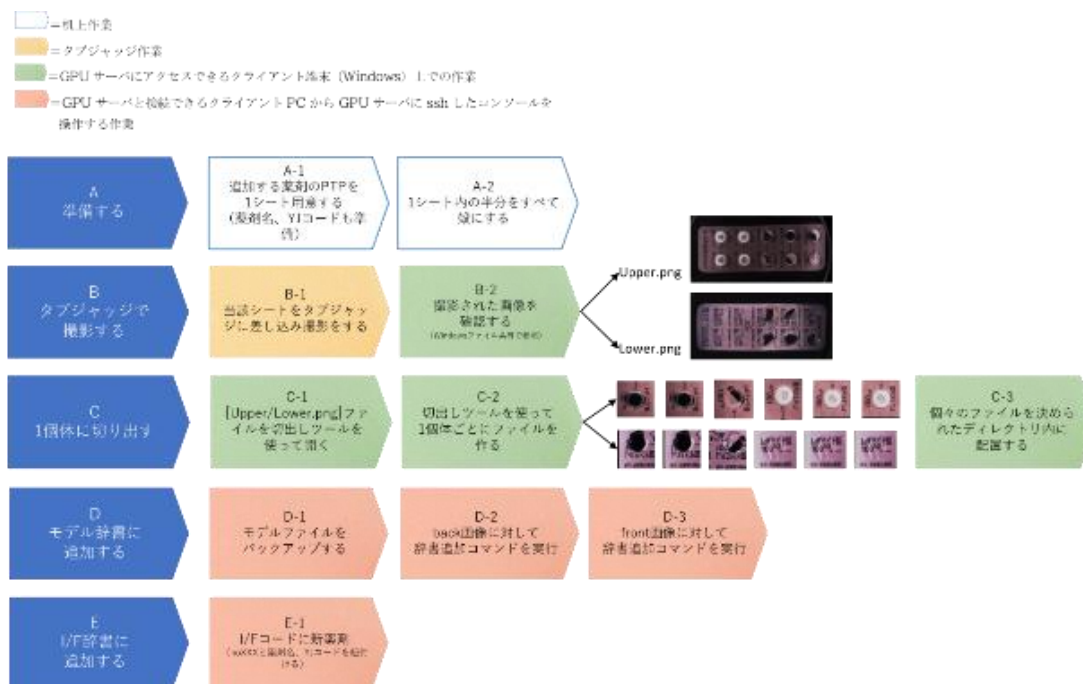


図 4-48 追加学習のフロー

追加学習の手順を A から E に分類し、さらにその中の工程も細分化し、合計 11 工程とした。開発ベンダがこの工程を実施した場合は各工程 1～3 分程度で、合計しても 19 分程度で完了する。精度を高めるためには 1 種類の薬剤につき、6PTP シート分の学習が必要であり、その場合、19 分×6 シートで概ね 2 時間程度となる。この作業を病院内薬剤師が実施すると、特に初期段階ではシステムに不慣れなこともあり、5 倍程度の時間がかかりそうという結果となった。ベンダの作業時間の 5 倍かかるとなると、1 シートあたり 95 分、6 シートでは 9 時間半と膨大な時間がかかるという試算になった。もちろん慣れによる作業時間削減は期待できるところであるが、現場の薬剤師が長時間をかけて大量の薬剤を追加学習させることは現実的ではない。製品としてある程度の種類の薬剤に対応した状態で納品し、新しい薬剤の使用が始まった場合に限り、現場で対応するといった運用が望ましいと考える。

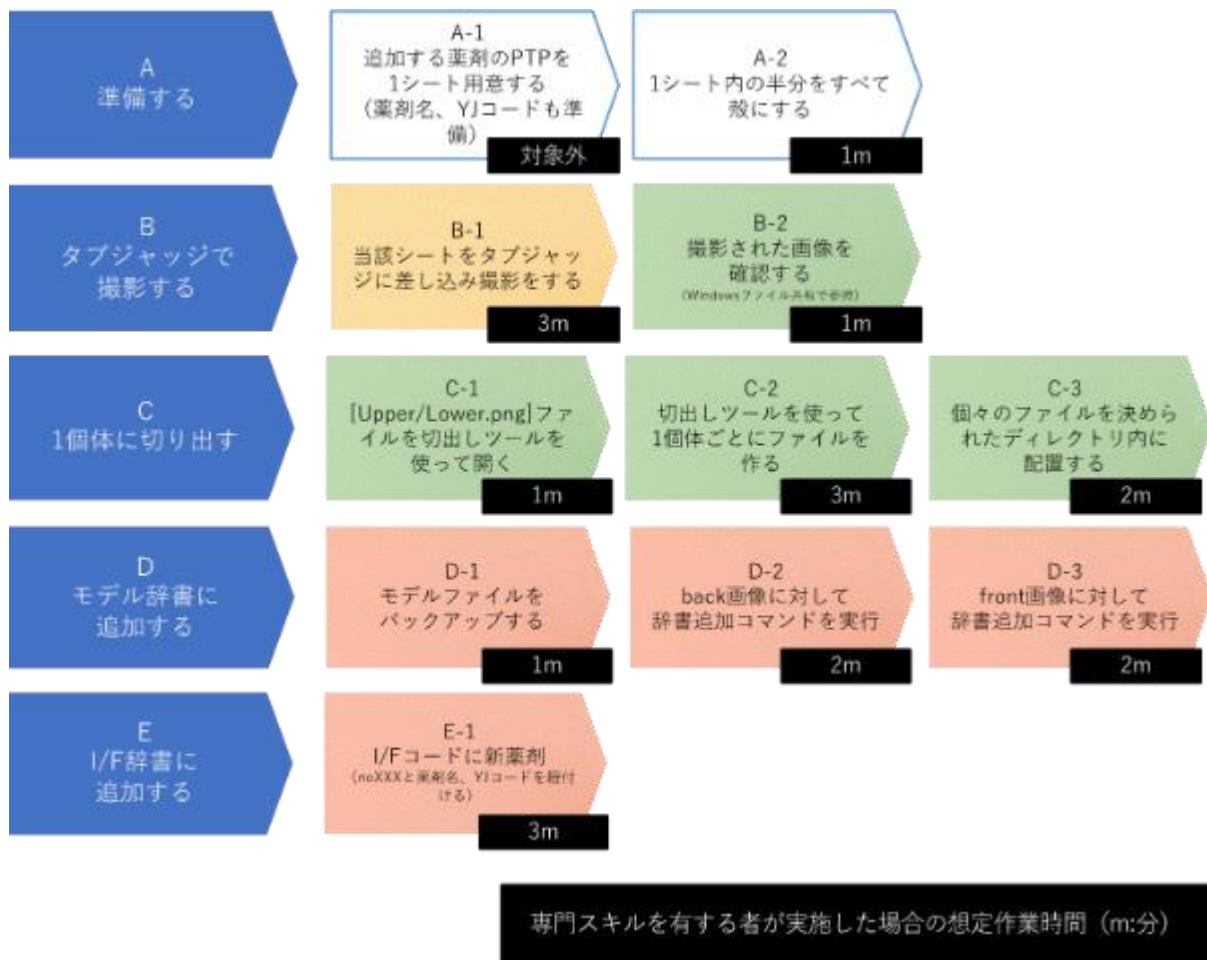


図 4-49 開発ベンダによる作業時間

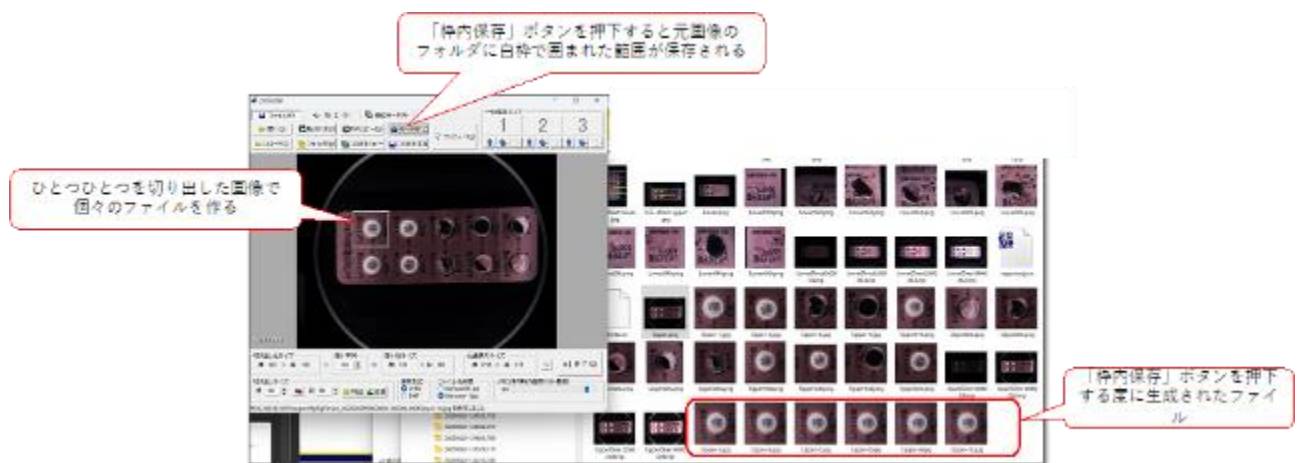


図 4-50 追加学習における画像切り出し作業イメージ

```
mogami@slack11:~/gl5g/recognizer$ docker ps
CONTAINER ID   IMAGE                                COMMAND                  CREATED        STATUS        PORTS        NAMES
cb66d5b42941   gl5g/recognizer_20230302_02_01     "/app/.venv/bin/pyth..." 2 hours ago   Up 2 hours   brave_elbakyan

mogami@slack11:~/gl5g/recognizer$ docker exec -it cb66 bash
root@cb66d5b42941:/app# cd models/metrics-learning/
root@cb66d5b42941:/app/models/metrics-learning# ls -al
total 237024
drwxrwxr-x 1 1000 1000 4096 Mar 2 18:18 .
drwxrwxr-x 1 1000 1000 4096 Mar 2 04:48 ..
-rw-r--r-- 1 root root 71012861 Mar 2 18:16 classifier_model-300.pth
-rw-r--r-- 1 1000 1000 85615101 Mar 2 04:52 efficientnet-b4-back-700.pth
-rw-r--r-- 1 1000 1000 86059013 Mar 2 04:55 efficientnet-b4-front-600.pth
root@cb66d5b42941:/app/models/metrics-learning# cp efficientnet-b4-back-700.pth efficientnet-b4-back-700.pth.20230302_01
root@cb66d5b42941:/app/models/metrics-learning# cp efficientnet-b4-front-600.pth efficientnet-b4-front-600.pth.20230302_01
root@cb66d5b42941:/app/models/metrics-learning# ls -al
total 404680
drwxrwxr-x 1 1000 1000 4096 Mar 2 18:21 .
drwxrwxr-x 1 1000 1000 4096 Mar 2 04:48 ..
-rw-r--r-- 1 root root 71012861 Mar 2 18:16 classifier_model-300.pth
-rw-r--r-- 1 1000 1000 85615101 Mar 2 04:52 efficientnet-b4-back-700.pth
-rw-r--r-- 1 root root 85615101 Mar 2 18:20 efficientnet-b4-back-700.pth.20230302_01
-rw-r--r-- 1 1000 1000 86059013 Mar 2 04:55 efficientnet-b4-front-600.pth
-rw-r--r-- 1 root root 86059013 Mar 2 18:21 efficientnet-b4-front-600.pth.20230302_01
root@cb66d5b42941:/app/models/metrics-learning#
```

図 4-51 追加学習用コマンド入力画面（一部抜粋）

(2) 運用検証

1) 検証項目

運用検証としては以下の項目についてヒアリング等により意見集約を行い、要望のあったものについて、最終的にマニュアルとしてまとめる。

2) 検証方法

医療従事者、患者、システム管理者へのヒアリングにより検証を実施する。ヒアリング対象のシステムは持参薬確認、服薬前確認、服薬後確認とした。なお、患者へのヒアリングについては対面で使用感をヒアリングしたのではなく、各システムの試験にご協力いただいた際の状況を観察して情報収集を行った。

【医療従事者へのヒアリング】

- ・操作性の改善要望はあるか。
- ・ユーザーインターフェースの改善要望はあるか。
- ・データの学習方法（薬剤自動判別装置）に改善要望はあるか。
- ・ソリューション化、半自動化範囲に改善要望はあるか。
- ・ソリューションが無理なく、既存の運用と調和がとれているか。

【患者へのヒアリング（観察）】

- ・ロボットのコミュニケーションで正しい行動をとれたか。
- ・ロボットのコミュニケーションに改善要望はあるか。
- ・ロボットのコミュニケーションに追加要望はあるか。

【システム管理者へのヒアリング】

- ・持参薬確認、配薬確認、服薬前確認、服薬後確認、院内カルテ参照/トレーニングレポート送信について 5 点満点で評価してもらう

3) 検証結果及び考察

<持参薬確認>

操作性、ユーザーインターフェイス、データの学習方法、自動化範囲、既存運用との調和、ロボットの利用の6つの項目についてヒアリングし、ユーザーインターフェイス以外は効果がある、改善が期待できるといった評価を得ることができた。データの学習方法の項目にて挙げられた、過去の学習結果をもとにサジェスト表示する機能については既に実装されている機能であることもご説明し、現場のニーズに合った機能開発ができていることも確認できた。

表 4-6 持参薬確認に関する運用上の評価

ヒアリング項目	評価	コメント
操作性	○	<ul style="list-style-type: none"> ・手入力や手間が減る ・一包化薬剤の判別はベルトコンベアのように連続で確認できるようにしてほしい（同じ一包でも薬局が変わって後発薬になっていたり、休止となっていて薬が入っていない場合があるため）
ユーザーインターフェイス	△	<ul style="list-style-type: none"> ・用法や日数はタブ選択式にする等、もっと入力の手間を減らす設計にしてほしい
データの学習方法	○	<ul style="list-style-type: none"> ・薬の刻印の読み取り結果と最終的な修正・選択結果を機械学習してほしい ・具体的には、この薬剤結果が出た時には○○と修正されることが多い、といった最終結果を学習し、手直しをサジェストしてほしい
自動化範囲	○	自動化、機械化の範囲が増えるほど人の手間が削減され、インシデント削減に期待ができる
既存運用との調和	○	・特に大きな問題はなく取り入れられると考える
ロボットの利用	○	ロボットとの業務に特に抵抗感はない

<配薬確認>

操作性、ユーザーインターフェイス、自動化範囲、既存運用との調和、ロボットの利用の5つの項目についてヒアリングし、全体的に改善点が多く挙げられた。配役確認は院内で処方された通りに患者に薬剤を提供しているか確認するシステムのため、操作性の項目で挙げられたように、システムを介さなくても調べようと思えば調べられる。さらに、既存運用との調和での課題に挙がっているとおり、既存運用に対する追加業務であることも事実である。しかし、本システムの最大の目的は薬剤インシデントの防止であるため、追加業務で現場の負担になるからと見送りにするべきではなく、これらの現場の声を受けてシステムを改善していく必要がある。今回ヒアリングした意見を踏まえて自動化範囲を拡大したり、周辺システムと連携したりすることで追加業務であっても効率的に実施できる設計を検討し、業務の一環として受け入れてもらえる工夫が喫緊の課題であると分かった。

表 4-7 配薬確認における運用上の評価

ヒアリング項目	評価	コメント
操作性	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ 薬剤 PTP シートのバーコード読み込みによる薬剤名の確認が可能だが、持参薬のように目の前にある薬が何なのか情報がないわけではないため、手間削減の恩恵をあまり感じなかった。システムチェックにする場合はもう少し手間の少ない操作感にしてほしい。 ・ 現在の業務では一包化薬剤の中身は確認をしていないが、実施するという運用になった場合はこのシステムが有効に使えるだろう。
ユーザーインターフェイス	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電子カルテとの二重入力が極力発生しないようにシステム間連携とユーザーインターフェイス設計をお願いしたい。
自動化範囲	×	現時点では自動化されている箇所があまりなく、恩恵を感じない。
既存運用との調和	×	既存業務への追加業務となってしまう
ロボットの利用	○	ロボットと一緒に働くというよりはロボットを使うという感覚で特に抵抗は感じない

＜服薬前確認＞

操作性、ユーザーインターフェイス、自動化範囲、既存運用との調和、ロボットの利用の5つの項目に分けて患者の利用状況を観察・評価した。今回の実証に協力いただいた患者はシステムの利用に問題なく、操作性及びユーザーインターフェイスへの評価はよいものだった。一方で、自動化範囲や既存運用との調和、ロボットとの業務においては実証実験の利用シーンでは問題は起きなかったものの、環境条件がそろわなかったときの対応について懸念の声が上がった。これらの懸念事項については、システム改修では対応しきれない部分も多く、今後も病院と相談を続け、利用条件（ロボットの稼働時間を決めてその時間帯は各病室のドアを開けておく、ロボットが何らかのエラーを起こした場合は速やかにナースステーションに通知を出すとともに動作を停止し手動で安全に患者から離す等）を整理することが必要と考える。

表 4-8 服薬前確認における運用上の評価

ヒアリング項目	評価	コメント
操作性	○	・患者自身で問題なく利用できる。
ユーザーインターフェイス	○	・患者自身で問題なく利用できる
自動化範囲	△	<ul style="list-style-type: none"> ・検証中にはトラブルは発生しなかったが、実運用の中では常に病室のドアが開いているとは限らないため、ドアが開いていなかった場合には次の患者に行ったり、ドアを開ける動作を追加したりする等の対応が必要ではないか。 ・ロボットが訪問した際に患者が離席していた場合、次の患者のもとに向かうか自動的にホームに戻る設計にしてほしい
既存運用との調和	○	<ul style="list-style-type: none"> ・正常時の利用は問題ないということがわかったが、何かトラブルが発生した際にどうすればよいか考えないと実運用には移れない。 ・看護師がマシントラブルに対応しないといけないとなると、どのようにすれば対応できるのか準備が必要
ロボットの利用	○	スタッフとしては PC やスマホを使う感覚でロボットを使っているので大きな抵抗はない。ただし、患者に対して何かトラブルが発生した場合に対処方法がわからないと困る。

<服薬後確認>

操作性、ユーザーインターフェイス、データの学習方法、自動化範囲、既存運用との調和、ロボットの利用の6つの項目に分けて患者の利用状況を観察・評価した。今回の実証に協力いただいた患者はシステムの利用に問題なく、操作性及びユーザーインターフェイスへの評価はよいものだった。一部の操作については音声アナウンスがないと患者が対応しづらいということが検証でわかったため、実証期間中にプログラム修正を行った。飲み殻の確認では、1枚の薬剤シート上に何錠残っていて、何錠空となっているのかを判断することができる。しかし、前回分との比較を行わなければ正確に服用したかどうかの判断が行えない。システム側での対応としては画像比較だけではなく、前回の服薬後確認時の残りの薬剤の数（1シートのうち何錠分の何錠残ってるか）をテキストデータとして記録しておくという対応も取ることができるが、運用面での対応と組み合わせたほうが効果的であると考え。自動化範囲や既存運用との調和、ロボットとの業務においては服薬前確認同様に条件が合わなかった場合のロボットの動作やトラブル発生時の現場での対応について不安の声が上がった。

表 4-9 服薬後確認における運用上の評価

ヒアリング項目	評価	コメント
操作性	○	<ul style="list-style-type: none"> ・患者自身で問題なく利用できる。 ・一部操作についてわかりづらいため音声アナウンスを追加してほしい
ユーザーインターフェイス	○	<ul style="list-style-type: none"> ・患者自身で問題なく利用できる
データの学習方法	△	<ul style="list-style-type: none"> ・同じ薬剤シートから順番に摂取していれば問題ないが、別のシートからばらばらに摂取していた場合、正確に確認できない。
自動化範囲	△	<ul style="list-style-type: none"> ・検証中にはトラブルは発生しなかったが、実運用の中では常に病室のドアが開いているとは限らないため、ドアが開いていなかった場合には次の患者に行ったり、ドアを開ける動作を追加したりする等の対応が必要ではないか。 ・ロボットが訪問した際に患者が離席していた場合、次の患者のもとに向かうか自動的にホームに戻る設計にしてほしい
既存運用との調和	○	<ul style="list-style-type: none"> ・正常時の利用は問題ないということがわかったが、何かトラブルが発生した際にどうすればよいか考えないと実運用には移れない。 ・看護師がマシントラブルに対応しないといけないとなると、どのようにすれば対応できるのか準備が必要
ロボットの利用	○	<ul style="list-style-type: none"> ・スタッフとしては PC やスマホを使う感覚でロボットを使っているので大きな抵抗はない。ただし、患者に対して何かトラブルが発生した場合に対処方法がわからないと困る。

<院内カルテ参照/トレーシングレポート送信>

院内カルテ参照/トレーシングレポート送信については、図 4-52 のとおり群馬大学医学部附属病院ではなく、院外薬局での利用システムとなるため、本システムについては院外薬局の薬剤師に操作してもらいヒアリングを行った。本システムについては病院との速やかな情報共有を目的としているため、自動化範囲やロボットの利用といった項目は除外し、操作性に絞ってヒアリングを行った。もともと本システムの設計時から薬剤師にヒアリングを行っており、その都度フィードバックを受けながら作成したもののため、ヒアリングにおいても操作性は問題ないという結果を得ることができた。

院内カルテ参照/トレーシングレポート送信（院外薬局薬剤師が操作）

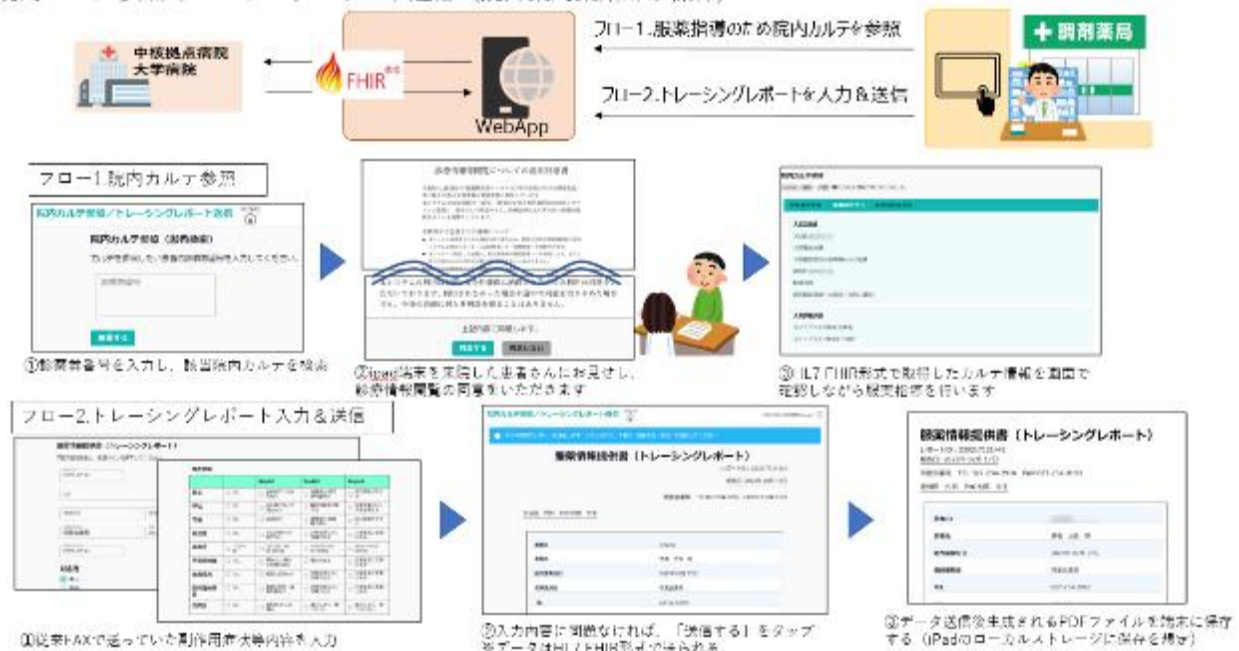


図 4-52 院内カルテ参照/トレーシングレポート送信利用フロー

表 4-10 院内カルテ参照/トレーシングレポート送信における運用上の評価

ヒアリング項目	評価	コメント
操作性	○	・操作に特に問題なし

<システム管理者へのヒアリング>

持参薬確認、配薬確認、服薬前確認、服薬後確認、院内カルテ参照/トレーシングレポート送信について群馬大学医学部附属病院のシステム管理者に5点満点で評価してもらった。看護師から運用面での懸念が指摘された配薬確認、服薬前確認、服薬後確認については4点の評価だったものの、平均すると4.4点と一定の効果があるとの評価を得ることができた。

表 4-11 システム管理者による各システム評価

持参薬確認	配薬確認	服薬前確認	服薬後確認	院内カルテ参照/トレーシングレポート送信
5点	4点	4点	4点	5点

(3) 効果検証

本実証の導入効果について、以下の項目を測定し、有効性を評価する。

1) 検証項目

【検証項目 1】持参薬確認業務の低減量計測

【検証項目 2】配薬・与薬業務の心理的負担計測

【検証項目 3】院外薬局で病歴・服薬等の患者情報収集に要する時間を計測

【検証項目 4】院外薬局で服薬指導（本来時間をかけて行う業務）に使うことができた時間を計測

2) 検証方法

【評価・検証方法 1】持参薬確認業務の低減量計測

- ① 実証病棟において、実証前の病棟薬剤師が持参薬確認業務に使用している平均時間を計測
- ② 実証病棟において、実証後の病棟薬剤師が持参薬確認業務に使用している平均時間を計測
- ③ 実証前と実証後における、病棟薬剤師が持参薬確認業務に使用している平均時間を比較

【評価・検証方法 2】配薬・与薬業務の心理的負担計測

- ① 実証病棟において、実証後に配薬・与薬業務に関する看護師アンケート調査
実証前後における、看護師の心理的負担に変化が出たかを検証

【評価・検証方法 3】院外薬局で病歴、服薬等の患者情報収集に要する時間をヒアリング

- ① 対象院外薬局にて、実証前に実証病棟患者の病歴等患者情報収取にかかる平均時間をヒアリング
- ② 対象院外薬局にて、実証後に実証病棟患者の病歴等患者情報収取にかかる平均時間をヒアリング
- ③ 実証前と実証後における調査内容の比較
対象院外薬局が、実証病棟患者の病歴等患者情報収集にかかる時間を短縮できたか

3) 検証結果及び考察

●持参薬確認作業現状ヒアリング

【持参薬確認業務】

- ・ 4 人分の作業を確認
- 1 人目（薬剤 2 種）…約 1 分
- 2 人目（薬剤 17 種）…約 40 分

3 人目（薬剤種 4 種）…約 5 分

4 人目（薬剤種 3 種）…約 8 分

※電話時間は含まず

- ・一包化は開けない。透明なものが多いが、本日 2 人目の患者は白濁の袋で確認にかなり時がかかる。
- ・お薬手帳はほとんどの患者が持参する。
- ・DI（Drug Information・医薬品情報）表示の使用頻度は 8 割
- ・持参薬の状況から飲み忘れも推測可能。
- ・使用期限切れの持参薬も多々ある。（自宅からすべて持ってくる患者がいるため）
※薬の使用期限は大体 2 年くらい。
- ・薬袋だけ古い可能性などもあるため、患者に確認する。（気に入った薬袋をずっと使う方もいるため）
- ・手術のある患者は事前に麻酔科が診察。外来時に服用している薬剤を入力しておくため、入院時の持参薬確認では数を確認して入力。
- ・RP（薬品名や用法の処方）の入力は用法に合わせるが多い。
- ・持参薬の日数が合わないもの（3 日分ある持参薬と 7 日分ある持参薬など）は医師が指示しやすいよう別の RP（薬品名や用法の処方）として分けて入力。
※医師に処方を中止してもらった場合のことも考えて入力。



図 4-53 現状の持参薬確認作業の様子（北病棟 2 階服薬面談室）

●現状のヒアリング

【配薬、与薬、服薬確認業務】



図 4-54 副看護部長、北病棟 2F 師長へのヒアリングの様子

●現在の看護部の業務ヒアリング

〈前提〉

- ・ 配薬とは
→配薬ケースへ薬を分けていれること



図 4-55 配薬ケース（色により飲み方を分けている）

- ・与薬とは

→配薬ケースから患者本人へ薬を渡し、内服を促すこと。

- ・内服薬には「看護師管理」と「患者管理」のものがある

※入院時にスクリーニング。患者が管理できない場合は看護師管理

- ・看護師の配薬業務はかなりハード

現在は遅番（12:30 勤務開始）が1人で行っている。

- ・北2病棟

救急科、呼吸器外科、呼吸器内科で構成

平均の在院日数（入院期間）は1週間から10日くらい。救急は長い場合がある。

満床率は、年間通すと8割切るくらい。

満床にすると、救急車が受け入れられなくなるため、1～2は常に空けるようにしている。

〈持参薬の確認〉

- ・入院時に持参薬は看護師が預かるが、預かった持参薬は服薬面談室に置いておき、薬剤師が持参薬の鑑別を行う。

- ・合わせてお薬手帳と患者聞き取りで細かい内容を確認する。

- ・患者管理のものは医師承認後に患者へ返す。

- ・看護師管理のものは、服薬面談室で管理する。

- ・北2病棟の入院は午後の時間帯が多いが、夜までには医師承認をもって持参薬を渡す準備ができる。内科など病棟によっては午前中の入院もある。

- ・北2病棟は救急科なので土日の緊急入院もそれなりの数は発生する。

土日は薬剤師がいないため、看護師が確認するが、月曜までは院内薬を処方する。

そのため、持参薬確認は月曜日が一番多い。

〈配薬の確認〉

- ・現在の運用ではシングルチェックを2回実施している。

①服薬面談室で1名が病棟全患者分の薬をチェックしながら、配薬ケースに入れる。

チェックはPCでドクターの指示を確認しながら行う。

※夜～翌昼までを準備する。

②各患者受け持ちの看護師が配るときにチェック

※実証では①の場面でシステムを利用頂く。

〈患者管理の薬〉

- ・患者へ1週間分くらいを薬袋ごと渡す。
- ・PTP シートは切らずに渡す。

誤飲だけでなく、退院後にしっかり服用できるかの訓練を兼ねている。

- ・薬を飲んだかは口頭で確認。

※実証では薬袋から1回出して、飲む薬をトレイに置いていただく想定

〈看護師管理の薬〉

- ・患者のところへ持っていくときは、薬はむき出しの状態白い紙コップに入れて持っていく。
- ・その場で患者が薬を飲み込めたかまで確認する。
- ・通常時は薬剤部の看護助手が持ってくるが、急ぎの時と土日は看護部の看護助手が取りに行く。

〈服薬確認〉

- ・患者管理の薬は、午前中のラウンド（受け持ち患者に対して体温を測ったり、点滴を替えたりするような行為全般）中に確認。

・通常は薬を飲んだか、飲んでないかの確認のみだが、重要な薬は何を何錠飲んだかまで確認する。

・システムで飲んだ薬が合っているのか確認し、さらに電子カルテまで反映されるととても現場の役に立つ

- ・患者管理の薬がしっかり飲まれているのかを確認するのは、かなり労力がかかる。
- ・毎日飲む薬でも結構間違える患者がいる。
- ・大学病院クラスしか患者管理の服薬確認をここまで行っていない。
- ・看護師管理の薬は、朝分は夜勤看護師が飲ませて確認。

※看護師管理の薬は、実証の対象とはしない。

〈日勤看護師の1日〉

8:00 出勤。病棟に入り情報収集、点滴の準備など

8:45 申し送り

9:00 受け持ち患者の確認

午前中の主な業務はケア、検温、処置、他病棟受け入れなど。

患者は検査に呼ばれることもある。

12:00 食事介助

(11:30～12:30、12:30～13:30 交替で看護師休憩)

13:00 口腔ケア

14:00 検温、他病棟からの受け入れなど

15:30 カンファレンス

16:00 夜勤者出勤

16:20 引継ぎ（日勤→夜勤）

廃液を整えるところまで日勤

引継ぎが終わったら記録

〈出勤人数〉

日勤：8～9人（師長、リーダー除く）、時短2～3人

遅出：1人（12:30～21:30）

夜勤：4人

〈内服薬搬送時間〉

①8:30

②10:00

③11:30

④13:00

⑤14:30

⑥16:00

⑦17:00

〈時間計測予定の業務〉

- ・ 遅番看護師の配薬作業時間（服薬面談室でカンヅメになる時間）
- ・ 患者受け持ち看護師が、患者へ薬を配っている時間。（どのように計測するかは1度見た後決める予定）



図 4-56 配薬確認の様子（北病棟 2 階服薬面談室）

●実証前の看護師配薬確認の時間計測

- ・看護師管理 15 人の配薬作業計測＝2 時間

※看護師管理 15 人というのは平均的な対応。患者管理 8 人は比較的少ないと言える。

- ・病棟満床率 7 割（28 人） 満床時は 40 床
- ・10 種以上配薬がある方が大半で、20 種以上ある方が 1 名おり、確認に 20 分～30 分かかる。
- ・タブレット、カプセル、貼付薬、一包化、水薬等形状も多々ある。

●現状のヒアリング

【院外薬局での病歴や服薬等の患者情報収集業務】

現状は、院外薬局ではトレーシングレポートを手書きにて行っており、病院への送付は FAX にて運用している。



群馬大学医学部附属病院 宛 報告日: 年 月 日

服薬情報提供書(トレーシングレポート)

担当医 科 先生

患者 ID :	保険薬局名 :		
患者名 : 様			
処方箋発行日: 年 月 日	TEL :	FAX :	
対応者: <input type="checkbox"/> 本人 <input type="checkbox"/> 家族 <input type="checkbox"/> その他 ()			
情報収集日: 年 月 日			
情報収集のタイミング: <input type="checkbox"/> 投薬時 <input type="checkbox"/> テレフォンフォローアップ時 <input type="checkbox"/> 患者から薬局への問い合わせ			
情報提供に関する患者の同意について: <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 無 (担当医への報告を拒否していますが、治療上重要と思われるため報告致します。)			

アドヒアランス: <input type="checkbox"/> 問題あり <input type="checkbox"/> 問題なし				
残薬調整の必要性: <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無				
有の場合、その薬品名と残薬数を以下に記載してください。(例 <input type="checkbox"/> ○○5mg、 <input type="checkbox"/> □錠)				

有害事象	Grade1	Grade2	Grade3	Grade4
悪心	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> 食欲低下+吐き気あり	<input type="checkbox"/> 体重減少/経口摂取量減少	<input type="checkbox"/> 経口摂取が不十分
嘔吐	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> 治を要さない嘔吐あり	<input type="checkbox"/> 静脈内輸液を要する	<input type="checkbox"/> 経管栄養/TPN/入院を要する
食欲不振	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> 食欲低下	<input type="checkbox"/> 体重減少/摂食量の変化	<input type="checkbox"/> 経口摂取が不十分
下痢	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> 1~3回/日 増加	<input type="checkbox"/> 4~6回/日 増加	<input type="checkbox"/> 7回以上/日 増加
倦怠感	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> だるさあり/元気がない	<input type="checkbox"/> 日常生活に少し支障がある	<input type="checkbox"/> 日常生活に支障がある
高血圧	<input type="checkbox"/> <120/80	<input type="checkbox"/> 120-139 / 80-89 mmHg	<input type="checkbox"/> 140-159 / 90-99 mmHg	<input type="checkbox"/> ≥160 / ≥100 mmHg
手足症候群	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> 痛みなし/軽妙な皮膚の変化	<input type="checkbox"/> 痛みがある	<input type="checkbox"/> 日常生活に支障がある
皮膚障害	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> 軽度の症状あり	<input type="checkbox"/> 日常生活に少し支障がある	<input type="checkbox"/> 日常生活に支障がある
間質性肺疾患	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> 軽度の症状・画像所見あり	<input type="checkbox"/> 日常生活に少し支障がある	<input type="checkbox"/> 日常生活に支障がある
口内炎	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> 違和感/少しの痛み	<input type="checkbox"/> 痛みにより、食べにくい	<input type="checkbox"/> 痛みにより、食べられない

<有害事象についてのコメント・詳細>

<他院からの処方薬との相互作用等について>

<薬剤師から提案>

<その他>

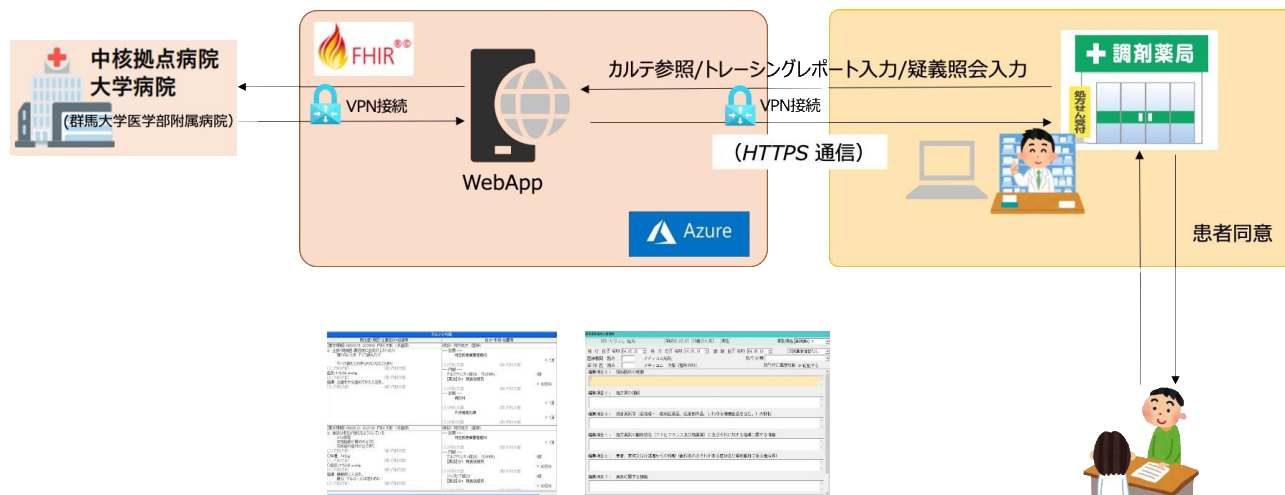
返信欄 (保険医療機関から保険薬局へ) 可能な範囲、ご返信頂ければ幸いです。何卒よろしくお願い申し上げます。

☐ 報告内容を確認しました。 ☐ 提案の意図は理解しましたが、現状のまま継続し、経過観察します。

☐ 提案を考慮し、以下のように対応します。

図 4-57 現在使用しているトレーシングレポート FAX 用紙

現状の運用からシステムでの連携に向けて、病院と薬局間は、情報が漏洩することないよう安全なネットワークにて連携する設計とした。



カルテ参照/トレーシングレポート入力の画面イメージ（薬剤師が使用）

図 4-58 カルテ参照/トレーシングレポートシステム概要

システムの設計において、院外薬局の薬剤師と打合せし、現場での利用負担がない設計とした。



図 4-59 同愛会薬局とのオンライン打合せの様子

院内カルテ参照・トレーシングレポート送信アプリの検証前には同愛会薬局にて動作説明を行った。
現状ではトレーシングレポートは手書きにて行われているため、このシステムが導入されると薬剤師の作業の軽減が期待できるとの意見が聞かれた。



図 4-60 同愛会薬局にてシステムの動作説明と打合せ

院内カルテ参照/トレーシングレポート送信アプリ簡易操作手順

・端末説明

端末(iPad)のご準備①

- ご利用予定の端末(以降iPad)にWebアプリ接続に必要な証明書を事前にインストールさせていただきます。
 - ※同愛会薬局様のiPadにはすでに設定済みです。
 - ※証明書がインストールされていない端末ではWebアプリを利用できません！機器故障などで端末が変わる場合はPHCまでご連絡ください。
- iPadがインターネットに接続可能であることを事前にご確認ください。
- iPadは縦、横どちら向きで利用してもOKです。

端末(iPad)のご準備②

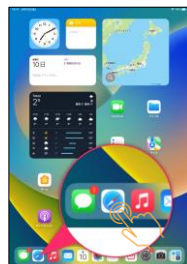
- 本アプリで利用するiPadのアプリは2つあります。ホーム画面でアプリの場所をご確認ください。

アプリ名	アプリのアイコン	用途
Safari		患者さんの診療情報を閲覧したり、トレーシングレポートを入力するWebアプリの操作を行います。
ファイル		トレーシングレポートファイルの保存先です。レポートファイルを保存する時と、ファイルを表示したい時に利用します。

端末(iPad)のご準備③

iPad ホーム画面にてSafariアプリのアイコンをタップします。

※アイコンのなごひはサンプルのものとなっています。
※iPadホーム画面はiPad液晶画面側にある丸いボタンを押すと表示されます。



端末(iPad)のご準備④

Safariのお気に入りから①「院内カルテ参照/トレーシングレポート送信システム」をタップします。

ログイン画面が表示されますので、ユーザ名/パスワード douai/ douai を入力し、「ログイン」をタップします。ホーム画面が表示されれば、準備完了です。

※既にログイン済みの場合はログインの必要はありません。そのままお使いください。



図 4-61 端末操作手順イメージ

・カルテ情報参照

カルテ情報の参照① ホーム画面

ホーム画面で①「院内カルテを参照する」をタップします。



カルテ情報の参照② 患者さん検索画面

- ① 診察券番号を入力します。
- ② 「検索する」をタップします。該当するデータが見つければ次の画面に移動します。



※見つからない場合下記メッセージが表示されます。正しい診察券番号を入力してください。

○ カルテが見つかりません。

カルテ情報の参照③ 患者さんお名前確認画面

- ① 来院された患者さんと同名が表示されていることを確認します。
- ② 「同意文書を開く」をタップして、次画面に表示される同意説明文を患者さんにお見せください。患者さんの院内診療記録を閲覧する同意をいただくための説明文が表示されます。



カルテ情報の参照④ 一度同意をいただいた患者さんについて

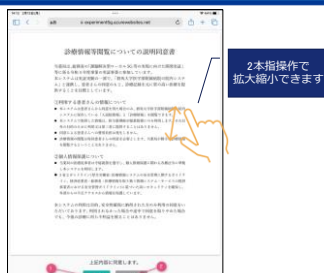
過去に同意をいただいた患者さんは、情報閲覧の同意をいただくフローをスキップし、カルテ参照を行えるようになります。



カルテ情報の参照⑤ 患者さんへお見せする同意画面

文字が小さく見にくい場合は、2本の指で広げるようになぞったり、縮めるようになぞることによって拡大・縮小ができます。

- ① 「同意する」または
 - ② 「同意しない」をご本人様でタップしていただくよう、ご誘導ください。
- タップいただいた後はスタッフさんの作業に戻ります。



カルテ情報の参照⑥ 同意確認結果画面

患者さんが同意していただいた場合は上画面のように表示されます。
① 「院内カルテ参照」をタップできるようになります。

同意いただけなかった場合は診療情報を閲覧できません。
② 「ホーム画面へ」をタップし、ホーム画面に戻ってください。



図 4-62 患者との確認画面イメージ

患者には電子カルテを参照することへの「同意する」または「同意しない」ボタンを押してもらおう。同意文はプリントアウトすることも可能。

カルテ情報の参照⑦ 院内データの確認

当画面で患者さんの情報を確認します。

初期表示時、

- ① 「患者基本情報」をタップすると患者基本情報が表示されます。



カルテ情報の参照⑧ 院内データの確認

- ② 「退院時サマリ」をタップすると患者さんの入退院情報が表示されます。



カルテ情報の参照⑨ 院内データの確認

- ③ 「診断情報提供書」をタップすると患者さんの過去の診断結果、他院紹介情報などが表示されます。


情報参照が終わりましたら、左上タイトルもしくはホームアイコン  をタップすることでホーム画面に戻ります。



図 4-63 電子カルテ・院内データ確認画面イメージ

・トレーシングレポート

トレーシングレポート 入力と送信①

ホーム画面で「トレーシングレポートを送信する」をタップします。



トレーシングレポート 入力と送信②

各入力項目を埋めてください。
必須項目は以下の項目です。未入力の場合送信が行えません。

- ・報告日
- ・診療科
- ・先生のお名前
- ・患者ID
- ・患者名
- ・情報収集日

必要な入力が完了したら画面下の「送信確認」をタップしてください。
「送信確認へ」をタップすると、送信確認画面が表示されます。



トレーシングレポート 入力と送信③ レポート 確認と送信

入力内容を確認し、内容に問題なければ

- ①「送信する」をタップします。
病院へレポート情報が送信されます。

入力しなおしたい項目がある場合は、②「入力画面に戻る」をタップします。



トレーシングレポート 入力と送信④ レポートの保存

「送信する」をタップ後、レポート送信後PDFファイルが自動で表示されます。
※今回の実証実験ではレポートファイルをサーバ上に保管しないため、送信したPDFファイルを適宜端末に保存していただく必要がございます。

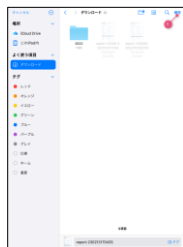
- 【ファイル保存手順】
- ① アイコンをタップします。
 - ② 「ファイルに保存」をタップします。
→ファイルアプリが起動します。



トレーシングレポート 入力と送信⑤ レポートの保存

【保存手順つづき】

- ①「保存」をタップします。
→Safariに戻ります。



トレーシングレポート 入力と送信⑦ 操作を続ける

ブラウザの戻るボタン①をタップします。
→レポート送信画面に戻ります。

続けて他の患者さんのレポートを入力する場合は画面下にある

- ②「続けてレポートを入力する」をタップします。

もう1度ファイルを出力したい場合は③「レポートを再出力する」をタップします。

レポート作業が完了したら、画面左上のタイトルもしくはホームアイコンをタップすることでホーム画面に戻ります。

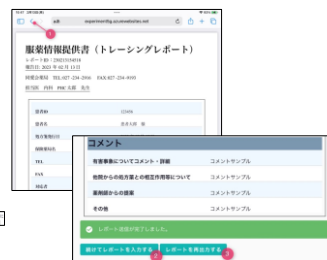


図 4-64 トレーシングレポート作成イメージ



図 4-65 薬剤師へのアプリ説明会の様子

●結果及び考察

<持参薬確認>

現状の持参薬確認方法や病棟の勤務人数、役割分担等のヒアリング結果をベースに、本システムの効果をヒアリングした。労務負担、心理的負担、インシデント削減の3つの観点で効果を評価してもらった。労務負担軽減効果・心理的負担軽減効果ともに効果ありという評価を受けることができたが、電子カルテとの連携を必須条件とすることやシステムの精度向上といった条件も提示された。

表 4-12 持参薬確認における効果

労務負担	評価	コメント
労務負担軽減効果	○	・一包化された薬剤の鑑別が楽になる ・シートのバーコード読み込みにより手入力の手間が削減される
労務負担軽減率	50%	・電子カルテと連携することが必須
軽減された時間に価値を感じるか	○	・軽減された時間で服薬指導に行いたい
自動化範囲	○	・自動化、機械化の範囲が増えるほど人の手間が削減され、インシデント削減に期待ができる
(参考) 1 病棟における通常の持参薬確認業	—	少ない日：0 人 多い日：10 人 ※特に月曜日に集中
心理的負担		
心理的負担軽減効果	○	・持参薬確認時の画像を後からでも確認できることに安心感がある
心理的負担軽減率	20%	
インシデント削減		
労務負担軽減からのインシデント削減への期待	○	・時間に余裕ができるため、インシデント削減へ期待できる
心理的負担軽減からのインシデント削減への期待	△	・何かあったときに持参薬確認時の画像を確認できるため
本ソリューションのインシデント削減への期待	△	・システムの精度による。 また、電子カルテとの連携が必須と考える

<配薬確認>

現状の業務では薬剤師や一部の看護師は行っているものの大半の看護師は行っていない行為のため、労務負担軽減効果・心理的負担軽減効果ともに逆に負担が増えるという回答となった。システム化のターゲットとなる業務は配薬前確認だが、薬剤師と看護師との役割分担や配薬前確認後の与薬前確認の位置づけも考慮し、実施フローを検討しなおす必要がある。

表 4-13 配薬確認における効果

労務負担	評価	コメント
労務負担軽減効果	×	<ul style="list-style-type: none"> ・一包化された薬剤の鑑別が楽になる ・シートのバーコード読み込みにより手入力の手間が削減される
労務負担軽減率	200 ～ 300%	・現状ではここまでの確認は行っていないため
軽減された時間に価値を感じるか	○	・時間削減ができれば配薬以外の業務に充てたい
自動化範囲	○	・自動化、機械化の範囲が増えるほど人の手間が削減され、インシデント削減に期待ができる
(参考) 1 病棟における通常の配薬確認業務	—	【配薬前確認】 <ul style="list-style-type: none"> ・昼に当日夜～翌日昼までの分を配薬作業者がチェックする ・8～15 人/日、5 分～10 分/人 ※20 種類以上ある場合は 20～30 分かかることもある 【配薬時確認】 <ul style="list-style-type: none"> ・15～25 人、2～3 時間/日
心理的負担		
心理的負担軽減効果	×	<ul style="list-style-type: none"> ・現状のシステム精度と操作だと負担が増える。配薬時の一包化薬剤の中身チェックは薬剤部で行っており、合っている前提として捉えているため看護部では行っておらず、今回の配薬時確認は単純に業務が増える。 ・現在は配薬確認と与薬前確認の W チェックを行っており、システムでの確認との運用上の整理も必要。 配薬確認：事前に配薬ケースに患者ごとに 1 日分の薬を仕分ける 与薬前確認：配薬ケースから患者本人へ薬を渡し内服を促す
心理的負担軽減率	200 ～ 300%	

インシデント削減		
労務負担軽減からのインシデント削減への期待	×	・現状のままだと期待できない
心理的負担軽減からのインシデント削減への期待	×	・現状のままだと期待できない
本ソリューションのインシデント削減への期待	×	・現状のままだと期待できない

<服薬前確認>

現状の業務では行っていない行為のため、労務負担軽減効果・心理的負担軽減効果ともに比較することはできないが、現状のシステム精度で運用するのであれば負担が増えるという結果だった。一方でインシデント削減への期待は見られ、過去に発生した事例をもとに本システムの効果があるだろうという声が挙げられた。インシデントに直面している現場は本実証病棟以外にもあると考えられるため、横展開時にもポイントになる点だと考えられる。

表 4-14 服薬前確認における効果

労務負担	評価	コメント
労務負担軽減効果	—	・現状行っていないため、比較できないが、実施するとなると単純に業務が増える。
心理的負担		
心理的負担軽減効果	—	・現状行っていないため、比較できない
インシデント削減		
本ソリューションのインシデント削減への期待	△	<ul style="list-style-type: none"> ・患者管理薬に関するインシデント事例が減る可能性がある。 ・この仕組みがあれば防げたと感じるインシデントが1年に5～10回くらいある。 ・しかし現在のシステム精度と操作では業務負担が増えるため精度向上が必要 ・患者は高齢者が多いためシステムの利用にストレスを感じる可能性がある

<服薬後確認>

現状の業務では患者からの自己申告や口頭での確認のみにとどまっているため、そこまで負担が重い業務ではなく、負担軽減効果は大きくないが、確認の正確性や飲み間違いの早期発見等のインシデント削減に向けては一定の期待が挙げられた。

表 4-15 服薬後確認における効果

労務負担	評価	コメント
労務負担軽減効果	△	<ul style="list-style-type: none"> ・現在は患者からの自己申告にとどまっております、口頭で確認したのちに電子カルテの薬剤ステータスを「服薬済み」としている。 ・現状、飲み殻の確認までは行っていないため負担としては増えるが正確性は向上するだろう
労務負担軽減率	20%	・確認結果が自動的に電子カルテの薬剤ステータスに反映できるようにしてほしい
軽減された時間に価値を感じるか	△	・現時点では何とも言えないが、時間削減ができれば検温、ナースコール対応、看護記録作成等に充てたい
(参考) 通常の服薬後確認業務	—	朝：3～6 人を 3～6 分 昼：3～6 人を 3～6 分 夜：5～10 人を 5～10 分
心理的負担		
心理的負担軽減効果	—	・現状でも心理的負担がないため
心理的負担軽減率	30%	・看護師がノータッチに近い運用が可能であれば心理的負担は減るが、介入が多くなれば比例して負担が増える
インシデント削減		
本ソリューションのインシデント削減への期待	△	・現在は患者の自己申告制での確認のため労務負担軽減によるインシデント削減への期待値が高いわけではないが、飲み間違いの早期発見ができる点では期待できるかもしれない。

<院内カルテ参照/トレーシングレポート送信>

現状の業務では患者からの自己申告や口頭での確認のみにとどまっているため、そこまで負担が重い業務ではなく、負担軽減効果は大きくないが、確認の正確性や飲み間違いの早期発見等のインシデント削減に向けては一定の期待が挙げられた。

表 4-16 院内カルテ参照/トレーシングレポート送信における効果

労務負担	評価	コメント
労務負担軽減効果	○	・院内カルテ参照ができれば聞き取りが不要になるため
労務負担軽減率	80%	・初回到院内カルテ参照の同意を取っている前提とする。 ・ただし初回到同意を得る工程は負担を感じる
軽減された時間に価値を感じるか	○	・患者とのコミュニケーションやレポート作成に充てたい
(参考) 通常の患者来院数	—	・110～120 人/日
(参考) 患者情報聞き取り時間	—	・15 分/人 ただし以下のようなケースでは 30 分程かかる場合もある。 ・併用が多い ・本人ではなく家族が取りに来るが状況を把握していない ・高齢のため自身で把握できていない ・お薬手帳を持ってきていない
心理的負担		
心理的負担軽減効果	○	・病院で色々聞かれた後に薬局で再度聞かれることに抵抗がある患者がいるため ・個人情報なので聞かれることに抵抗感がある患者がいるため
心理的負担軽減率	80%	・初回到同意を取る点は負担があるが、その後の院内カルテ参照によりスムーズに情報収集ができるため心理的負担の軽減は大きい

(4) ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

機能検証・運用検証・効果検証結果を踏まえ、本実証システムの横展開に向けた有効性を総評する。

<持参薬確認>

群馬大学医学部附属病院での各実証結果をもとに関係者から得た総合評価としては以下の通りとなった。5 点中 3 点と、良い点もあれば今後の改善を望む点も両方あるといった結果となった。

表 4-17 持参薬確認の総評

有用性等に関する総評	
持参薬確認（総合評価）	
総合評価	3点（5点満点）
良い点	<ul style="list-style-type: none"> ・手入力が減ること ・間違いが減ること ・作業時間が減ること ・一包化薬剤の判別が出来ること
悪い点	<ul style="list-style-type: none"> ・一包化薬剤の判別で、一包ずつしか判別できないこと ・ベルトコンベアのように連続で確認できると良い。 ・同じ一包でも、薬局が変わって後発薬になっていたり、休止となっており、薬が入っていないかったりするため。
改善を要望する点	<ul style="list-style-type: none"> ・ユーザーインターフェイス ・もっと入力の手間を減らせるUIにできるのではないかな。 ・用法や、日数などタブで簡単に選択できるなど。
期待すること	<ul style="list-style-type: none"> ・薬の刻印を呼んで機械学習すること。 ・例）よくこの薬剤結果が出たときに、●●と修正されているなどを学習し、手直しをサジェストしてくれる機能。
その他	

持参薬確認は特に薬剤師からの評価が高く、1 日当たりの受け入れ入院患者数が多い病院や、患者 1 人当たりの持参薬が多い病院では需要が高いと考える。1 日当たりの受け入れ入院患者数が多い病院は病床数 200 床以上の中規模～大規模の急性期病院が該当する。規模が多いほど需要があると考え。患者 1 人当たりの持参薬が多い病院では慢性期病院やケアミックス病院が該当する。これらの病院では介護施設から入院してくる患者も多く、持参薬が多い傾向がある。また、特殊な事例として精神科病院では一包化されている薬剤が多いため、確認しづらく時間がかかる一包化薬剤を効率的に確認したいというニーズに応えるという点では精神科病院も需要のある病院として考えられる。

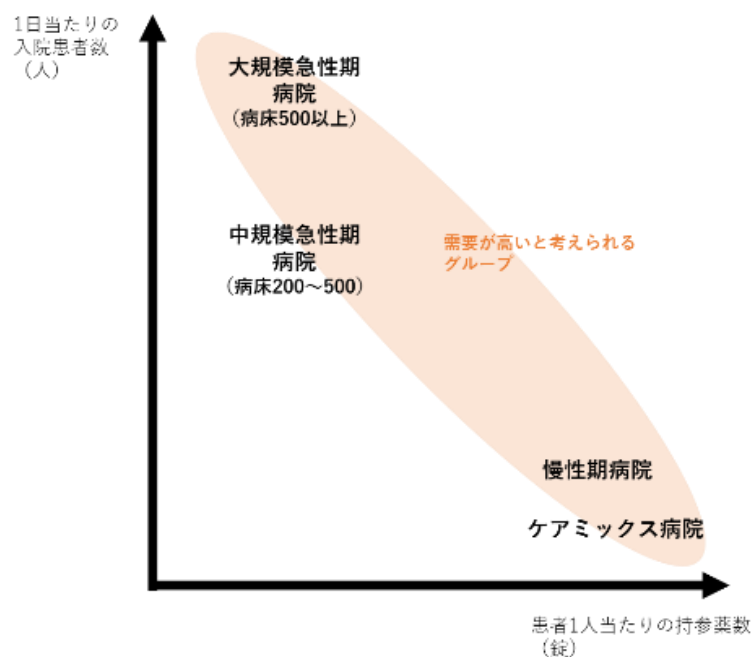


図 4-66 持参薬確認に需要があると考えられる病院種別

また、同様の指標を診療科別で見ると、1日当たりの入院患者数が多い診療科としては眼科が挙げられる。大規模病院の眼科では手術のための短期入院患者が多いため、持参薬確認の頻度が高いと考える。患者1人当たりの持参薬数が多い診療科としては血液内科、循環器内科、腎臓リウマチ内科、泌尿器科が挙げられる。これらの診療科の入院患者であればロボットの音声アナウンスに応じて本システムを利用することへの大きな支障もないと考える。また、特定の診療科ではないが、糖尿病を患っている患者は持参薬が多い傾向が高い。

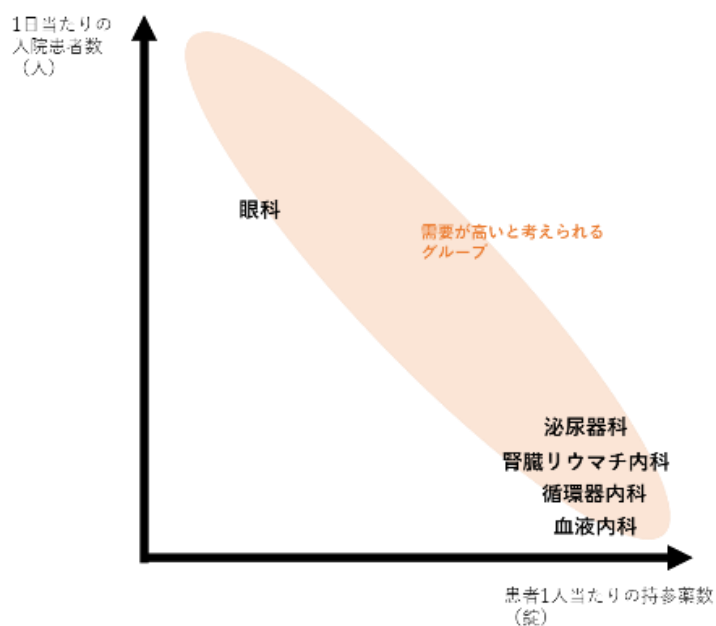


図 4-67 持参薬確認に関する需要があると考えられる診療科

<配薬確認>

群馬大学医学部附属病院での各実証結果をもとに関係者から得た総合評価としては以下の通りとなった。5点中1点と厳しい評価となった。ただし、システムの内容に対する低評価ではなく、このシステムをどう現場の業務に組み込むかという利用方法や運用面での課題が中心のため、今後も看護師や薬剤師との相談により現場に負担をかけない利用方法を検討していく。

表 4-18 配薬確認の総評

有用性等に関する総評	
配薬確認（総合評価）	
総合評価	1点（5点満点）
良い点	・精度が上がれば、一包化の中身が判別しやすいこと。
悪い点	・単純に業務が増えていること。 薬剤の中身の確認は、薬剤部で行っているため現在看護部で行っていない。 ※薬剤部から届いた薬剤の中身は正しい前提としている。
改善を要望する点	・配薬確認はWチェックが基本となるが、そのシングルチェックをロボットが行うことができること。 薬剤の中身の確認というより、配薬ケースに入れたものが、入れるべきものと合っているかを手問なく確認してくれるものを求める。
期待すること	・電子カルテなどとのシステム連携により、どこまで手問を減らせることができるか。
その他	

上

述の課題が残っているため、持参薬確認のように明確なニーズや需要分析仮説を検討することは現時点では難しいが、看護師から配薬確認の負担が大きい診療科について情報収集を行った。その結果、内科系病棟では塗布薬などではなく飲み薬の処方が多いため本システムに一定以上のニーズがあると推測できることがわかった。また、病院種別に限らず、高齢者やADL（Activities of Daily Living・日常生活動作）が低い患者は薬を病院管理とすることが多く、必然的に配薬業務が発生するためニーズがあると分かった。

現時点で具体的なターゲット分析には至っていないが、これらの情報からどのような病院種別であってもロボットによるタスクシフトのニーズがあると考ええる。本実証システムのプロモーションや視察会を行うことで需要喚起を行っていきたい。

<配薬確認>

群馬大学医学部附属病院での各実証結果をもとに関係者から得た総合評価としては以下の通りとなった。5点中3点とシステムの効果を一定程度評価するものの、患者自信に利用させることへの不安の声が上がった。マシントラブルや予期せぬ利用条件になった場合の対処方法を整理し、システム側で安全性を確保するとともに現場が安心して利用できる運用方法を引き続き検討する。また、実用化に向けてはとにかく看護師の手間をなくす設計とするよう強く要望を受けた。システム利用に手間がかかっているのは他のインシデントにつながる要因となり本末転倒となってしまうかねないため、この点を重要課題と認識し、今後の検討を行う。さらに追加機能の要望として、飲み間違い以外にも飲みこぼしのインシデントもあるため、録画機能などで服薬状況を確認できる機能があるといいという声も上がった。

表 4-19 服薬前確認の総評

有用性等に関する総評	
服薬前確認（総合評価）	
総合評価	3点（5点満点）
良い点	・ 薬の飲み間違いは減るかもしれない。
悪い点	・ マシントラブルが起きる不安が残る。 女性看護師はマシントラブルに対応ができない。 トラブル対応の業務・手間が増える可能性がある。
改善を要望する点	・ 薬剤判別の精度。 ・ 薬剤を入れるトレイのディスプレイ化
期待すること	・ 完全に自律してロボットが全て行ってくれること。 そうすればインシデント減少に役立つかもしれない。
その他	・ 実用化を考えるのであれば、とにかく看護師の手間を無くすようにしてほしい。 ※「手間が増える」→「他のインシデントにつながる」という可能性があるため。 ・ 録画機能の追加 「飲み間違い」もインシデントとしてあるが、 「飲みこぼし」もかなり多いと感じている。 録画機能があれば後でそれを確認できて良い。

需要があると考えられる病院種別や診療科としては、実際に患者が操作するという面を考慮すると整形外科では患者層が比較的若く、抵抗感なく利用できるため一定のニーズがあると考ええる。それ以外の病院種別や診療科については運用面での課題解決を行う中で現場の声を拾い、利用シーンが多そうなユーザーを分析していく。

<服薬後確認>

群馬大学医学部附属病院での各実証結果をもとに関係者から得た総合評価としては以下の通りとなった。服薬前確認と同様に5点中3点と、システムの効果を一定程度評価するものの、マシントラブルへの不安が挙げられた。また、具体的な改善要望として飲み殻を投入するトレイを自動開閉式にしてほしいという声や、対応薬品種別を増やしてほしいという声が上がリ、改善に向けた方向性が提示された。その他として、患者自身の操作やマシントラブルの不安がある一方で看護師の負担軽減のために患者自身で飲んだ薬を確認させる方法も上がった。これらの意見を踏まえて本システムによる自動化範囲の拡張の検討も行い、現場での評価を高める工夫を行いたい。

表 4-20 服薬後確認の総評

有用性等に関する総評	
服薬後（飲み殻）確認 （総合評価）	
総合評価	3点（5点満点）
良い点	・ 飲み間違いの早期発見ができる。
悪い点	・ マシントラブルが起きるだろうと考えると、現状と比較し、手間が増えると考えてしまう。
改善を要望する点	・ 飲み殻トレイがCDやDVDプレーヤーの投入口から出る、皿のような形で出てくると良い。
期待すること	・ 精度、薬剤の種類 ※本実証では11種の薬剤の飲み殻を学習。
その他	・ ロボットが病室に行き、患者が飲んだ薬を選んで画面タッチさせるという考え方もある。 ※現在は薬剤シートの画像AI解析 水薬、塗布薬などは対象外

需要があると考えられる病院種別や診療科としては、実際に患者が操作するという面を考慮すると整形外科では患者層が比較的若く、抵抗感なく利用できるため一定のニーズがあると考ええる。また、服薬前確認と異なり、患者管理の薬剤に関する服薬後確認はどのような診療科でも原則自己申告制で運用されているため、診療科の差はなく、運用の課題などが整理できれば広く利用可能なシステムであると考ええる。

<院内カルテ参照/トレーシングレポート送信>

院外薬局での各実証結果をもとに関係者から得た総合評価としては以下の通りとなった。全システムの中で最も高い5点の評価を得ることができた。これまで紙やFAXでアナログ運用されていたことと、患者・薬剤師ともに負担の大きい業務だったこともあり、システムによる速やかな情報共有を図ることによって多くの課題解決につながると期待できる。また、改善点として医師との伝達ツールの要望も上がり、更なる現場の課題解決につながれるとともに、病院にとっても患者の診断に役立てられるような双方へのメリットを提供できるシステム改善を行っていききたい。薬剤師からは現時点ではインシデントは発生していないが患者によっては禁忌薬がある場合もあるため、そういったインシデント防止にも役立つだろうと評価を得た。本実証は病院近くの院外薬局に協力を得て実施したが、こういった禁忌薬への対処という点では必ずしも大学病院付近の薬局に限られるものではないため、広く本システムを展開できると考える。

表 4-21 院内カルテ参照/トレーシングレポート送信の総評

有用性等に関する総評	
院内カルテ参照/トレーシングレポート送信（総合評価）	
総合評価	5点（5点満点）
良い点	<ul style="list-style-type: none"> ・労務負担も心理的負担も大きく軽減できること。 ・トレーシングレポートがデータ化されること。 紙運用はその場での活用はしやすいが、二次活用しづらい。
悪い点	・無し。
改善を要望する点	<ul style="list-style-type: none"> ・疑義照会の簡易版的な機能が欲しい。 ・すぐでなくてもよいので、伝えるだけ伝えておいて次回の診療時に反映してほしいことがある。疑義照会で連絡しても医師がそれを電話で受けるときに、診察室にいなかったり電子カルテが目前になかったりして反映されていないことが多いため。
期待すること	<ul style="list-style-type: none"> ・情報提供する病院側のメリットも大きくなること。 病院と薬局の双方でメリットがあることで順調に進むと考える。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・今回の仕組みはインシデント対策ではなく、元々インシデントが発生しているわけではないが、お薬手帳を持ってきていても貼り忘れがあったりするため、非常に有用である。 ・また透析中の患者が、透析をしていることを伝えていなかったりする場合がある。透析患者への禁忌薬を未然に防ぐなどといった点でも有用である。 ・他の多くの院外薬局でも需要のあるものである。

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

本実証終了後も、本実証において提案するローカル 5 G を用いたソリューションの一部または全てを継続的に活用し、他のユーザや他分野での課題解決等を図っていくためのローカル 5 G 活用モデルについて検討する。

1) 検証項目

【次世代薬剤トレーサビリティのニーズ検証】

【次世代薬剤トレーサビリティの成長性検証】

2) 検証方法

【次世代薬剤トレーサビリティのニーズ検証】

- ・実証病院にて次世代薬剤トレーサビリティの実証後評価アンケートを実施する。

【次世代薬剤トレーサビリティの成長性検証】

今回の実証対象である「薬剤師」「看護師」向けの業務支援システムの市場調査を行い、実証内容の市場での立ち位置を確認し次世代薬剤トレーサビリティの市場での成長性を検証する。

3) 検証結果及び考察

【次世代薬剤トレーサビリティのニーズ検証】

実証病院である群馬大学医学部附属病院によるアンケートの結果、下記の結果となった。

※結果に至った細かい内容は運用検証、効果検証、有用性等に関する総評に記載

表 4-22 次世代薬剤トレーサビリティのニーズ調査結果

次世代薬剤トレーサビリティのニーズ（実証病院確認）						
	総合評価 (1～5)	持参薬判別	配薬時の 薬剤判別	服薬前確認	服薬後（飲 み殻確認）	院外薬局 情報連携
薬剤師 (病院)	3	3				
看護師	2.3		1	3	3	
薬剤師 (院外薬局)	5					5
病院 情報担当	4.4	5	4	4	4	5

病院、院外薬局ともに「薬剤師」に対する評価が高い。運用検証、効果検証でのコメントに前向きなものが多く、点数よりもニーズが高いものとする。

- ・持参薬の薬剤確認業務負担の軽減
- ・院外薬局での患者情報収集業務負担の軽減

上記2点に関して分かりやすく業務負担の軽減を行えたことに起因する。

また、一包化薬剤の判別をベルトコンベアのように連続で行いたい、薬剤結果が出たときによく手直しされる内容はサジェストする機能が欲しいなど、使う前提の明確な要望が多く、残課題も明確である。
※サジェスト部分は、学習機能を実装済み。

「看護師」からの評価はあまり高くないが、これは3つあるソリューションのうち「配薬確認」の評価が著しく低いことに起因している。

今回の仕組みでは、「一包化された薬剤」と「バーコードがついた薬剤」でシステムによる細かい確認が取れるようになっているが、現状業務より時間がかかる結果となっており、現場スタッフからの評価が高くない。

これに関しては「配薬確認時に必要な場合のみ使用することが可能」という提案でニーズを確認する必要があると考える。

一包化された薬剤に関して、看護部では中身を正しいとして実証病院では扱っているが、他の病院で配薬時に中身を確認したいというニーズは無いのか、また経験が浅い看護師が配薬確認を行うときに使用してもらうことで、管理側も作業側も心理的負担軽減されるとともに、インシデント抑制につながるというニーズは無いのかという確認である。

今回の配薬確認の仕組みでは、時間短縮ということは行えなかったが、通常業務より確認の質を高めることができたと考えており、この有用性を今後さらに確認していく。

評価やコメントが低くなかった「服薬前確認」「服薬後（飲み殻）確認」に関しては、ロボットが患者のところに訪問し、患者が操作するという実証パターンの中で最もチャレンジングなものであるが、結果として問題なくロボットが患者のところに訪問し、患者も問題なく操作ができることを確認できたことは、今回の実証でとても意義のあることである。

コメントや要望では、持参薬確認の時ほど使用を前提としたものではないが、下記を頂いている。

- ・精度向上
- ・マシントラブル時の対応をどうするか
- ・病室ドアが閉まっているときの対応をどうするか

飲み間違いの予防や、誤飲時の早期発見に繋がるという前向きな意見を頂いているが、何かあった時にどうなるのか、想定していない事態に対応できるのかなどのコメントが多かった。

プログラムにより、何か不測の事態が起こった場合にロボットはホームに戻るという動作が可能だが、訪問後に病室のドアが閉まるなど、身動きが取れないときの対応を考える必要もある。現状案として、ロボットからナースコールへ連携して看護師を呼ぶという運用は技術的に可能である。その後の対応は予備機の配置なのか、保守の体制なのかより実用フェーズを想定した体制も整備していくことで、看護師の不安を減らし実運用へのニーズを高めていきたい。

【次世代薬剤トレーサビリティの成長性検証】

1) 薬剤師の知的業務支援システム

現在の薬剤師の知的業務支援は主に下記の3点が中心となっている。

- ・ 調剤支援
- ・ 服薬指導
- ・ 薬剤管理

薬剤師の知的業務支援のシステム化は進んでいるが、今回の実証ではまだシステム化が進んでいない下記の2点に対する知的業務支援に取り組んだ。

- ・ 持参薬鑑別のための、薬剤登録作業（病院）
- ・ 服薬指導のための、患者情報収集（院外薬局）

<上記2点の成長性>

- ・ 持参薬鑑別のための、薬剤登録作業（病院）

薬剤管理の一業務である持参薬鑑別業務は、患者が持ち込む薬剤の鑑別であるため業務量が読みづらい大変な業務であるため、市場ではシステム化が進んでいる。しかし、システム化が進んでいる部分は主に下記部分となる。

「薬剤師の薬剤登録」→「医師の薬剤承認」→「医師の継続指示（中止）」

1度登録の行われた薬剤はシステムの一部として扱うことができるため、システム化が行いやすい領域となるが、物理的な持参薬をまずシステム登録するために入力するという行為のシステムがまだまだ進んでいない。

今回の実証では下記2点の薬剤入力支援が可能となる。

- ・ 一包化された錠剤の入力
- ・ バーコードのついた薬剤

バーコードのついた薬剤は、バーコードと一緒に薬剤名やメーカー名が記載されているため、薬剤特定は容易だが、バーコード読み込みにより入力の手間が削減される点のメリットが大きい。そして一包化された薬剤の確認は、それ以上にメリットが大きい。

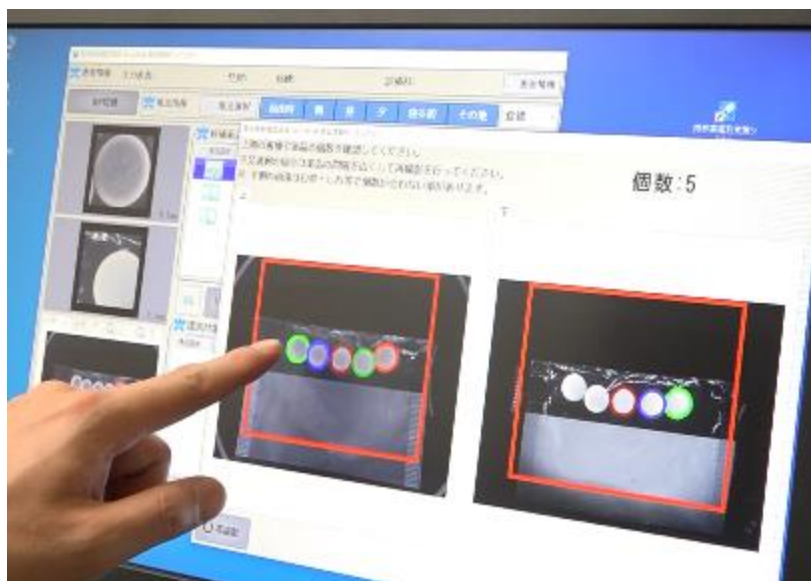


図 4-68 一包化された薬剤の判定結果確認の様子

上記のような一包化薬剤は通常袋を開けずに、薬剤の確認を行う。

当然メーカーから出荷されたときのシートには入っていないため、1つ1つ薬剤の計上や刻印を確認していく必要がある。また後発品の爆発的普及によりベテラン薬剤師でも視認だけで候補薬剤を挙げるのが難しくなっている。一包化された状態で薬剤名を確認するという作業は現在とても時間のかかる作業となっている。

今回すべての種類の薬剤入力支援を行えるわけではないが、一包化された薬剤入力の支援が行える点は薬剤師からの評価も高く、競合もないため市場での成長率は高いものと考ええる。

・服薬指導のための、患者情報収集（院外薬局）

お薬手帳の普及により、薬剤情報の確認は行いやすくなっているが、まだ所持していない患者もいる。また病院などの医療機関でどのような医療行為があったのかを確認するためには、患者が院外薬局薬剤師に説明できることが前提となるが、現状それは難しい。より質の高い服薬指導を行うためには、医療行為を行った医療機関への確認が望ましいが、診療中の医療機関に対して、院外薬局来訪中に確認を終えることは難しい。

そこで今回退院時サマリや、診療情報提供書の内容を院外薬局から閲覧可能とすることにより、正確な情報をより効率的に行う仕組みづくりに取り組んだ。

それでも確認できない情報だけを問い合わせることにより、病院も院外薬局もより絞った内容だけを確認することでお互いの本来業務へ専念することができると考える。

国の方針として地域医療が推進されているが、まだまだ情報の整備には時間がかかる。今回医療の標準規格である HL7 FHIR を使った「院内カルテ参照/トレーシングレポート送信」を作成した。診療を行う医療機関側が HL7 FHIR 形式で退院サマリ情報などの出力を行う必要があるが、これは現在の医療情報学会の流れと一致しており、大病院をはじめ多くの医療機関が出力できる仕組み構築が進みだすものと考えており、需要が高くインフラの整備が始まっていることもあり、大きな成長分野であると考えている。

2) 看護師の知的業務支援システム

現在の看護師の知的業務支援は電子カルテシステム、看護支援システムで総合的に実装されており、歴史もあるため完成度も高い。

人手不足が騒がれる医療業界の中で、看護師向けの支援システムの新規参入は少ない。AI 音声による記録の入力、医療スタッフ間でのコミュニケーションツールなどがリリースされてきているが、看護師の業務自体を代行するという仕組みはまだまだ発展途上というより、未開発の領域である。

今回の実証ではまだシステム化が進んでいない下記の2点に対する知的業務支援に取り組んだ。

- ・ 配薬確認の支援
- ・ 服薬確認のロボット代行

< 上記2点の成長性 >

- ・ 配薬確認の支援

今回の実証の中では現在行っていない業務とのことで、評価はあまり高いものではなかった。(業務の追加であり、労務負担の削減にはならない) 今回の仕組みでは、中身の確認に手間の大きい一包化薬剤の確認を楽にするという仕組みであったが、看護部としては薬剤部が一包化して確認を行っているため、中身は正しいものとして配薬を行っている。ロボットに求める支援は、患者ごとの配薬ボックスに看護師が薬を入れる際に、正しいものをボックスに入れているかの確認を行うものとのことで、少し解釈の違いが発生した。

配薬する薬剤はシートが1回分に切り取られるため、すべてにバーコードが残っているわけではないが、バーコードが残っているものもあり、バーコードによりシステム的な確認を取れるが、持参薬確認業務の実証と違い、薬剤名は事前に電子カルテに登録されており、入力する手間の削減にはならないため、目視で合っているかの確認に比べ業務負担となるため、現場としてはこちらも評価はあまり高くなかった。

しかし、「業務負担は増えるが、配薬業務の質向上を求める病院」に対しては、成長分野であると考えることができる。今回の仕組みでは、配薬確認の質向上はできるが、業務負担は増えてしまう。配薬を契機としたインシデントを減らすためには有用であると考えると同時に、「経験不足の看護師が配薬するときのみ使用する」という活用方法もある。

実証のコンセプトのままでは成長が難しいが、現状は活用方法の提案を変え、配薬確認の需要と求めるサービスを確認し、成長に繋げていきたいと考える。

- ・ 服薬確認のロボット代行

本実証での大きな成果は、患者が考えたロボットのシナリオで想像以上にスムーズに動作を行えたことである。当然人が行う行為に比べ、ロボットが行う行為は患者のストレスになる可能性はあるが、レストラン等でのロボット活用が急速に広まっていること、そこに対するクレームをあまり聞かないことから、前向きに考えてよいのではないかと考える。また医療機関への予約、飲食店や美容院への予約は、以前電話が当たり前であったが現在インターネット予約が主流となっている。電話予約が可能でも、インターネットを使うという流れは、不必要に対人機会を増やしたくないという日本人の気質にも表すものであり、服薬確認の代行においても前向きに考える材料となる。

また、スタッフ目線で撮影画像、録画画像を後で確認したいとの要望は薬剤師と看護師それぞれからあった。今の時代、何かあった時に後で振り返る材料があるということが、心理的安心感に繋がるという観点は、実証計画時にはなかったため良い気づきとなった。

撮影画像は現状振り返る仕組みがあり、録画は患者を撮影する場合には同意を取る等の運用は考える必要があるが、デバイスはそろっているため技術的に実現は可能である。

医療業界におけるロボットへの業務代行はあまり進んでいないが、上記の気づきのように、実際に医療スタッフが触ってみて初めて気づくことが多々あるため、引き続き運用しながらスタッフとして何を求めるかを調査していく。

成長性としては人手不足という背景もあり確実であるが、今回の配薬確認のように業務が増える結果となると現場として受け入れにくい現状は今後も変わらないと思われる。

確実な成長分野ではあるが、いかに現場スタッフの業務を減らし、心理的安心感を与えることができるかに注力していく必要がある。それはロボットによる業務が、確実に人より速く行わなければいけないというものではなく、ロボットの業務に時間がかかったとしても、結果としてスタッフの時間創出ができたのかどうか、心理的安心感を与えることができたのかどうかをいうことを前提とする考え方も重要である。

次世代薬剤トレーサビリティ SWOT分析	
強み	弱み
<ul style="list-style-type: none"> ・ インシデント削減の可能性 (労務負担軽減) (心理的負担軽減) ・ 既存システムとの親和性 	<ul style="list-style-type: none"> ・ L5G機器の購入費用と運用費用 ・ 費用対効果が分かりづらい (導入により、コストがいくら削減するという類のものではないこと)
機会	脅威
<ul style="list-style-type: none"> ・ 人手不足 ・ 医療標準規格HL7 FHIRの普及が始まる ・ 後発薬の増大 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 患者の高齢化 (ロボット操作への不安) ・ 患者主体の服薬確認アプリなどの台頭 (現時点スマホアプリ操作は、ロボットより高齢者には難易度高い)

図 4-69 次世代トレーサビリティシステムの SWOT 分析

(2) 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

1) 検証項目

本実証システムを横展開するにあたってのターゲットを分析し、ビジネスモデル検討材料とする。本実証システムを導入する上で必要となる電子カルテシステム等の導入状況により、ターゲット病院種別を想定し、病院種別ごとに次世代薬剤トレーサビリティにかけられるコスト想定を行い、ビジネスモデルを検討する。

2) 検証方法

【基本属性情報の分析】

【ニーズの整理】

- ・実証病院と属性が類似する病院でのニーズ整理。
- ・実証病院とは属性が異なる病院でのニーズ整理。

【予算の想定】

病院の基幹システムである電子カルテシステム等を指標価格とし、その 10%を目標値とした課題解決ソリューション範囲を想定。

3) 検証結果及び考察

本実証の次世代薬剤トレーサビリティは電子カルテシステム等の情報を利用するため、電子カルテシステム等を利用しているが導入対象となる。そのため、電子カルテシステム等を利用している病院数をまずは調査した。

下記は厚生労働省が発表している一般病院の電子カルテシステム等の普及率である。

表 4-23 電子カルテシステム等の普及状況の推移

電子カルテシステム等の普及状況の推移					
電子カルテシステム	一般病院 (※1)	病床規模別			一般診療所 (※2)
		400床以上	200～399床	200床未満	
平成 20年	14.2 % (1,092/7,714)	38.8 % (279/720)	22.7 % (313/1,380)	8.9 % (500/5,614)	14.7 % (14,602/99,083)
平成 23年 (※3)	21.9 % (1,620/7,410)	57.3 % (401/700)	33.4 % (440/1,317)	14.4 % (779/5,393)	21.2 % (20,797/98,004)
平成26年	34.2 % (2,542/7,426)	77.5 % (550/710)	50.9 % (682/1,340)	24.4 % (1,310/5,376)	35.0 % (35,178/100,461)
平成 29年	46.7 % (3,432/7,353)	85.4 % (603/706)	64.9 % (864/1,332)	37.0 % (1,965/5,315)	41.6 % (42,167/101,471)
令和 2年	57.2 % (4,109/7,179)	91.2 % (609/668)	74.8 % (928/1,241)	48.8 % (2,572/5,270)	49.9 % (51,199/102,612)

オーダリングシステム	一般病院 (※1)	病床規模別			
		400床以上	200～399床	200床未満	
平成 20年	31.7 % (2,448/7,714)	82.4 % (593/720)	54.0 % (745/1,380)	19.8 % (1,110/5,614)	【注 釈】 (※1) 一般病院とは、病院のうち、精神科病床のみを有する病院及び結核病床のみを有する病院を除いたものをいう。 (※2) 一般診療所とは、診療所のうち歯科医のみを行う診療所を除いたものをいう。 (※3) 平成23年は、宮城県、石巻市、気仙沼市及び福島県を除いた数値である。 出典：医療施設調査（厚生労働省）
平成 23年 (※3)	39.3 % (2,913/7,410)	86.8 % (401/700)	62.8 % (827/1,317)	27.4 % (1,480/5,393)	
平成26年	47.7 % (3,539/7,426)	89.7 % (637/710)	70.6 % (946/1,340)	36.4 % (1,956/5,376)	
平成 29年	55.6 % (4,088/7,353)	91.4 % (645/706)	76.7 % (1,021/1,332)	45.6 % (2,422/5,315)	
令和 2年	62.0 % (4,449/7,179)	93.1 % (622/668)	82.0 % (1,018/1,241)	53.3 % (2,809/5,270)	

<https://www.mhlw.go.jp/content/10800000/000938782.pdf>

精神科病院を除く集計であるが、令和 2 年の調査報告より現在約 60%の病院で電子カルテシステム等の普及が進んでいることが分かる。

その中でも実証病院と規模が同じである、400 床以上の病院では 90%以上の病院で電子カルテシステム等の導入が行われている。

以上のことより、次世代薬剤トレーサビリティのターゲット層を以下とする。

400床以上	700病院	電子カルテ導入済多数 ※ソリューションターゲット	導入率90%
200～399床未満	1200病院		導入率75%
200床未満	5300病院	電子カルテ未導入多数	導入率50%

図 4-70 次世代トレーサビリティシステムのターゲット層

表 4-24 次世代トレーサビリティシステムにかけられる費用想定

病院種別	電子カルテ導入費用概算	次世代薬剤トレーサビリティにかけられる費用想定 (電子カルテ導入費用の10%想定)
大規模急性期病院 (400床以上)	¥1,000,000,000	¥100,000,000
中規模急性期病院 (200～399床)	¥500,000,000	¥50,000,000
回復期病院 (200床以上)	¥150,000,000	¥15,000,000
大規模慢性期病院 (200床以上)	¥100,000,000	¥10,000,000

病院の基幹システムである電子カルテシステム等の導入費用の10%を
次世代薬剤トレーサビリティにかけられる費用と過程

(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

a. ターゲット

- ・想定される地域：全国
- ・想定される市場：急性期病院
- ・想定されるユーザ：電子カルテシステム等を運用中である病院

本ローカル 5G 活用モデルである次世代薬剤トレーサビリティは、全国の病院の課題にフォーカスしたソリューションであり、特定の地域で突出して需要が高いものではない。

運用スキーム・ビジネスモデルの検討により、次世代薬剤トレーサビリティは、急性期病院が最大のターゲットになるという結果に至る。薬剤が多い慢性期病院、糖尿病患者が多い眼科病院、多忙を極める急性期病院など、様々な要件があるが、コストも含めた総合的需要は中規模以上の急性期病院であると考えている。

本システムは電子カルテシステムを運用していることが前提となっているが、全国の病院での普及率は5割～6割程度である。しかし中規模で75%、大規模病院では90%の普及率となる。電子カルテが導入されていない病院では、利用目的が少ないため病棟ではLAN配線もしっかりとは行われていないことが多い。また本システムは薬剤業務の支援システムであるが、ローカル 5G を前提としているため、病院側でもある程度ネットワークインフラに知見があること望ましいと考える。

こういった背景より、初期でターゲットにするべき市場は急性期病院市場であるという結論に至った。

b. 対象となるシステム

① システム概要



図 4-71 院内における薬剤・飲み殻鑑別システム概要図

院内カルテ参照/トレーシングレポート送信

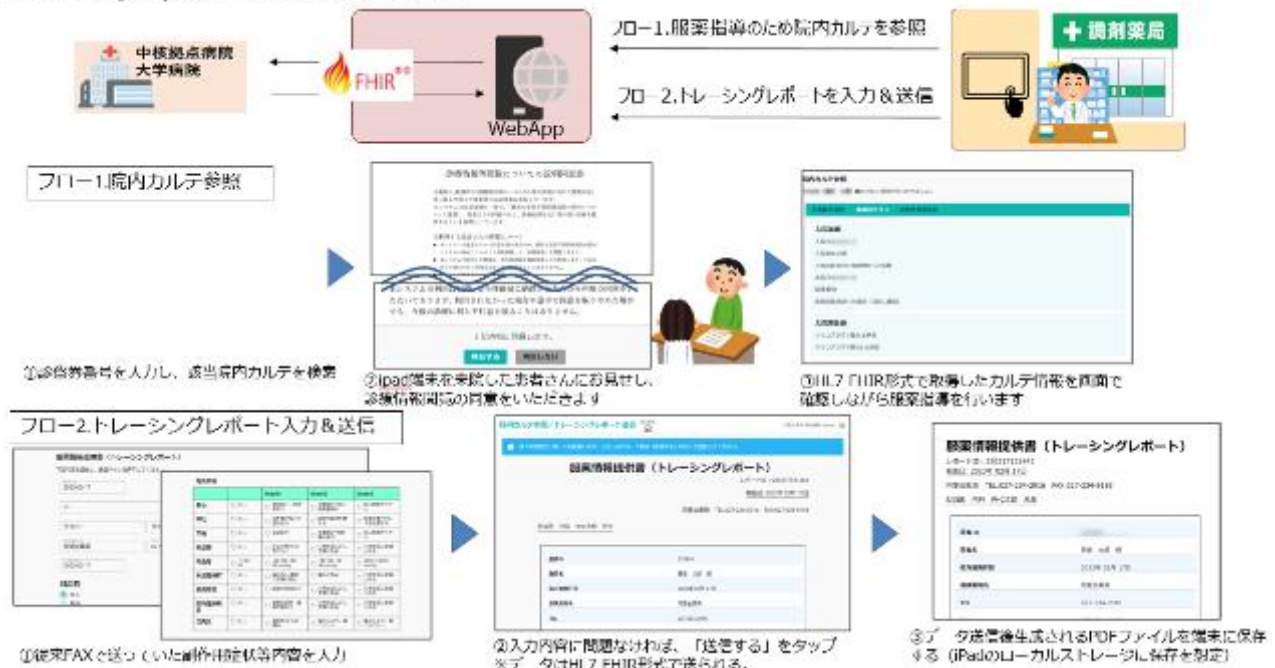


図 4-72 院内カルテ参照/トレーシングレポート送信概要図

②ネットワーク/システム構成

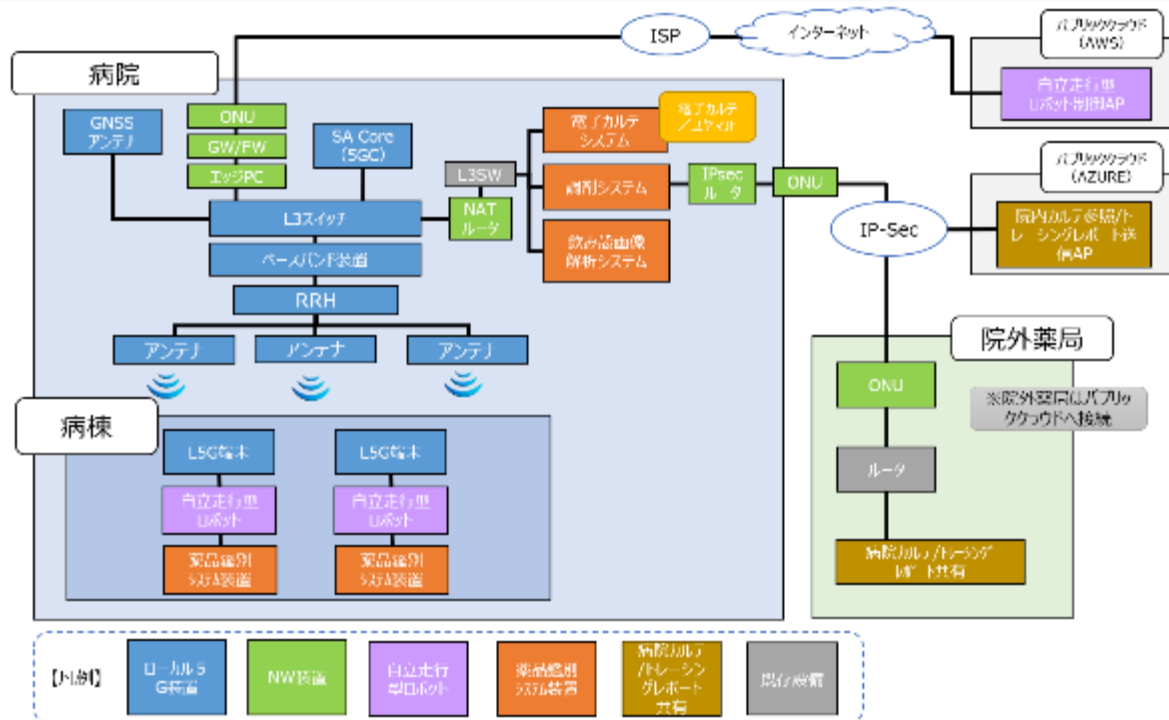


図 4-73 システム構成図

③業務/処理フロー

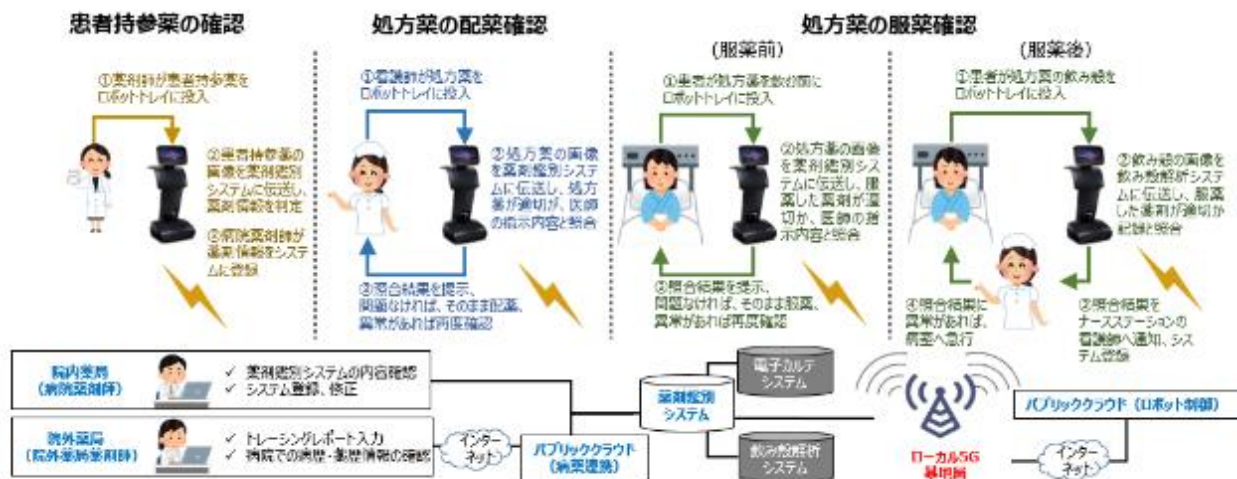


図 4-74 システムフロー全体図

c. ビジネスモデル

次世代薬剤トレーサビリティのビジネスモデルは以下のとおりの検討結果となった。

【ビジネスモデル要約】

① Who（顧客は誰なのか）

- ・急性期病院

② What（顧客にとってどのような価値を提供するのか）

- ・医療スタッフの時間創出
- ・医療スタッフの心理的負担削減
- ・薬剤インシデントの削減

※医療スタッフの時間創出、心理的負担増減はインシデント増減へと影響する可能性がある。

③ HOW（どのようにしてその価値を提供するのか）

- ・人による細かい薬剤チェックをシステムにより支援
- ・人の稼働をロボットが代替（タスクシフト）

④ Why（なぜそれが利益に結び付くのか）

- ・医療の高度化、複雑化に伴い薬剤インシデントリスク増大という喫緊の課題があるため
- ・医療現場における人手不足が深刻さを増しており、医師から看護師や薬剤師などのコメディカルへのタスクシフトとともに、コメディカル自身の作業量削減が強く求められているため

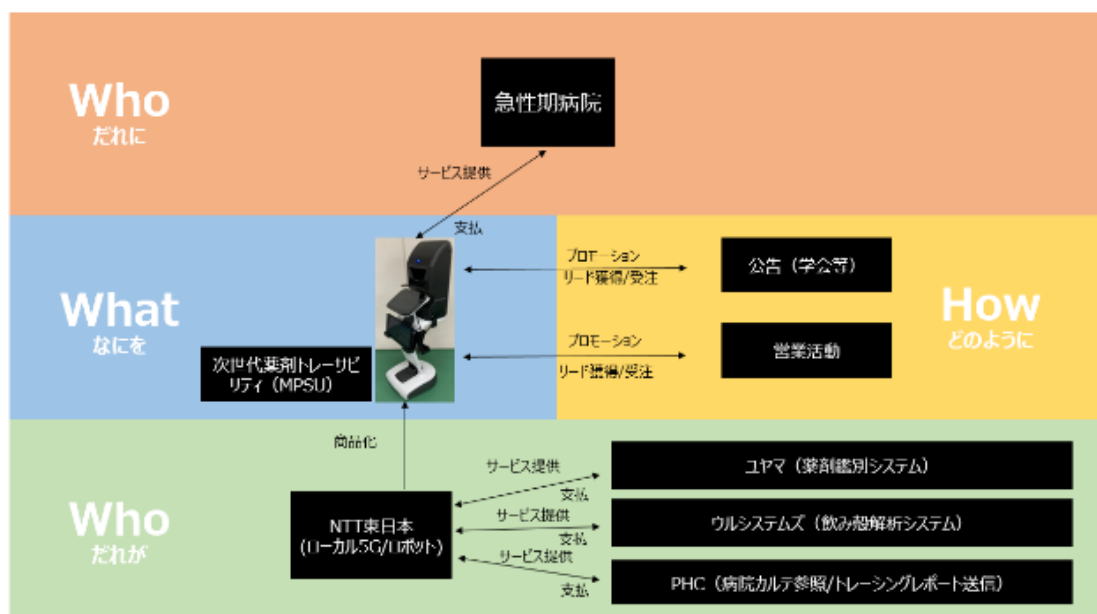


図 4-75 ビジネスモデル概要図

2) 体制・役割分担

体制・役割分担は下記の体制を想定している。

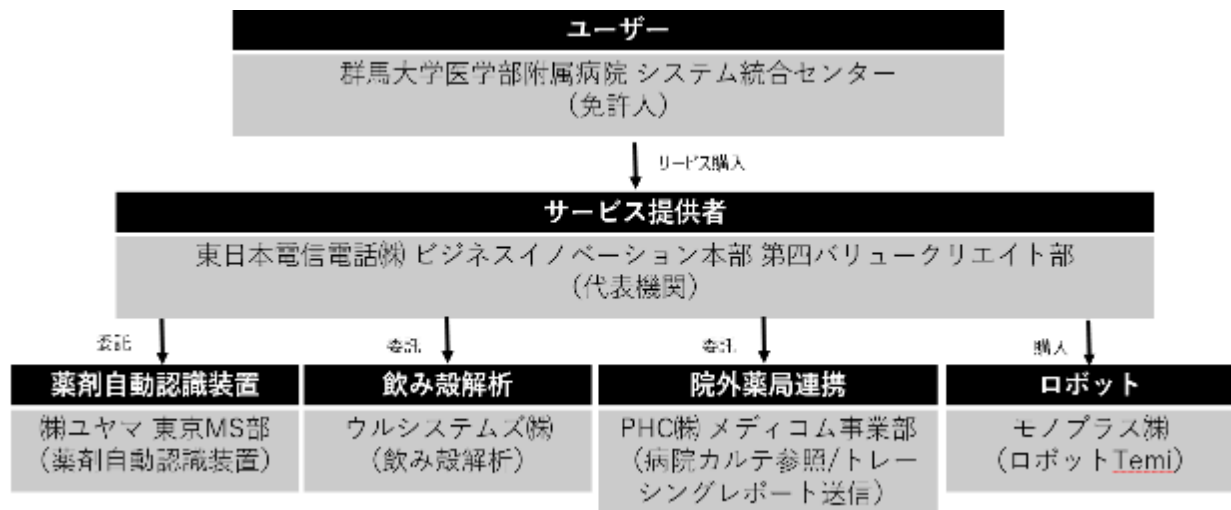


図 4-76 体制図

3) 導入効果

持参薬確認は幅広い病院で導入効果があり、服薬確認は患者管理の薬剤を対象としていることから、認知症ではない患者が対象となるため、急性期病院において高い導入効果が望める。看護師の人員体制は人員配置基準が設けられているため、机上試算におけるコスト削減効果を表すことは難しいが、時間の創出と医療の質向上を支援する本仕組みの導入効果は高い。

急性期病院では特に時間に追われているため、ローカル 5G の高速大容量通信によるレスポンスが必須と考えられるが、比較的時間に余裕のある慢性期病院においては、レスポンスが低下しても費用が掛からないことが好まれるケースがあると考えられる。また慢性期病院においては、持参薬確認がメインで服薬確認業務は行わない可能性が高い。つまり慢性期病院に対しては、通常の Wi-Fi を活用した持参薬確認に限定した仕組みを安価に提供できることが導入効果及び、費用対効果が高いと考えられる。

急性期病院における高レスポンス、高精度を誇るモデルをフラグシップとしながらも、病院種別ごとに適切な費用対効果を考えたモデルを形成し、商品ラインナップを拡充する。

(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。本実証は医療分野のタスクシフトに向けた省人化と、医療現場における薬剤インシデント削減の実現を目標とする。今回の実証を通して、効果が検証された場合、本実証フィールドと同規模の大学病院やその他基幹病院に対して普及展開が見込めると考えている。ローカル 5G の特性を生かしたユースケースの効果を明らかにすることにした上で、利用者が導入メリットや費用対効果を勘案し、導入に至ると考えられる。

令和 2 年度の医療分野における開発実証では、病院と介護施設や公民館等、病院外施設との通信のためにローカル 5G を利用していたため、費用負担者を病院とするべきか、自治体とするべきか整理が混迷していた。本実証は医療現場の課題に焦点を絞ったため、課題解決効果の受益者と費用負担者が明確になり、ビジネスモデルが簡潔になったと考える。地域医療におけるローカル 5G の活用可能性は今後とも検討が必要と考えるが、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。

その他、ローカル 5G 活用モデルの普及展開の加速に向け、同様の課題を抱える他のユーザ企業等や他分野へ普及させるための方策等として、コンソーシアム各社において学会やメディア等を通じて広く発信するとともに、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おいても実施することを考えている。当社は、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あり、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。「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。当社では、「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」の取り組みを継続し、創出されたユースケースと「ギガらく 5G」を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。



図 4-77 東日本電信電話のローカル 5G 社会実装に向けた取り組み

1) 検証項目

ローカル 5G 社会実装に向けた取り組みとして、東日本電信電話株式会社では既に独自で「ローカル 5G オープンラボ」を設立して公開している。この「ローカル 5G オープンラボ」の活動がローカル 5G の知名度や関心度の向上に有効であることを検証する。

2) 検証方法

ローカル 5G 社会実装に向けた東日本電信電話株式会社の独自の取り組みである「ローカル 5G オープンラボ」でのパートナー企業やユーザ企業へのローカル 5G や「ギガらく 5G」の説明や議論等の対応数を記録し、ローカル 5G の知名度や関心度の向上に貢献しているか検証する。

3) 検証結果及び考察

ローカル 5G 社会実装に向けた東日本電信電話株式会社の独自の取り組みである「ローカル 5G オープンラボ」でのパートナー企業やユーザ企業へのローカル 5G や「ギガらく 5G」の説明や議論等を実施した対応数は以下の通りであった。

令和3年度までのローカル5Gオープンラボ の対応数	令和4年度におけるローカル5Gオープンラボ の対応数
・対応数 205社	・対応数 413社
【主な検証事例】 ・スマート工場実現に向けた物流倉庫内の 動態把握検証 ・スマート農業実現に向けたスマートグラス等 を活用した遠隔営農指導検証 等	【主な検証事例】 ・「新たな働き方」の実現に向けたテレワーク 環境でのリアルとバーチャルの融合利用検証 ・高精細なカメラ映像を用いた遠隔での高度 な現場把握・作業支援検証 等

図 4-78 ローカル 5G オープンラボの対応数等について

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

ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題は過年度実証でも明らかになっている通り運用費用が高額であることである。

ローカル 5G 活用モデルにおいて、高レスポンスを維持することが絶対条件である場合を除いたモデルに関しての解決策の検討を行った。

(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

ローカル 5G 機器の運用費用は、過年度実証でも明らかになっている通り本実証でも高額である。本実証での課題解決のため、ローカル 5G 設備にかかる運用費用を下記の通り整理した。

ローカル5G機器 運用費用の整理

金 ¥68,000,000/年 予備機購入 (先出しセンドバック) オンサイト保守有り	故障時の部品確保のため、予備機購入のプラン ※予備機納期約4.5カ月	Wi-Fi 6 等によるバックアップ体制によりカバー
銀 ¥50,000,000/年 予備機無し (後出しセンドバック) オンサイト保守有り	故障時は数カ月復旧に時間がかかるプラン	
銅 ¥34,500,000/年 サブスクと障害監視のみ オンサイト保守無し	機器利用のサブスク費用と、24時間/365日の障害監視費用のプラン ※障害時は停波する仕組みだが、無線局運用規則上24時間/365日の監視できる体制が必要	
鉄 ¥15,000,000/年 サブスク費用のみ オンサイト保守無し	L5G利用のサブスク費のみのプラン 24時間365日の監視は、ユーザが行う前提。 ※監視はL5G機器ポータルサイトにより確認可能	

図 4-79 ローカル 5G 運用費

ローカル 5G 活用モデルにおいては、ローカル 5G の高レスポンスを利用するため通常は障害があった際に早急な復旧作業が必要となる。しかし、まだ普及途上である現在はそれを維持するために高額な運用費用が必要となる。

そこで今回は高額な運用費用を回避するため、Wi-Fi6 によるバックアップ体制を整えるなどの対策を検討した。

ローカル 5G 機器に障害があった際に、理想は早期復旧かつ一時的に高額な支払いが発生しないように保守という体制を整えることが一般的であるが、Wi-Fi6 等によるバックアップ体制を準備しておくことで、その費用を抑えることを可能とした。

ローカル 5G のコアをクラウドに置くものが最近の主流となっていることもあり、電波運用規定にある 24 時間 365 日監視をコンソーシアム、またはユーザで行うことも容易となっており、より一層の運用費用削減も可能であると考える。

レスポンス低下が絶対の認められないモデルの場合には適用が難しいが、運用費用を抑えることで最悪の場合にレスポンス低下が認められるモデルの場合に、解決策として有用であると考えられる。

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

本実証における現時点での課題（ミッシング・ピース）として、次の点が把握されている。：①薬剤確認業務における情報確認環境の不足、②薬剤確認業務におけるリアルタイムならびに場所を問わない確認能力の不足、③薬剤確認業務におけるマンパワーの不足、④既存の薬剤確認業務支援ソリューションにおける費用対効果の不足。この 4 点の課題に対し、自立走行型コミュニケーションロボットと薬剤認識システムを組み合わせた「薬剤業務支援ユニット」（Medical Process Supporting Unit：以下 MPSU）の運用を実証した。

この MPSU の院内における確実な動作のためには、一般的に敷設されている、外来波や干渉の多い Wi-Fi 環境下ではなく、専用の電波帯を用いたローカル 5G が極めて有効に活用される。加えて、動画や映像を伴った円滑なコミュニケーションにおいては、大容量の通信容量をもつキャリアが不可欠である。

病棟における 5G 分散アンテナの敷設により、病棟全体をエリア化することができた。実証においては、仮説として設定した「医療スタッフの時間的、知的労働負担的な労力削減」が実際にどの程度達成されたかについて、サンプリングによる作業時間測定ならびにアンケートの実施を通じて確認を行った（バックキャスト）。

また実施当初に設定した MPSU 運用ワークフローを実施した際に発生する「使いにくさ」や「他のワークフローとの不整合」について確認を行った。ソフトウェアのインターフェイス改善や入力項目の調整などを行い、即時対応できるものはブラッシュアップを行った（フォアキャスト）。

上記バックキャスト、フォアキャストは現在の運用やシステムに違和感なく溶け込むようにソリューションを組み込んでいくためのものとなる。実証の中で看護師からは一部低い評価があった。理由の大きなところは、現在の運用やシステムに違和感なく溶け込めていないと感じる部分があったからとすることができる。普及にあたっては、当然違和感なく溶け込め込むことも重要となるが、システムにより経験の浅いスタッフに対しての知的支援も有用であると考え。実際に有能で経験方法なスタッフが、経験の浅いスタッフの横にいれば安心感や知的支援ができ、安全に業務を行うことができるが、有能なスタッフの時間創出は難しい。しかし、経験の浅いスタッフが時間はかかってもロボットによる支援を受ければ、安心して安全に業務を行うことができるという思想を皆に持ってもらうことができるかということも重要であると考え。

NTT 東日本を主体とし、各者が運用、精度、スタッフの意識改革などそれぞれの役割を遂行していく。

(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、課題整理を細分化して行う。ローカル 5G 機器の課題、建築物の課題、運用の課題、タスクシフトする業務の課題など細分化して課題整理を行うことで、課題解決の手法をそれぞれ役割分担し、解決の速度を速めることを図る。

【体制】

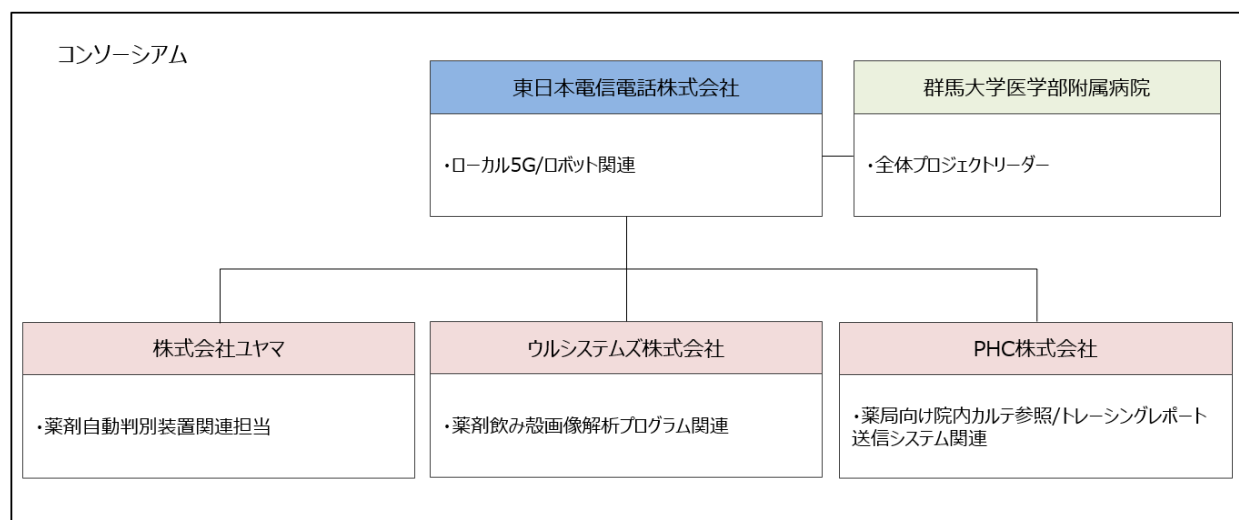


図 4-80 実装時における体制（予定）

【検討事項】

実装を見据えた課題解決に向けて建築の観点や運用の観点に対して、現実的な提案を議論して計画を作成予定。現時点では費用のかかるローカル 5G 機器を現場に合わせるのでは、ますます費用がかさんでしまうため、扉の材質変更のほうが安価に済むなど今後の横展開時に、他の病院様も参考となる課題整理を検討している。

【コンソーシアム内での合意形成の在り方】

知的労働支援のうちローカル 5G が最も適する範囲について、医療従事者、ベンダ、ロボット技術者、電波技術者によるタスクフォースを開催する。

本提案で導入される、ローカル 5G 通信、ロボットの機械的特性、スクリプトでカバーできる動作種類などを活かしながら、医療ワークフロー側の変更も視野に入れた DX が成功するように合意形成を進めていく。

また業務に直接影響のある医療従事者だけでなく、必要に応じて、安全面や倫理面からの合意形成（倫理審査委員会等）を行う必要があると考えている。

2) 実装計画の要約

■実装計画要約シート

開 18 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 を活用した院内外の次世代薬剤トレーサビリティ 及び医療従事者の業務改善の実現					
実施体制		東日本電信電話(株)、群馬大学、(株)ユヤマ、ウルシステムズ(株)、PHC(株)					
<div>群馬大学医学部附属病院 システム統合センター (免許人)</div> <div>↓ サービス購入</div> <div>サービス提供者</div> <div>東日本電信電話(株) ビジネスイノベーション本部 第四バリュークリエイティブ部 (代表機関)</div> <div>↓ 委託 ↓ 委託 ↓ 委託 ↓ 購入</div> <div>薬剤自動認識装置 飲み殻解析 院外薬局連携 ロボット</div> <div>(株)ユヤマ 東京MS部 ウルシステムズ(株) PHC(株) メディコム事業部 モノプラス(株) (薬剤自動認識装置) (飲み殻解析) (病院カルテ参照/トレー (ロボット <u>Temi</u>) シングレポート送信)</div>							
		令和 4 年度 (2022)	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)
実装計画	薬剤業務支援 ユニット (MPSU)	開発実証	実装		他病棟への横展開		新規獲得の 横展開
	課題整理						
	院内カルテ送 信/トレーシン グレポート送信		実装		他院外薬局への横展開		新規獲得の 横展開
	ローカル5Gシ ステム		実装				新規獲得の 横展開
収支計画 (千円)	(1)ユーザから 得る対価		3,580	3,580	33,580	18,580	110,000
	(2)補助金・交付 金						
	(3)収入 ((1)+(2))		3,580	3,580	33,580	18,580	110,000
	(4)ネットワーク 設置費						10,160
	(5)ネットワーク 運用費		15,000	15,000	15,000	15,000	10,476
	(6)ソリューショ ン購入費 (運用費)		3,580	3,580	18,580	3,580	78,000
	(7)ソリューショ ン開発費						
	(8)支出 ((4)+(5)+(6)+(7))		18,580	18,580	33,580	18,580	98,636
	(9)収支((3)- (8))		▲15,000	▲15,000	0	0	11,364
・収支計画では「薬剤業務支援ユニット」「ローカル 5G システム」をベースに記載。 ※院内カルテ参照/トレーシングレポートシステムは除外して収支計画を記載。							

・ユーザ定義

R4～R8:実証病院 R9:新規ユーザ

●R5 年度～R8 年度の運用コスト

MPSU R5～R8運用コスト（年）	単位：千円
薬剤鑑別システム保守	360/年
ロボット延長サポートバック費用	1,780/年
RPAライセンス費用	1,440/年
L5G機器サブスクリプション費用	15,000/年
合計	18,580/年

R9 年度の販売ユースケース

●横展開時の MPSU 販売モデルコスト

MPSU 販売モデルコスト	単位：千円	運用費用
ローカル5G機器 ※6病棟分	10,060/年	NTT東日本ギガらく5G想定 月額費用：873/月 (年額換算10,476/年)
薬剤鑑別装置（1病棟1ユニット） ※6病棟	46,000/年	年額費用：1,080/年
ロボット（1病棟1ユニット） ※6病棟分	12,000/年	年額費用：5,340/年
薬剤飲み殻解析	10,000/年	
電子カルテI/F改修	10,000/年	
合計	88,060/年	

		どのようにして(手段、取り組み方法、アウトカム)	いつまでに
実装を 確実に する ための 組み み	提供コスト低減	本ソリューションに適した、費用対効果を高められるローカル 5G 機器選定を行っていく。	R6 年度までに
	ソリューション追加開発	大型のハードウェア追加は考えず、本実証で開発したロボットや薬剤自動認識装置などの戦略的デバイスの業務範囲の拡大を図る。	R7 年度までに
	顧客開拓	学会での情報発信、営業活動により顧客開拓を実施。R8 年度の学会では全国大会だけでなく、関係する地方会でも機器展示を積極的に行い見込み客の拡大を図る。	R8 年度までに
	運用面の改善	システムやマシンのトラブル時でもスタッフの負担が増えないように運用面含め改善を図る。またロボットが病棟を走行する上での自由度を高めることを実施。	R5 年度までに
	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ず、新しいスタンダードの提案を実施。	R8 年度までに
	計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など) 受注生産性をとることで計画した収入を下回った場合でも大きな損失がでないような体制をとる。		

a. 実施体制

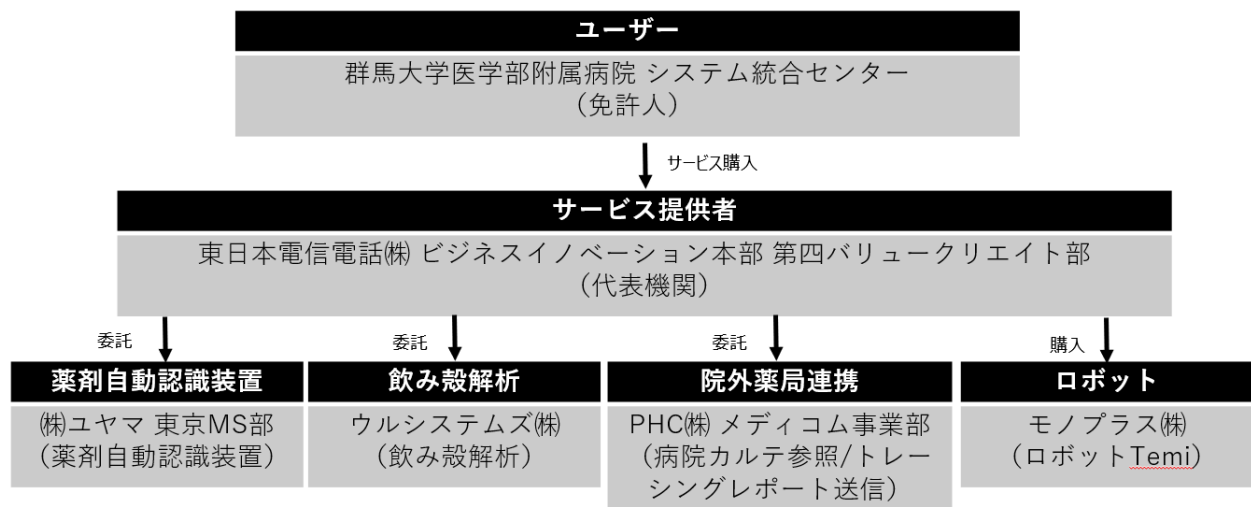


図 4-81 体制図

b. 実装計画（実施事項）

●次世代薬剤トレーサビリティ（MPSU）

・開発実証

R4 年度：実証により、運用検証、効果検証等からの課題の洗い出し
実証により明らかになった課題や、要望の整理。

・課題の対策案検討

R5 年度：実証で整理した課題に関する対策案を検討する。

ハード的要望も 2 点意見が出ており、コストに対する課題もあるが、R5 年度ではソフトウェア的対策、インターフェイスに関する対策を主に検討する。

薬剤師、看護師ともに実装のために求めている共通点は「精度」と「労務削減」である。精度向上のためにソフトウェアによる対策を行うことが有効であると考えており、どのようなソフトウェア改修を行えば精度が向上できるのかを検討する。労務削減では、当初より既存の運用に寄り添うということで病院の基幹システムであり、薬剤の指示やステータスを管理する電子カルテシステムとの連携を念頭において開発。薬剤の処方指示内容とのシステム確認、服薬済みのステータス変更など、既存業務の一部となるようデザインを行った。しかし、ロボットなどのマシントラブルがあった場合の不安や、その際に発生する労務負担への懸念という意見があった。多くの IoT デバイスを扱う病院スタッフは、どんなに完璧を求めてもマシントラブルは発生する、女性スタッフが多い現場では対応が難しく、大きな労力がかかる可能性が高いという考えを持っている。R4 年度は実証ということで、ソリューションの効用を求めたが、実装に向けトラブルがあった場合にも労力がかからないよう対策案を検討する。

実証で斬新な試みであった「飲み殻画像 AI 解析」に関しては、画像のみの解析で精度評価 0.872、OCR 組み込みにより 0.951 まで精度を上げることに成功したが、現在 11 種類の薬剤のみが対象で、薬剤追加する場合にはディープラーニングが必要となる。薬剤自体の確認は、刻印や形状により候補を出すため、薬剤データベースの活用が可能だが、飲み殻は薬剤種類ごとに学習が必要となるため、ユーザにて学習作業が必要になる。実用化には学習する薬剤種類を増やす必要があるが、その作業自体の労力をどれくらい少なくできるか、薬剤種を増やした際に精度がどこまで維持できるかなども合わせて検討を行う。

・テスト運用開始

R6 年度より、対策案を検討したソフトウェアやインターフェイス改修を行う。対策を行った新 MPSU を R4 年度実証病棟でテスト稼働させ運用を行う。新たに発生する課題や、要望はテスト運用状態で改善を図っていく。

テスト運用での目的は、実用する上での問題点は何かを確認をすること。商品化する上で致命的なところはないかを確認すること。ローカル 5G 化した際のレスポンス向上により、どれくらい商品価値化が高まるかを確認することである。

R4 年度実証では、機能検証において一部 Wi-Fi6 とローカル 5G との比較を行ったが、テスト運用では単純な機能比較ではなく、ローカル 5G 化によるレスポンス向上がユーザにもたらすメリットをまとめていく。大容量通信を行うにあたり、他との干渉が少ないため既存システムへの影響が少ない、干渉の多い Wi-Fi の場合のレスポンス低下だけでなくロボットと患者の細かいコミュニケーションで障害があるなど仮説をまとめていく。

・本格運用開始、Wi-Fi6 による別病棟での運用も開始

R7 年度より、ソフトウェアやインターフェイス対策を施した新 MPSU の本格運用を開始する。課題対策を検討したソフトウェアやインターフェイス改修を行い、対策を行った新 MPSU を本格運用させることで、前年度に立てた仮説が正しいか検証を行っていく。

また MPSU の 1 セットをローカル 5G 環境のない別病棟に移設し、Wi-Fi6 での運用も行う。ローカル 5G 環境と Wi-Fi6 環境を別場所で同時に使えるようにすることで、前年度の仮説の検証、ローカル 5G の有用性確認を行いやすいようにしていく。

商品化する上で重要となる、ローカル 5G の場合と Wi-Fi6 の場合との比較資料の作成等も行う。

・商品開発、販売戦略

R8 年度より販売していくための体制を整える。

インフラ構築部分であるローカル 5G 機器は、R4 年度にリリースした当社のマネージド・ローカル 5G サービスである「ギガらく 5G」を前提とした商品パッケージとする。

実証では同軸による分散アンテナ技術（パッシブ DAS）により、1 病棟におけるローカル 5G エリアを安価に広く構築し不感地帯の改善を行ったが、販売戦略として全病棟導入の場合でも安価に広く構築できるアクティブ DAS を商品開発の前提とする。

また病院はローカル 5G の導入を求めているのではなく、ローカル 5G を活用した MPSU を求めているため、慣れない無線局免許取得などの事務手続きから運用までをトータル提案できる「ギガらく 5G」が最適であるとする。

IndoorHUB と Indoor アンテナの活用により、普段医療機関が行っているネットワーク構成に近いイメージになるため、導入イメージも行いやすいとも考えている。

実証病棟では 40 床に対して 3 つのアンテナにより構築を行った。他病院の病棟も 40～50 くらいが一般的であるため、提案の基本構成も 1 病棟 3 アンテナとし、現調時に必要であれば増減を行う体制をとる。

下記は 6 病棟へ導入する場合のイメージとなる。

1DU あたり IndoorHUB は 6 つまで対応可能であり、1DU でも 12 病棟くらいのカバーができるため、中規模病院～大規模病院でも DU 1～2 で対応が可能な病院は多い。

実証病院は 17 病棟ある規模の大きい大学病院であるが、それでも DU を 2 機で十分カバーできる範囲である。

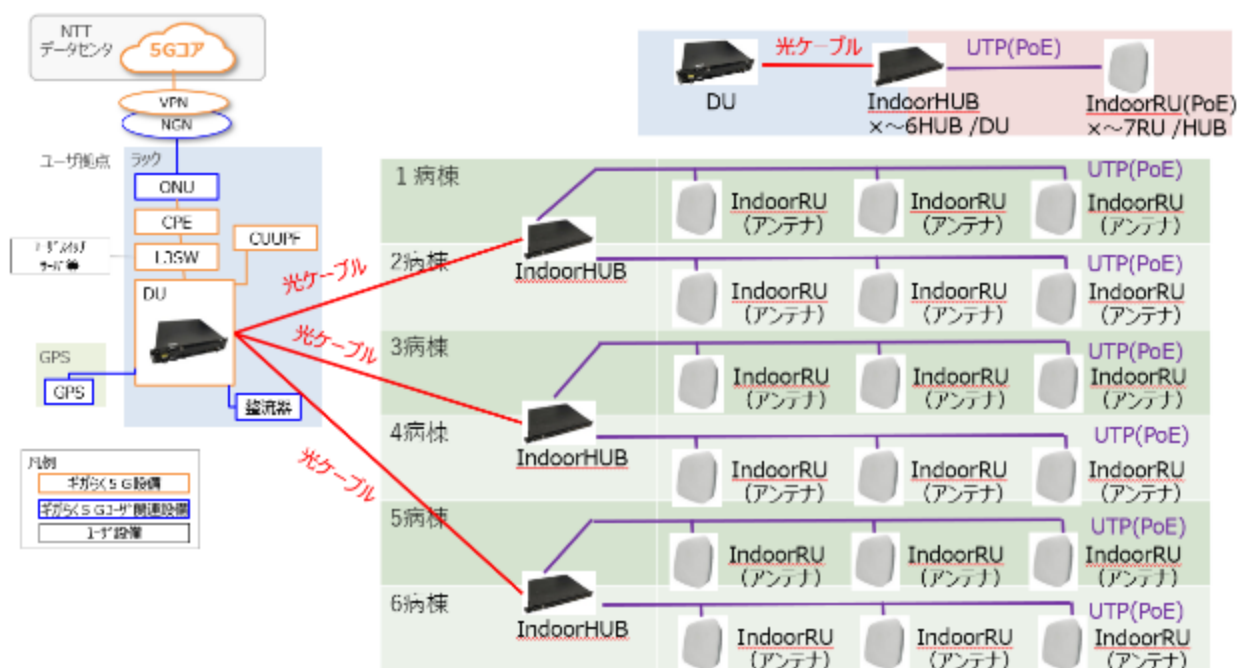


図 4-82 ローカル 5G を 6 病棟まで拡張した場合の構成案

MPSU 自体は、薬剤鑑別部分はロボットに搭載するためハードは特注となったが、ベースは通常販売している製品である。ロボットも汎用品であるため、MPSU のために特別に在庫を製造しておく必要がないことが、本ビジネスモデルとして優位なところである。

ローカル 5G 導入時は免許取得等もあることから、受注から導入までの期間もあるモデルであることから、ハード面で特別な商品開発はない。

販売戦略上重要になってくるのは、既存院内システムである電子カルテシステムとの連携である。下記は必要になる連携内容と、実証時の対応である。

表 4-25 連携する周辺システムの整理

連携システム	連携情報	実証時の連携手法
電子カルテシステム → MPSU	処方オーダー内容	データベース閲覧
MPSU → 電子カルテシステム	薬剤ステータスの変更	RPA
MPSU → 電子カルテシステム	持参薬鑑別情報	持参薬オーダーの標準I/F流用
電子カルテ → ロボット	患者IDとベッドマップの紐づけ	手動 ※CSVによる自動化を検討中

「処方オーダー内容」「薬剤ステータスの変更」は、電子カルテシステム側への依存度が高い。実証ではデータベース閲覧、RPA による電子カルテ画面操作を行ったが、各電子カルテメーカーと標準インターフェイスを作るのか、実証と同様にするのかは検討が必要である。MPSU がターゲットとなる大規模病院向けの電子カルテとは標準 I/F 作成、そうでないメーカーとは実証と同じ連携内容なども検討材料である。

また患者前でロボットがうまく動作しない場合など、通常の病院運用であるナースコールによるスタッフ呼び出しを R4 年度実証では前提としていたが、下記のようにナースコール連動も費用対効果が高ければ検討する項目としたい。

表 4-26 ロボットにエラーが発生した際の対応案

連携システム	連携情報	備考
ロボット → ナースコール	ナースコール連動	SIPサーバとの連携内容を検討する必要あり。 不測の事態が発生したときに、ロボットが自動でナースコール通知。

ロボットによる病室のドアの開閉に関しては、現時点費用対効果が低いため、システム検討はせず服薬確認時刻はドアを開けておく運用とする方向性である。

持参薬確認、配薬確認、服薬確認などソリューション別に販売パターンを分けることも検討している。飲み殻による服薬済み確認は、自動化が行いやすく、インシデント対策にとっても有用であるが、服薬前のように錠剤画像のデータベースがなく、MPSU 用に学習の必要がある。医療機関側で再要約の学習を行いやすい運用を検討しているが、納入時にある程度導入作業として行うケースも発生すると想定しており、画像解析用の高性能なサーバも必要となる。そのため服薬後確認のみオプション扱いとすることを検討している。

院内カルテ参照/トレーシングレポート送信に関しては、MPSU とは別で販売戦略を考える必要がある。

院内カルテ参照/トレーシングレポート送信は実証時から評価が高く、労務負担も心理的負担も軽減され院外薬局スタッフの時間創出ができるとの評価である。院外薬局で病院の電子カルテから「退院サマリ」などを医療標準規格である HL7FHIR 出力、今回のシステムでそれを閲覧することが可能となっている。商品開発というより、販売戦略上 2 点を考慮する必要があると考える。

- ・病院が「退院サマリ」などを HL7FHIR で出力可能か？

(標準化がまだ進みだしたばかりで、多くの病院で HL7FHIR 出力がまだ実装されているわけではない)

- ・システム購入者、ターゲットは誰となるのか？

(メリットが大きいのは院外薬局だが、構築が必要なのは病院)

標準規格の浸透は時間により解決するものと考えるが、ビジネスモデルは検討していく必要がある。R5 年度も継続して使用し、新たな課題がないかを確認するとともに、販売モデルを検討していく。

例) 病院にて構築、院外薬局に利用料を請求するサブスクリプション方式

※システム本体の請求は企業から病院へ行う

地域連携の仕組みでもあるため、単純に医療機関のみでのビジネスモデルではなく、自治体を含めた考え方も必要になる可能性がある。そういった可能性を R5 年度以降検討していく。

- ・横展開

R9 年度にファーストユーザーを獲得することを目標とする。ファーストユーザーの想定は 300 床・6 病棟程度の規模の急性期病院を想定している。病床数や病棟数はその後の販売展開を行いやすいモデルユーザーとしての規模イメージとし、下記要件をファーストユーザーターゲットとして活動する。

表 4-27 ターゲット要件

ターゲット要件	
急性期病院	MPSUの需要が高いと想定しているため
電子カルテシステム導入病院	電子カルテシステムとの連携が必要なため
既存NWが充実している病院	ローカル5Gから先のNWが充実していないと、撮影画像をサーバに送る際にレスポンス低下となるため。

R5 年度の医療情報学会でも本実証内容の発表を計画しており、横展開に向けて商品開発だけでなく、医療機関への普及活動にも努めていく。

c. 収支計画

ア) 収支計画

R4 年度～R8 年度は販売計画を設けず、課題整理や商品プランの検討を行い、R9 年度ファーストユーザー獲得を目標とした収支計画を考えている。

		令和4年度 (2022)	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)
実装計画	薬剤業務支援ユニット(MPSU)	開発実証	実装		他病棟の横展開		新規獲得の横展開
	課題対応						
	院内カルテ参照/トレーシングレポート送信		実装		他院外薬局の横展開		新規獲得の横展開
	課題対応						
ローカル5Gシステム		実装					新規獲得の横展開
収支計画(千円)	(1) ユーザから得る対価		3,580	3,580	33,580	18,580	110,000
	(2) 補助金・交付金						
	(3) 収入 ((1)+(2))		3,580	3,580	33,580	18,580	110,000
	(4) ネットワーク設置費						10,160
	(5) ネットワーク運用費		15,000	15,000	15,000	15,000	10,476
	(6) ソリューション購入費、運用費		3,580	3,580	18,580	3,580	78,000
	(7) ソリューション開発費						
	(8) 支出 ((4)+(5)+(6)+(7))		18,580	18,580	33,580	18,580	98,636
	(9) 収支 ((3)-(8))		▲15,000	▲15,000	0	0	11,364
収入、支出の算定根拠		・収支計画では「薬剤業務支援ユニット」「ローカル5Gシステム」をベースに記載。 ※院内カルテ参照/トレーシングレポートシステムは除外して収支計画を記載。 ・ユーザ定義 R4～R8:実証病院 R9:新規ユーザ					

図 4-83 実装計画及び収支計画案

表 4-28 R5 年度～R8 年度におけるシステム運用費用/年

MPSU R5～R8運用コスト（年）	単位：千円
薬剤鑑別システム保守	360/年
ロボット延長サポートパック費用	1,780/年
RPAライセンス費用	1,440/年
L5G機器サブスクリプション費用	15,000/年
合計	18,580/年

表 4-29 販売ユースケースにおける費用想定

MPSU 販売モデルコスト	単位：千円	運用費用
ローカル5G機器 ※6病棟分	10,060/年	NTT東日本ギガらく5G想定 月額費用：873/月 (年額換算10,476/年)
薬剤鑑別装置（1病棟1ユニット） ※6病棟	46,000/年	年額費用：1,080/年
ロボット（1病棟1ユニット） ※6病棟分	12,000/年	年額費用：5,340/年
薬剤飲み殻解析	10,000/年	
電子カルテI/F改修	10,000/年	
合計	88,060/年	

イ) ユーザーにおける必要リソース（モデルケース）

表 4-30 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		10,060 千円	10,476 千円
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション		78,000 千円	6,420 千円
a.	薬剤業務支援ユニット MPSU	78,000 千円	6,420 千円
b.	院内カルテ参照/トレーシングレポート送信ソリューション	ビジネスモデル調整中	ビジネスモデル調整中

実装を確実にするため、下記の取り組みを行う。

ア) 提供コスト低減

運用コストが最も高額であるローカル 5G 機器において、いくつかのパターンを下記のように作成した。

ローカル5G機器 運用費用の整理

金	¥68,000,000/年 予備機購入 (先出しセンドバック) オンサイト保守有り	故障時の部品確保のため、予備機購入のプラン ※予備機納期約4.5カ月
銀	¥50,000,000/年 予備機無し (後出しセンドバック) オンサイト保守有り	故障時は数カ月復旧に時間がかかるプラン
銅	¥34,500,000/年 サブスクと障害監視のみ オンサイト保守無し	機器利用のサブスク費用と、24時間/365日の障害監視費用のプラン ※障害時は停波する仕組みだが、無線局運用規則上24時間/365日の監視できる体制が必要
鉄	¥15,000,000/年 サブスク費用のみ オンサイト保守無し	L5G利用のサブスク費のみのプラン 24時間365日の監視は、ユーザが行う前提。 ※監視はL5G機器ポータルライトにより確認可能

WiFi6等によるバックアップ体制によりカバー

図 4-84 ローカル 5G 運用費用の整理

理想はオンサイト保守ありの先出しセンドバックであるが、サブスクリプションのみでも継続利用が可能なプランを作成することで提供コスト低減を図る。

そのために必要なことは下記 2 つと考えている。

- ・ 24 時間 365 日の監視を可能とするポータルサイト
- ・ Wi-Fi6 等によるローカル 5G 機器故障時のバックアップ体制

イ) ソリューション追加開発

大型のハード追加は考えず、本実証で開発したロボットや薬剤自動認識装置などの戦略的デバイスの業務範囲の拡大を図る。

拡大する業務に関して、デバイスを医療スタッフが使用する中から、アイデアを募りたいと考えている。手元にソリューションがない実証提案フェーズと違い、実際に医療スタッフがデバイスと触れ合いながら、もっとタスクシフトできるものがないかという新しい発想が出てくることを期待している。当然医療スタッフからの発想を待つだけでなく、医療スタッフとデバイスの触れ合いからコンソーシアムとしても新しい業務範囲の拡大を検討していくことも行うが、本実証でも大切にしている「現場との調和」において現場から出てくる意見を大切にすることで横展開につながる追加開発ができるものと考えている。

ウ) 顧客開拓

学会での情報発信、営業活動により顧客開拓を実施する。本ソリューションは内容が革新的かつ斬新であるため、ビジネスプランとしてはいかに広く公開できるかが影響すると考えている。また目で見て頂かないと伝わりづらいものであるため、横展開前の R8 年度では全国大会だけでなく、関係する地方会でも機器展示を積極的に行い見込み客の拡大を図る。

まずは R5 年度の医療情報学会で今回の実証内容を発表することで、ローカル 5G を活用した薬剤のこのようなソリューションがあるということを広める。

エ) 運用面の改善

システムトラブル、マシントラブルが発生した際にも「労務的負担」「心理的負担」が医療スタッフにかからないように配慮することが必要であると考え。今回は実証であったため、その可能性や有用性の確認を行ったが、ロボットを使用した患者とのコミュニケーションをとる仕組みでは、現場より上記の指摘があった。ロボットと患者のコミュニケーション自体には何の問題もなかったが、何かあった場合にどう対処する必要があるか、どのような対応を準備しておけば、医療スタッフの負担が少なくて済むかを考慮することにより、より現場に受け入れられやすいものになる。

また運用面の改善に寄与するのは、ロボットが病棟を走行する上での自由度を高めることであると考えている。本実証結果から医療用ベッドなど足元が中に浮いているものは、ロボットが認識しづらいということが得られている。また狭い空間が多い病棟において人流が多い場所では、センサーが反応し続けなかなかロボットが進めないという結果も得られている。走行の自由度を高めるためには物理的に対策をとることや、ロボットを円滑に行動させるためには、人間もどのように行動するとロボットが動きやすいのかを知っておくことによりスムーズになると推測される。あくまでロボットは人が使うツールであるが、ツールをどのように使うことが有用であるかは、運用面の改善という観点から現場と共有しておくことも必要であると考え。

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が、新しいスタンダードの提案を実施していく。病院内での持参薬確認業務、配薬業務、服薬確認業務。院外薬局での患者情報収集、トレーシングレポートの発出。既に決まっている定型業務を知的支援し、効率化し、時間創出をすることで医療の定型業務に新しいスタンダードを提案していく。R6 年度までに新しいスタンダードとして提案できるよう、実証病院において実運用として定着できるよう、現場で発生する細かい課題の対応を行っていくことで実現する。

d. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達など）

R9 年度以降の横展開時において、基本的に受注生産性をとることで計画した収入を下回った場合でも大きな損失がでないような体制をとる。使用するハードウェアにおいて本ソリューション専用のものは少ないため、在庫による計画未達リスクは少ないものと考えている。

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。

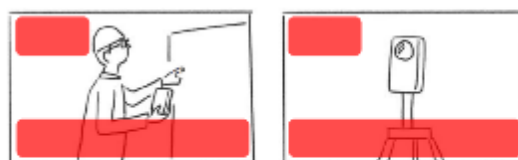
また、代表機関グループ会社（NTT ラーニングシステムズ㈱等）と連携し、より品質の高い映像コンテンツを制作・提供した。

映像の提供においては、三菱総合研究所様の指示にのっとり以下の項目について撮影を行った。

【下記の撮影をお願い致します】

- 1.病院の全景
- 2.日常の業務の様子
- 3.自立走行ロボットと自動認識部分のアップ
- 4.自動認識ロボットがさまざまな作業をする様子
- 5.4で自動認識ロボットが撮影した薬剤の画像(モニターのアップ等)
- 6.薬剤鑑別システム
- 7.6のモニター画像
- 8.6を確認している看護師や薬剤師の様子

【撮影時のアングルについての注意点】



・赤色の部分はタイトルが常に入りますので「中央やや上」のあたりに撮影対象がくるようにお願いします。

図 5-1 撮影項目

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図った。

実証視察会は総務省様や三菱総合研究所様を中心とした視察会に加え、本システムの社会的認知度向上を目的にマスコミ各社を中心とした視察会も実施した。新型コロナウイルス感染対策を実施し、いずれも群馬大学医学部附属病院での現地開催とした。

実証視察会の実施状況を表 5-1 に示す。

表 5-1 実証視察会実施内容

	項目	件名
1	開催日時	2023 年 3 月 6 日（月） 13：45－16：30
2	開催形態	現地視察会（目的：実証視察）
3	視察会実施場所	群馬大学医学部附属病院共用施設棟 2 階大会議室・北病棟 2 階
4	参加者	<p>総務省 関東総合通信局 日本無線 三菱総合研究所</p> <p><コンソーシアム参加者> 群馬大学医学部附属病院 群馬大学 PHC ウルシシステムズ ユヤマ NTT 東日本</p>
5	実施プログラム	<ul style="list-style-type: none"> ● 開催挨拶 ● 実証概要説明 ● 病棟見学 ● 院内カルテ参照/トレーシングレポート送信説明 ● 質疑応答



図 5-2 群馬大学医学部附属病院長からの開催挨拶



図 5-3 群馬大学医学部附属病院情報システム管理者からの実証説明



図 5-4 東日本電信電話株式会社からの視察内容説明



図 5-5 PHC からの院内カルテ参照/トレーシングレポート送信説明

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。

また、普及啓発活動や情報発信にあたっては、事前に総務省、三菱総合研究所と発表内容等の確認を行うことで相互に齟齬の無いよう努めた上で、正確な内容を持ってローカル5Gの普及を目指した活動、発信を実施した。

NTT 東日本としても、「光ファイバー×ローカル5G」を活用した地域・企業の課題解決ビジネスモデルの創出は、今後の主力ビジネスのひとつと考えているため、普及啓発活動には一層注力していく。

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

本実証の代表機関はこれまでローカル 5G の開発実証において多数代表を務めている東日本電信電話株式会社が務め、群馬大学医学部附属病院、株式会社ユヤマ、ウルシステムズ株式会社、PHC 株式会社の 5 社でコンソーシアムを組成した。

実証コンソーシアム代表機関および実証コンソーシアム構成員、実証コンソーシアム構成員以外を含む実施体制図については、以下の通りである。※物品のみの購入先は除く

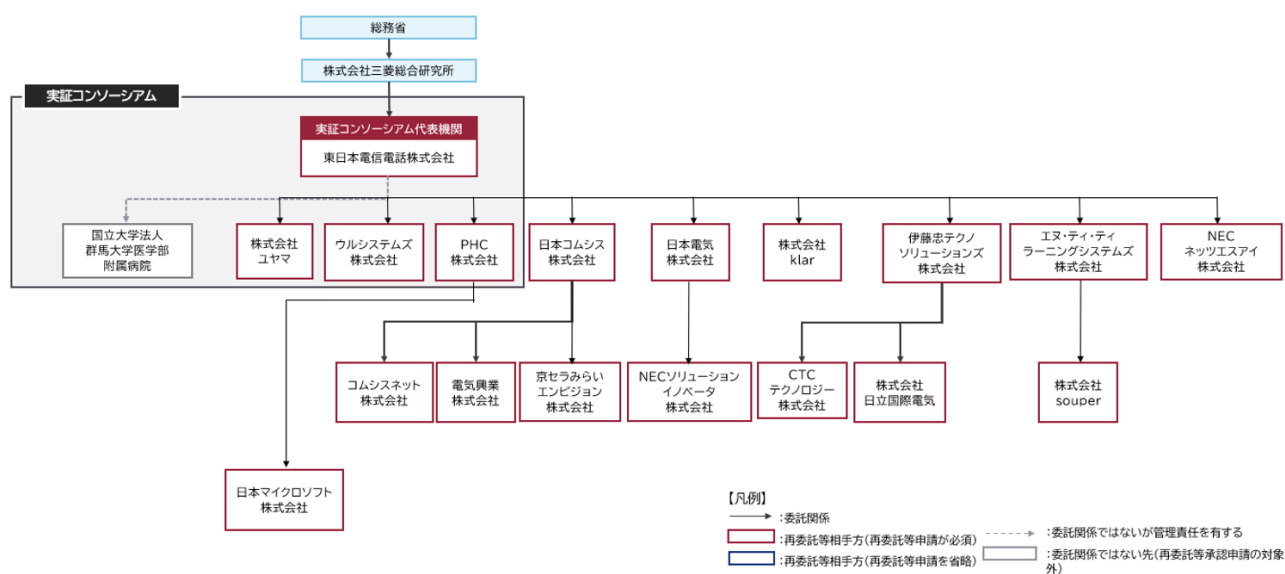


図 6-1 実施体制図

6.2 実施体制内の役割

実施体制の主体となるコンソーシアム体制を下記に示す。

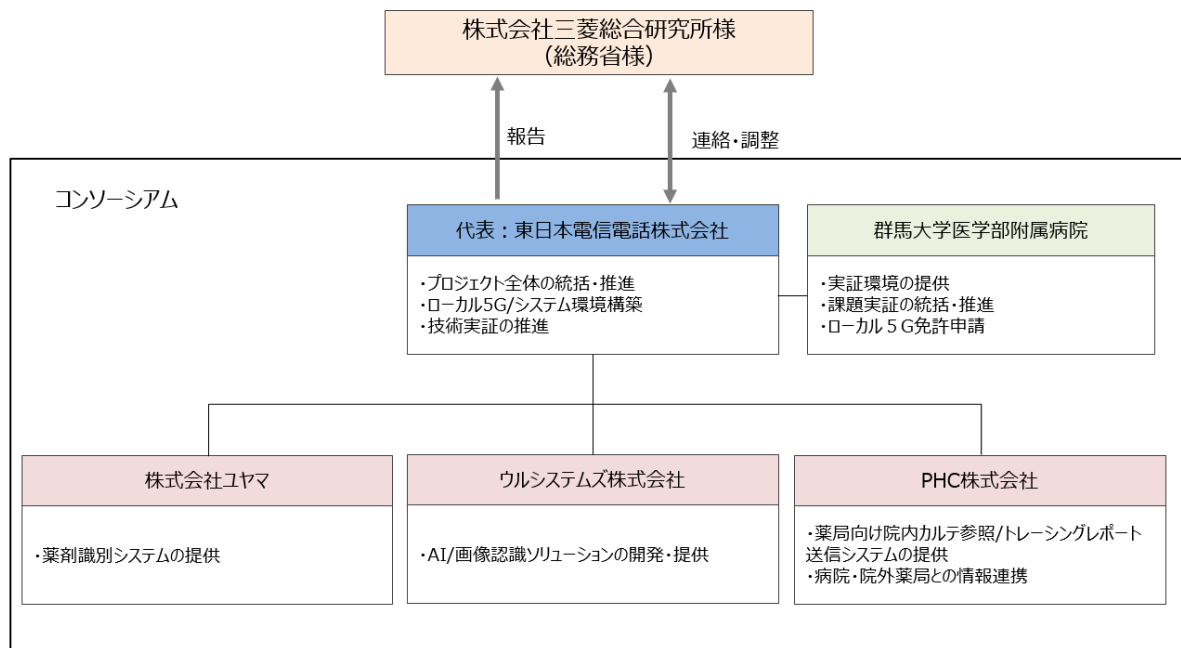


図 6-2 コンソーシアム体制

表 6-1 コンソーシアム役割

	機関名	メンバーとする理由、主な役割
代表 機関	東日本電信電話株式会社 (NTT東日本)	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業の代表機関としてプロジェクト全体を統括・推進。また、ローカル5G環境・ネットワーク環境構築などを担当。 ・当社は、東日本地域における地域電気通信業務の他、通信インフラ、ICT等のサービスを提供。ローカル5Gの社会実装加速に向け、産学共同で「ローカル5Gオープンラボ」を設立し、パートナー企業や大学などとユースケース等も共創。 ・その他、R2年度「地域解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証開発実証」3件、「5G時代における遠隔医療等の在り方に関する調査研究(医療分野PMO)」R3年度「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」3件実施している。

	機関名	メンバーとする理由、主な役割
共同 実証 機関	国立大学法人群馬大学 医学部附属病院	<ul style="list-style-type: none"> ・薬剤部、救急科病棟の協力のもと、5Gアンテナの敷設の実証サイトとなる。救急科病棟において、薬剤認識機能を搭載したロボットを制御し、看護師、薬剤師、患者の支援について実証を行う。課題実証のプロジェクトリーダーとして、課題実証の推進・ローカル5G免許申請を担当。 ・群馬大学医学部附属病院は、北関東における中核拠点病院として、災害医療、がん診療拠点を担う731床の病院。病院ネットワークとして、院内に1300本の光ファイバーを敷設し、サーバ室から各診療エリアまでの院内LANを構築。情報連携については、薬剤部と共同で、院内の調剤ステータスをICタグとアンテナを用いて自動認識し、ステータスを全電子カルテ端末から把握可能な「調剤ステータス自動可視化システム」を開発、運用。本システムは、2012年に一般社団法人日本自動認識システム協会(JAISA)主催による自動認識システム大賞を受賞。 ・本事業の内容は、医療情報学会、薬学系学会等において演題発表を行うとともに、学術雑誌に対する投稿を行い、国内外に広く発信予定。また、本事業の参画企業と共同し、モダンホスピタルショーなどの大規模展示会、MedTecなどの海外展示会などを視野に入れたプレゼンテーションを通じ、横展開のきっかけとなる機会創出を行う。
	株式会社ユヤマ	<ul style="list-style-type: none"> ・1964年散薬の分包機からその歴史をスタートし、今でも一般的に使用されているR円盤を用いた分割機構は創業者が行った発明。散薬分包機を始めとする調剤機器を中心に、各種薬剤業務支援システム、電子カルテシステム、レセプトコンピュータを含めて全国の医療現場に多数導入。 ・本事業では、薬剤識別システムを提供。例年、日本医療薬学会等の薬学関連の学会にて最新の機器やシステムを出展している。本事業についても、薬剤識別装置を用いた新たな服薬チェック運用のモデルとして紹介予定。

	機関名	メンバーとする理由、主な役割
	ウルシステムズ株式会社	<p>・発注側の支援に特化したITコンサルティング企業であり、企業の収益や強みの強化に直結する「攻めのIT」を企画段階からモノ作りまで一気通貫で支援できる。IT企画・要件定義、PM支援、IoT/M2M、データ分析、アジャイル・DevOps・AI等の分野に強く、製造、公共、金融、通信、情報サービス等の先進的なお客様のプロジェクトを多数手がける。</p> <p>・本事業では、AI/画像認識ソリューションを開発・提供し、飲み殻確認のためのAIアルゴリズム等を担当。IT系およびAI系の各種主要イベントにて本実績における登壇・発表を複数回行い、IT業界に向けた広い発信活動を行う。医療従事者におけるローカル5G導入およびAI技術によるワークロード軽減を広く認知させる。</p>
	PHC株式会社	<p>・1972年に日本初の医事コンピュータ（レセプトコンピュータ）であるメディコムを開発・販売。以降、メディコムシリーズの医事コンピュータや電子カルテは医療機関・保険薬局等のIT化・ネットワーク化をリードし、医療事務の効率化と医療の質や患者サービスの向上、さらに新たな地域医療連携で必要となる病院・診療所・保険薬局・患者間の情報共有の実現などに大きく寄与している。</p> <p>・本事業では、薬局向け院内カルテ参照/トレーシングレポート送信システムを提供するとともに、病院・院外薬局との情報連携に関しての実証を担当。本事業のソリューション、成果を病院や薬局、及び販売代理店に広く案内し、類似課題を抱えた顧客がどの程度いるのかの調査や、病院・院外薬局との情報連携における更なる課題掘り起こし、ユーザーペインの発見を行う。また、本実証実験の内容を学会（日本薬剤師会、医療情報学会など）やメディア（雑誌、チラシ、Webサイト掲載など）を通じて情報発信を行う。</p>

当社が三菱総合研究所及び総務省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、役割分担を明確にする。

プロジェクト体制図は以下の通りである。

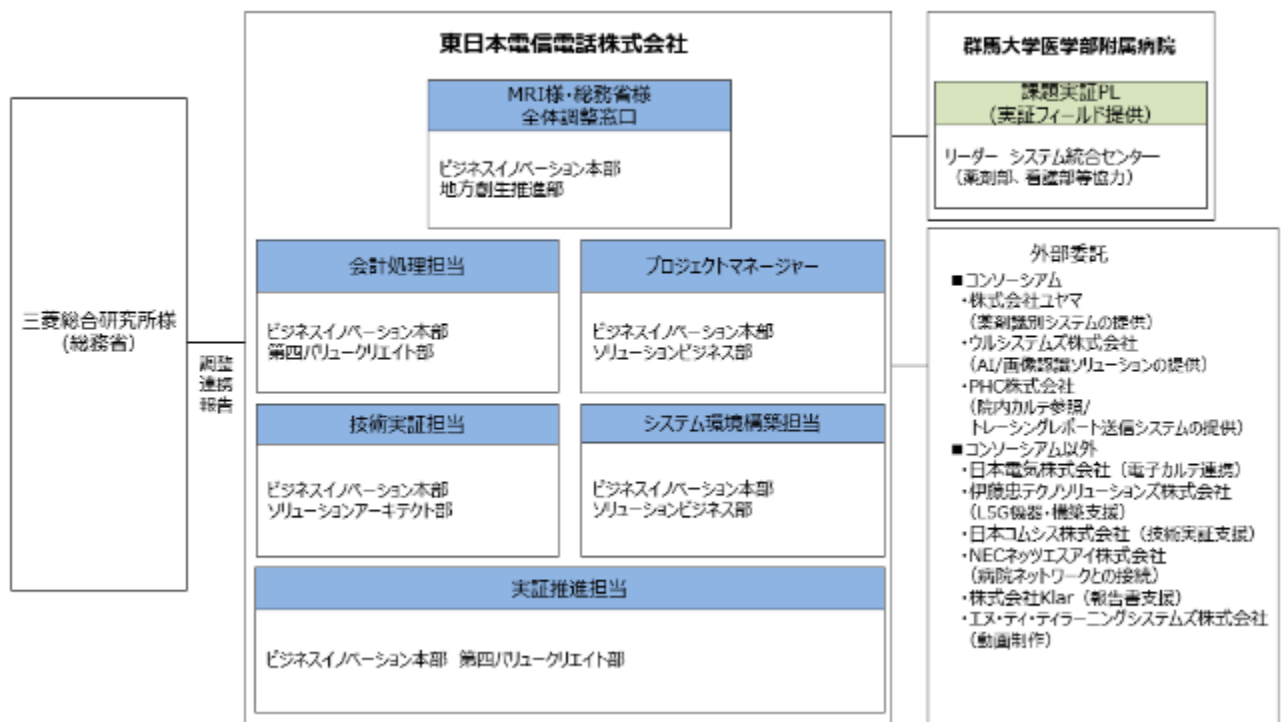


図 6-3 プロジェクト体制図

ローカル 5 G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、本事業を確実に遂行する。

実証遂行にあたっては、代表機関である東日本電信電話株式会社内で必ず以下の役割を設置する。

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は、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する。

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保するため、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する。

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 名配置する。

7. スケジュール

本実証の実施スケジュールは、図 7-1 のとおりである。

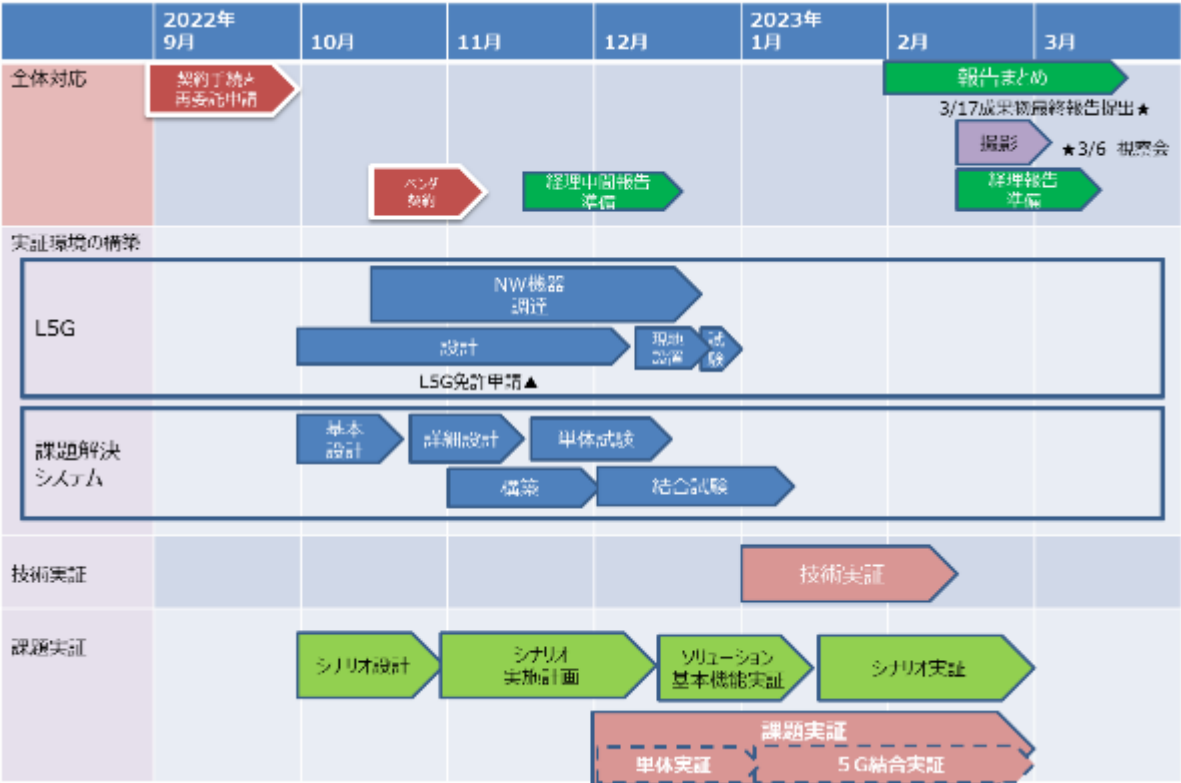


図 7-1 実証スケジュール

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】

(開18)

ローカル5Gを活用した院内外次世代薬剤トレーサビリティ及び医療従事者の業務改善の実現

2023年3月

東日本電信電話株式会社
