

令和3年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

フリーストール牛舎での個体管理作業の
効率化に向けた実証事業

成果報告書

令和4年3月25日

株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所

目次

1. 実証概要	1
1.1 背景・目的	1
1.2 実証の概要	1
2. 実証環境の構築	2
2.1 対象周波数帯	2
2.2 実施環境	2
2.3 ネットワーク・システム構成	4
2.3.1 ネットワーク全体構成	4
2.3.2 ローカル 5G システム構成	4
2.3.3 システム構成	8
2.4 システム機能・性能・要件	10
2.4.1 システム機能・性能・要件	10
2.4.2 遠隔地から実証環境へのネットワーク接続	10
2.4.3 実証環境構築に必要な機器及びソフトウェア	11
2.4.4 実証環境構築に必要な機器及びソフトウェア	12
2.4.5 使用する機器・ソフトウェア	13
2.5 免許及び各種許認可	15
2.6 その他要件	16
2.6.1 サイバーセキュリティ対策のための留意ドキュメント	16
2.6.2 サプライチェーンのサイバーセキュリティリスク対応のために講じている対策	17
2.6.3 サプライチェーンリスク対策の実施	18
2.6.4 主要構成要素のサプライヤーリスト	19
2.6.5 品質性能状況	20
2.7 実証環境の運用	21
3. ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）	22
3.1 実証概要	22
3.2 実証環境	23
3.3 実証内容	29
3.3.1 ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定	29
3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化	74
3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化	101
3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発	102
3.3.5 その他のテーマ	134
3.3.6 技術実証における追加提案	135
4. ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）	162
4.1 実証概要	162

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標.....	164
4.2.1 ユーザが抱える課題の具体化（イシューツリー）と本実証技術との関係性.....	164
4.2.2 ユーザにおける実装時の姿や方向性及び実装に向けたステップ.....	164
4.2.3 本事業の課題実証における目標.....	166
4.3 実証環境.....	167
4.3.1 実証フィールドの概要.....	167
4.3.2 システム環境の概要.....	168
4.4 実証内容.....	170
4.4.1 ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証.....	170
4.4.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検証.....	193
4.4.3 ローカル 5G の実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討.....	205
4.4.4 継続利用の見通し・実装計画.....	207
5. 普及啓発活動の実施.....	219
5.1 映像制作への協力.....	219
5.2 実証視察会の実施.....	223
5.3 その他普及啓発活動.....	227
5.3.1 広報用コンテンツの整備.....	227
5.3.2 近隣農家への説明会の実施.....	230
5.3.3 学会発表実績.....	231
5.3.4 取材対応実績.....	231
6. 実施体制.....	232
7. スケジュール.....	233

1. 実証概要

1.1 背景・目的

国内の農業においては、年々就業人口が減少しており平成12年度には312万戸あった農家数も令和2年度には174.7万戸（※農林水産省データ速報値）と約44%減少している。これに伴い、畜産業においては1戸あたりの飼育頭数、牧場面積の増加により経営規模が増加し、一層効率的な管理が求められている状況である。

牛舎内で乳牛を放し飼いにする放し飼方式（フリーストール方式）は、多頭飼いに適した方式であり、管理工数の削減、牛のストレス軽減による搾乳量の増加が見込まれるため、効率的な管理に向けた有効な手法の一つであるとされている。一方で、個体の跛行検知や位置の把握にノウハウが必要であるため、導入へのハードルが高いという課題を抱えている。

以上の背景を踏まえ、本実証事業では、ローカル5G技術とICTを活用することで、個体の跛行検知・位置検索等のフリーストール方式における課題を解決し、フリーストール牛舎の普及と酪農業の経営改善に資する活動を実施することを目的とした。

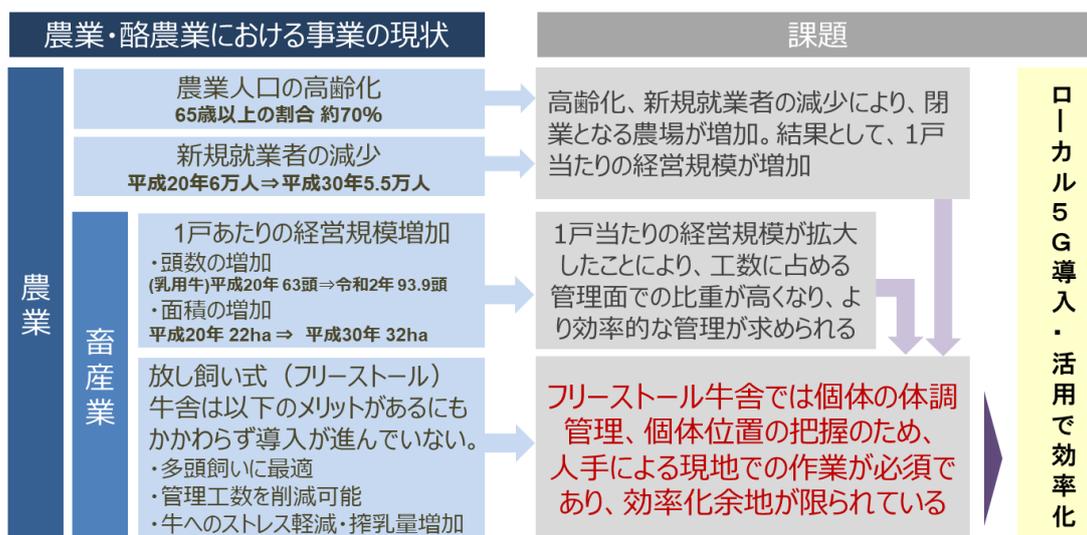


図 1.1-1 農業・酪農業の現状と課題

1.2 実証の概要

本実証事業の全体像を以下の図 1.1.2 に示す。

本事業の技術実証では、基本提案として電波伝搬モデルの精緻化と準同期 TDD の追加パターン開発を実施した。また追加提案としては、追加準同期パターンを具備した実機を用いた検証を行った。各技術実証の詳細は 3 章で示す。

本事業の課題実証では、フリーストール方式が抱える個体管理面の課題に対し、乳牛の①跛行検知、②個体識別・位置検索、③遠隔指導の 3 つの技術に関する実証を基本提案として行った。各課題実証の詳細は 4 章で示す。

また特に課題実証で検証する各技術および同技術を活用したサービスの将来的な社会実装に向けた普及啓発活動（広報活動）を実施した。普及啓発活動の詳細は 5 章で示す。



図 1.1-2 本実証事業の概要図

2. 実証環境の構築

コンソーシアムは、以下に記載する実証環境を採択後に構築した。実証環境の構築にあたっては、構築・運用に係るコストを可能な限り削減し、代替可能性及び事業継続性を考慮した持続可能な普及モデルとして必要かつ十分な要件を備えたものとなるように構築した。

2.1 対象周波数帯

本実証実験場所はフリーストール牛舎であることから、自由に移動する牛の個体識別をする必要があり、大容量のデータを伝送するにはローカル 5G を用いるのが無線リソースの占有性の観点で望ましい。本実証実験場所は壁等の遮蔽物の少ない屋内であるが、移動機はカメラと接続する位置に設置されることが想定され、一部牛で遮蔽されることが想定されることから mmW よりも直進性が低く回り込みやすい Sub6 帯周波数を利用した。

以上を踏まえ、本実証では 4.7GHz 帯 (4800MHz~4900MHz) のローカル 5G 周波数帯を使用した。

2.2 実施環境

本実証の実施場所は、北海道常呂郡訓子府町にあるホクレン訓子府実証農場内のフリーストール牛舎で、140 頭前後の牛を飼育している。建物に屋根は設置しているが壁は簡易的なもので夏場は常時開放しており半屋外となっている。また地形は平地である。



図 2.2-1 実証実施場所 (ホクレン訓子府実証農場内 フリーストール牛舎)

また、図 2.2-2 に基地局の配置とエリアカバレッジのイメージを示す。本事業ではフリーストール牛舎内にローカル 5G の基地局合計 2 局 (屋内局) 端末 13 台を使用し、エリア全体のエリアカバレッジを図った。

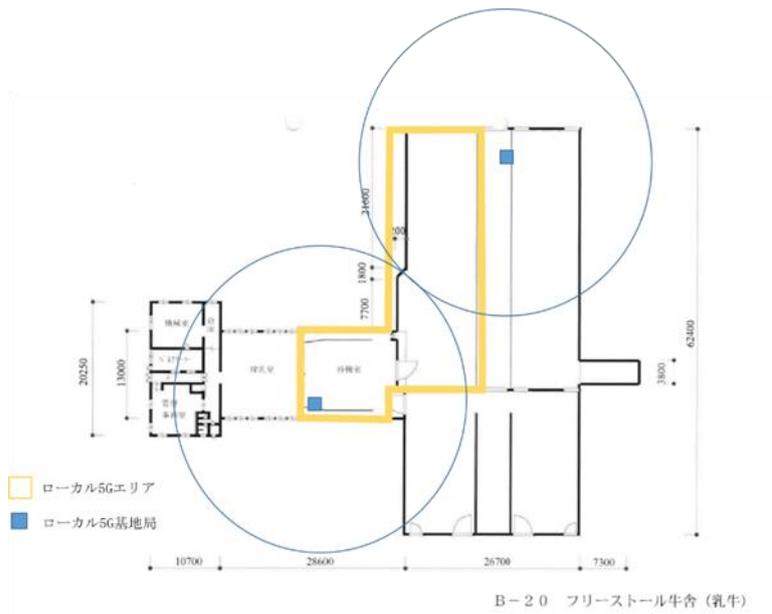


図 2.2-2 実証実施場所 (基地局配置・エリアカバレッジ)

2.3 ネットワーク・システム構成

本実証実験では、2.2 に示す環境に、ローカル 5G システムを構築した。
本章では構築するネットワークの全体像、及びローカル 5G システム構成について示す。

2.3.1 ネットワーク全体構成

本実験では、牛の個体識別・状態把握・遠隔医療を目的に、上記実証実施場所にローカル 5G 基地局を設置し、ローカル 5G 端末から接続するローカル 5G ネットワークを構築した。

2.3.2 ローカル 5G システム構成

本実験では、コアネットワークを含めたローカル 5G システム全てを実証実験敷地内に設置するオンプレミス構成をとる。ローカル 5G システム構成を図 2.3.2-1 に示す。

19 インチラック内にはローカル 5G コアネットワークシステム及び一部の基地局装置及び時刻同期システムを収容する。19 インチラック搭載イメージは図 2.3.2-2 に示す。

また、実際の設置状況を図 2.3.2-3 (牛舎内)、図 2.3.2-4 (牛舎事務所内) に示す。

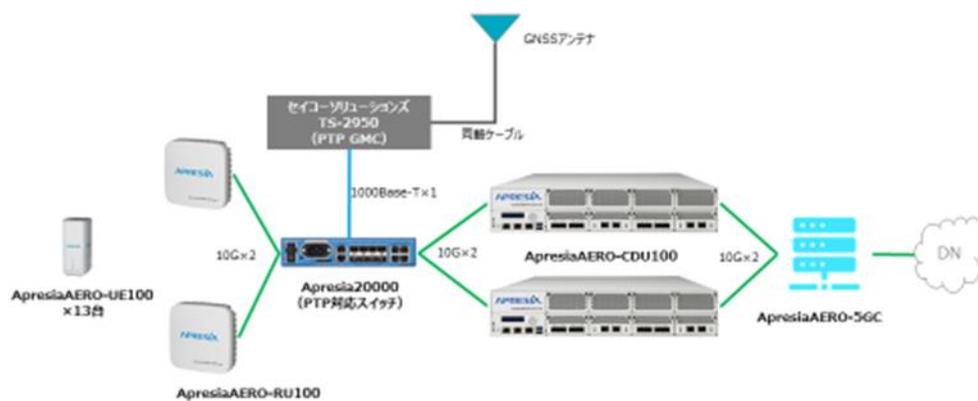


図 2.3.2-1 ローカル 5G システム構成

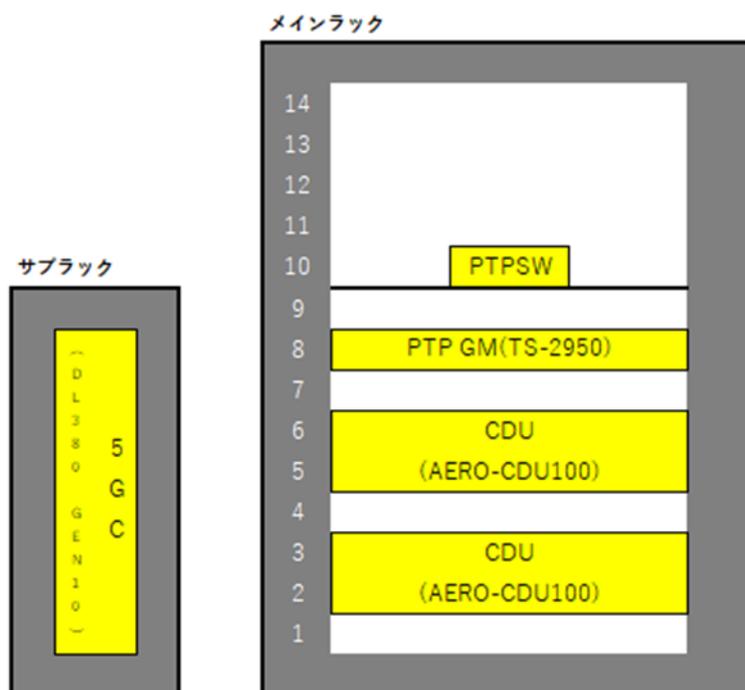


図 2.3.2-2 ローカル 5G コアネットワークシステム及び一部基地局システムのラックマウント図

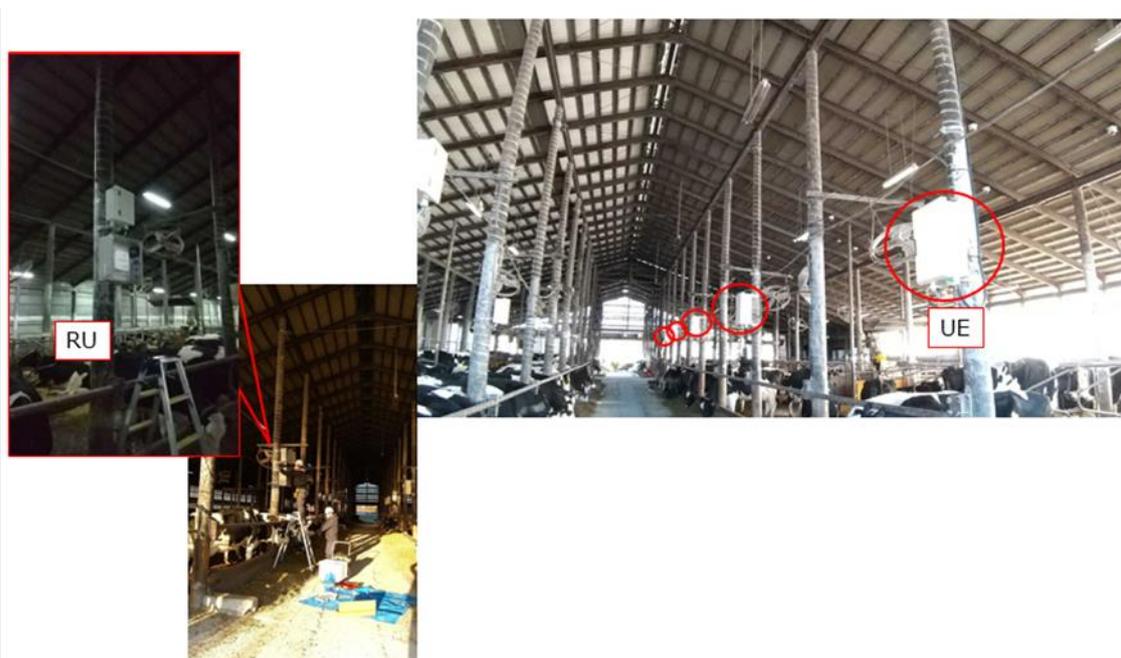


図 2.3.2-3 ローカル 5G システム設置状況（牛舎内）



図 2.3.2-4 ローカル 5G システム設置状況 (牛舎事務所内)

2.3.2.1 ローカル 5G 基地局

本実証に用いたローカル 5G 基地局システムは、Central/DistributeUnit (CDU)、RadioUnit (RU) の二種類の装置で構成される。

装置の外観等を図 2.3.2.1-1 に示す。なお RU はアンテナ一体型となっており筐体全面より電波を放射する。装置の主要諸元を表 2.3.2.1-1 に示す。

装置構成		型式	サイズ	重量	消費電力
CDU		ApresiaAERO-CDU100	440(W) x 710(D) x 88(H)mm	25kg	800W以下
RU		ApresiaAERO-RU100	218(W) x 218(D) x 64(H)mm	3.5kg以下	60W以下

図 2.3.2.1-1 ローカル 5G 基地局システム構成

表 2.3.2.1-1 ローカル 5G 基地局システム諸元

項目	基地局 A
製造ベンダ	APRESIASystems 株式会社
台数	2 台
設置場所 (屋内/屋外)	屋内
同期/準同期	準同期
UL : DL 比率	4:2:4
周波数帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA
UL 周波数	4.8~4.9GHz
DL 周波数	
UL 帯域幅	100MHz
DL 帯域幅	
UL 中心周波数	4.85GHz
DL 中心周波数	
UL 変調方式	QPSK,16QAM,64QAM
DL 変調方式	QPSK,16QAM,64QAM,256QAM

MIMO	1×4MIMO
同時接続数	7UE/セル(無線局)

2.3.2.2 ローカル 5G コアネットワークシステム

本実証に用いたローカル 5G コアネットワークシステムは、5G コア装置 (5GC)、PTP 対応スイッチ、PTP サーバの三種類の装置で構成される。

装置の外観等を図 2.3.2.2-1 に示す。また主要諸元を表 2.3.2.2-1 に示す。

装置構成		型式	サイズ	重量	消費電力
5Gコア装置		HPE ProLiant DL360	46(W) x 680(D) x 88(H)mm	最大19.5kg	393W
PTPサーバ		Time Server Pro. TS-2952	430(W) x 500(D) x 44(H) mm (突起部を除く)	約10kg	41W
PTP対応スイッチ		Apresia20000-8X4T-AC	210(W) x 220(D) x 44(H) mm (突起部を除く)	2.3kg	33W以下

図 2.3.2.2-1 ローカル 5G コアネットワーク構成

表 2.3.2.2-1 ローカル 5G コアネットワーク諸元

製造ベンダ	APRESIASystems 株式会社
準拠する標準仕様	3GPP Release15
5G ネットワーク構成	SA Option2

2.3.2.3 ローカル 5G アンテナ

本実証に用いたローカル 5G アンテナの外観等を図 2.3.2.3-1 に示す。また主要諸元を表 2.3.2.3-1 に示す。



図 2.3.2.3-1 ローカル 5G のアンテナの外観

表 2.3.2.3-1 ローカル 5G のアンテナの諸元

諸元	
寸法	218mm(W) x 218mm(D) x 64mm(H)
重さ	3.5kg以下(ラックマウント金具含む)
電源	PoE++(802.3bt)

2.3.2.4 ローカル 5G 端末

本実証に用いたローカル 5G 端末の外観等を図 2.3.2.4-1 に、主要諸元を表.3.2.4-1 に示す。



図 2.3.2.4-1 ApresiaAERO-UE100 の外観

表.3.2.4-1 ApresiaAERO-UE100 の諸元

対応周波数	5G NR 4.8~4.9GHz(TDD) 100MHz幅
LAN側 (有線)	10/100/1000BASE-T×2 10GBASE-T × 1
LAN側 (WiFi)	IEEE802.11ac, IEEE802.11ax
管理プロトコル	Web-UI
その他	PoE給電は未サポート
サイズ	148(W) x 100(D) x 230(H) mm
本体概算質量	1kg以下
電源・最大消費電力	ACアダプター、40W以下
耐環境性	屋内用 (0℃~40℃)

2.3.3 システム構成

分野における課題解決システムのシステム構成図を図 2.3.3-1 に示す。

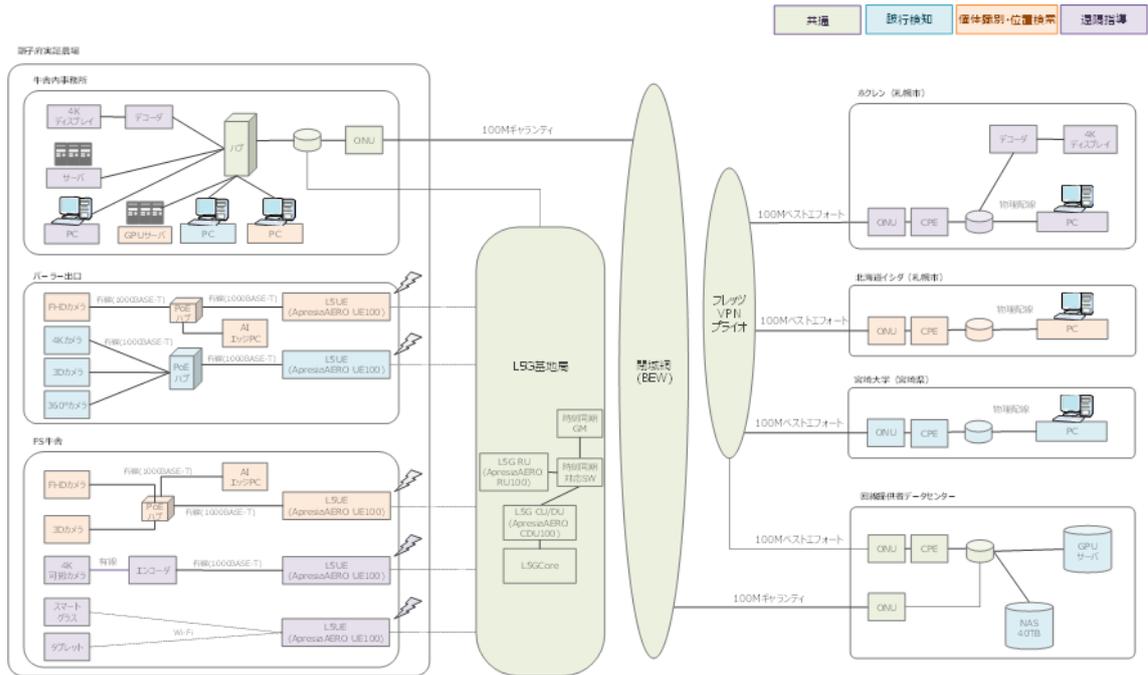


図 2.3.3-1 システム構成図

2.4 システム機能・性能・要件

本章では、技術実証・課題実証で利用するローカル 5G システム及び課題実証に関するシステムについて示す。

2.4.1 システム機能・性能・要件

本実証では複数のカメラ映像を解析して牛の状態把握や個体識別・追跡、遠隔指導のための映像伝送を行うため、以下の図に記載の通り、システム全体の伝送帯域としては 65Mbps(UL)を目標とした。

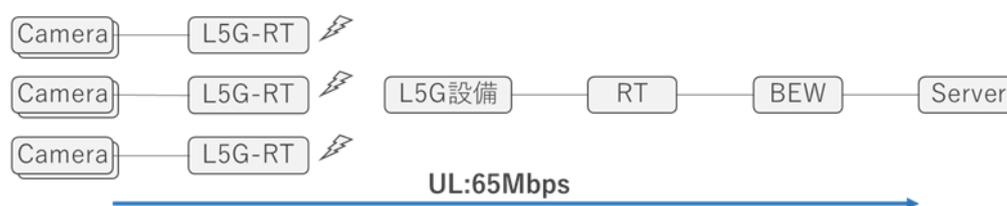


図 2.4.1-1 システム構築に必要な通信帯域

通信帯域を実現するため、以下の表に記載の機器や光回線を用いて、end-to-end で 65Mbps 以上となるようにネットワークを構築した。

表 2.4.1-1 ローカル 5G 実証 通信機器一覧

物品	メーカー / 型番	通信速度
(Camera)		
(有線区間) 10GBASE-T		10Gbps
L5G-RT	ApresiaAERO-UE100	
(無線区間) 5G NR 4.8~4.9GHz 100MHz 幅		
L5G 設備	ApresiaAERO-RU100	80Mbps(UL)
	Apresia20000-8X4T-AC	
	ApresiaAERO-CDU100	
	HPE ProLiant DL360	
(有線区間) HPE Ethernet 1Gb 4-port		
RT	Cisco C1111-4P (FL-VPERF-4P-100)	100Mbps
(有線区間) ビジネスイーサワイド 100M		100Mbps
(Server)		

2.4.2 遠隔地から実証環境へのネットワーク接続

感染症等による緊急事態宣言に伴う行動制限の可能性を考慮し、遠隔地からの実証が行えるよう、各拠点から遠隔でセキュアにネットワークへ接続できる環境を構築した。

各拠点（ホクレン・北海道イシダ・宮崎大学）にはフレッツ VPN プライオの回線を構築し、各拠点のルータで VPN を終端してクラウドサーバ及びオンプレサーバへ接続可能とする。なお、水平展開時の経済性を考慮しベストエフォート型の回線を選定した。

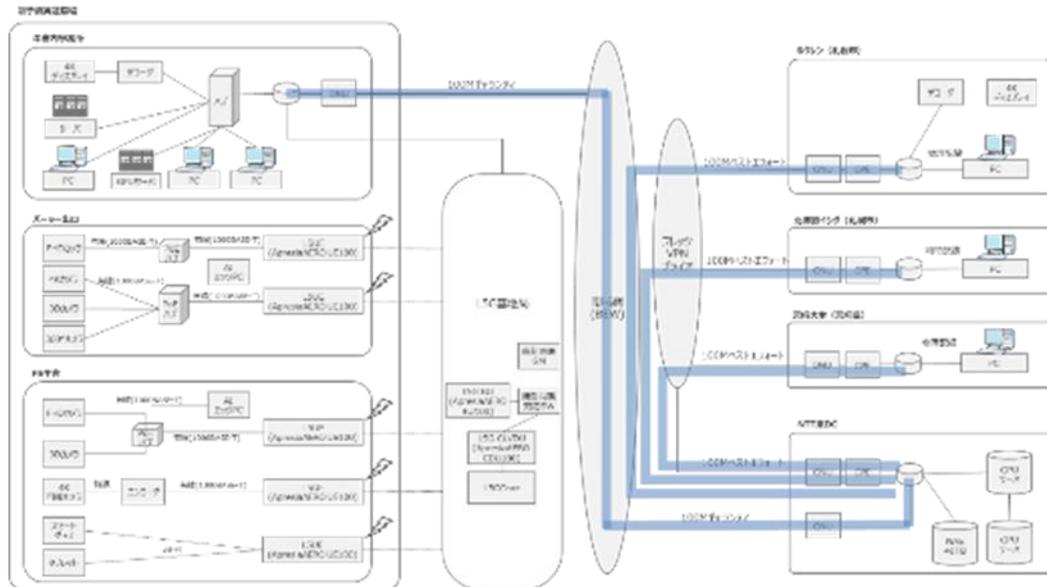


図 2.4.2-1 ネットワーク構成図（論理）

2.4.3 実証環境構築に必要な機器及びソフトウェア

実証環境構築に必要な各種機器及びソフトウェアは表 2.4.3-1 に示すとおりである。

表 2.4.3-1 実証環境構築に必要な各種機器及びソフトウェア

カテゴリ	項目名	役割	数量
跛行検知システム	3D カメラ	縦横の情報だけではなく奥行き（深度）も撮影できるカメラで、牛の体の状態を把握	8
	4K カメラ	4K 画質で撮影が可能なカメラで、牛の状態を細部まで把握	2
	360 度カメラ	普及展開に向けて、360 度カメラのみでの牛の状態把握を実施し、3D カメラや 4K カメラでの把握と比較検証に使用	2
	PoE ハブ	カメラへの給電し、カメラと L5G ルータを接続	2
	タブレット PC	解析状況を確認	2
	MATLAB ライセンス	映像解析に使用	2
	NAS	機械学習のため映像を蓄積する	1
	GPU サーバー	システムを構築、映像を解析して跛行の牛を発見する	1
個体識別・位置検索システム	FHD カメラ	牛舎内の牛を撮影し、牛がどこにいるか追跡する	20
	3D センサー	牛舎内の牛を撮影し、牛がどこにいるか追跡する	20
	AI エッジ PC	追跡用カメラ映像を解析して位置情報を導きサーバーへ送る	17
	GPU PC	追跡用カメラ映像を解析して位置情報を導き各牛の位置を集約し、地図上にマッピングする	1

	PoE ハブ	カメラへの給電し、カメラと L5G ルータを接続	6
	FRP ボックス	L5G ルータや HUB を收容し、雨風や埃等から機器を守る	6
	FHD カメラ	搾乳から牛舎に戻る牛を撮影し個体を識別する	4
	GPU PC	識別用カメラ映像を解析して牛の個体を識別する	1
	ハブ	サーバーや牛舎内の LAN 配線を集約する	2
遠隔指導システム	スマートグラス	牛の耳標のスキヤンや牛の情報表示、遠隔地との通話に利用	1
	Frontline ライセンス	スマートグラスへの情報表示に使用	1
	Frontline サーバー	スマートグラスへの情報表示に使用	1
	4K アクションカメラ	4K 映像を撮影し遠隔地へ送信	1
	エンコーダーデコーダー	4K 映像の送受信に利用	3
	4K ディスプレイ	4K 映像を表示し獣医師等が牛の状況を把握	1
共通	L5G ルータ	カメラ映像の L5G 基地局への送信や、スマートグラスへ表示する情報を受信するための L5G 通信端末	13

2.4.4 実証環境構築に必要な機器及びソフトウェア

各種機器及びソフトウェアに求められる機能・仕様は表 2.4.4-1 に示すとおりである。

表 2.4.4-1 各種機器及びソフトウェアに求められる機能・仕様

カテゴリ	項目名	必要とされる仕様
跛行検知システム	3D カメラ	・牛の状態を 3D 映像（画像分解能：352 x 264 以上）で撮影可能 ・ツイストペアケーブル経由でリアルタイム映像出力が可能
	4K カメラ	・牛の状態を高精細映像（4K：3840 x 2160）で撮影可能 ・ツイストペアケーブル経由でリアルタイム映像出力が可能
	360 度カメラ	・牛の状態を 360 度映像（6M ピクセル）で撮影可能 ・ツイストペアケーブル経由でリアルタイム映像出力が可能
	PoE ハブ	・カメラへ給電、ツイストペアケーブルでの接続が可能
	タブレット PC	・持ち運びが可能なタブレット型のパソコン
	MATLAB ライセンス	・画像解析に MATLAB が利用可能
	NAS	・各種映像を 35TB 程度保存が可能で RAID6 が組めること
	GPU サーバー	・整数演算性能[INT8]：22 TOPS 以上の GPU サーバー
個体識別・位置検索システム	FHD カメラ	・牛の状態を高精細映像（FHD：1920 x 1080）で撮影可能 ・ツイストペアケーブル経由でリアルタイム映像出力が可能
	3D カメラ	・牛の状態を 3D 映像（画像分解能：640 x 480 以上）で撮影可能 ・ツイストペアケーブル経由でリアルタイム映像出力が可能
	AI エッジ PC	・整数演算性能[INT8]：3TOPS 以上の小型 PC
	GPU PC	・整数演算性能[INT8]：22 TOPS 以上の GPU パソコン

	PoE ハブ	・カメラへ給電、ツイストペアケーブルでの接続が可能
	FRP ボックス	・電波透過性が高く周囲の雨風や埃から守れる
	ハブ	・カメラへ給電、ツイストペアケーブルでの接続が可能
遠隔指導システム	スマートグラス	・音声通話が可能、画質が WVGA (854 x 480) 以上
	Frontline ライセンス	・スマートグラスで Frontline が利用可能
	Frontline サーバー	・Frontline がインストール可能
	4K アクションカメラ	・牛の状態を 4K 映像 (3840 x 2160) で撮影可能なこと。 ・ツイストペアケーブル (CAT5e 以上) 経由でリアルタイム映像出力が可能なこと。 ・酪農家への搭載を考慮し小型、バッテリー駆動可能であること。
	エンコーダーデコーダー	・4K 映像をリアルタイムで伝送可能
	4K ディスプレイ	・4K 映像 (3840 x 2160) を表示可能
共通	L5G ルータ	・Sub6 の周波数帯に対応 ・65Mbps 以上でアップロード通信可能 ・ツイストペアケーブルで接続可能

2.4.5 使用する機器・ソフトウェア

表 2.4.4-1 の機能・仕様を満たすものとして選定した各種機器及びソフトウェアを表 2.4.5-1 に示す。なお、いずれも選定可能な機器から安価なものを選定している。

表 2.4.5-1 選定した各種機器及びソフトウェア

カテゴリ	項目名	機器等名
跛行検知システム	3D カメラ	ifm O3D303
	4K カメラ	AXIS P1448-LE
	360 度カメラ	AXIS M3058-PLVE
	PoE ハブ	NETGEAR PoE スイッチングハブ
	MATLAB	MATLAB ライセンス
	NAS	N-RAID 5810M 70.0TB
	GPU サーバー	NVIDIA tesla P4 搭載 GPU サーバー ※費用外
個体識別・位置検索システム	FHD カメラ	Panasonic WV-U2134J
	FHD カメラ	Panasonic WV-X2533LNJ
	3D カメラ	ORBEC PERSEE
	AI エッジ PC	Tinker Edge R RK3399Pro
	GPU PC	WA9A-E200/XT(特別構成モデル)
	PoE ハブ	NETGEAR PoE スイッチングハブ
	ハブ	NETGEAR スイッチングハブ
遠隔指導システム	スマートグラス	RealWear HMT-1
	Frontline	Frontline ライセンス
	サーバー	DELL PowerEdge T340

	4K アクションカメラ	KODAK PIXPRO 4KVR360
	エンコーダー デコーダー	ハイテクインター TCS-8500
	4K ディスプレイ	ViewSonic VP-2785-4K
共通	L5G ルーター	ApresiaAERO-UE100

2.5 免許及び各種許認可

本実証においては、北海道訓子府町（基本提案）及び神奈川県横須賀市（追加提案）で実施することから、実証コンソーシアムの構成員である株式会社 NTT ドコモからの委託を受けたエクシオグループ株式会社を免許人として、関東総合通信局（基地局相当装置常置場所）に対してローカル 5G 免許（実験試験局免許）を申請した。申請にあたっては同じくコンソーシアム構成員である株式会社 NTT ドコモが支援を行った。

2.6 その他要件

本実証実験で利用する装置について、サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策を以下に記す。本装置は開発供給計画認定も申請中である。

2.6.1 サイバーセキュリティ対策のための留意ドキュメント

本装置は以下のドキュメントに留意したサイバーセキュリティ対策を講じることとする。

2.6.1.1 目的

「政府機関等の情報セキュリティ対策のための統一基準群（平成三十年度版）」、「IT調達に係る国の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ（平成三十年十二月十日関係省庁申合せ）」並びに「第五世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設に関する指針（平成三十一年総務省告示第二十四号）」及び「ローカル 5G 導入に関するガイドライン（令和元年十二月総務省策定）」に留意していることを示す。

2.6.1.2 留意ドキュメント

サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策の実施のため、以下のドキュメントに留意して実施している。

- (1) 「政府機関等の情報セキュリティ対策のための統一基準群（平成三十年度版）」

<https://www.nisc.go.jp/active/general/kijun30.html>

- (2) 「IT調達に係る国の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ（平成三十年十二月十日関係省庁申合せ）」

https://www.nisc.go.jp/active/general/pdf/chotatsu_moshiawase.pdf

- (3) 「第五世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設に関する指針（平成三十一年総務省告示第二十四号）」

https://www.tele.soumu.go.jp/horei/reiki_honbun/a000111701.html

- (4) 「ローカル 5G 導入に関するガイドライン（令和元年十二月総務省策定）」

https://www.soumu.go.jp/main_content/000683679.pdf

令和 2 年 12 月の最終改定版

https://www.soumu.go.jp/main_content/000722596.pdf

2.6.2 サプライチェーンのサイバーセキュリティリスク対応のために講じている対策

本装置におけるサイバーセキュリティリスク対応のために講じている対策を以下に示す。

2.6.2.1 目的

導入事業者が意図しないシステムの変更や情報の窃取等が行われないう、外部委託や他社製品の調達がある場合はそれも含めて、サプライチェーンリスク対応のために講じている対策を示す。

2.6.2.2 サプライチェーンリスクの例

留意ドキュメント 1)の中の 1 つである以下の資料を参考にし、APRESIA Systems (以降 APRESIA と称す) で講じているサプライチェーンリスク対策を示す。

「外部委託等における情報セキュリティ上のサプライチェーンリスク対応のための仕様書策定手引書」(<https://www.nisc.go.jp/active/general/pdf/risktaiou28.pdf>)

図 2.6.2-1 にサプライチェーンリスクの例を示す。APRESIA が開発供給するローカル 5G システムは、ODM ベンダを使用する。ODM ベンダや部品サプライヤー、ソフトウェアサプライヤーから提供されるものには、吹き出しのようなリスク（不正な改造、不正プログラムの埋め込み）が存在する可能性がある。また、APRESIA が導入事業者に、ローカル 5G システムを提供後、運用時に、吹き出しのようなリスク（不正な更新）が発生する可能性がある。

2.6.2.3 サプライチェーンリスク対策の実施

ODM ベンダ、部品サプライヤー、ソフトウェアサプライヤーのサプライチェーンリスクに対しては、「外部委託等における情報セキュリティ上のサプライチェーンリスク対応のための仕様書策定手引書」の 4. 機器等の調達の際に考慮すべき事項及び仕様書記載例を参考にすると、表 2-1 に示すような対策が必要である。

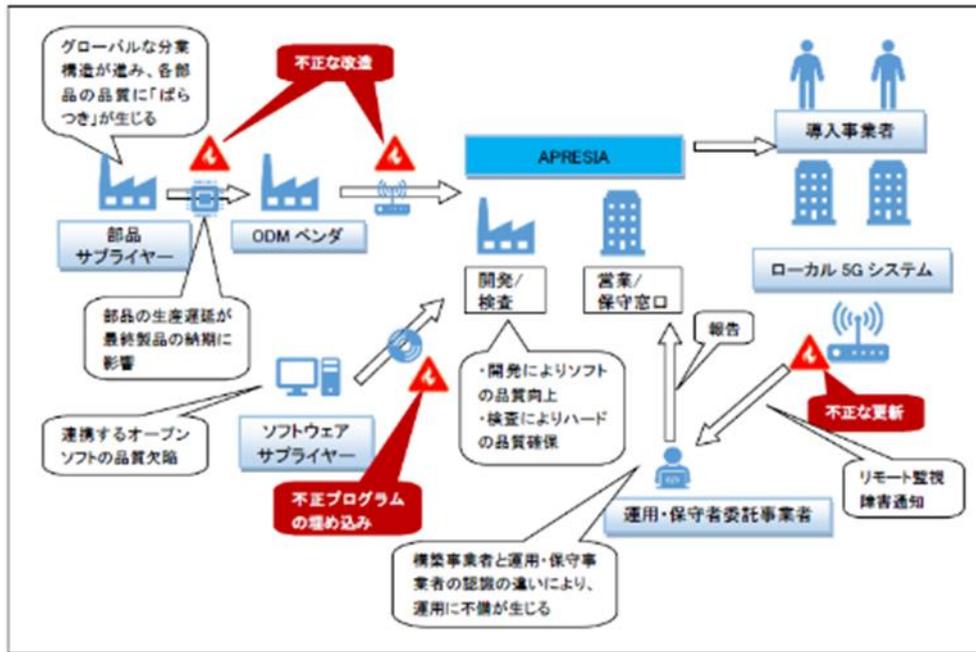


図 2.6.2-1 サプライチェーンリスクの例

2.6.3 サプライチェーンリスク対策の実施

ODM ベンダ、部品サプライヤー、ソフトウェアサプライヤーのサプライチェーンリスクに対しては、「外部委託等における情報セキュリティ上のサプライチェーンリスク対応のための仕様書策定手引書」の4. 機器等の調達の際に考慮すべき事項及び仕様書記載例を参考にすると、表 2.6.3-1 に示すような対策が必要である。

表 2.6.3-1 サプライチェーンリスク対策の実施

#	対策	APRESIA での対策
1	ODM ベンダでの当該機器等の製造工程において意図しない変更が加えられないよう適切な措置がとられており、当該措置を継続的に実施していること。	品質保証部での検査工程において、意図しない変更が加えられていないかを確認する。
2	ODM ベンダでの機器等の設計から部品検査、製造、完成品検査に至る工程について、不正な変更が行われないことを保証する管理が一貫した品質保証体制の下でなされていること。	品質保証部での検査工程において、機器に不正が見つかったときに、追跡調査や立入検査等、ODM ベンダと APRESIA で迅速かつ密接に連携して原因を調査し、排除できる体制を整備している。
3	APRESIA が開発供給するシステムを構成する要素（ソフトウェア及びハードウェア）に対して不正な変更があった場合に識別できる管理体制が確立していること。	サイバーセキュリティを持続的に確保することを支援するための体制を整備している。
4	APRESIA が開発供給するシステムを構成する要素（ソフトウェア及びハードウェア）を導入した事業者において、不正な変更が加えられていないことを検査する体制を確立していること。	同上
5	APRESIA に ODM ベンダが納入する機器等の開発工程、製造工程等において、下記（ア）から（オ）の情報セキュリティに係るサプライチェーンリスクを低減する対策が行われていること。 （ア）開発工程において信頼できる品質保証体制が確立されていること。 （イ）脆弱性検査等のテストの実施が確認できること。 （ウ）製造工程における不正行為の有無について、定期的な監査が行われていること。 （エ）製造者が不正な変更を加えないよう、サプライチェーン全体が適切に管理されていること。 （オ）不正な変更が発見された場合に、APRESIA と ODM ベンダが連携して原因を調査・排除できる体制を整備していること。	品質保証部での検査工程において、機器に不正が見つかったときに、追跡調査や立入検査等、ODM ベンダと APRESIA で迅速かつ密接に連携して原因を調査し、排除できる体制を整備している。

2.6.4 主要構成要素のサプライヤーリスト

2.6.4.1 主要構成要素のサプライヤーリスト

(1) システム概要

対応周波数：4.8～4.9GHz、SA 方式、技術基準適合証明取得（工事設計認証番号：003-210060）、同期システム（準同期対応）、屋内システム

(2) システム構成

RU、CU/DU 一体型：3GPP、O-RAN フロントホールインタフェース準拠、交換設備（5G コア）：ハードウェアは汎用サーバ、ソフトウェアは OSS ベース

(3) 主要構成要素のサプライヤーリスト

APRESIA が開発供給するローカル 5G システムの RU、CU/DU、交換設備（汎用サーバ）れについて、主要構成要素のサプライヤーを以下に示す。

表 2.6.4.1-1 主要構成要素のサプライヤーリスト

種別	型番・型式	主要構成要素	サプライヤー	備考
RU	ApresiaAERO-RU100	FPGA	Xilinx 社	本社：米国
		RF IC	Analog Devices 社	本社：米国
		10G PHY	Aquantia 社	Marvel 社が買収 本社：米国
CU/DU	ApresiaAERO-CDU100	CPU	Intel 社	本社：米国
		FPGA	Xilinx 社	本社：米国
		サーバ筐体	AEWIN 社	本社：台湾
交換設備	ApresiaAERO-5GC	CPU	Intel 社	本社：米国
		FPGA	なし	

2.6.5 品質性能状況

本実証では既に商用導入済みのローカル 5G 装置一式を利用した。

使用するローカル 5G 装置はベンダの品質保証試験評価データの確認及びラボ環境での動作・性能試験を実施し品質確認した上で導入している。

また、実証に用いる測定機材については、較正証明書を添付の上、実証試験前に測定系の構築及び事前測定を実施した。

2.7 実証環境の運用

本実証ではローカル 5G の実験局免許運用となることから、実証時においては免許人が 3 時間以内に駆け付けられる場所で待機することとし、機器異常時は速やかに停波できる体制を構築した。

3. ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要

農業分野における課題実証では、“フリーストール牛舎内でローカル 5G を用いた画像解析や映像伝送により個体の異常検知や位置検索、外部専門家への迅速な相談を実現し、個体管理作業の効率化”を目的としている。技術実証においてもこのユースケースを前提とし、仕様書で規定されている“a.ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定”、“b. I.電波伝搬モデルの精緻化”、“b.Ⅲ.準同期 TDD の追加パターンの開発”について検討を行う。その際、今回得られた知見が類似の環境（牛舎、豚舎、鶏舎などの畜舎や大型ビニールハウス等）においても適用できるように、“農機具等による遮蔽・反射環境における電波伝搬特性”及び“半屋外環境におけるエリア展開の在り方”を意識しながら検討を進めていくこととする。また、電波伝搬特性の解析においては、ITU や 3GPP における 5G 検討で用いられているパラメータ等を活用して検討を行う。

表 3-1 技術実証の概要

項目			該当（○、×）	
技術実証の 実施環境	周波数帯	4.7GHz 帯	○	
		28GHz 帯	×	
		キャリア 5G の周波数帯	×	
	屋内外	屋内	○	
		屋外	×	
		半屋内	○	
	周辺環境	都市部	×	
		郊外	○	
		開放地	×	
		その他	×	
	テーマ別 実証	I.電波伝搬モデルの 精緻化	K の精緻化	×
			S の精緻化	○
R の精緻化			○	
その他の精緻化			×	
II.電波反射板による エリア構築の柔軟化		実施の有無	×	
III.準同期 TDD の追 加パターンの開発		TDD2 の検討	○	
		TDD3 の検討	×	
		TDD2、3 以外のパターンの検討	×	
		追加パターンを具備した実機での検証	※	
IV.その他のテーマ		実施の有無	×	

※技術実証の追加提案として、追加パターンを具備した実機での検証を行う

3.2 実証環境

北海道常呂郡訓子府町駒里にある訓子府実証農場に置局される 4.7GHz 帯 (4.8~4.9GHz) のローカル 5G 基地局 2 局を用いて実証試験を行う。

図 3.2-1(a)(b)に技術実証試験フィールドおよび基地局設置場所を示す。

技術実証を行うフリーストール牛舎は、図 3.2-2(b)に示すように多数の金属製の仕切りや鉄骨、図 3.2-2(c)に示すようにトリカルネット及びビニールシートで構成されており、開放的な環境であるため建物外への漏洩電力が強く観測されることが想定される。



図 3.2-1(a) 技術実証フィールド航空写真

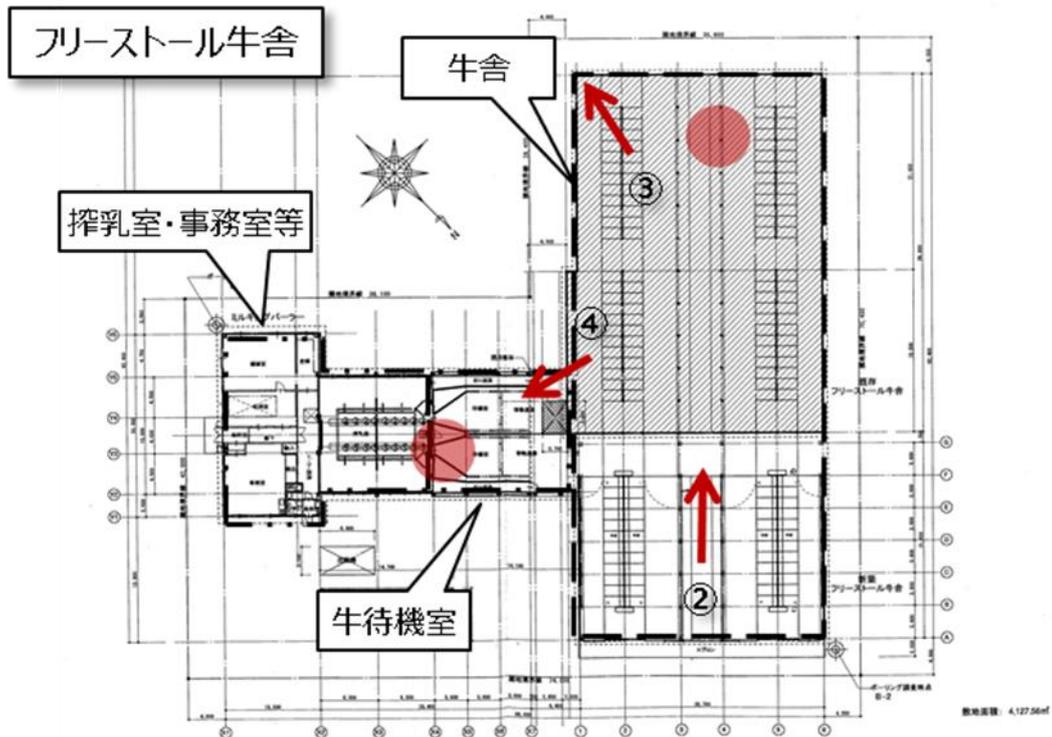


図 3.2-1(b) 技術実証フィールド屋内図面



图 3.2-2(a) ①牛舍外觀



图 3.2-2(b) ②牛舍内環境



図 3.2-2(c) ③牛舎壁面



図 3.2-2(d) ④牛待機室内環境

各種データの実測に使用する測定機器を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 実測に使用する測定機器

測定機器名	測定項目	備考
Anritsu	SS-RSRP	図 3.2-3
エリアテスタ ML8780A1	SS-RSRQ	設定値：表 3.2-2
測定用 PC	伝送スループット	図 3.2-4
iPerf2	遅延時間	
PacketCapture (Wireshark3)		

1 <https://dl.cdn-anritsu.com/ja-jp/test-measurement/files/Product-Introductions/Product-Introduction/ml8780a-81a-j111400.pdf>

2 <https://iperf.fr/>

3 <https://www.wireshark.org/>

Garmin eTrex30xJ4

GPS 座標

図 3.2-5



図 3.2-3 Anritsu エリアテストの外観



図 3.2-4 測定用 PC(iPerf,Wireshark)

4 <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/518048/pn/010-01508-10#specs>



図 3.2-5 Garmin eTrex30xJ の外観

本実証を通して、エリアテストの主な設定値は表 3.2-2 を用いることとする。

表 3.2-2 エリアテスト設定値

項目	設定値
測定周波数	4.849GHz
帯域幅	100MHz
測定項目	SS-RSRP SS-RSRQ SS-SINR
測定周期	0.3[s]
アンテナパターン	オムニ

測定においては、多数の測定点における測定を効率的に実施するため、図 3.2-6 に示すような測定補助用の治具を作成して測定を実施する。



図 3.2-6 実測に用いる測定補助用治具

3.3 実証内容

3.3.1 ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定

農業分野における課題実証では、“フリーストール牛舎内でローカル 5G を用いた画像解析や映像伝送により個体の異常検知や位置検索、外部専門家への迅速な相談を実現し、個体管理作業の効率化”を目的としている。課題実証において提案するローカル 5G を用いたユースケースで要求される性能を表 3.3.1-1 に示す。

課題実証では、上り回線において、カメラ及びスマートグラスからの映像を伝送することを前提としているため、ローカル 5G 性能としては、上り回線の伝送スループットが重要となる。従って、技術実証においても、上り回線のスループットが表 3.3.1.1-1 に示す 65Mbps を満たすことを実証目標とする。その際、エリア形成の観点とユーザへのサービス提供の観点から評価を行う。

それらの評価結果から、類似の環境（牛舎、豚舎、鶏舎などの畜舎や大型ビニールハウス等）においてローカル 5G サービスを提供する場合に適用可能なエリア形成やサービス提供品質の知見を取り纏めることも実証目標とする。また、得られた知見については、総務省が策定しているローカル 5G ガイドラインにおいて、モデルケースとして記載することで、ローカル 5G の利活用に生かされることを想定している。

本項で取得する測定データについては、後述するテーマ別の技術実証項目において評価を行う際にも活用する。

表 3.3.1-1 課題実証で要求される所要性能

項目	下り(DL)	上り(UL)
通信速度	10Mbps（最大同時接続時）	65Mbps（最大同時接続時）
遅延時間	400ms（End To End）	400ms（End To End）
利用条件	同時通信台数 1 台程度	同時通信台数 10 台程度

3.3.1.1 実証目標

実証環境におけるローカル 5G の性能評価として、エリア形成の検証と、ユーザへのサービス提供品質の評価を行う。

まず、エリア形成の検証は、「電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定するエリア算出法」（以下、「エリア算出法」という。）に基づく、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端閾値を基準に、実証環境において実測した下り受信電力値及びそこから導く伝搬ロス特性により行う。

次に、ユーザへのサービス提供品質は、カバーエリア端における伝送スループット、遅延時間が、表 3.3.1.1-1 に示している課題実証側での所要性能を達成できているか評価する。これらの評価・検証を通じて、ローカル 5G 性能向上のための課題抽出と解決策等についても考察を行う。

表 3.3.1.2-1 に、評価項目と測定項目との関係を示す。

表 3.3.1.2-1 技術実証試験における評価項目と測定項目との関係

評価・検証項目	評価項目の概要	主な測定項目
エリア形成の検証	<p>エリア算出法に基づく、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端において実測する下り受信電力値とエリア端閾値の比較。</p> <p>測定地点における伝搬ロスと、いくつかの電波伝搬モデルとの比較。</p>	<p>下り受信電力 (SS-RSRP)</p>
サービス提供品質の評価	<p>カバーエリア端における、伝送スループットと遅延時間が、課題実証で要求される基準を満たしているか評価。</p>	<p>伝送スループット 遅延時間</p>

3.3.1.2 評価・検証項目

(1) 測定方法

測定については、仕様書の規定に従い、エリア算出法に基づく基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域（図 3.3.1.2-1）において行うこととし、以下の考え方で実施する。

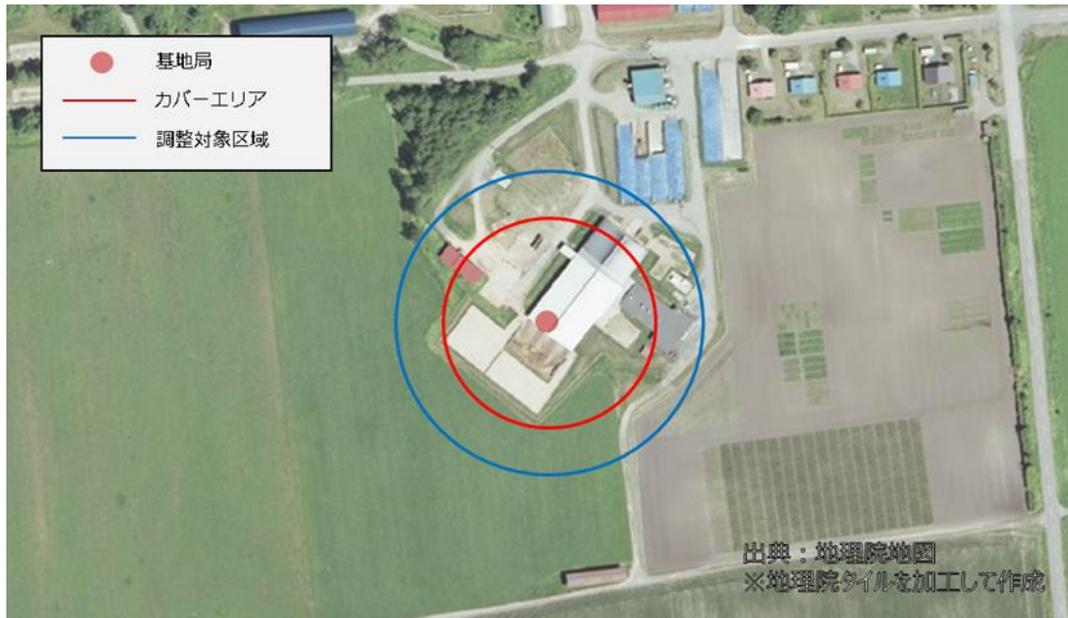


図 3.3.1.2-1(a) 牛舎側基地局からのエリア図

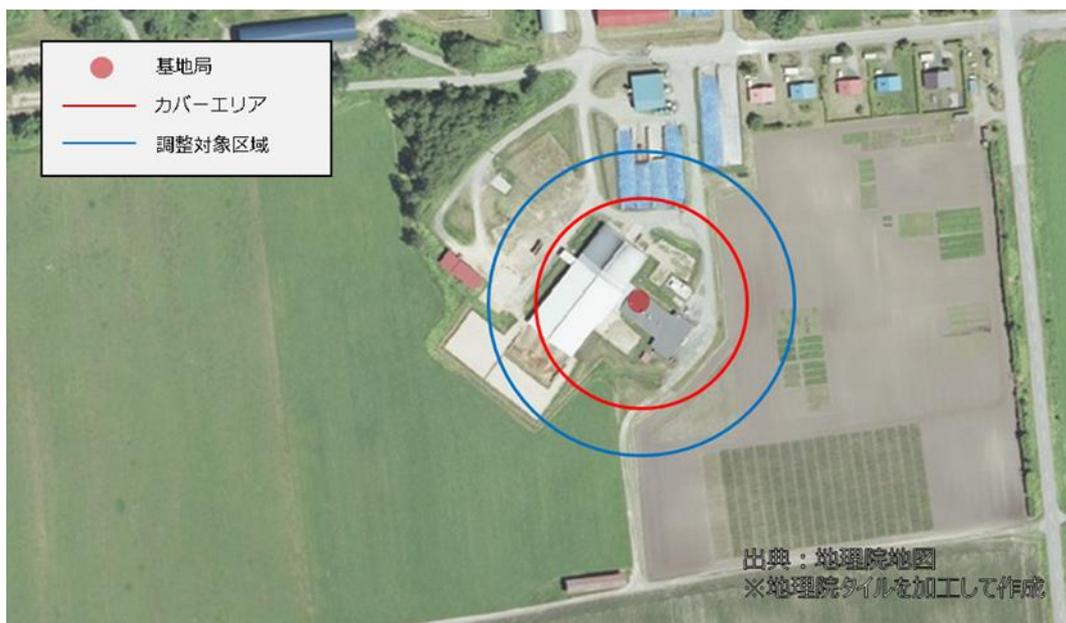


図 3.3.1.2-1(b) 牛待機室側基地局からのエリア図

1) 測定地点の考え方

屋内、屋外の測定地点に置いて下記考え方にに基づき測定地点を選定する。

測定地点番号は技術実証を通して同じであり連番となっていないことに注意されたい。

※なお、各測定地点において障害物等により測定困難な地点については、測定地点をずらす等の調整を行う。

- 屋内測定地点

図面内において、対角及びその中心において測定地点を選定する（図 3.3.1.2-2(a)）。

また、牛舎内においては牛が往来する関係上、測定可能時間が限られる為、牛待機室に比べ粒度は粗くなる。

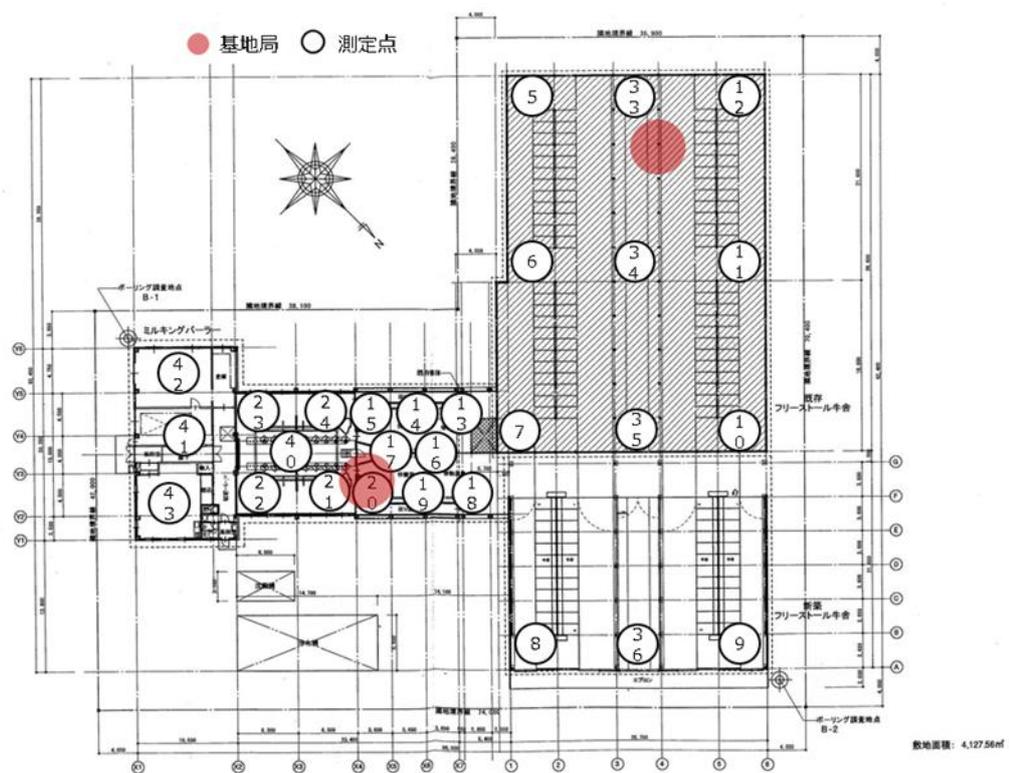


図 3.3.1.2-2(a) 屋内測定地点

- 屋外測定地点

基地局を中心に、30度ごとの補助線を引き、図 3.3.1.2-1 に示す基地局毎のエリア図において、カバーエリア端、調整区域端の測定に必要と考えられる地点を選定する（図 3.3.1.2-2(b)）。



図 3.3.1.2-2(b) 屋外測定地点

2) 測定項目

- 下り受信電力

一般的に 5G NR のエリア指標として用いられている SS-RSRP (Synchronization Signal-Reference Signal Received Power) 及び SS-RSRQ (Synchronization Signal-Reference Signal Received Quality)、SS-SINR (Synchronization Signal-Signal to Interference plus Noise power Ratio) について実測する。

SS-RSRP は、1 リソースエレメント当たりの SSS (Secondary Synchronization Signal) の受信電力であり、基地局からの電波の受信レベルを評価する基本的なパラメータである。SS-RSRQ は、受信品質を評価するパラメータであり、近隣基地局の干渉が増大すれば RSRQ が小さくなる。SS-SINR も RSRQ 同様に受信品質を評価するパラメータであり、RSRQ は分母に RSSI、つまり全体帯域の電力を用いるが、SINR では RS と同じリソースブロックの帯域内に存在する干渉電力を分母とする。干渉電力は、同じ帯域内の隣接セルからの信号に加えて雑音成分や、CP (Cyclic Prefix) 時間を超えて遅延したマルチパスとなり、その干渉電力が増大すれば SINR が小さくなる。

- 伝送スループット及び遅延時間

伝送スループットについては、アップリンク (以下、UL) / ダウンリンク (以下、DL) を、端末側に接続したクライアント PC と基地局側コアネットワークに接続したサーバ PC との区間において測定する。遅延時間についても同じ区間において実測する。

2) 測定手法と実測模様

各種データは、上記の考え方にに基づき選定した測定地点に測定員が赴き、表 3.2-1 に示す測定器及び表 3.2-2 に示す設定値を用いて実測する。また、実証環境における電波伝搬環境をより詳細に分析するため、各測定地点においては測定員の目視により見通し環境もしくは見通し外環境であるかを併せて記録する。ただし、建物の構造や障害物の存在等により立ち入りが難しい場所については測定地点をずらすなどで対応する。

SS-RSRP 及び SS-RSRQ は、エリアテスタを用いて、1000 サンプル/地点のログ取得を実施する。

なお、受信電力の測定においては、定在波の影響を避けるため、1つの測定点において、 10λ (λ は波長) の範囲で測定位置を動かしながら測定を実施する。

伝送スループットや遅延時間の測定については、図 3.3.1.2-3 に示す通り UE と CN の End To End で測定を行うが、期待する測定値とは異なる結果や、そもそも測定値が取得できない等の場合を考慮し、無線装置と 5G Core 装置の間である場所に「パケットキャプチャ装置」(光信号分岐用装置 (TAP) 含む) を接続し、問題発生時の切り分けとして無線伝送部分の測定を行う。

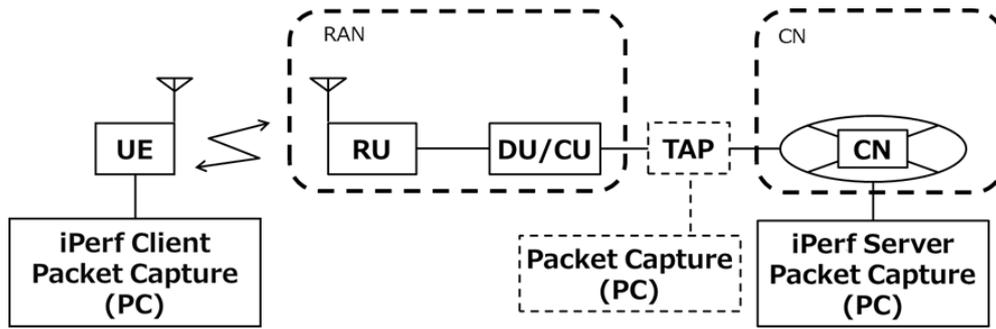


図 3.3.1.2-3 伝送性能測定区間

3.3.1.3 評価・検証方法

ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定に関しては下記に記載する流れで評価・検証を進めていくこととする。

(1) 実証環境におけるエリア形成の検証

エリア形成の検証としては、エリア算出法に基づく、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端閾値を基準に、実証環境において実測した下り受信電力値及びそこから導く伝搬ロス特性により行う。

具体的には、実証環境におけるカバーエリア及び調整対象区域をエリア算出法により作図する（エリア算出法によるエリア図）。その後、それぞれのエリア端における実際の下り受信電力値とエリア端閾値との比較を行なう。下り受信電力値とエリア端閾値が異なっている場合は、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端閾値が実測される地点と基地局との距離の確認を行うことにより実測値による推定エリア図を作成する。最後に、エリア算出法によるエリア図と実測値による推定エリア図の差分を評価する。

加えて、各測定地点において実測した下り受信電力値と測定地点～基地局間距離から算出した伝搬ロス特性を、携帯電話システムの設計等に用いられている電波伝搬モデルと比較することで、実証環境における 4.7GHz 帯(4.8~4.9GHz)の電波伝搬特性の評価を行う。

(2) 実証環境におけるユーザへのサービス提供品質の評価

ユーザへのサービス提供品質の評価として、カバーエリア端における伝送スループット、遅延時間について、下り受信電力値との関係性で評価し、表 3.3.1.3-1 にて示している課題実証側での所要性能を達成できているか評価する。

表 3.3.1.3-1 課題実証で要求される所要性能（再掲）

項目	下り(DL)	上り(UL)
通信速度	10Mbps（最大同時接続時）	65Mbps（最大同時接続時）
遅延時間	400ms（End To End）	400ms（End To End）
利用条件	同時通信台数 1 台程度	同時通信台数 10 台程度

3.3.1.4 実証結果及び考察

(1) 下り受信電力、受信品質測定結果

実証環境における下り受信電力及び受信品質の測定地点は、3.3.1.2 章にて示しており、牛舎側基地局において 115 地点、牛待機室側基地局において 115 地点で測定を実施した。

実測結果を図 3.3.1.4-1~4 及び表 3.3.1.4-1~2 に示す。

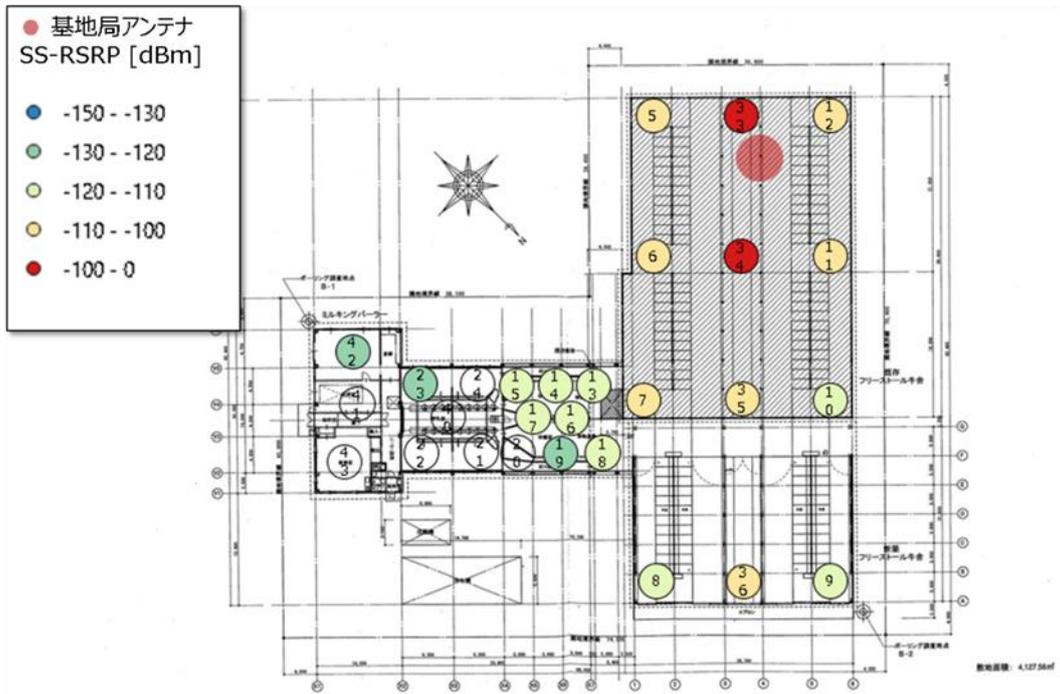


図 3.3.1.4-1(a) 牛舎側基地局を対象とした SS-RSRP 測定結果 (屋内測定点)



図 3.3.1.4-1(b) 牛舎側基地局を対象とした SS-RSRP 測定結果 (屋外測定点)

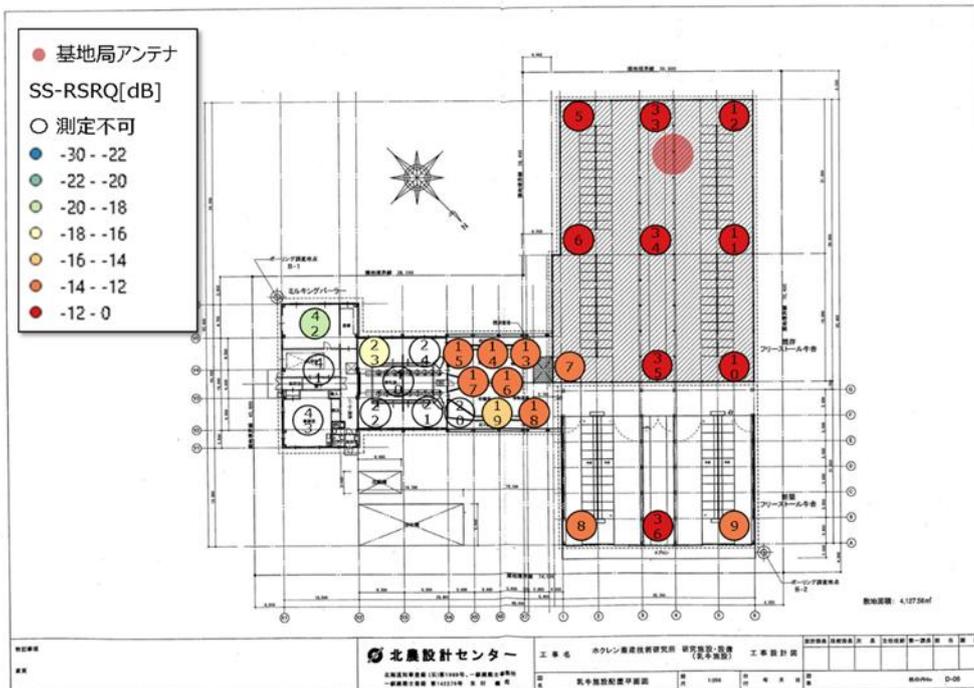


図 3.3.1.4-2(a) 牛舎側基地局を対象とした SS-RSRQ 測定結果 (屋内測定点)



図 3.3.1.4-2(b) 牛舎側基地局を対象とした SS-RSRQ 測定結果 (屋外測定点)

表 3.3.1.4-1 牛舎側基地局を対象とした SS-RSRP、RSRQ、SINR 測定結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離(m)	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)
3	50.52	-117.93	-18.39	-6.77
5	13.47	-100.14	-10.74	17.44
6	20.79	-105.65	-10.98	14.09
7	36.86	-107.10	-12.27	11.05
8	57.97	-115.78	-12.67	4.95
9	56.90	-116.90	-12.37	4.70
10	34.77	-111.73	-11.45	9.26
11	17.95	-107.66	-10.88	12.94
12	8.45	-106.02	-10.94	14.30
13	37.97	-112.79	-13.31	6.29
14	40.79	-113.75	-13.56	4.86
15	44.28	-118.78	-13.99	1.79
16	42.79	-114.48	-13.24	5.61
17	45.55	-118.44	-13.03	2.77
18	44.99	-113.97	-13.33	5.20
19	47.50	-121.26	-15.09	-0.33
23	52.84	-126.38	-17.52	-5.13
25	74.34	-132.06	-19.86	-8.70
27	63.15	-122.34	-13.61	0.43
28	45.10	-117.80	-12.79	3.59
29	37.69	-117.34	-13.98	2.72
30	32.72	-111.80	-12.73	7.94
31	27.46	-110.86	-11.73	9.67
32	20.94	-106.52	-10.78	14.03
33	3.34	-86.74	-10.52	21.38
34	16.24	-93.29	-10.61	20.25
35	38.16	-102.67	-10.78	15.99
36	55.94	-108.59	-11.03	11.96
37	8.51	-100.15	-10.75	18.18
38	17.15	-111.68	-11.33	10.44
39	11.48	-110.90	-11.25	11.11

42	58.22	-128.98	-19.96	-8.85
44	55.31	-113.52	-12.76	6.80
45	64.58	-121.94	-14.78	0.01
46	62.96	-111.88	-11.33	9.79
47	63.54	-121.13	-13.29	1.13
48	53.57	-124.59	-14.81	-1.73
49	41.22	-117.28	-11.95	5.44
50	24.47	-117.14	-12.05	5.13
51	19.03	-115.70	-11.74	6.84
52	23.20	-114.87	-11.62	19.77
53	42.38	-119.98	-12.61	17.26
54	30.49	-121.74	-13.48	10.42
55	44.38	-124.91	-14.71	6.85
56	25.12	-114.25	-11.98	2.97
57	35.47	-115.16	-11.77	0.14
58	30.19	-118.27	-12.00	-2.37
59	40.50	-115.18	-11.16	7.31
60	46.63	-116.12	-11.82	6.83
61	23.02	-122.29	-13.43	3.96
62	42.18	-125.25	-14.89	7.50
63	48.89	-127.20	-16.18	5.52
64	59.42	-129.61	-18.05	-0.05
65	23.48	-121.54	-13.31	-2.78
66	41.39	-123.26	-13.73	-4.92
67	48.79	-122.55	-13.40	0.76
68	59.07	-124.79	-14.48	-0.64
69	23.13	-116.25	-12.02	-0.08
70	12.46	-116.83	-12.14	-2.13
71	15.68	-117.63	-12.31	-7.21
72	42.51	-121.93	-13.38	5.41
73	49.61	-126.20	-15.62	5.20
74	59.61	-126.46	-15.84	4.12
75	66.12	-126.82	-16.31	0.47
76	68.43	-124.55	-16.55	-3.69

77	58.68	-117.66	-13.68	-4.10
78	48.95	-116.64	-13.13	-4.52
80	66.80	-114.89	-11.44	-3.15
81	57.40	-112.43	-11.07	3.02
82	48.59	-115.18	-11.81	4.42
83	27.25	-109.89	-11.20	7.38
84	73.68	-123.67	-14.28	9.55
85	61.02	-132.63	-21.18	6.55
86	73.88	-133.77	-21.62	10.94
87	86.12	-134.21	-21.94	-1.33
88	86.17	-132.34	-20.27	-9.45
89	73.96	-134.13	-22.13	-9.94
90	92.10	-129.75	-18.72	-10.12
91	99.38	-129.30	-17.85	-10.12
92	113.17	-132.36	-20.24	-8.91
94	73.02	-125.86	-15.35	-7.15
95	59.59	-124.96	-14.91	-6.66
96	64.67	-126.94	-15.88	-8.97
97	72.60	-126.52	-15.66	-3.45
98	37.44	-121.25	-13.04	-2.59
99	45.70	-129.02	-17.26	-4.17
100	35.29	-120.29	-13.09	1.44
101	69.59	-123.32	-13.83	-6.22
102	62.19	-121.18	-13.07	1.76
103	52.70	-119.27	-12.38	-4.31
104	7.41	-95.37	-10.74	-0.99
105	17.17	-100.02	-10.87	1.50
106	34.45	-108.91	-11.67	3.16
107	59.44	-125.45	-15.29	-0.84
108	133.07	-123.56	-13.60	-2.89
109	257.72	-126.79	-15.41	-0.30
110	185.66	-116.22	-11.85	-3.25
111	139.23	-126.20	-15.38	5.66
112	36.70	-120.44	-12.94	-3.76

113	19.22	-118.09	-12.33	2.34
115	52.87	-119.95	-15.15	3.06

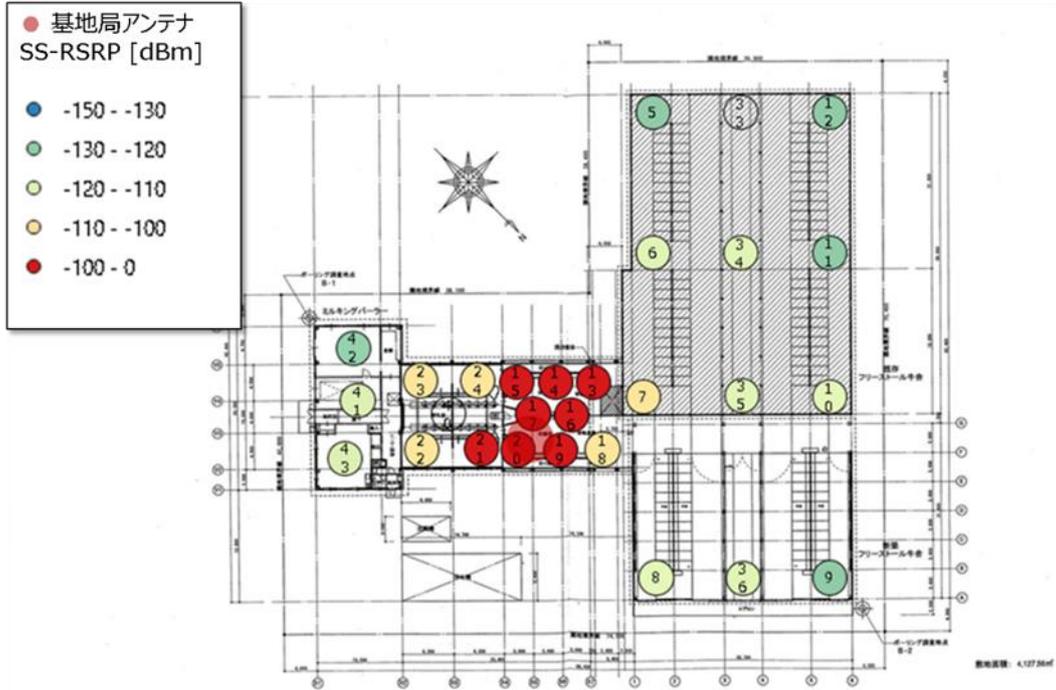


図 3.3.1.4-3(a) 牛待機室側基地局を対象とした SS-RSRP 測定結果（屋内測定点）



図 3.3.1.4-3(b) 牛待機室側基地局を対象とした SS-RSRP 測定結果（屋外測定点）

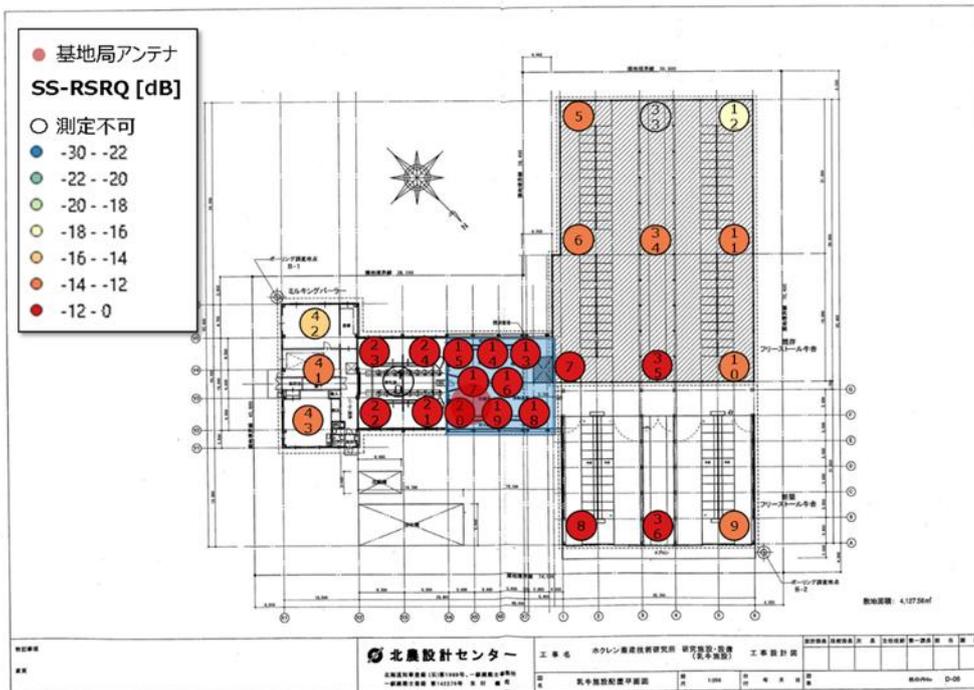


図 3.3.1.4-4(a) 牛待機室側基地局を対象とした SS-RSRQ 測定結果 (屋内測定点)



図 3.3.1.4-4(b) 牛待機室側基地局を対象とした SS-RSRQ 測定結果 (屋外測定点)

表 3.3.1.4-2 牛待機室側基地局を対象とした SS-RSRP、RSRQ、SINR 測定結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離(m)	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)
1	7.38	-103.93	-10.70	15.61
2	7.53	-100.04	-10.80	17.62
3	13.24	-108.27	-11.29	9.66
4	14.27	-110.79	-11.07	10.85
5	43.83	-121.99	-13.75	0.19
6	28.28	-116.30	-12.10	5.38
7	16.40	-100.22	-10.74	16.82
8	24.39	-112.32	-11.14	9.14
9	42.20	-120.38	-13.01	1.97
10	38.54	-117.76	-12.29	4.16
11	44.39	-120.33	-12.97	1.88
12	55.60	-126.65	-16.27	-4.39
13	11.60	-98.54	-10.77	18.37
14	8.51	-95.01	-10.75	18.70
15	6.94	-94.62	-11.42	14.81
16	7.50	-99.57	-11.97	11.98
17	4.04	-87.70	-10.93	18.54
18	10.77	-100.59	-10.70	17.38
19	5.94	-97.37	-11.39	16.27
20	2.89	-89.82	-10.67	20.02
21	5.39	-94.35	-10.65	19.42
22	12.53	-101.82	-10.81	16.88
23	14.30	-104.02	-10.67	15.53
24	9.01	-103.27	-10.97	16.21
25	29.09	-128.14	-16.75	-5.42
26	28.50	-128.92	-17.44	-6.13
27	31.03	-131.58	-19.28	-8.14
28	15.05	-116.22	-11.92	6.12
29	13.88	-101.34	-11.00	16.08
30	16.41	-103.53	-10.76	15.44
31	23.02	-111.26	-11.14	10.62

32	41.94	-117.47	-11.96	5.23
34	35.86	-117.65	-12.04	4.11
35	27.44	-113.53	-11.26	8.35
36	32.46	-116.97	-11.67	5.45
37	54.18	-127.16	-16.04	-4.09
38	48.88	-122.97	-13.94	-0.56
39	60.16	-132.89	-20.59	-9.18
41	20.26	-116.13	-12.02	5.50
42	24.23	-121.97	-14.07	-0.76
43	21.64	-117.41	-12.36	4.00
44	16.86	-107.13	-10.91	13.79
45	29.00	-113.42	-11.39	8.38
46	36.70	-121.85	-13.43	1.02
47	46.15	-129.81	-18.05	-6.84
48	46.26	-129.69	-18.00	-6.78
49	44.83	-128.38	-17.06	-5.99
50	53.56	-130.14	-18.33	-7.30
51	63.23	-132.62	-20.19	-8.92
52	71.15	-127.99	-16.54	-5.34
53	89.54	-128.00	-16.81	-5.86
54	78.54	-132.52	-20.17	-9.04
55	92.71	-134.71	-21.91	-10.22
56	49.07	-115.29	-11.51	7.29
57	66.94	-124.53	-14.80	-2.49
58	72.63	-126.47	-15.24	-3.27
59	81.28	-125.79	-15.13	-3.37
60	78.00	-123.51	-13.91	-0.68
61	68.05	-132.65	-20.22	-9.09
62	81.82	-133.77	-21.36	-9.93
63	87.75	-133.27	-20.85	-9.53
64	96.95	-132.72	-20.46	-6.86
65	60.98	-129.28	-17.68	-9.08
66	74.03	-132.60	-20.19	-9.30
69	48.74	-123.81	-14.12	-1.60

70	55.68	-132.07	-19.97	-8.83
71	49.71	-127.95	-16.80	-5.61
72	56.79	-123.96	-14.21	-1.88
73	60.81	-127.54	-16.17	-5.04
74	67.66	-131.12	-18.96	-8.06
75	44.60	-122.79	-13.50	-0.38
76	24.32	-109.04	-10.67	12.60
77	15.08	-106.50	-10.86	13.73
78	11.29	-107.27	-11.10	13.44
79	30.63	-128.74	-17.14	-6.15
80	53.21	-127.40	-16.04	-4.66
81	46.85	-130.14	-18.28	-7.33
82	42.27	-118.55	-12.60	3.43
83	37.92	-115.52	-11.84	6.28
84	74.83	-123.51	-13.79	-0.93
85	13.72	-118.34	-12.50	3.66
86	26.48	-119.60	-12.78	2.33
87	38.73	-121.62	-13.25	0.57
88	38.31	-125.02	-14.86	1.13
89	25.75	-121.25	-13.35	-2.46
90	50.64	-117.44	-11.90	4.47
91	58.32	-124.08	-14.61	-2.20
92	73.02	-125.33	-15.21	-2.76
94	42.96	-130.16	-18.14	-7.29
95	49.91	-130.58	-18.49	-7.67
96	58.00	-128.53	-16.85	-8.91
97	68.16	-132.32	-19.92	-8.93
98	55.04	-132.55	-20.01	-8.70
99	67.78	-134.30	-21.40	-0.66
100	49.11	-122.62	-13.97	-5.96
101	38.52	-130.57	-18.41	-7.59
102	53.60	-125.70	-15.01	-3.08
103	45.48	-123.59	-14.16	-1.24
107	31.32	-123.68	-14.31	18.56

108	136.57	-124.47	-14.11	15.54
109	301.60	-131.04	-18.62	-1.55
110	222.59	-13.3.30	-20.63	-1.03
111	148.85	-127.18	-15.89	-7.56
112	85.07	-132.78	-20.19	-9.11
114	8.93	-96.89	-10.78	-4.42
115	3.77	-103.49	-11.11	-8.92

(2) 伝送スループット、RTT 測定結果

実証環境における伝送スループット及び RTT 測定については図 3.3.1.4-5 に示す課題実証エリア周辺にて実施している。

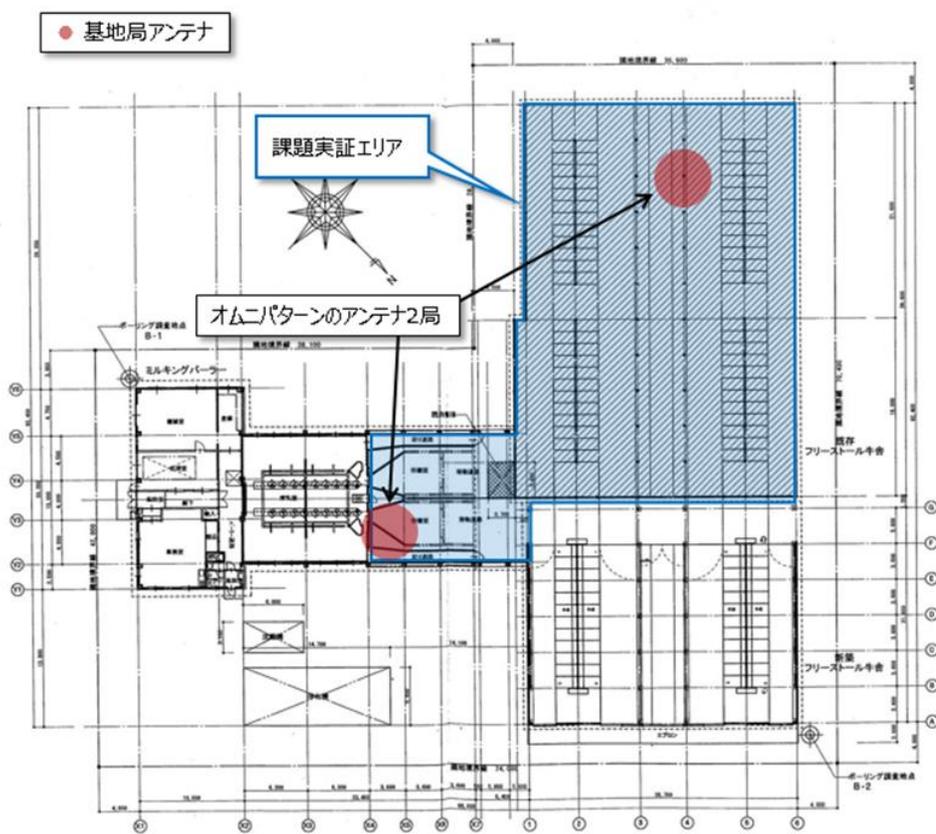


図 3.3.1.4-5 伝送スループット、RTT 測定範囲

なお、実証エリアをカバーするため図 3.3.1.4-5 に示す同期基地局 (TDD) にて置局を行ったが、課題実証の上り伝送スループットにおいて所要性能を満たすことが出来なかったため、より UL スロットを増やした制度化済準同期 (TDD1) を用いることとした。

図 3.3.1.4-6 同期/準同期運用パターン

スロット番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
同期 (TDD)	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D
制度化済準同期 (TDD1)	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U
追加準同期 (TDD2)	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U
追加準同期 (TDD3)	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U

変更

※D: 下りスロット、U: 上りスロット、S: DからUへの切り替え期間を含む特別スロット

同期スロット (TDD) における実測結果を図 3.3.1.4-7~8 及び表 3.3.1.4-3~4 に、制度化済準同期スロット (TDD2) における実測結果を図 3.3.1.4-9~10 及び表 3.3.1.4-5~6 に示す。

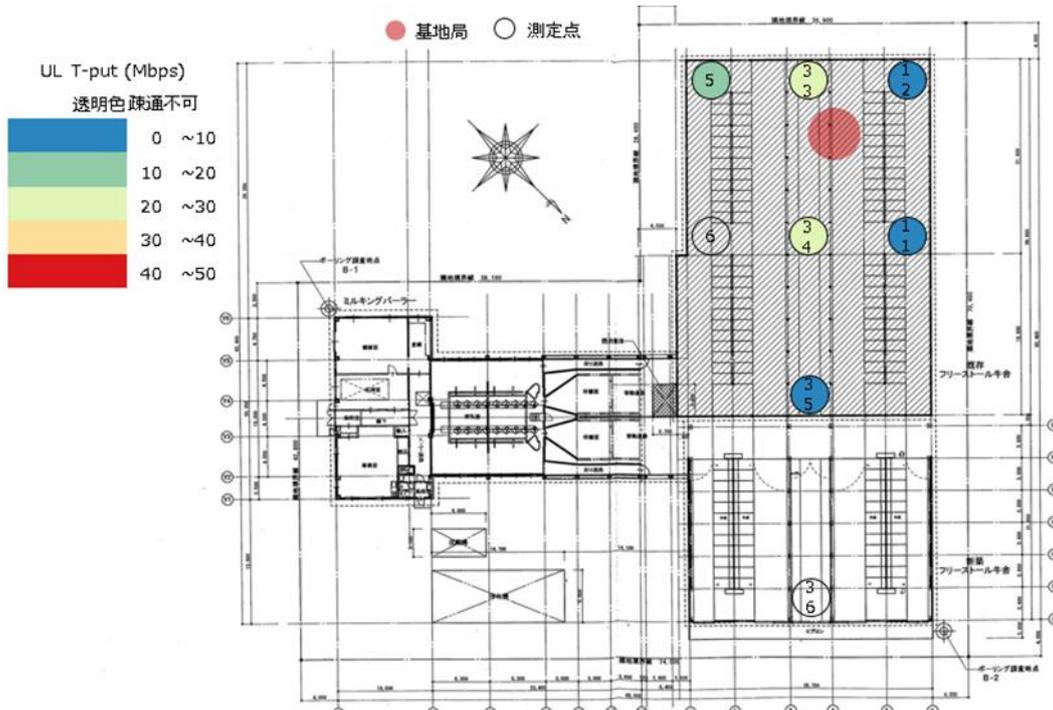


図 3.3.1.4-7(a) 牛舎側同期基地局(TDD)を対象とした伝送スループット (UL) 測定結果

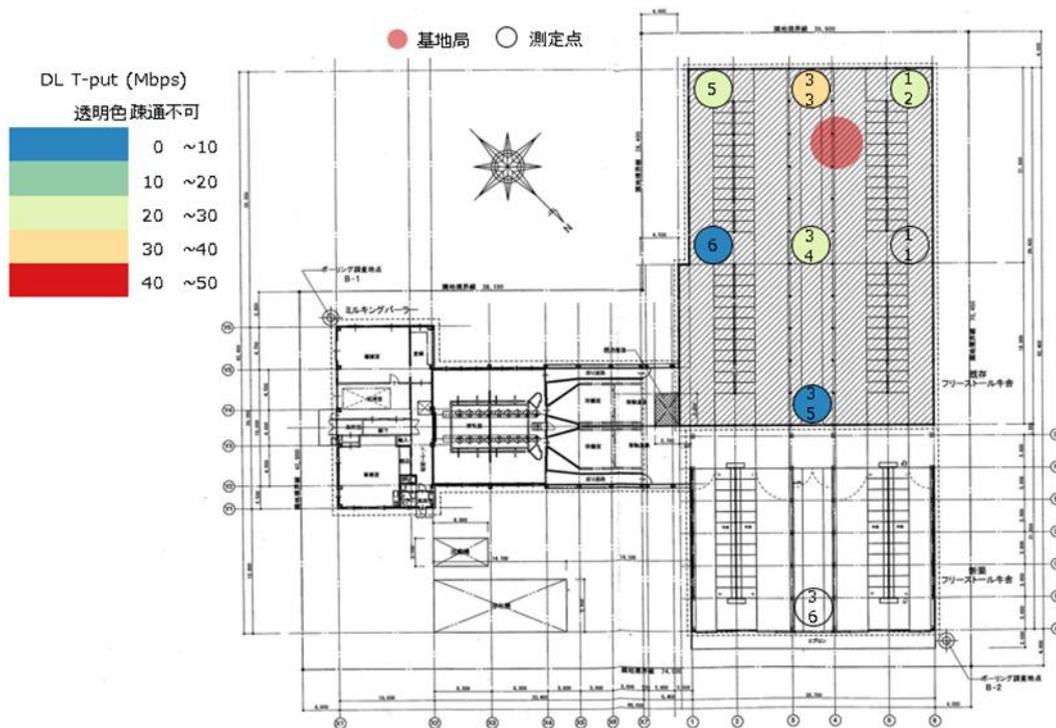


図 3.3.1.4-7(b) 牛舎側同期基地局(TDD)を対象とした伝送スループット (DL) 測定結果

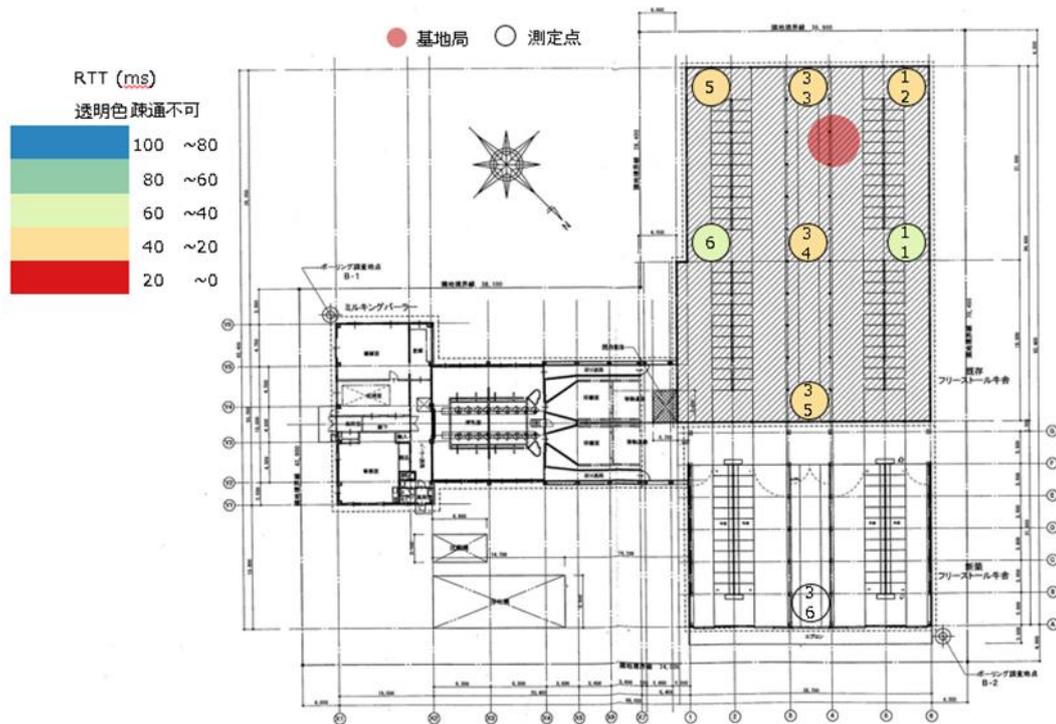


図 3.3.1.4-7(c) 牛舎側同期基地局(TDD)を対象とした RTT 測定結果

表 3.3.1.4-3 牛舎側同期基地局(TDD)を対象とした伝送スループット、RTT 測定結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離(m)	DL T-put (Mbps)	UL T-put (Mbps)	RTT (ms)	Ping ロス率 (%)
5	13.47	27.87	15.73	34.33	3.3
6	20.79	2.12		46.50	93.3
11	17.95		4.79	53.50	93.3
12	8.45	22.77	6.87	33.38	50.0
33	3.34	36.67	15.70	38.20	0.0
34	16.24	28.70	15.70	34.90	0.0
35	38.16	8.16	0.26	35.50	73.3
36	55.94				100.0



図 3.3.1.4-8(a) 牛待機室側同期基地局(TDD)を対象とした伝送スループット (UL) 測定結果

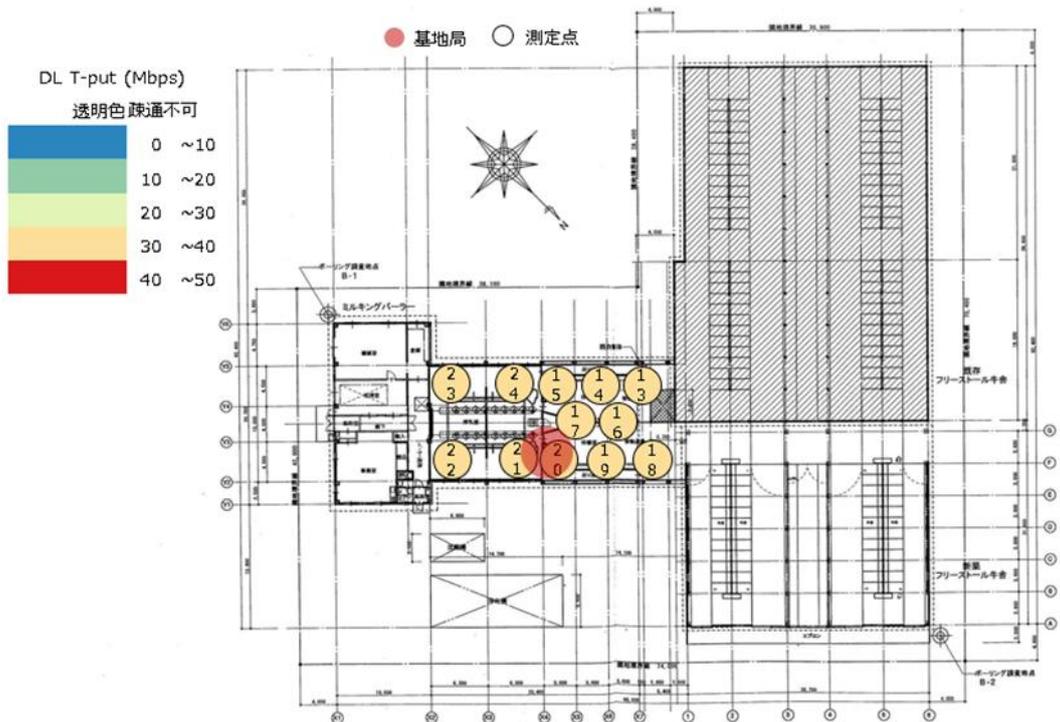


図 3.3.1.4-8(b) 牛待機室側同期基地局(TDD)を対象とした伝送スループット (DL) 測定結果



図 3.3.1.4-8(c) 牛待機室側同期基地局(TDD)を対象とした RTT 測定結果

表 3.3.1.4-4 牛待機室側同期基地局(TDD)を対象とした伝送スループット、RTT 測定結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離(m)	DL T-put (Mbps)	UL T-put (Mbps)	RTT (ms)	Ping ロス率 (%)
13	11.6	32.40	15.73	19.80	3.3
14	8.5	35.53	15.67	22.20	0.0
15	6.9	33.66	15.70	22.37	3.3
16	7.5	34.63	15.67	30.47	0.0
17	4.0	36.43	14.83	29.90	0.0
18	10.8	36.31	13.13	13.93	6.7
19	5.9	34.24	13.44	22.20	3.3
20	2.9	36.90	15.53	32.17	0.0
21	5.4	33.30	15.70	41.43	0.0
22	12.5	34.87			3.3
23	14.3	34.04			10.0
24	9.0	38.34			40.0

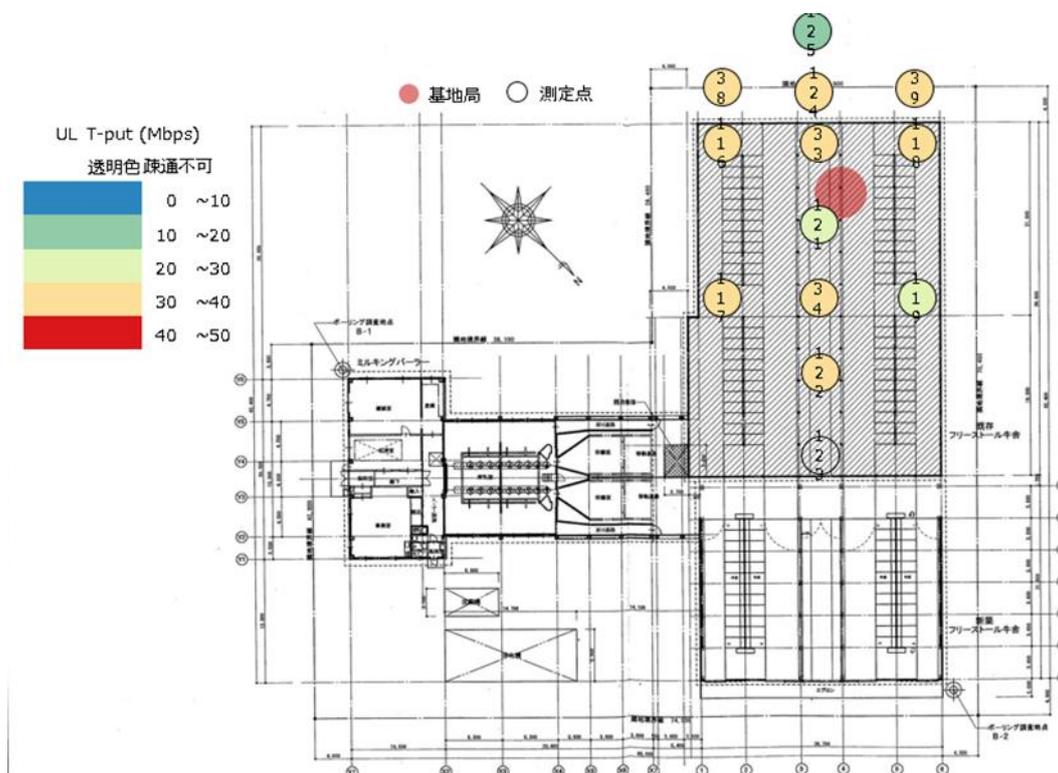


図 3.3.1.4-9(a) 牛舎側制度化済準同期基地局(TDD1)を対象とした伝送スループット (UL) 測定結果

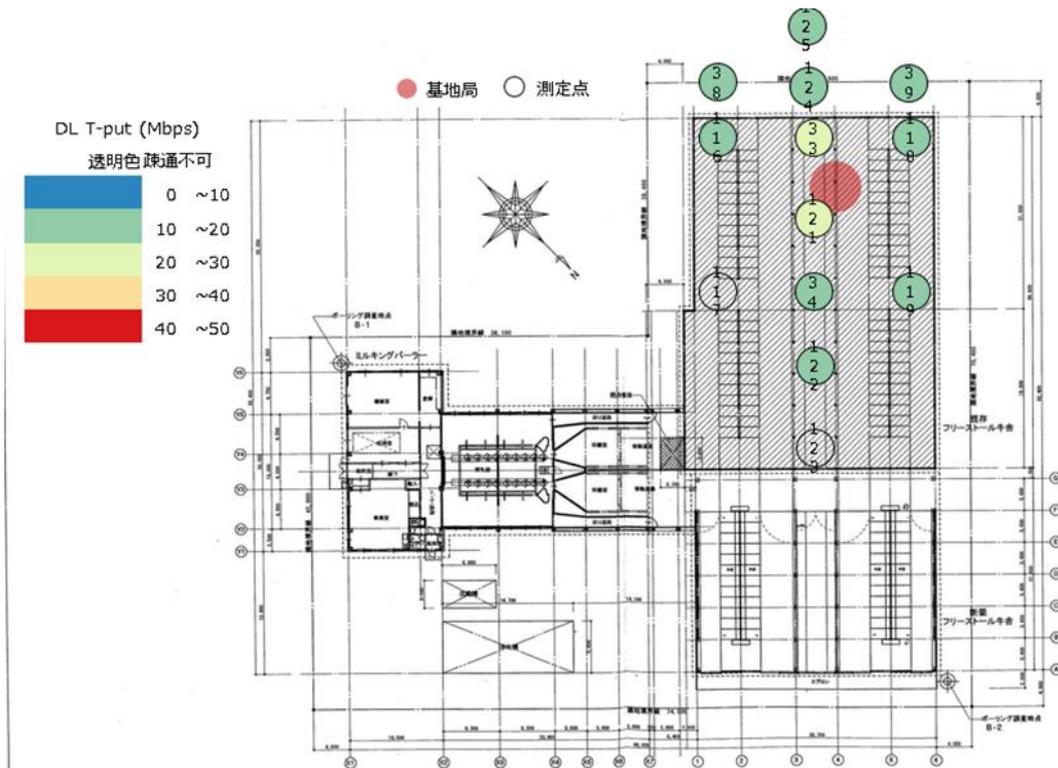


図 3.3.1.4-9(b) 牛舎側制度化済準同期基地局(TDD1)を対象とした
伝送スループット (DL) 測定結果

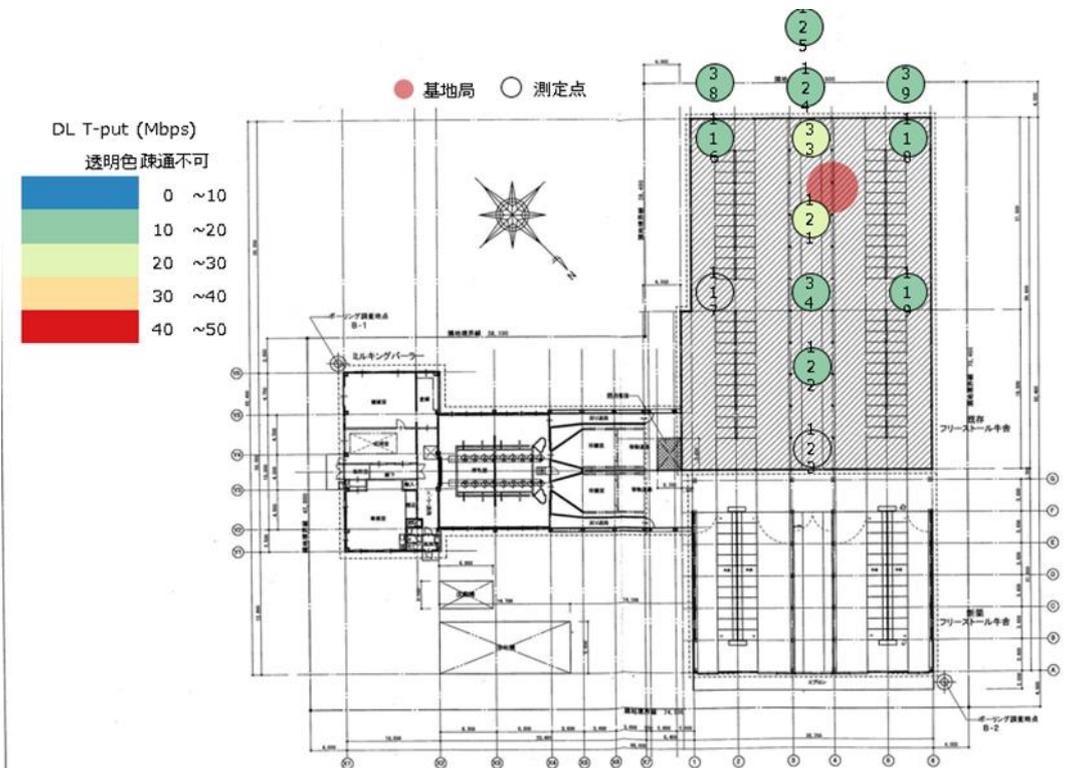


図 3.3.1.4-9(c) 牛舎側制度化済準同期基地局(TDD1)を対象とした
RTT 測定結果

表 3.3.1.4-5 牛舎側制度化済同期基地局(TDD1)を対象とした
伝送スループット、RTT 測定結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離 (m)	DL T-put (Mbps)	UL T-put (Mbps)	RTT (ms)	Ping ロス率 (%)
11	17.95				100.0
12	8.45				100.0
33	3.34	28.93	32.07	38.05	3.3
34	16.24	18.67	32.17	35.88	16.7
35	38.16	1.81		46.33	86.7
36	55.94			35.69	56.7
37	8.51	15.90	32.03	34.83	0.0
38	17.15	17.73	32.20	35.70	3.3
39	11.48	18.73	32.20	37.47	0.0
104	7.41	19.23	32.13	34.47	0.0
105	17.17	17.13	31.87	35.84	6.7
106	34.45	0.66	4.61		0.0
116	13.47	17.40	32.17	32.87	0.0
117	20.79		31.90	34.90	10.0
118	8.45	15.77	31.97	34.07	0.0
119	17.95	17.60	23.00	36.18	13.3
121	11.23	21.17	26.50	36.76	3.3
122	21.24	17.13	32.07	35.95	6.7
123	26.24			35.32	16.7
124	8.34	14.30		35.71	6.7
125	13.34	15.10	14.58	38.74	56.7

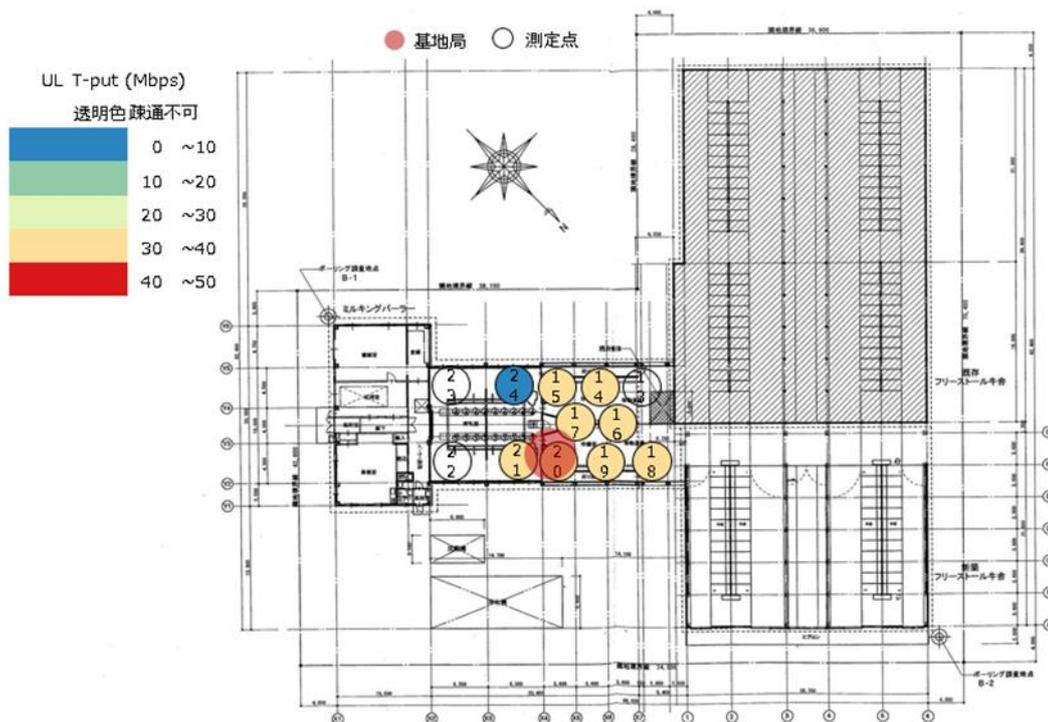


図 3.3.1.4-10(a) 牛待機室側制度化済準同期基地局(TDD1)を対象とした
伝送スループット (UL) 測定結果

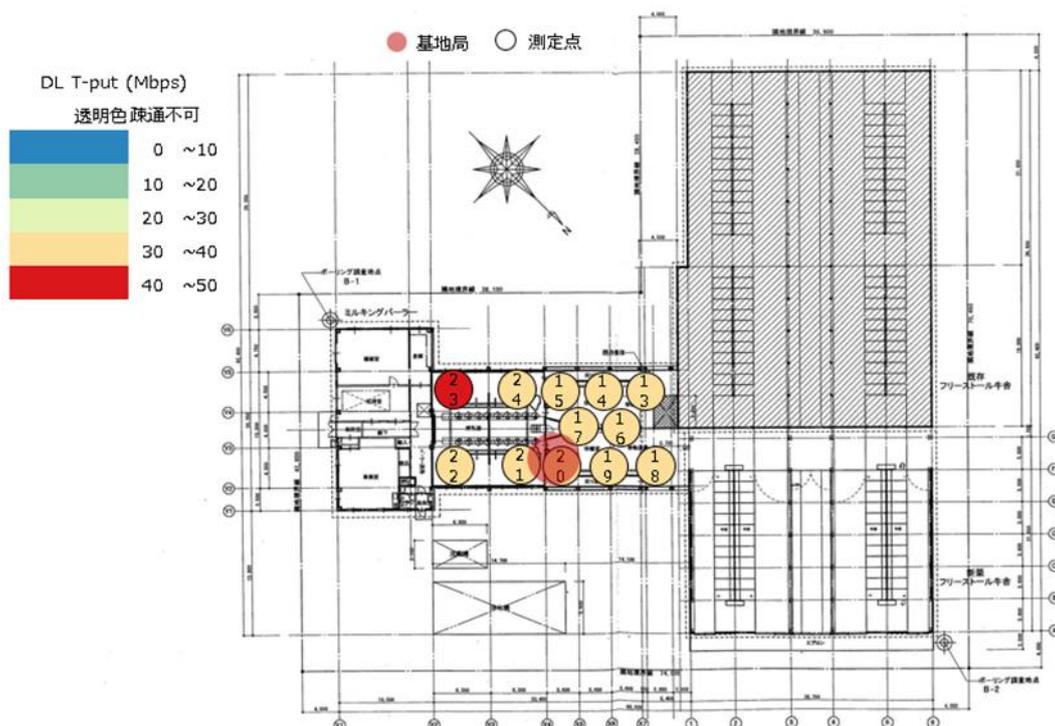


図 3.3.1.4-10(b) 牛待機室側制度化済準同期基地局(TDD1)を対象とした
伝送スループット (DL) 測定結果

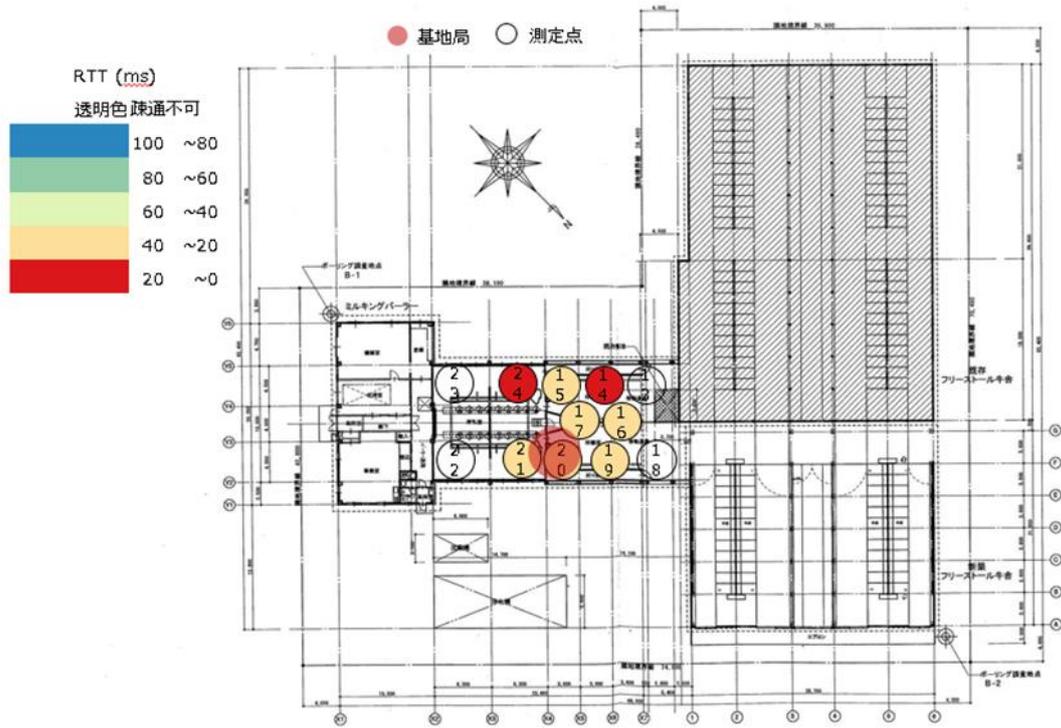


図 3.3.1.4-10(c) 牛待機室側制度化済同期基地局(TDD1)を対象とした RTT 測定結果

表 3.3.1.4-6 牛待機室側制度化済同期基地局(TDD1)を対象とした 伝送スループット、RTT 測定結果

測定点 ID	基地局との 3D 距離 (m)	DL T-put (Mbps)	UL T-put (Mbps)	RTT (ms)	Ping ロス率 (%)
13	11.6	33.94			3.3%
14	8.5	34.37	32.07	17.80	0.0%
15	6.9	39.23	32.07	29.47	0.0%
16	7.5	34.85	32.23	32.27	10.0%
17	4.0	33.80	32.17	33.03	0.0%
18	10.8	34.46	32.00		10.0%
19	5.9	34.40	32.03	39.97	0.0%
20	2.9	34.43	32.00	39.80	0.0%
21	5.4	34.80	32.10	29.63	0.0%
22	12.5	33.74			6.7%
23	14.3	43.00			86.7%
24	9.0	36.88	9.28	10.37	16.7%

(3) 実証環境における電波伝搬特性の評価

今回の実証環境である訓子府実証農場は、周辺環境を含めて基地局からの見通しを確保でき、ソリューションを展開する上では自己土地内においてサービスエリアの構築がしやすいと言える。しかしながら、3.2章で示す通り牛舎の壁面はトリカルネット及びビニールシートで構築され一般的な壁面と比較すると壁面損失が小さくなることが想定される。その場合、屋内に置局するローカル 5G 基地局から想定するサービスエリア外への電波漏洩が課題としてあげられる。このような環境においてローカル 5G を運用するには、隣接する他事業者への電波干渉を最低限に抑えつつ、自己土地内で必要十分なサービスエリアを確保するサイトエンジニアリングが求められる。そのため、まずは、実証環境における 4.8GHz 帯の電波伝搬特性の評価を行う。

3.3.1.4 章 (1) にて示した下り受信電力の実測データ (SS-RSRP) を用いて、牛舎等の環境における 4.8GHz 帯の電波伝搬特性を考察する。

具体的には、実測した下り受信電力値から伝搬ロスを算出し、それらの距離特性を求める。さらに、携帯電話システムの設計等に用いられている、いくつかの電波伝搬モデルから求められる伝搬ロスとの比較を行うことで、牛舎等の環境における 4.8GHz 帯の電波伝搬特性の評価を行う。

ここで、実測値との比較に用いる伝搬式を表 3.3.1.4-7 に示す。

表 3.3.1.4-7 実測値との比較に用いた電波伝搬式

電波伝搬式	概要
自由空間伝搬	<p>開放地に適用。周波数範囲、伝搬距離、送受信機の高さなどの適用制限はない。</p> $L = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 20 \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right) = 20 \log f + 20 \log d + 20 \log \left(\frac{4\pi}{c} \right)$ $= 20 \log f + 20 \log d + 32.4 \text{ [dB]}$ <p>f: 周波数[MHz]、d: 距離[km]、c: 3.0×10⁸[m/s]</p>
ローカル 5G 審査基準	<p>電波法関係審査基準 (平成 13 年総務省訓令第 67 号) 令和 2 年 12 月 18 日制定</p>
3GPP モデル	<p>ITU-R P.1411 ベースの伝搬式。環境により基地局、移動局高が規定されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> RuralMacro:基地局 10～150m、移動局 1～10m UrbanMacro:基地局 25m、移動局 1.5～22.5m UrbanMicro:基地局 10m、移動局 1.5～22.5m InH Office(LOS):直線距離 1～100m InH Office(NLOS):直線距離 1～86m InH ShoppingMall:直線距離 1～150m

牛舎側に置局した基地局と、牛待機室側に置局した基地局について、実測した下り受信電力データから算出した電波伝搬特性を図 3.3.1.4-11 に示す。図中、●は LOS データ、×は NLOS のデータを示している (LOS か NLOS は、測定地点から基地局アンテナが目視できるかで判断している。)

実測値と比較した伝搬式は、自由空間伝搬と、ローカル 5G 審査基準で用いられている伝搬式（奥村・秦式）である。結果からは、以下のことがわかる。

- 見通し環境となる屋内においては、自由空間伝搬モデルとの一致が良い
- 見通し外環境となる、基地局近傍（40m 以内）においては、自由空間損失モデルより高い損失が観測できるが、これは壁面損失によるものと考えられる。
- 見通し外環境となる、牛舎側基地局遠方（100m 以上）においては、自由空間伝搬モデルとの一致が良く、これは牛舎壁面が開口部の多い構造となっているためと考えられる。
- 見通し外環境となる、牛待機室側基地局遠方（100m 以上）においては、奥村・秦式（中小都市、郊外地もしくは開放地）モデルとの一致が良い

これらの結果から、牛舎等の環境については、開口部が多い壁面で構成される建物においては自由空間伝搬式で概ね推定ができると考えられる。一方で、牛舎と比較して開口部の少ない壁面や、別の建屋が併設されている、本実証環境の様な牛待機室においては、ローカル 5G 審査基準で用いられている、奥村・秦式（中小都市、郊外地もしくは開放地）モデルで概ね推定できると考えられる。なお、本実証環境は基地局から南側において開けた田園地帯であることら、開放地との近似率は高い。

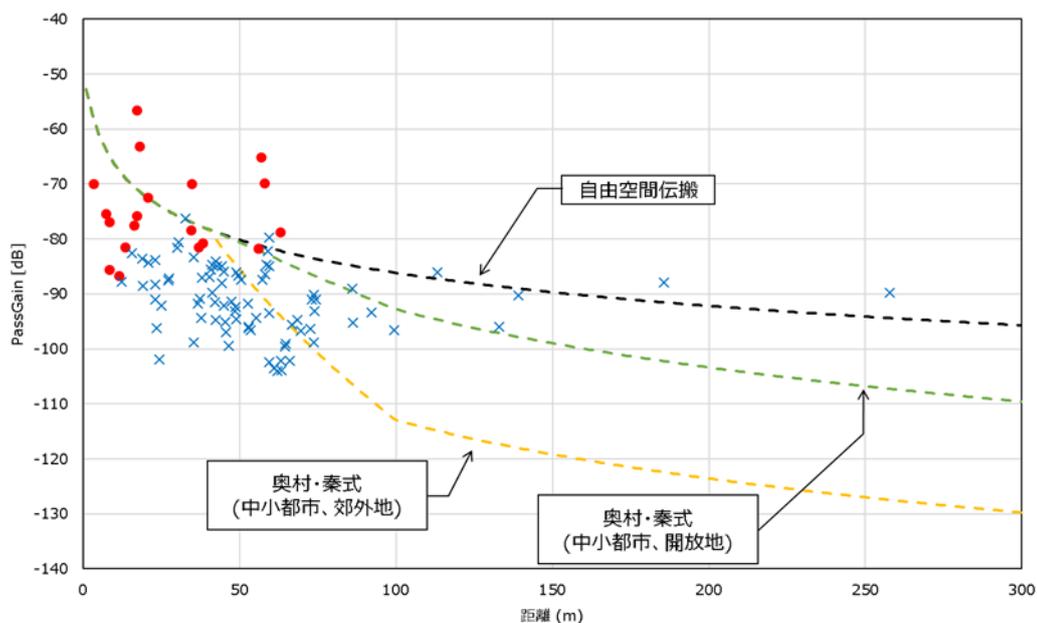


図 3.3.1.4-11(a) 牛舎側基地局からの伝搬ロスの距離特性

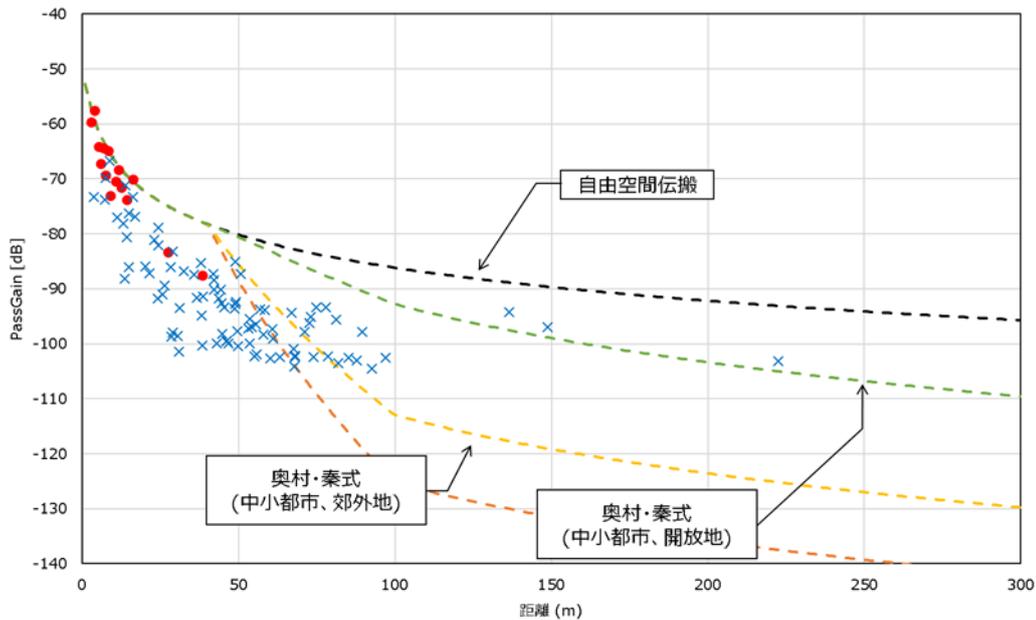


図 3.3.1.4-11(b) 牛待機室側基地局からの伝搬ロスの距離特性

(4) 実証環境におけるローカル 5G 性能評価

実際の牛舎等の環境において、ローカル 5G の性能が想定通りに実現できているかを、実測した SS-RSRP、SS-RSRQ、伝送スループット、ラウンドトリップタイムにより評価する。

ローカル 5G の性能評価は、3.3.1.3 章に示す評価方法に基づきエリア形成の観点と、ユーザへのサービス提供品質の観点から実施した。前者については、基地局からの受信レベルを用いて、設計通りのエリアが構築できているか否か、できていない場合はどのような原因が想定され、対策としてどのような方策が取りえるのかを考察する。後者については、ローカル 5G ネットワーク上に構築されるアプリケーションやシステムのパフォーマンスに直接的な影響を与えると考えられる、伝送スループットとラウンドトリップタイムの実測結果を用いて考察する。

1) 実証環境におけるローカル 5G エリア形成について

ローカル 5G 性能評価の前提となる、実証環境のターゲットエリア（サービスを提供したいエリア）を図 3.3.1.4-12 に示す。実証環境においては、牛舎内と牛待機室内をターゲットエリアとするため、牛舎側は高さ 3.4m、牛待機室側は 3.7m の高さにオムニ指向性のアンテナを設置している。

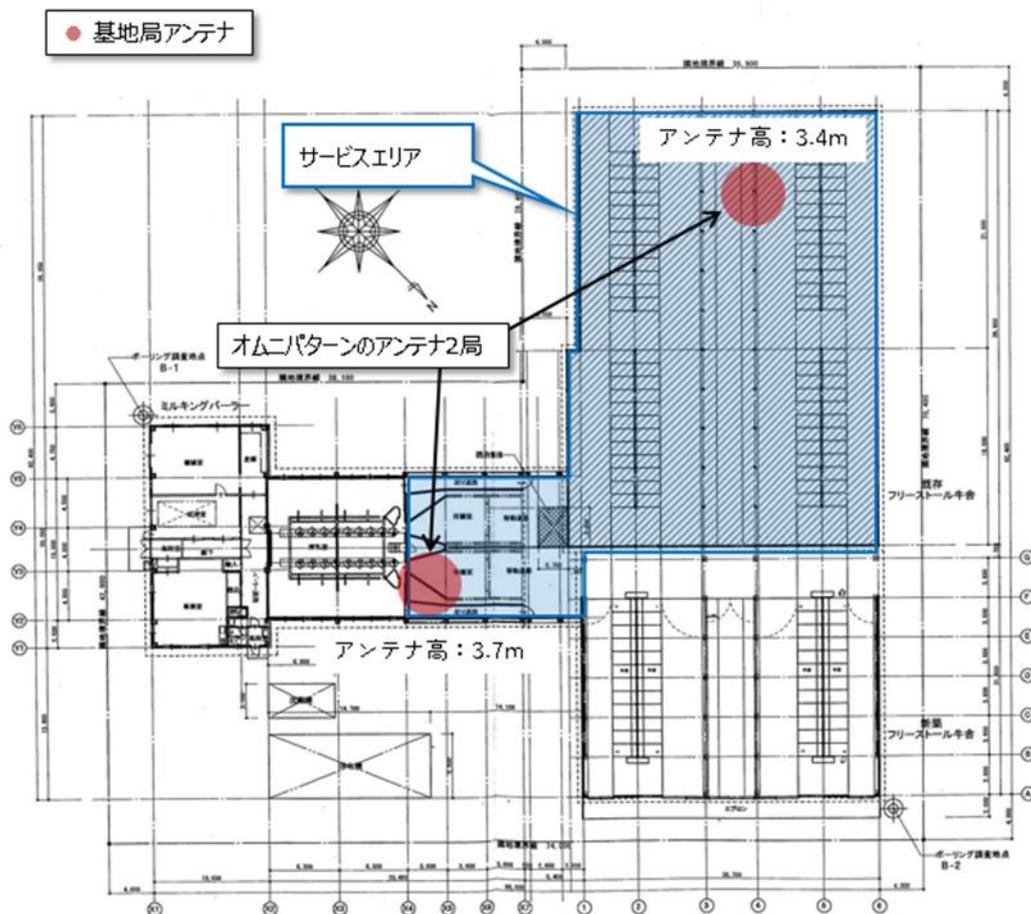


図 3.3.1.4-12 牛舎内のターゲットエリア

ここでは、下り受信レベル（SS-RSRP）の測定結果からエリア形成の観点での評価を行う。

図 3.3.1.4-13~14 に牛舎側基地局によるエリア形成状況を示す。図中、赤線は 4.6-4.9GHz 帯におけるローカル 5G 審査基準で定められている“カバーエリア端レベル（100MHz 幅の場合：-84.6dBm）”を前提に実測値から評価した想定カバーエリア端である。一方、青線は、同様に審査基準で定められている“調整区域端レベル（100MHz 幅の場合：-91.0dBm）”を前提に実測値から評価した想定調整区域端である。なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル（SS-RSRP）の測定帯域は 30kHz であるため、上述したエリア端閾値を 100MHz から、30kHz へ帯域換算した以下の値を用いている。

カバーエリア端レベル（SS-RSRP 帯域換算）：-119.8dBm

調整区域端レベル（SS-RSRP 帯域換算）：-126.2dBm

結果からは、以下のことがわかる。

- 屋内サービスエリアにおいては、良好な受信電力及び受信品質が得られている
- エリア算出法との差分値としてカバーエリアは基地局東方向で 25m 程度、基地局南西方向で 150m 程度となる。これは、エリア算出の際に考慮する建物侵入損失 R 値と奥村・秦式で選択する、環境モデル（郊外地 or 開放地）の影響と考えられるが、基地局南西方向は牛舎の大扉が常に開放されている状態であり、その方向の伝搬損失は、ほぼ自由空間となることが支配的な原因と考えられる。

- エリア算出法との差分値として調整対象区域は基地局南東方向で 80m 程度、それ以外は概ね一致していることが確認できる。理由としてはカバーエリアと同じく建物侵入損失の差分と考えられる。

これらの結果から、本実証環境の様な壁面損失が一般的なものと比べて低い牛舎環境では、基地局やアンテナ設置位置の調整により、ターゲットエリア内のレベルを維持したまま、南西方向への電波漏洩を抑えることが課題であると考えられる。

すなわち、基地局南側については想定よりも強い漏洩電力が観測されているため、開口部の多い壁面、または特定方向において開放的な環境では、本実証で使用したオムニ指向性のアンテナではなく、セクタ指向性のアンテナ等を用いてバックローブを漏洩電力が強く出してしまう方向に向ける等の置局設計が望ましいと考えられる。

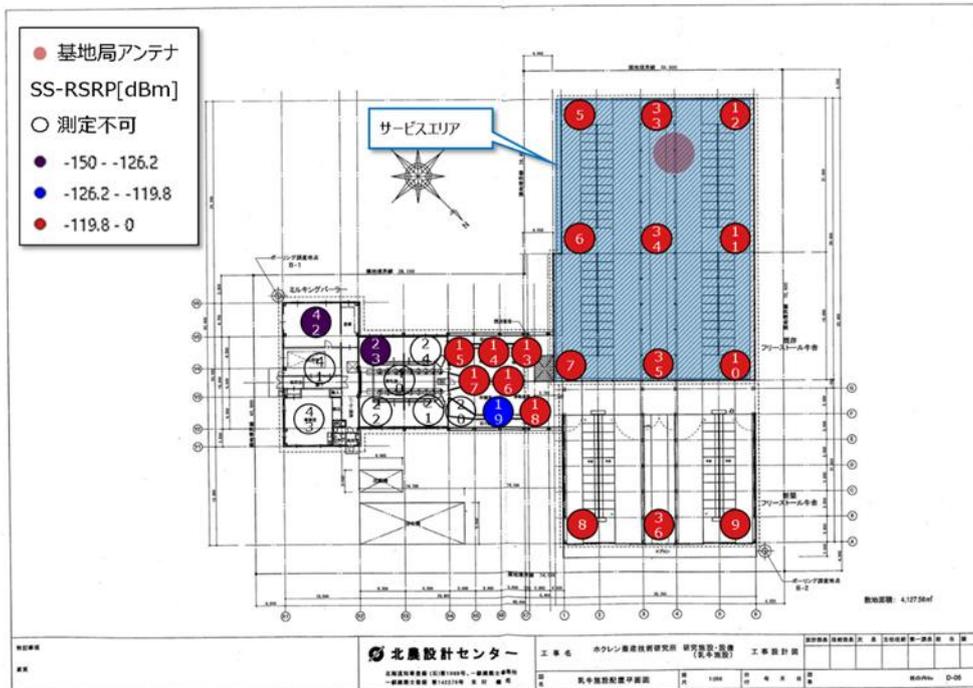


図 3.3.1.4-13(a) 牛舎側基地局における受信レベル SS-RSRP から評価した想定カバーエリア (屋内測定点)

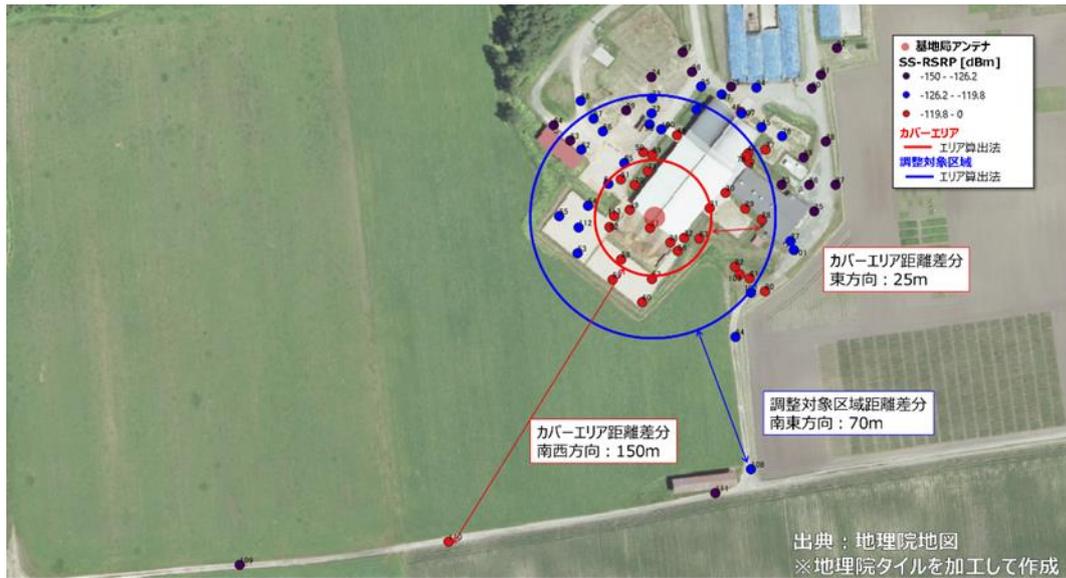


図 3.3.1.4-13(b) 牛舎側基地局における受信レベル SS-RSRP から評価した
想定カバーエリア（屋外測定点）

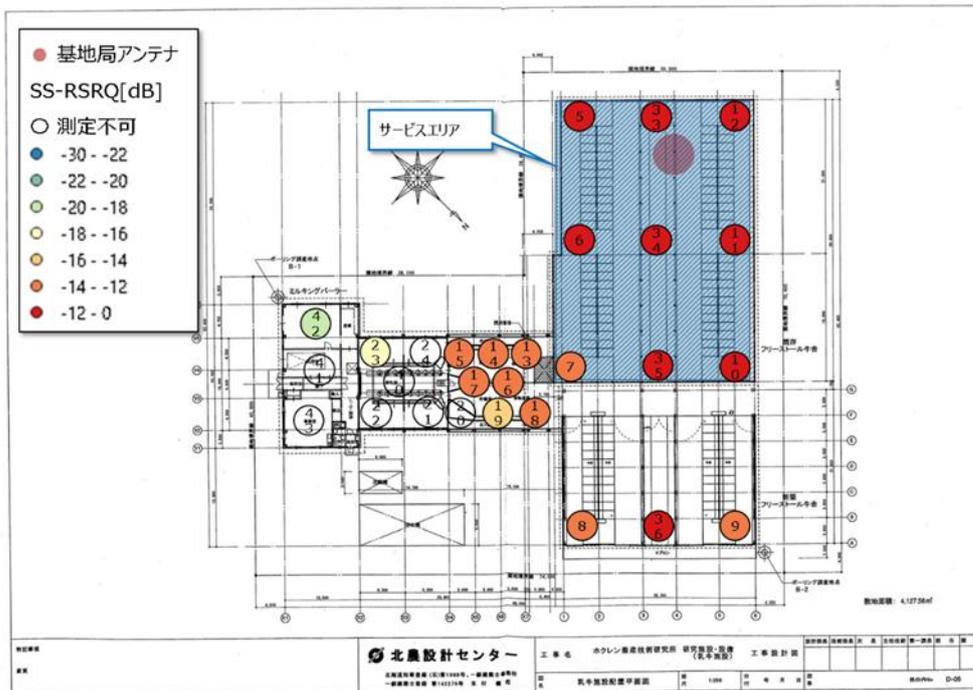


図 3.3.1.4-14(a) 牛舎側基地局における受信レベル SS-RSRQ から評価した
想定カバーエリア（屋内測定点）



図 3.3.1.4-14(b) 牛舎側基地局における受信レベル SS-RSRQ から評価した
想定カバーエリア（屋外測定点）

図 3.3.1.4-15~16 に牛待機室側基地局によるエリア形成状況を示す。図中、赤線は 4.6-4.9GHz 帯におけるローカル 5G 審査基準で定められている“カバーエリア端レベル（100MHz 幅の場合：-84.6dBm）”を前提に実測値から評価した想定カバーエリア端である。一方、青線は、同様に審査基準で定められている“調整区域端レベル（100MHz 幅の場合：-91.0dBm）”を前提に実測値から評価した想定調整区域端である。なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル（SS-RSRP）の測定帯域は 30kHz であるため、上述したエリア端閾値を 100MHz から、30kHz へ帯域換算した以下の値を用いている。

カバーエリア端レベル（SS-RSRP 帯域換算）：-119.8dBm

調整区域端レベル（SS-RSRP 帯域換算）：-126.2dBm

結果からは、以下のことがわかる。

- 屋内サービスエリアにおいては、良好な受信電力及び受信品質が得られている
- エリア算出法との差分値としてカバーエリアは基地局南西方向、北東方向で 25m 程度となる。これは、エリア算出の際に考慮する建物侵入損失 R 値の影響と考えられ、基地局南西、北東方向は壁面材質が他の方向と比べて異なる為である。
- エリア算出法との差分値として調整対象区域は基地局南方向で 80m 程度、それ以外は概ね一致していることが確認できる。理由としてはカバーエリアと同じく建物侵入損失の差分と考えられる。

これらの結果から、本実証環境の様な壁面損失が同じ建物内で異なる場合、より詳細なエリア図を推定するには、基地局からの方位方向毎に考慮する必要があると考えられる。

すなわち、広いカバレッジを有するユースケースを想定した場合前述した想定エリア図と実測値の受信電力差分はより大きくなるため、必要な干渉調整が行われず、もしくは不必要な干渉調整が発生する等の課題が考えられる。

なお、今回の検証では、単局毎（2 基地局の内 1 基地局は停波の状態）の評価を実施し

ているため、干渉影響としては環境雑音または CP (Cyclic Prefix) 時間を超えて遅延したマルチパスが支配的と考えられるが、基地局と各測定地点の距離は最大でも 80m 以内と短く CP 時間を超えて遅延波が観測されることは考えにくく、"IN"に影響を与える要因は環境雑音が支配的と想定する。

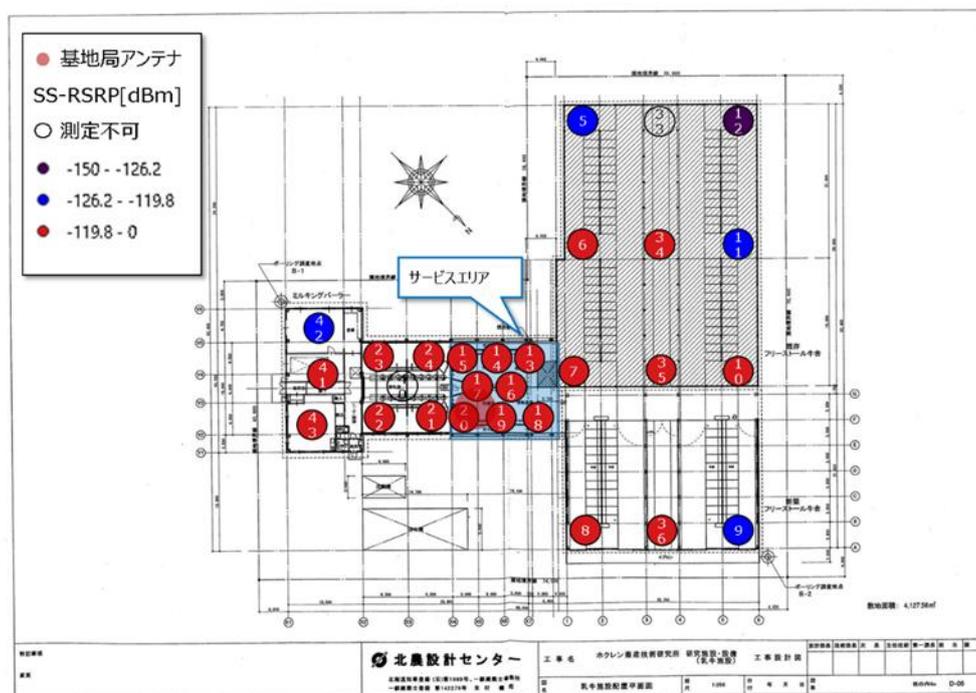


図 3.3.1.4-15(a) 牛待機室側基地局における受信レベル SS-RSRP から評価した想定カバーエリア (屋内測定点)

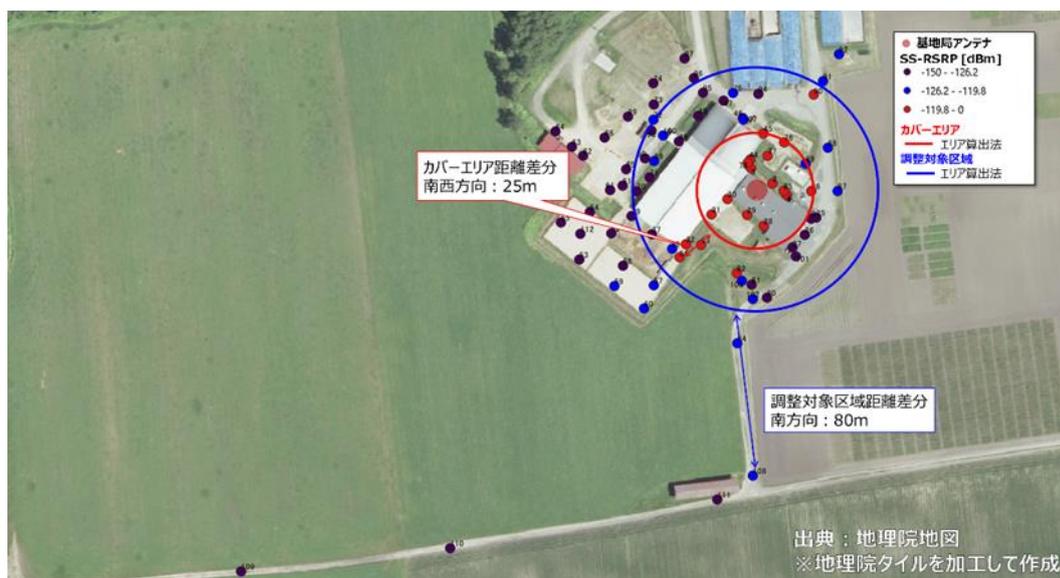


図 3.3.1.4-15(b) 牛待機室側基地局における受信レベル SS-RSRP から評価した想定カバーエリア (屋外測定点)

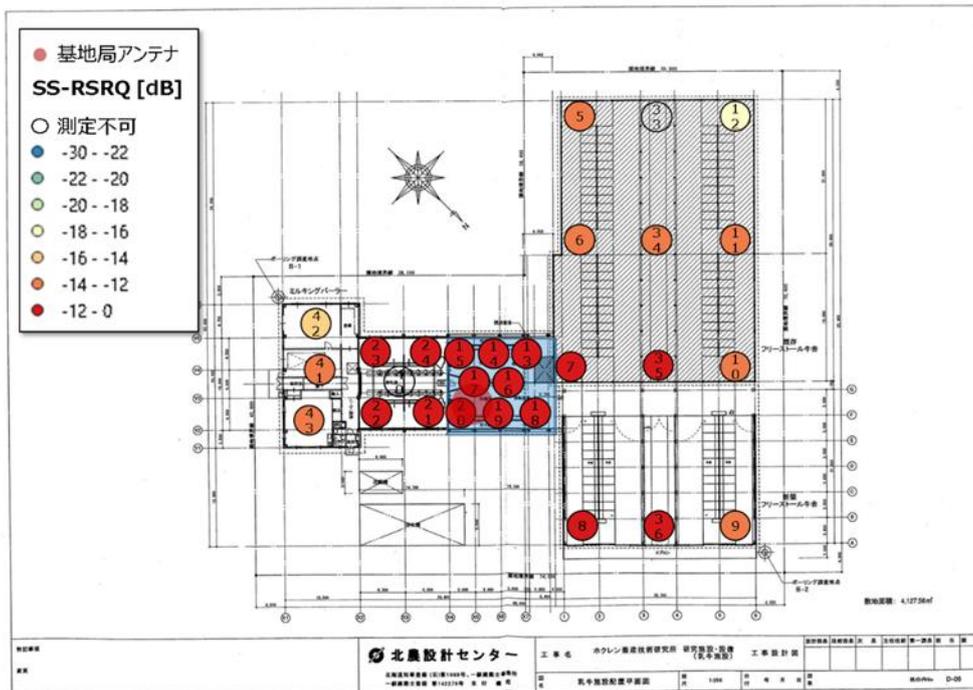


図 3.3.1.4-16(a) 牛待機室側基地局における受信レベル SS-RSRQ から評価した
想定カバーエリア（屋内測定点）



図 3.3.1.4-16(b) 牛待機室側基地局における受信レベル SS-RSRQ から評価した
想定カバーエリア（屋外測定点）

2) 実証環境におけるローカル 5G サービス提供品質

ここでは、伝送スループット、ラウンドトリップタイムの測定結果から、ユーザへのサービス提供品質の観点での評価を行う。

図 3.3.1.4-17-19 は、図 3.3.1.4-11 の牛舎内ターゲットエリア内において実測した伝送スループット(DL/UL)とラウンドトリップタイムを地図上に記載したものである。また、図 3.3.1.4.20 は牛舎内ターゲットエリア内における下り受信電力 (SS-RSRP) と伝送スループット、ラウンドトリップタイムとの関係を同期基地局 (TDD) /制度化済準同期基地局 (TDD1) それぞれにおいてグラフ化したものである。

同期 (TDD) 及び準同期 (TDD1) 運用における伝送スループットは DL/UL/RTT 共にカバーエリア内において、受信電力の値によらず、ほぼ一定である。このことから、カバーエリアで規定されている閾値以上の電力値を確保することで、無線局装置性能の最大値を得ることが出来ると考えられる。なお、受信電力が高い地点においても、伝送スループットが低く観測される特異点が存在するが、これらの測定点については受信品質の値も良好であり、干渉影響とは思えないが、今回の測定データないでは、伝送スループットの劣化要因の特定は困難である。

実証当初は同期 (TDD) による運用を予定していたが、置局段階で所要の UL 伝送スループットを得ることが出来なかった為、準同期 (TDD1) の運用に切り替えている。測定結果としても、UL 伝送スループットは同期 (TDD) の平均値は 15Mbps 程度である一方、準同期 (TDD1) の平均値は 30Mbps となり概ねスロット比率を考慮した伝送性能の変化が見られた。

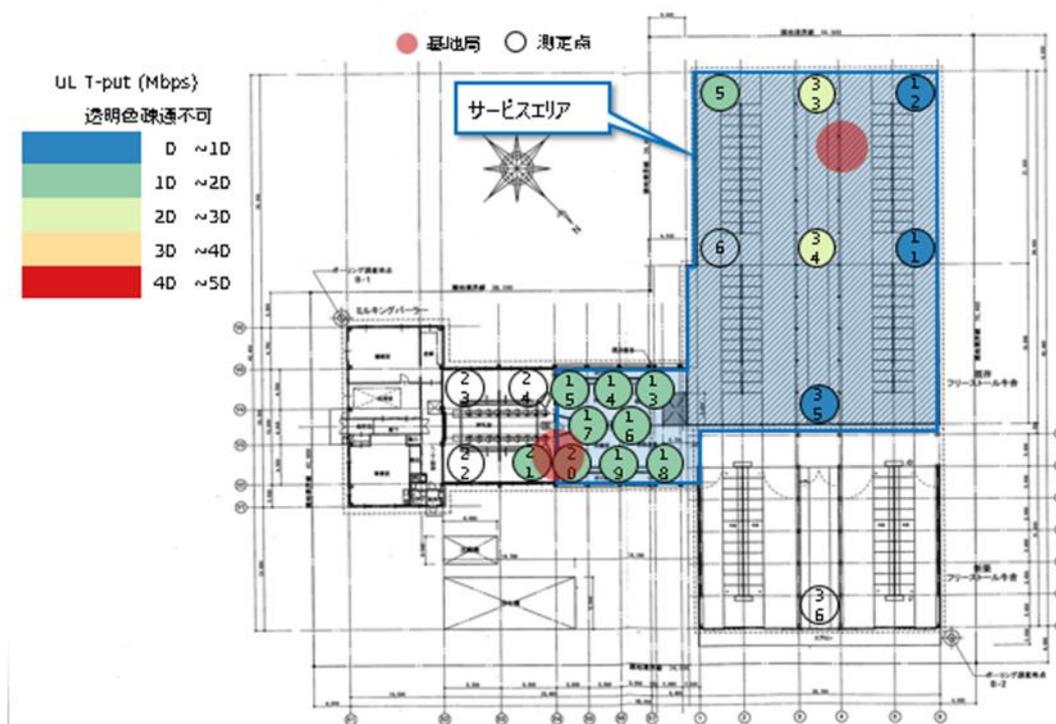


図 3.3.1.4-17(a) 同期基地局(TDD)を対象とした伝送スループット (UL) 測定結果

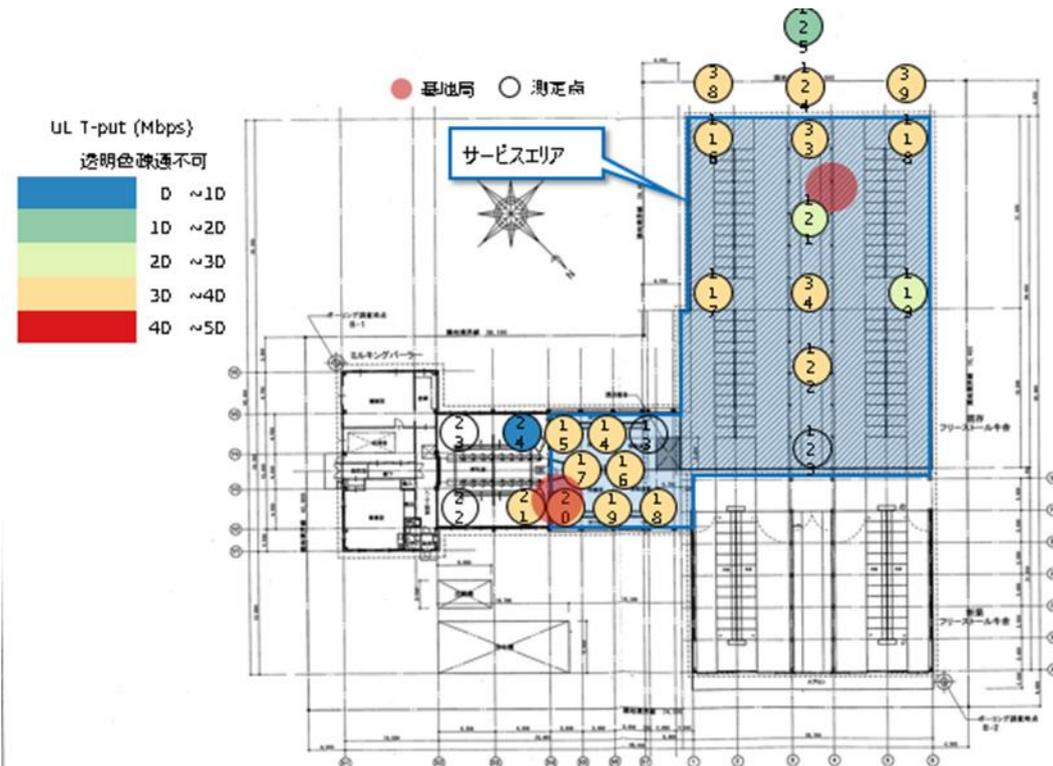


図 3.3.1.4-17(b) 制度化済準同期基地局(TDD1)を対象とした
伝送スループット (UL) 測定結果

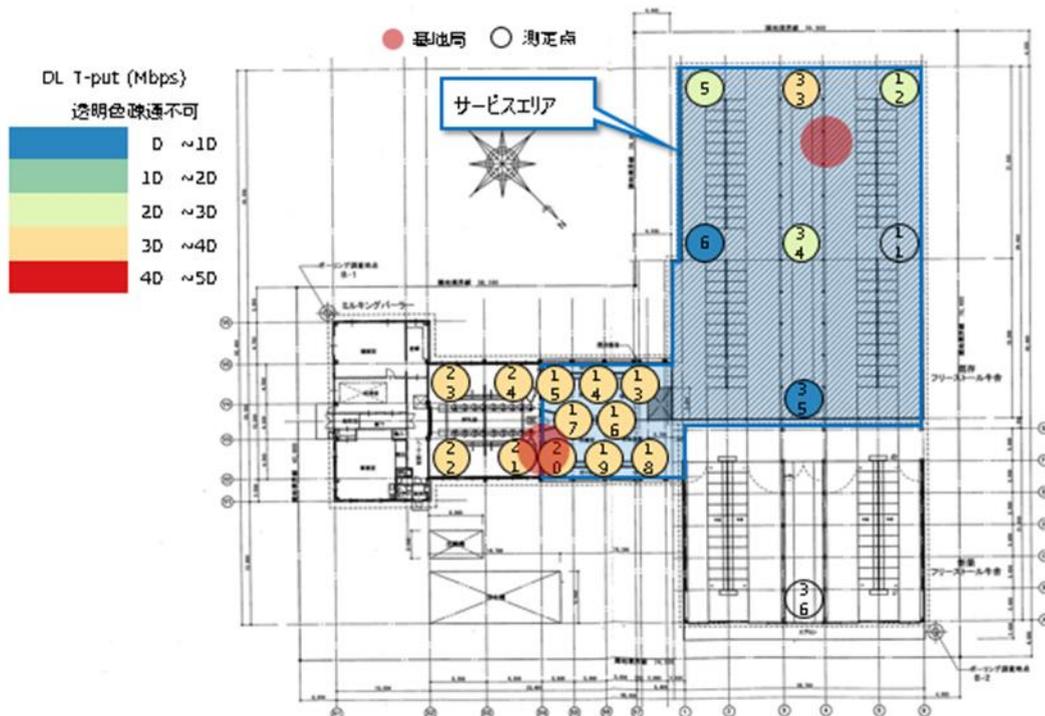


図 3.3.1.4-18(a) 同期基地局(TDD)を対象とした伝送スループット (DL) 測定結果

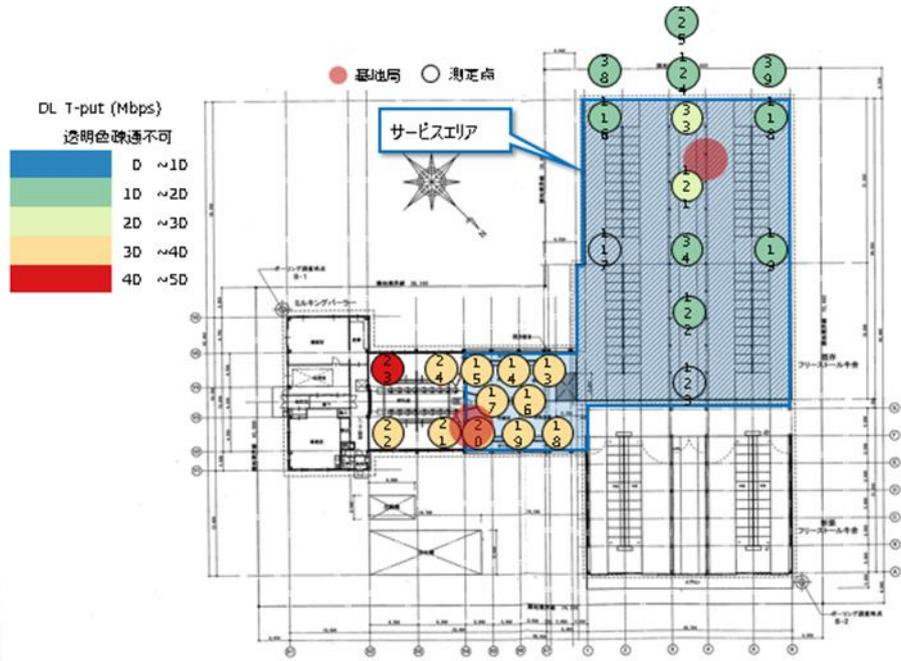


図 3.3.1.4-18(b) 制度化済準同期基地局(TDD1)を対象とした
伝送スループット (DL) 測定結果

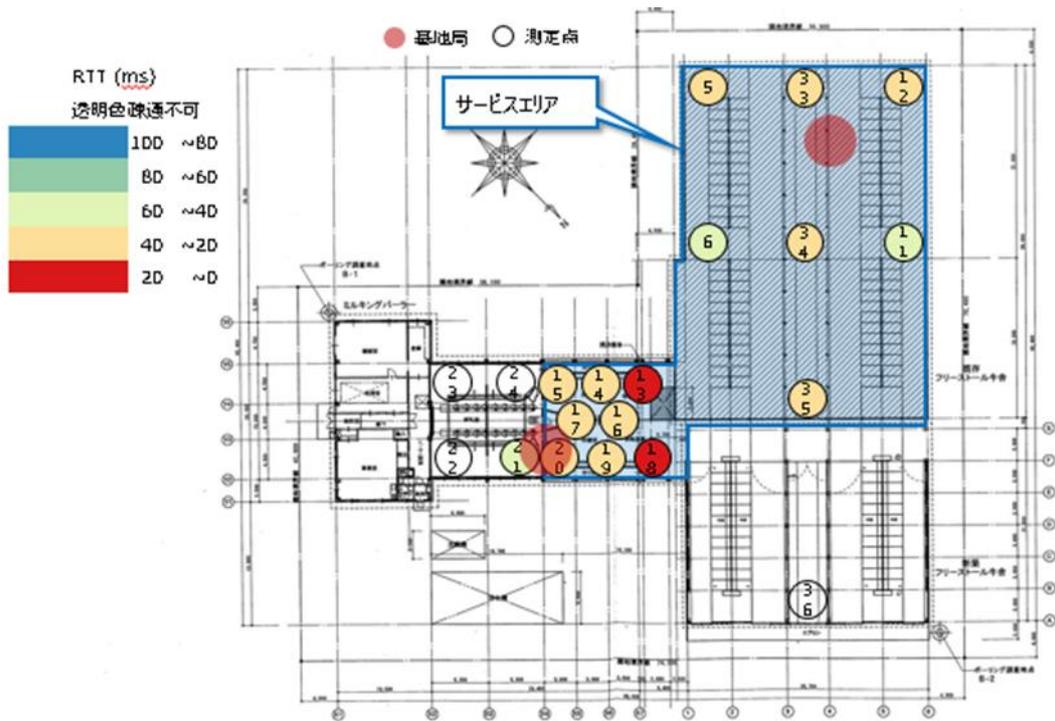


図 3.3.1.4-19(a) 同期基地局(TDD)を対象とした RTT 測定結果

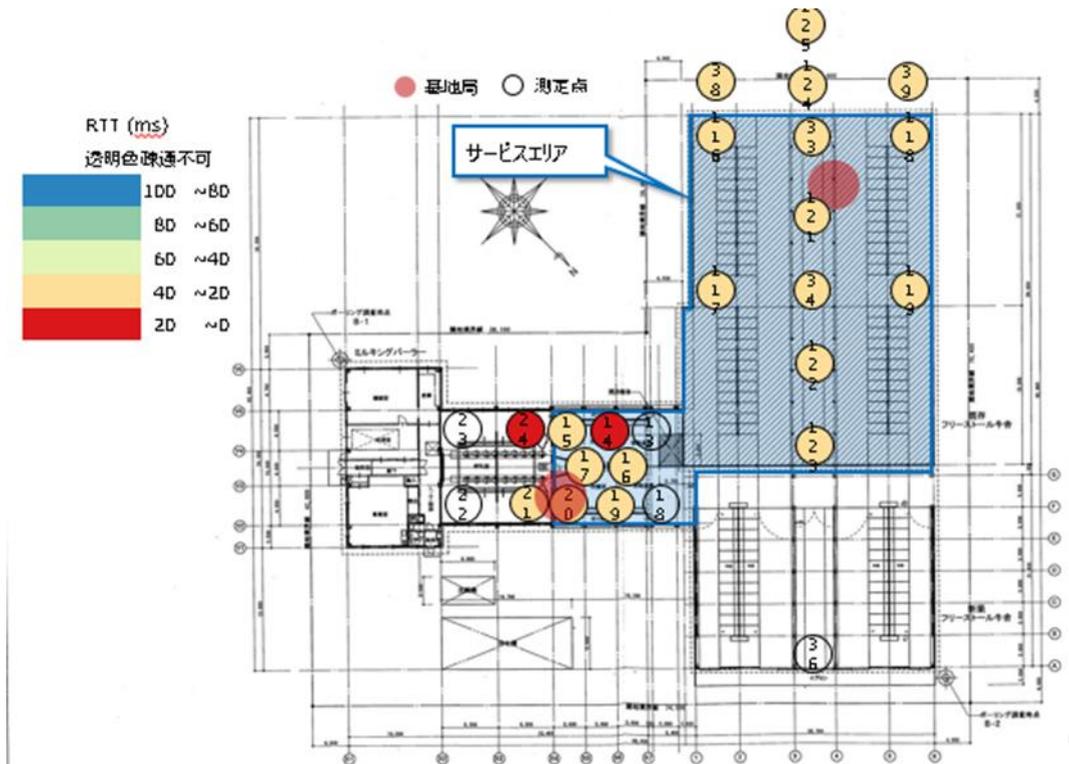


図 3.3.1.4-19(b) 制度化済準同期基地局(TDD1)を対象とした RTT 測定結果

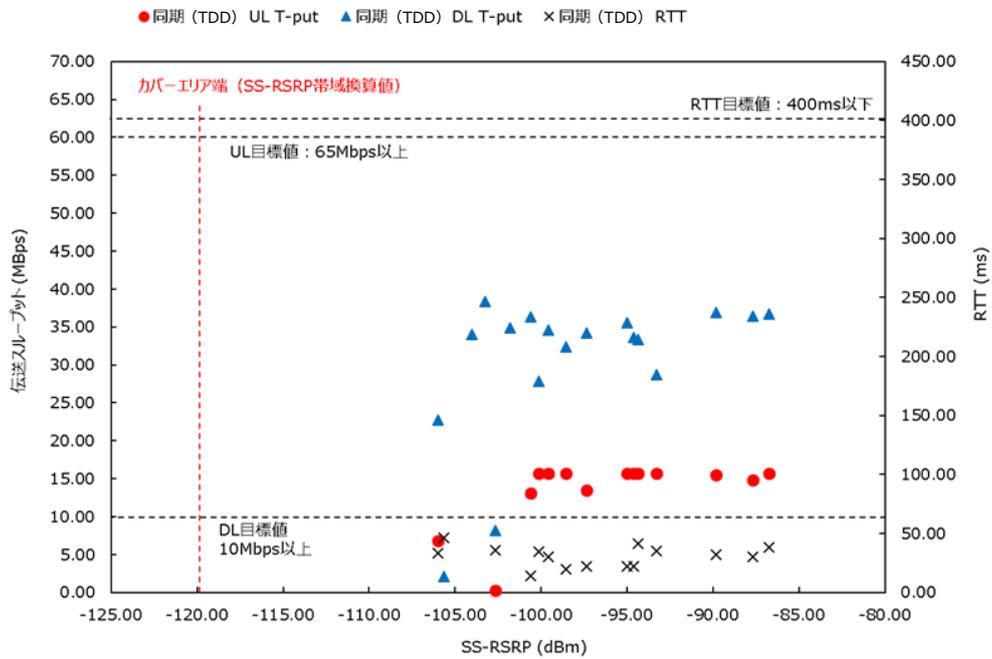


図 3.3.1.4-20(a) 同期基地局(TDD)を対象とした伝送スループットと SS-RSRP の関係

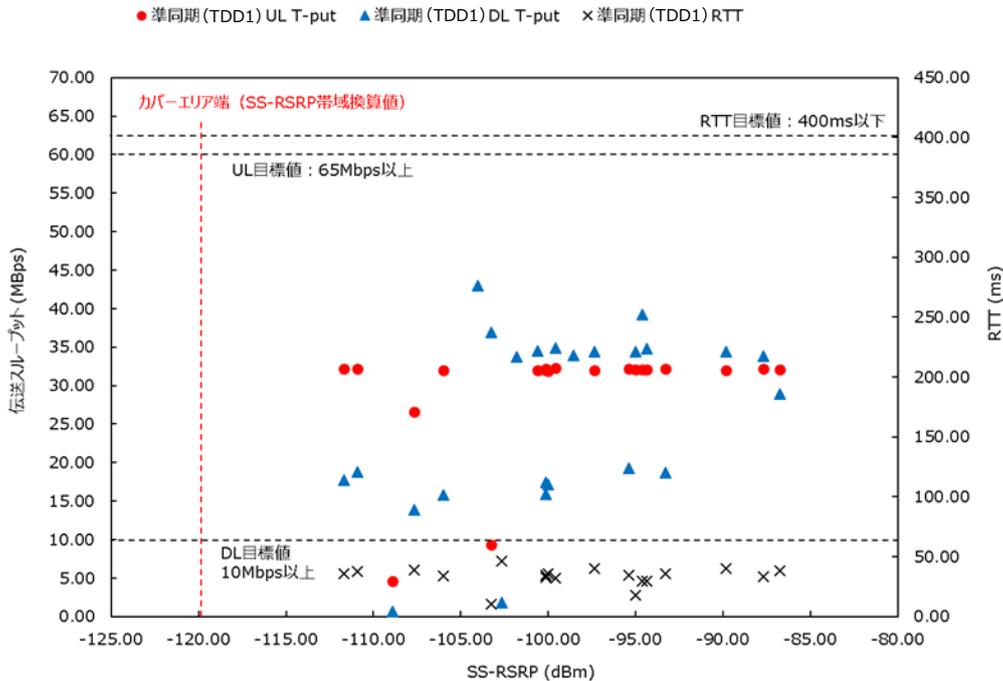


図 3.3.1.4-20(b) 制度化済基地局(TDD1)を対象とした
伝送スループットと SS-RSRP の関係

3.3.1 章に示しているように、牛舎におけるユースケースを想定した場合、表 3.3.1 に示す所要性能、特に上り回線の伝送スループットが重要となる。課題実証においては、UL 伝送スループットの目標値として 65Mbps としており、技術実証においても、この目標値を基に評価を行う。

表 3.3.1 課題実証で要求される所要性能（再掲）

項目	下り(DL)	上り(UL)
通信速度	10Mbps (最大同時接続時)	65Mbps (最大同時接続時)
遅延時間	400ms (End To End)	400ms (End To End)
利用条件	同時通信台数 1 台程度	同時通信台数 10 台程度

図 3.3.1.4-21 は、牛舎内ターゲットエリア内における伝送スループット、RTT の測定結果を同期基地局 (TDD) /制度化済準同期基地局 (TDD1) それぞれにおいて累積確率分布としてグラフ化したものである。

伝送スループットについては課題実証の目標値である、DL=10Mbps、UL=65Mbps を評価指標とすると、DL については概ね 80%以上の確立で評価指標を上回っているが、UL については同期 (TDD)、準同期 (TDD1) 共に未達成となった。また、RTT については、累積確率分布が急峻であり、概ね安定していると考えられる。

UL 伝送スループットにおいて所要性能を下回った要因としては、変調方式の影響が一つとして考えられる。今回実証で設置する無線局装置は環境に合わせたパラメータチューニングが必要となり、基地局と移動局の位置関係に応じてその値を設定している。しかし、課

題実証においては、一つの基地局配下に複数の移動局が紐づいており、それぞれの移動局設置位置が異なることから、全ての移動局で安定した通信が出来るよう、変調方式を QPSK まで下げている。そのため、伝送スループットの最大値としても目標に到達できていないことが考えられる。なお、ラボにおける事前評価結果として、準同期 TDD スロットにおける UL 伝送スループットは、QPSK : 32.8Mbps、16QAM : 62.7Mbps、64QAM : 112Mbps であり、64QAM においては QPSK と比較して 3~4 倍程度のスループット改善が見込めることから、本実証環境においても 64QAM 変調方式を用いることで課題実証側の所要性能を満たすことが出来ると考えられる。

これらの結果から、サービスエリア内で十分な所要性能を得るためには、カバーエリア閾値以上の電力を確保することはもちろん、変調方式等の無線局パラメータについても環境を考慮した設計が必要となる。

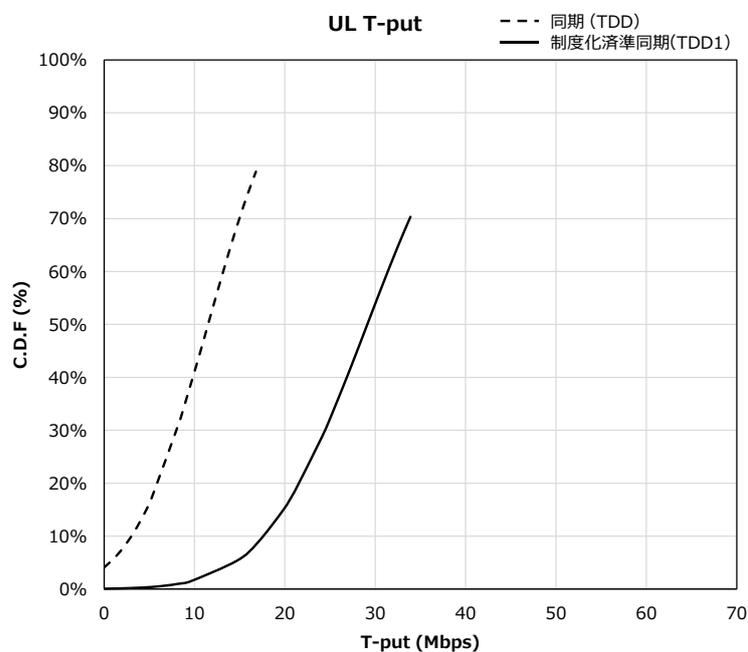


図 3.3.1.4-21(a) 牛舎ターゲットエリアにおける UL 伝送スループット累積分布

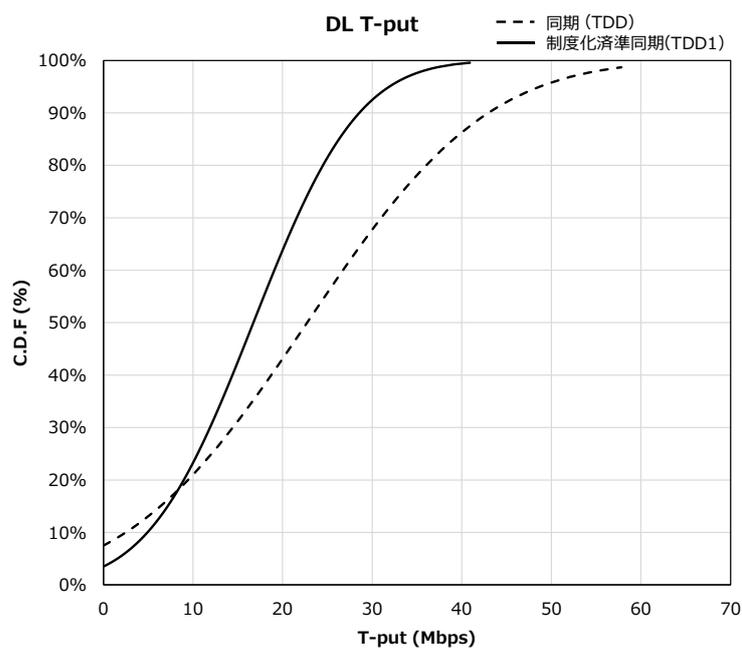


図 3.3.1.4-21(b) 牛舎ターゲットエリアにおける DL 伝送スループット累積分布

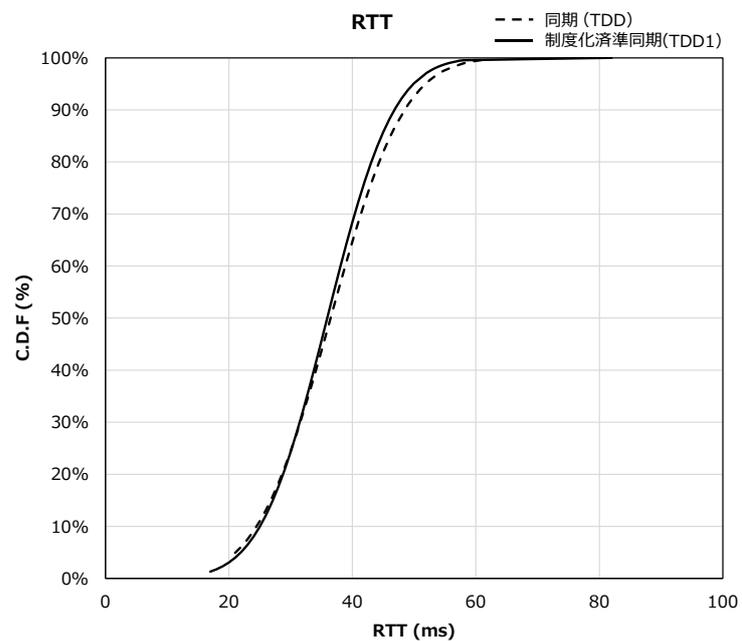


図 3.3.1.4-21(c) 牛舎ターゲットエリアにおける RTT 累積分布

(5) 技術的課題の解決方策

今回の実証では、牛舎環境においてオムニ指向性のアンテナを 2 局活用しローカル 5G の構築を行った。その結果、実測値から得られた伝搬特性は屋内においては自由空間伝搬、屋

外においては奥村・秦式（中小都市、郊外地もしくは開放地）とよく一致していることが分かった。前者は、牛舎内環境が開放的な見通し環境であること、後者は牛舎周辺が開放的な田園地帯である為と考えられる。そのため、牛舎内におけるローカル 5G（4.7GHz 帯）のエリア構築としては、必要となるサービスエリアの距離に応じて自由空間損失を見込んだ置局設計を行えばいいと考えられる。しかし、上記考えは基地局、移動局を牛群が干渉しない高さに置局する場合であり、例えば基地局、移動局間で牛群等の電波遮蔽が生じる場合はその分の損失マージンを見込む必要が有ると考えられる。本実証においては牛群による損失について詳細な検討を実施できていないが、その影響は否定できないため、牛舎におけるエリア設計を容易にするには、本実証環境の様な地標高 3~4m 程度の位置に置局を行う事が望ましいと考えられる。

一方、今回サービスエリア内において十分な受信電力値を得ることが出来たが、通信性能としては UL 伝送スループットで目標値である 65Mbps を達成することが出来なかった。この結果から、受信電力のみならず、変調方式等の無線局パラメータの最適化についても留意が必要であることが分かった。

3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化

3.3.2.1 実証の目的・目標

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

背景として、今回課題実証では“フリーストール牛舎内でローカル 5G を用いた画像解析や映像伝送により個体の異常検知や位置検索、外部専門家への迅速な相談を実現し、個体管理作業の効率化”を目的としており、図 3.3.2.1-1 に示す牛舎内のエリアをカバーするため、ローカル 5G 基地局 2 局を活用して実証を行っている。

本実証環境においては図 3.3.2.1-2(a)の様に、内壁がプラスチックのメッシュ構造、外壁がビニールシートで覆われた壁面構成であり、牛舎周辺は見通し環境となる(図 3.3.2.1-2(b))。

そのため、農業分野におけるユースケースを前提とした場合、隣接する他者土地において干渉調整の対象となるシステムが運用されている場合、屋内運用をしていたとしても、建物からの漏洩電力について問題となる可能性が考えられる。

これらから、自己土地外への電波漏洩等の電波伝搬特性を把握したエリア構築が課題となる。

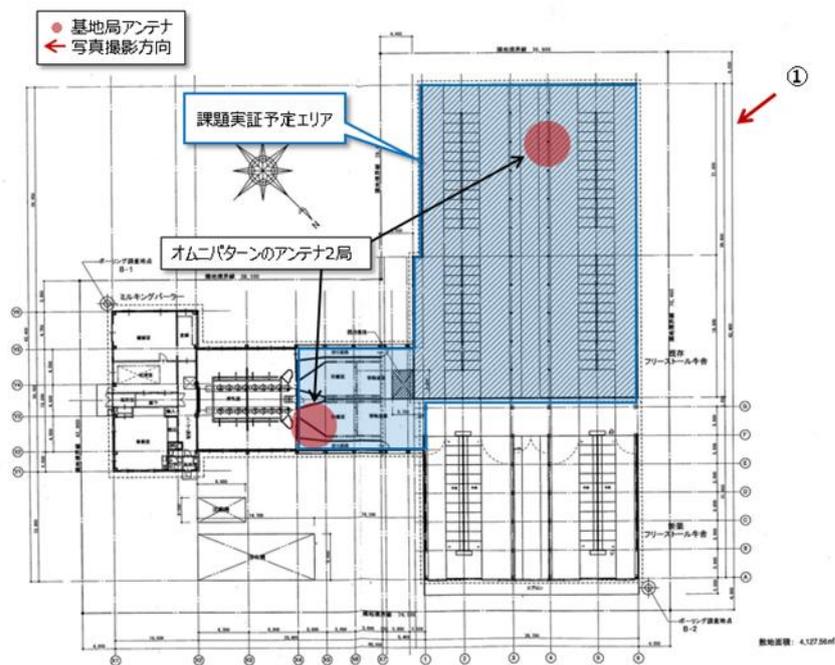


図 3.3.2.1-1 課題実証エリア



図 3.3.2.1-2(a) 牛舎壁面



図 3.3.2.1-2(b) 牛舎周辺環境

(2) 実証目標

3.3.2 章においては柔軟なローカル 5G システムの設計・構築に資する検討として、仕様書要件で規定されているエリア算出法に含まれるいくつかのパラメータ（表 3.3.2.1-1）を対象とし、その値を精緻化することが求められている。本検討において得られる精緻化したパラメータ値により、ローカル 5G 運用エリアに合わせてエリア算出法を適正化する等の制度改正につながることを目標としている。また、得られた知見については、総務省が策定しているローカル 5G ガイドラインにおいて、モデルケースとして記載することで、ローカル 5G の利活用に生かされることを想定している。

今回の実証環境においては、4.7GHz 帯の屋内局のため精緻化の対象パラメータは表 3.3.2.1-1 から“R”とする。“R”は壁面の材質・厚さに応じて修正するパラメータであり、牛舎の様な壁面が開放に近い環境のモデルケースを示すにあたって適切なパラメータであ

と考える。

また、上述したように牛舎においては壁面が開放に近い半屋外に近い環境であり、基地局と測定点の距離が100m以上確保できることから“S”についても、精緻化の対象とする。“S”は計算対象地域の環境に応じて、市街地、郊外地、開放地に対して考慮する補正值であり、本実証環境の様な樹木、家屋等の田園地帯におけるモデルケースを示すにあたっては適切なパラメータであると考えられる。

表.3.3.2.1-1 精緻化の対象パラメータと精緻化の方向性、実証環境の要件

利用する周波数帯	精緻化の対象パラメータ	精緻化の方向性	実施環境の要件
4.7GHz帯	K ⁹	斜面や植生、水面の影響の定量化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が100m以上確保できる ● 斜面や植生、水面等の地形情報データにより算入し難い地形の影響が存在する
	S ¹⁰	選択基準の詳細化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が100m以上確保できる
	R ¹¹	壁面の材質・厚さ別の定量化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋内である
28GHz帯	hr ¹²	選択基準の明確化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局が見通せない測定点を確保できる
	R ¹³	壁面の材質・厚さ別の定量化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋内である

3.3.2.2 実証仮説

(1) パラメータ“R”についての仮説

今回精緻化の対象とするパラメータ“R”については、4.7GHz帯のローカル5G技術的条件等を検討した情報通信審議会報告書⁶において、建物侵入損として詳しく記載されている(表3.3.2.2-1参照)。建物侵入損は、建物の外壁の材質によって想定される値が変化することが示されており、一般的な建物外壁(Traditional)では、50%の期待値においてR=16.2dBとなっている。また、4.7GHz帯のローカル5G審査基準においては、R=16.2dBが規定値として定められてもいる。しかし、今回、技術実証を行う場所は半屋外に近い屋内環境であるため、建物壁面はプラスチックのメッシュ構造及び、ビニールシートで構成されており、一般的な建物の外壁とは異なる。

そのため、“R”値は、より減衰効果の小さいTraditionalにおける期待値5%(=4.2dB)～期待値50%(=16.2dB)の間にあるものと仮定する。

表 3.3.2.2-1 4.7GHz 帯における建物侵入損

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

※Thermally-efficient：金属化ガラス（断熱効果を高めるために使用する建築用の紫外線を遮断するガラス）、金属ホイルを裏打ちしたパネルを用いた建物。

※Traditional：上記以外の建物

なお、エリア算出法では、表 3.3.2.2-2 に示すように、送受信間距離 d_{xy} が 40m 以下の場合には、計算対象地域の環境に応じて、建物侵入損に対して考慮する補正值“R”の選択が必要である。本実証環境においては、上述した通り開放的な環境であることを考慮し、補正值“R”は表.3.2.2-2 に示す Traditional における期待値 5%である 4.2dB とする。

表 3.3.2.2-2 電波関係審査基準の電波伝搬式における補正項選択肢
(d_{xy} が 40m 以下の場合)

補正項	定義	選択肢
R	建物侵入損に対して考慮する補正項	16.2[dB]
		実際の建物侵入損が明確な場合は明示の上、建物に応じた値を適用する。 <u>本実証環境においては仮説値として 4.2[dB]とする。</u>

(2) パラメータ“S”についての仮説

今回精緻化の対象とするパラメータ“S”については、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）⁷において詳しく記載されている（表 3.3.2.2-3 参照）。エリア算出法では、表 3.3.2.2-3 に示すように、基地局と送信点の距離(d_{xy})が 100m 以上の場合は計算対象地域の環境に応じて、市街地、郊外地、開放地に対して考慮する補正值“S”の選択が必要である。本実証環境においては、基地局及び測定点周辺に樹木や家屋等が存在していることを考慮し、郊外地 S=12.3 とする。

表 3.3.2.2-3 電波関係審査基準の電波伝搬式における補正項選択肢
(dxy が 100m 以上の場合)

補正項	定義	選択肢
S	市街地、郊外地、開放地に対して考慮する補正值	市街地の場合 S=0.0 都市の中心部であって、2 階建て以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など
		郊外地の場合 S=12.3 樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域
		開放地の場合 S=32.5 電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方 300~400m 以内が開けているような畑地・田地・野原など

上記仮説に基づき、パラメータ“R”と“S”の値を修正したカバーエリア及び調整対象区域を図 3.3.2.2-1 に実線で示す。

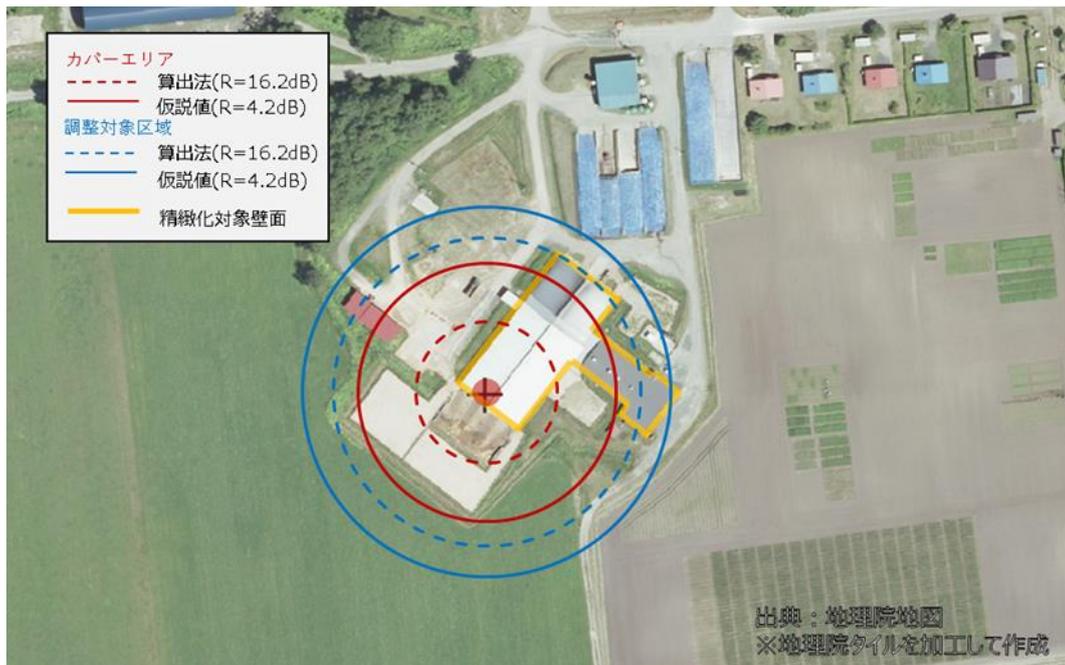


図 3.3.2.2-1(a) 仮説パラメータ R (=4.2dB) S (=12.3) を用いて算出した
カバーエリアおよび調整対象区域：牛舎側基地局

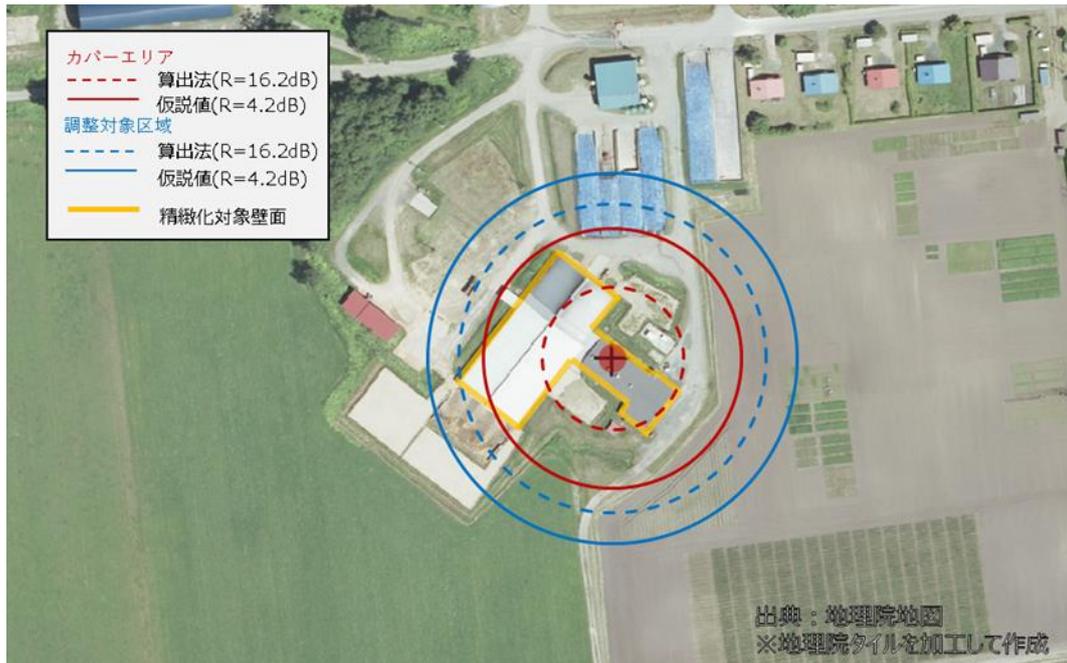


図 3.3.2.2-1(b) 仮説パラメータ $R (=4.2\text{dB})$ $S (=12.3)$ を用いて算出した
カバーエリアおよび調整対象区域：牛待機室側基地局

3.3.2.3 評価・検証項目

精緻化の対象パラメータ“ R ”と“ S ”について、仮説と実測結果から得られる知見の両方を用いて評価・検証を行い、実証環境における適切な R 値と S 値を導く。

また、この評価・検証において、実証環境におけるローカル 5G の電波伝搬モデルの精緻化に関する技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等についても考察を行う。

3.3.2.4 評価・検証方法

(1) 測定方法

測定については、以下の考え方で実施する。測定機器に関しては技術実証全体を通して同じであり 3.2 章にて記載している。

1) 測定エリアの考え方

エリア算出法と比較を行うための下り受信電力値の実測は、基地局毎の $R=4.2\text{dB}$ 、 $S=12.3$ という仮説に基づくカバーエリアおよび調整対象区域において実施する。

各エリアは置局点に対し全方位で作図する必要があるため、精緻化後のエリア算出式の評価としては、ある一方向だけではなく、できるだけ全方位での実測を実施が望ましい。

そのため、図 3.3.2.4-1(a)の実測エリア内において置局点を中心として 30° 方向ごとに方

位を区切り、カバーエリア端、調整区域端でそれぞれ 12 点(方位)ずつの点について、測定を実施する。なお、観測された下り受信電力値が、エリア算出法により導出されるカバーエリア端、調整対象区域端の閾値と異なる場合はそれぞれの閾値が観測される範囲まで測定エリアを広げることとする。

加えて、R 値の精緻化に伴う建物外参照点として、牛舎外壁近傍において基地局から直線上の複数の角度において測定地点を選定する（図 3.3.2.4-1(b)）。

ただし、建物の構造や障害物の存在等により立ち入りが難しい場所については測定地点をずらすなどで対応する。



図 3.3.2.4-1(a) エリア算出法に基づく測定地点

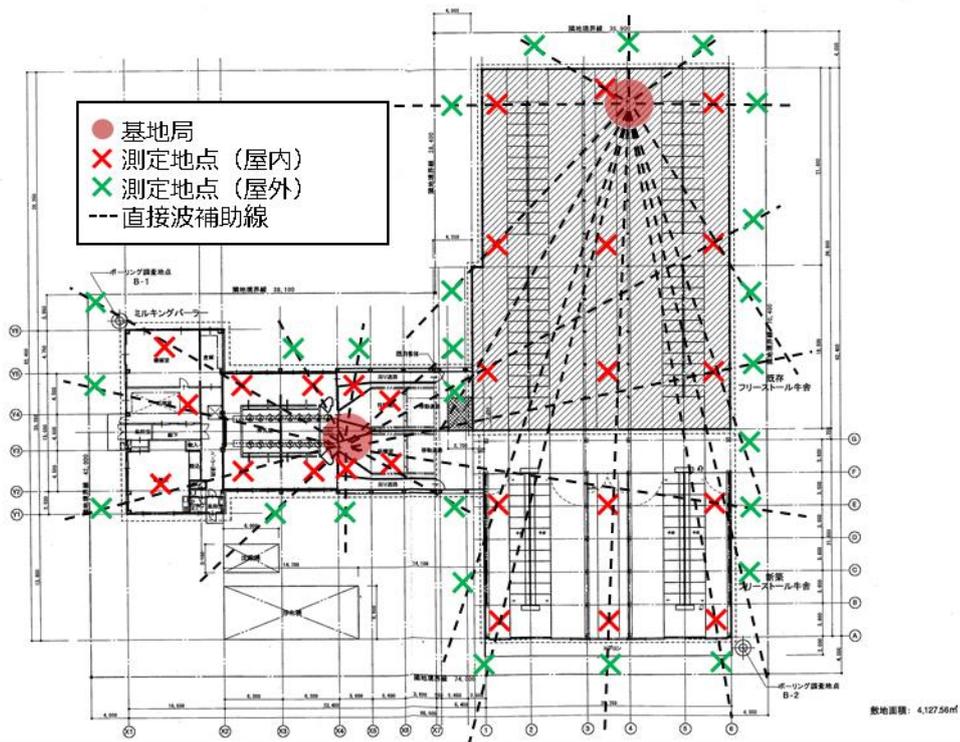


図 3.3.2.4-1(b) 建物外壁近傍における測定地点

また、エリア算出法によるエリア図との比較がしやすいよう、実証環境を面的に測定し、そのデータを活用する。測定範囲は図 3.3.2.4-2 に示すように、現地立入が可能な範囲において実施することとする。



図 3.3.2.4-2 実証環境周辺における面的な測定ルート

2) 測定項目

一般的に 5G NR のエリア指標として用いられている SS-RSRP (Synchronization Signal-Reference Signal Received Power) 及び SS-RSRQ (Synchronization Signal-Reference Signal Received Quality) について実測する。

加えて、R 値に影響を与える実証環境のデータとして下記に示す情報を記録する。

- ・ 壁面の材質/厚さ/面積率
- ・ 対象の壁面と送信/受信点の位置関係

3) 測定手法と実測模様

各種データは、上記の考え方にに基づき選定した測定地点に測定員が赴き、表 3.2-1 に示す測定器及び表 3.2-2 に示す設定値を用いて実測する。また、実証環境における電波伝搬環境をより詳細に分析するため、各測定地点においては測定員の目視により見通し環境もしくは見通し外環境であるかを併せて記録する。ただし、建物の構造や障害物の存在等により立ち入りが難しい場所については測定地点をずらすなどで対応する。

SS-RSRP 及び SS-RSRQ は、エリアテスタを用いて、1000 サンプル/地点のログ取得を実施する。

なお、受信電力の測定においては、定在波の影響を避けるため、1つの測定点において、 10λ (λ は波長) の範囲で測定位置を動かしながら測定を実施する。

測定においては、歩行しながらの測定を効率的に実施するため、図 3.2-6 に示すような測定補助用の治具を作成して測定を実施する

(2) 評価・検証方法

電波伝搬モデルの精緻化については 3.3.1 章、3.3.2 章で実測した各種データを用いて下記に記載する流れで評価・検証を進めていくこととする。

1) 仮説 R 値 S 値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域図の作成

実証環境内に設置するそれぞれの基地局について、仮説 R 値 S 値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の図を作成する。詳細は 3.3.2.2 章実証仮説を参照されたい。

2) 実測値から推定されるカバーエリア及び調整対象区域図の作成

1) で作成した仮説に基づくエリア図との比較を行う為、実測した各種データを図面上にプロットし、カバーエリア及び、調整対象区域の閾値から実測値による推定エリア図を作成する。

3) 仮説に基づくエリア算出法と、実測値から推定されるエリア図との比較

仮説 R 値 S 値に基づくエリア図の妥当性を評価するため、①、②で作図したエリア図の比較を行う。また、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端が異なる箇所においてはその差分値を取り纏める。

4) 実測値から建物侵入損失を算出

R 値の精緻化のもう 1 つのアプローチとして、建物内/外で実測した下り受信電力値から建物侵入損失を算出する。なお、建物侵入損失とは、厳密には、建物近傍路上における受信レベルと建物中央部における受信レベルとの差を意味するが、今回はエリア設計上建物外への漏洩電力を対象としているため、それぞれの基地局アンテナから、直線上となる建物内壁と建物外壁の電界強度差分を建物侵入損として検証する（図 3.3.2.4-3）。

$$R = \text{建物外参照点の電界強度} - \text{建物内部測定点の電界強度} \quad (- \text{FSPL補正值})$$

また、純粋な壁面損失を算出するため、基地局から建物外参照点と建物内部測定点間の距離に応じた自由空間損失(FSPL)の差分を減算し補正するものとする。

なお、今回の実証環境のみに有効な結論ではなく、他の環境でも有効な汎用的/一般的な成果を得るため、壁面の材質や、それに伴う面積率などを記録し、汎用的に利用可能な R 値の精緻化を実施する。

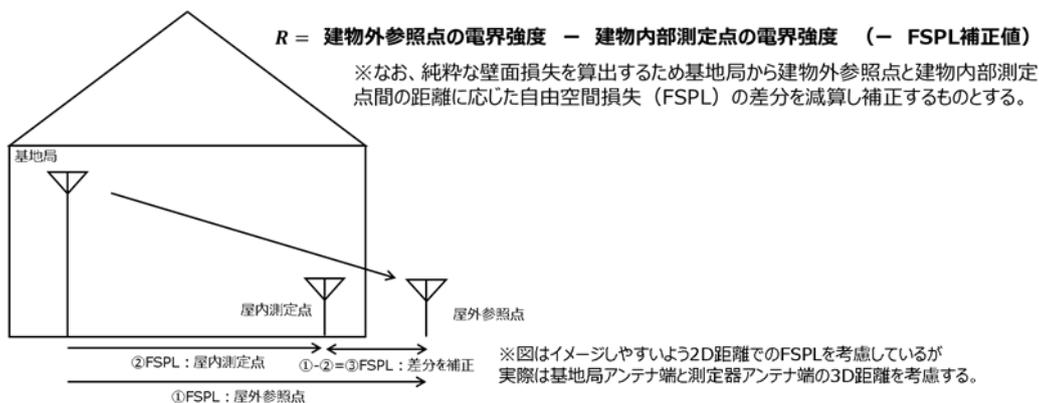


図 3.3.2.4-3 実測値からの R 値算出手法

5) 建物占有面積率の算出

S 値の精緻化のアプローチとして、基地局周辺の建物占有面積率を算出し、その割合から補正值を定める。なお、本実証においては基地局から自由空間損失で計算される、調整区域端閾値までの距離を対象とすることで、最悪値条件を考慮することとする。

なお、本実証環境においては基地局を基準として方位ごとに建物密度が大きく異なる為、建物占有面積率は図 3.3.2.4-4 に示すように北、南側で分けて算出することとする。

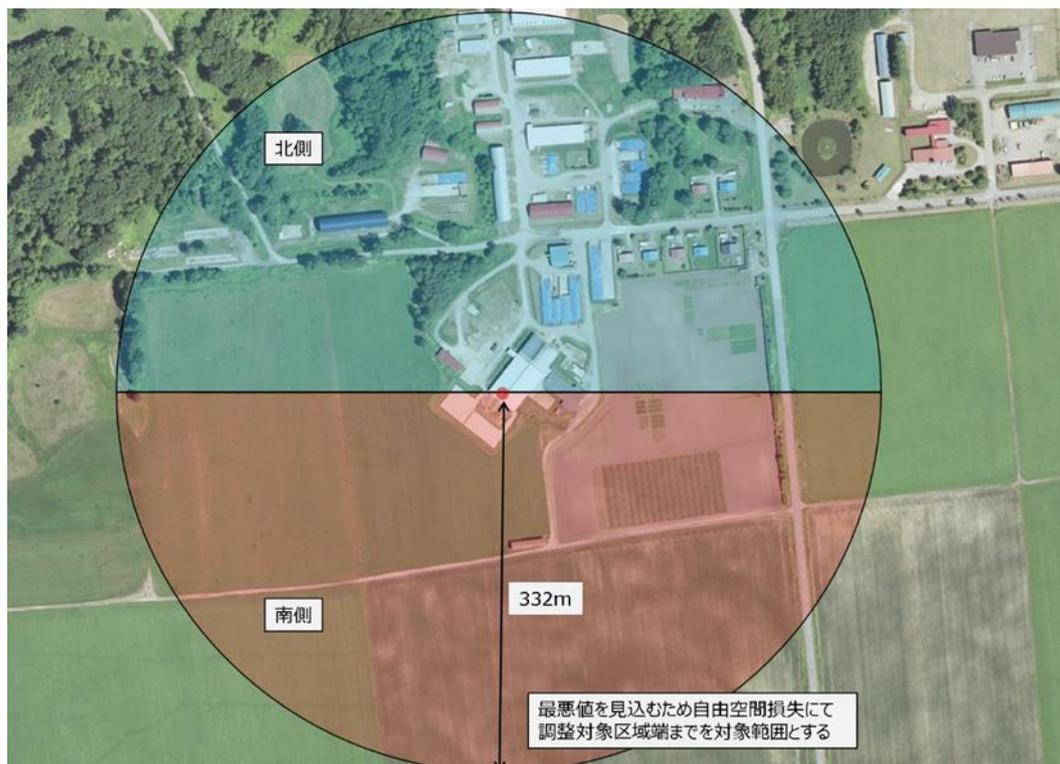


図 3.3.2.4-4 建物占有面積率の算出手法

6) 対象パラメータの妥当性評価

仮説に基づき設定した対象パラメータ“R”と“S”の値について、3)の結果から得られる1)、2)エリア図の差分、4)から得られる建物侵入損失の値、5)から得られる建物占有面積率の値を活用し、対象パラメータ“R”と“S”の値について精緻化を行う。

精緻化を行った対象パラメータ“R”と“S”を用いて、再度カバーエリア及び調整対象区域図を作成し、実測値から推定されるエリア図との比較を行うことでその妥当性を評価する。

3.3.2.5 実証結果及び考察

実証環境における測定結果の取りまとめは、3.3.1.4 (1) で取り纏めており、本章においてもそのデータを活用する。

(1) 仮説 R 値 S 値に基づくカバーエリア及び調整対象区域図

図 3.3.2.5-1 に、実証環境内に設置するそれぞれの基地局について、仮説 R 値 S 値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の図を示す。

結果からは、以下のことがわかる。

カバーエリア端において、算出法（赤破線）と仮説値（赤実線）の差分は 20m 程度、調

整対象区域端において、算出法（青破線）と仮説地（青実線）の差分は 10m 程度となる。

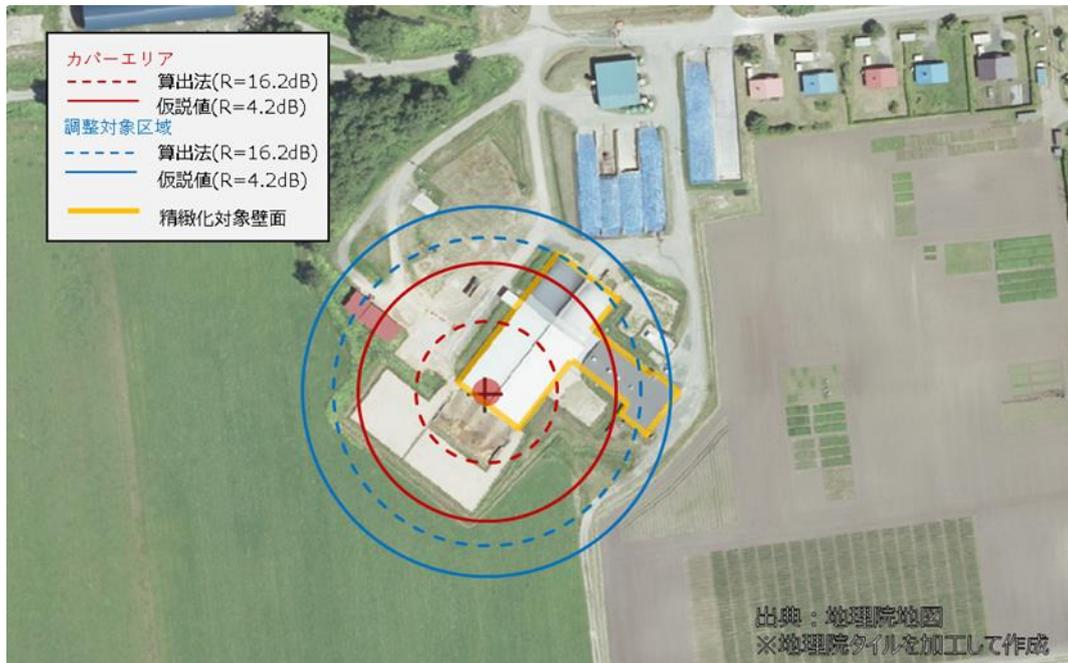


図 3.3.2.5-1(a) 仮説パラメータ R (=4.2dB) S (=12.3) を用いて算出したカバーエリアおよび調整対象区域：牛舎側基地局

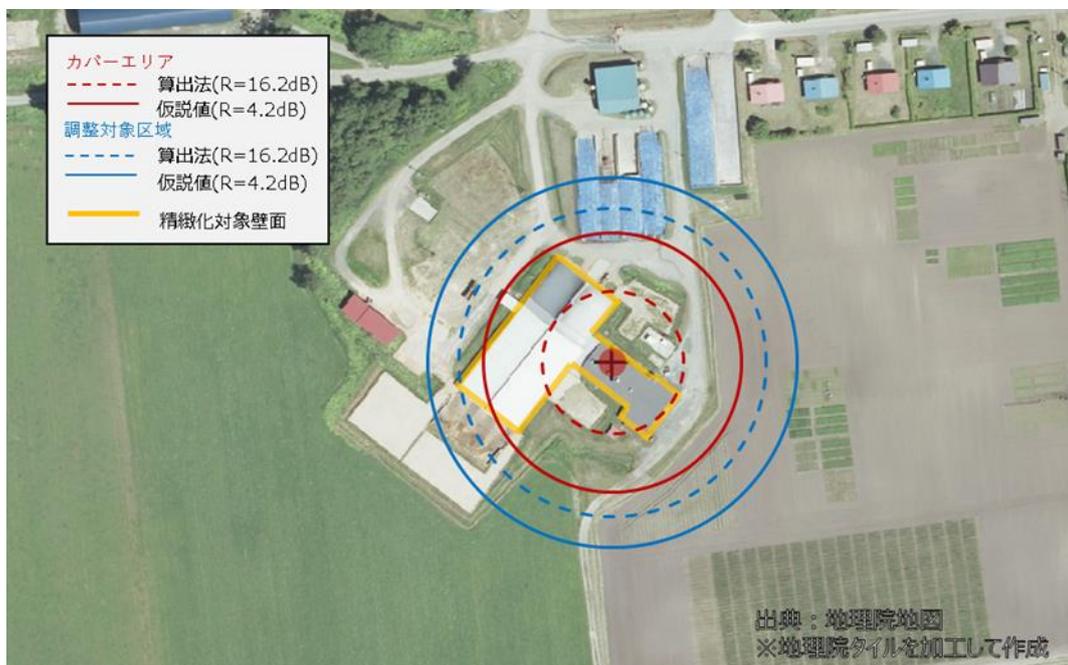


図 3.3.2.5-1(b) 仮説パラメータ R (=4.2dB) S (=12.3) を用いて算出したカバーエリアおよび調整対象区域：牛待機室側基地局

(2) 実測値から推定されるカバーエリア及び調整対象区域図

図 3.3.2.5-2 に実測値から推定されるカバーエリア及び調整対象区域図を示す。なお、エ

リア図の推定においては、定点による測定結果のみでは詳細な推定が困難であるため、実証環境周辺において立ち入り可能な場所を面的に測定した結果も参考にしつつ評価を実施している。

図中、赤線は 4.6-4.9GHz 帯におけるローカル 5G 審査基準で定められている“カバーエリア端レベル（100MHz 幅の場合：-84.6dBm）”を前提に実測値から評価した想定カバーエリア端である。一方、青線は、同様に審査基準で定められている“調整区域端レベル（100MHz 幅の場合：-91.0dBm）”を前提に実測値から評価した想定調整区域端である。なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル（SS-RSRP）の測定帯域は 30kHz であるため、上述したエリア端閾値を 100MHz から、30kHz へ帯域換算した以下の値を用いている。

カバーエリア端レベル（SS-RSRP 帯域換算）：-119.8dBm

調整区域端レベル（SS-RSRP 帯域換算）：-126.2dBm

結果からは、牛舎側基地局においては南西方向において強い漏洩電力が観測された、これは基地局南西方向において、大扉が開放状態であるためであり、オムニ指向性のアンテナを使用しているがエリア図としては縦長となる。また、牛待機室側基地局においては南西と北東方向に延びたエリア図となる。これは、南西、北東方向の壁面材質が他とは異なるためと考えられる。



図 3.3.2.5-2(a) 実測値から推定したカバーエリアおよび調整対象区域：牛舎側基地局



図 3.3.2.5-2(b) 実測値から推定した
カバーエリアおよび調整対象区域：牛待機室側基地局

(3) 仮説に基づくエリア図と実測値から推定されるエリア図との比較

3.3.2.5 章 (1) にて仮説値から算出したエリア図と、3.3.2.5 章 (2) にて実測値から推定したエリア図の比較を行い、仮説値の妥当性を評価する。

図 3.3.2.5-3 に仮説値におけるエリア図と実測値から推定したエリア図を示す。

結果から、牛舎側基地局においては南西方向で 120m 以上、西方向で 40m 程度の差分がみられ、東および北方向は概ね一致していることが分かる。これは、東および北方向は別の建物が併設されており、その損失が見込まれたためと考えられる。一方で牛待機室側基地局においては東方向で 30m 程度の差分がみられるが、そのほかは概ね一致していることが分かる。これは、東方向では建物内複数の壁面で構成されておりその損失差分だと考えられる。

これらの結果から、建物内において壁面材質及び構造が異なる場合は基地局方向毎にその損失を考慮する必要があると考えられる。そのため、次節に示す実測値を用いた建物侵入損失の導出においては、材質及び構造が異なる壁面ごとにその値を算出することとする。

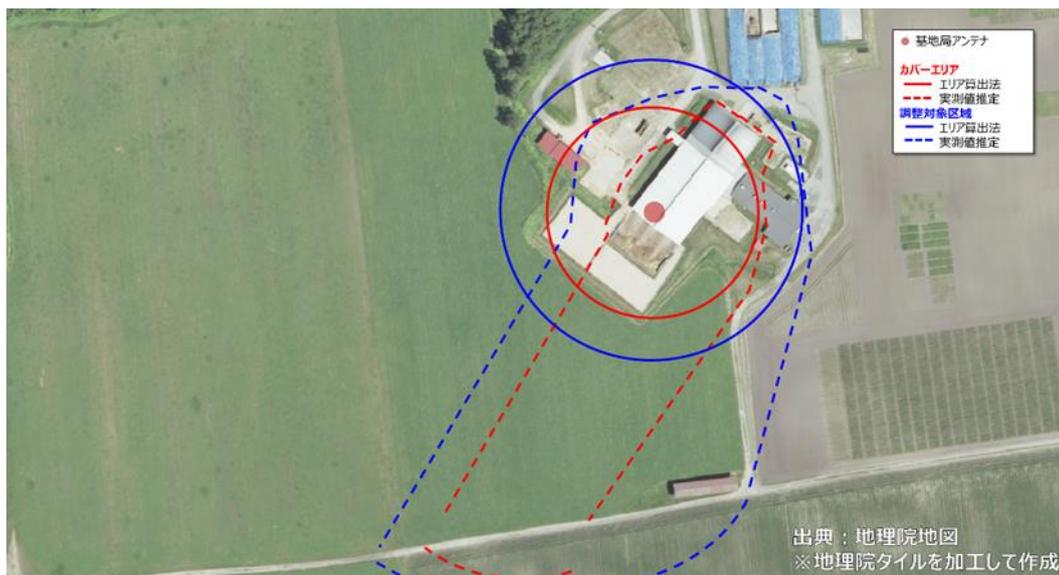


図 3.3.2.5-3(a) 仮説値エリア図と実測値推定エリア図との比較：牛舎側基地局

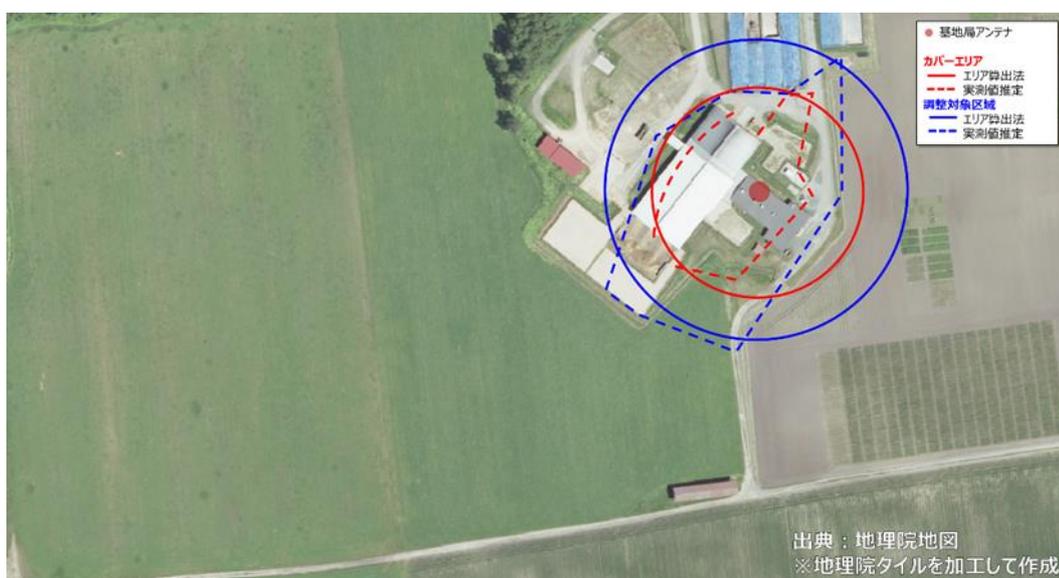


図 3.3.2.5-3(b) 仮説値エリア図と実測値推定エリア図との比較：牛待機室側基地局

(4) 実測値を用いた建物侵入損失の算出

R 値の精緻化のもう 1 つのアプローチとして、建物内/外で実測した下り受信電力値から建物侵入損失を算出する。なお、建物侵入損失とは、厳密には、建物近傍路上における受信レベルと建物中央部における受信レベルとの差を意味するが、今回はエリア設計上建物外への漏洩電力を対象としているため、それぞれの基地局アンテナから、直線上となる建物内壁と建物外壁の電界強度差分を建物侵入損として検証する（図 3.3.2.4-3）。

$$R = \text{建物外参照点の電界強度} - \text{建物内部測定点の電界強度}$$

また、純粋な壁面損失を算出するため、基地局から建物外参照点と建物内部測定点間の距離に応じた自由空間損失(FSPL)の差分を減算し補正するものとする。

なお、今回の実証環境のみに有効な結論ではなく、他の環境でも有効な汎用的/一般的

な成果を得るため、壁面の材質や、それに伴う面積率などを記録し、汎用的に利用可能な R 値の精緻化を実施する。

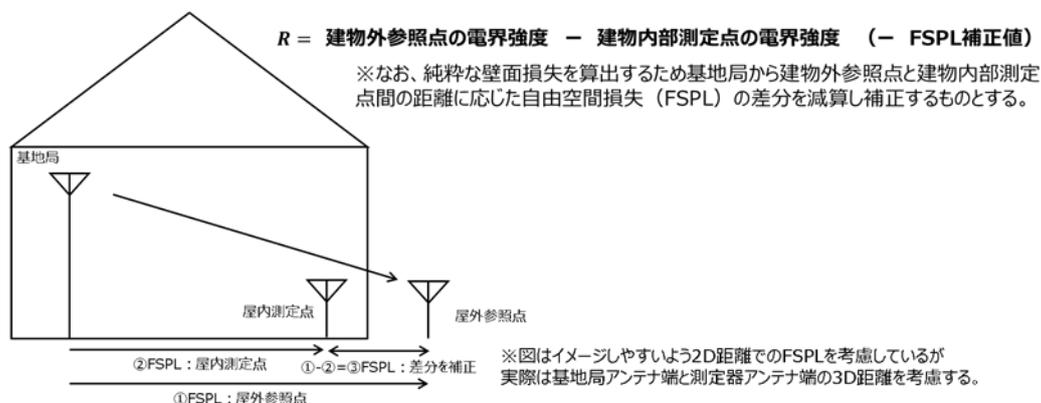


図 3.3.2.4-3 実測値からの R 値算出手法 (再掲)

図 3.3.2.5-4 及び表 3.3.2.5-1 に、実証環境における壁面損失算出対象の測定地点及び算出結果を示す。図中の黒矢印で結ばれる屋内測定点と屋外参照点において、壁面損失の導出を行う事とする。なお、屋内測定点と屋外参照点の比較においては前述した手法により自由空間損失を補正しているが、その他損失は周辺環境要因にて異なり、建物外壁から遠方の屋外参照点はその他損失の影響が支配的になる。そのため、自由空間損失以外が含まれると判断した屋外参照点は精緻化対象から外している。また、R 値は壁面の材質・構造ごとに異なる為、それぞれの壁面ごとに精緻化を行う事とする。

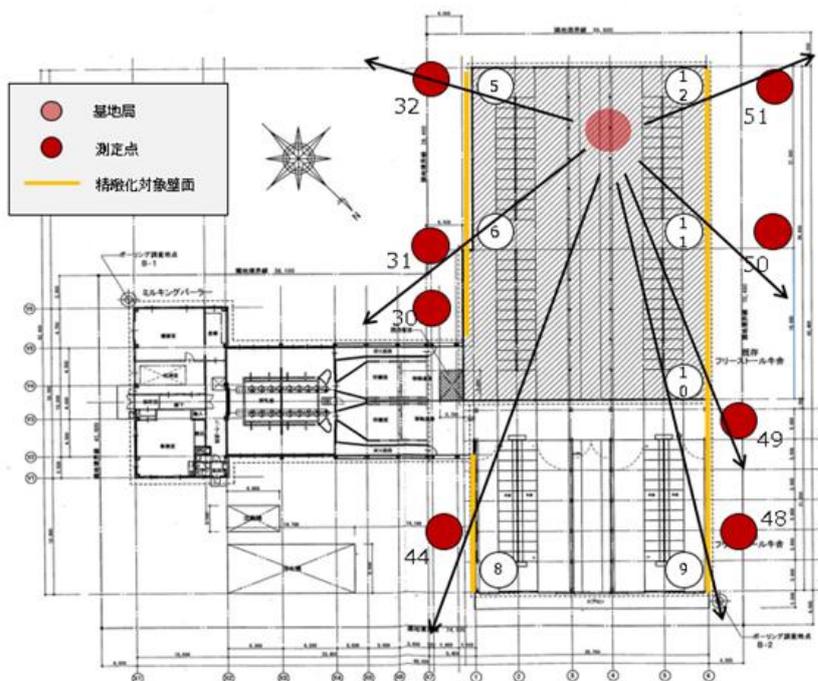


図 3.3.2.5-4(a) 壁面 1 (牛舎側) 精緻化対象測定地点

表 3.3.2.5-1(a) 壁面 1 (牛舎側) 精緻化結果

比較対象		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 ID	屋外 ID	屋内測定点	屋外参照点			
5	32	-101.89	-107.82	3.37	5.93	2.55
6	31	-106.81	-112.07	3.69	5.26	1.57
6	30	-106.81	-113.13	5.21	6.32	1.11
8	44	-116.93	-114.76	0.03	2.17	2.14
9	48	-117.94	-125.52	0.10	7.58	7.48
10	49	-112.83	-118.21	2.40	5.38	2.99
11	50	-108.80	-118.59	4.20	9.79	5.59
12	51	-107.12	-116.84	5.16	9.72	4.56

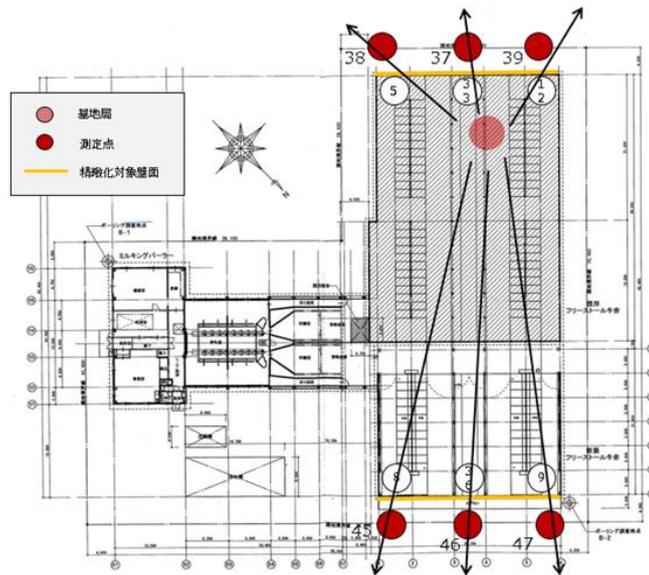


図 3.3.2.5-4(b) 壁面 2 (牛舎側) 精緻化対象測定地点

表 3.3.2.5-1(b) 壁面 2 (牛舎側) 精緻化結果

比較対象		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 ID	屋外 ID	屋内測定点	屋外参照点			
5	38	-101.89	-112.63	1.64	10.74	9.10
8	45	-116.93	-122.85	1.38	5.92	4.54
9	47	-117.94	-122.62	1.59	4.68	3.10
12	39	-107.12	-111.95	0.77	4.83	4.05
33	37	-87.32	-101.36	2.73	14.04	11.31
36	46	-110.15	-113.28	1.59	3.13	1.54

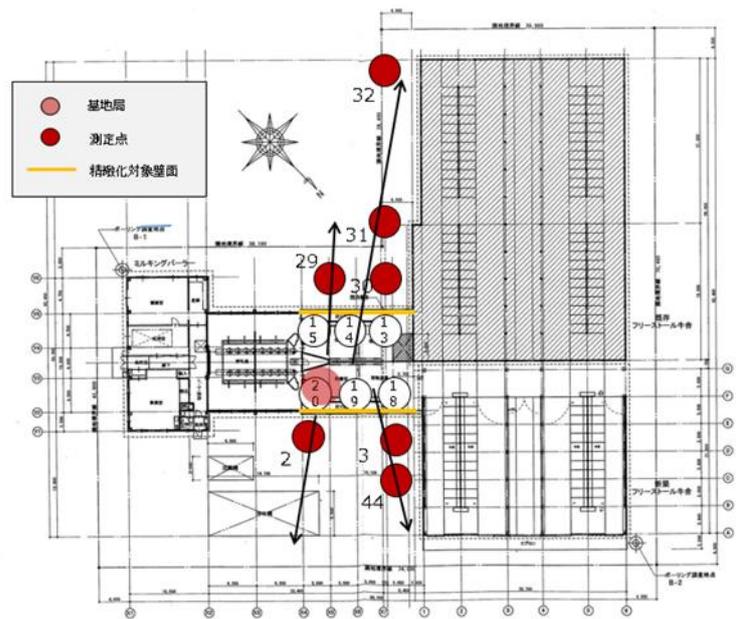


図 3.3.2.5-4(c) 壁面 3 (牛待機室側) 精緻化対象測定地点

表 3.3.2.5-1(c) 壁面 3 (牛待機室側) 精緻化結果

比較対象		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 ID	屋外 ID	屋内測定点	屋外参照点			
13	30	-99.66	-105.55	2.29	5.89	3.60
13	31	-99.66	-112.61	5.23	12.95	7.72
13	32	-99.66	-118.49	10.44	18.83	8.39
14	29	-97.18	-102.93	2.89	5.75	2.86
15	29	-98.53	-102.93	4.42	4.41	-0.01
18	1	-101.66	-105.57	3.26	3.91	0.66
18	44	-101.66	-108.24	3.92	6.58	2.66
19	1	-99.71	-105.57	1.93	5.86	3.93
20	3	-91.33	-109.59	15.59	18.26	2.68

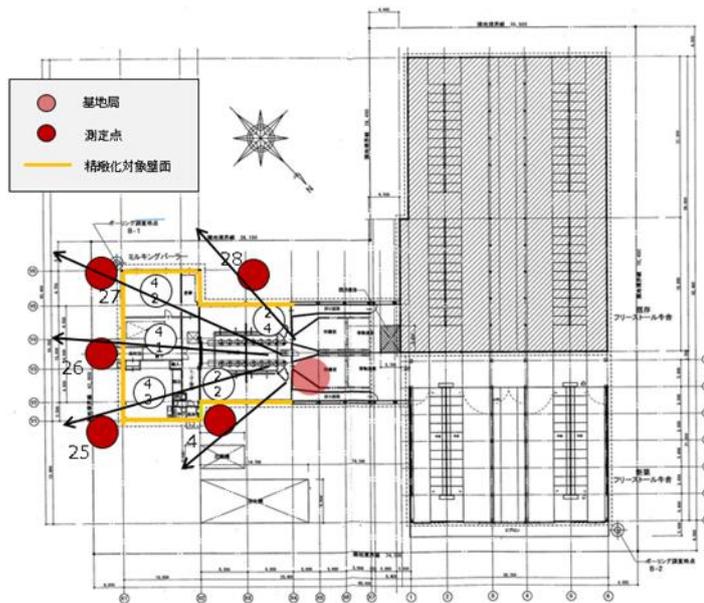


図 3.3.2.5-4(d) 壁面 4 (搾乳室、事務室等) 精緻化対象測定地点

表 3.3.2.5-1(d) 壁面 4 (搾乳室、事務室等) 精緻化結果

比較対象		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 ID	屋外 ID	屋内測定点	屋外参照点			
41	26	-117.15	-130.13	2.85	12.98	10.12
42	27	-122.95	-132.62	2.34	9.67	7.33
43	25	-118.25	-129.41	2.79	11.17	8.38
24	28	-104.57	-117.41	3.81	12.84	9.04
22	4	-102.98	-111.88	1.62	8.91	7.29

表 3.3.2.5-2 に表 3.3.2.5-1 にて算出した R の精緻化値と対象壁面の材質/厚さ/面積率を示す。なお、精緻化値については壁面ごとに算出した R 値の平均値を記載している。図 3.3.2.5-5 に壁面ごとの測定状況を示す。

結果からは、以下のことがわかる。

- 壁面 1 においては、主に、図 3.3.2.5-1 に示すようなトリカルネット（プラスチックのメッシュ材）及びビニールシートで構成されており、精緻化値としては 3.5dB と仮説値よりも低い値となることが分かる。
- 壁面 2 においては、主に、図 3.3.2.5-2 に示すような鉄板等の比較的伝搬遮蔽が強い材質となるが、図中右下のように、日中帯は常に開放状態となる。そのため、精緻化値としては一般的な壁面と比べ低い値の 5.6dB となる。
- 壁面 3 においては、主に、図 3.3.2.5-3 に示すようなトリカルネット（プラスチックのメッシュ材）及びビニールシートで構成されており、壁面 1 と同様の構成となるが、別の建物となることから、改めて算出している。結果としては精緻化値 3.6dB と壁面 1 と近い値となることからその妥当性が確認できる。
- 壁面 4 においては主に、図 3.3.2.5-4 に示すような開口部の多い窓とコンクリートで構成されており、結果としては精緻化値 8.4dB となる。

表 3.3.2.5-2 4.7GHz 帯における実証環境 R 値

周波数	建物	材質	厚さ	面積率	仮説値 R(dB)	精緻化値 R [dB]
4.7GHz	代表値					16.2
	壁面 1 プラスチック材、ビニール材、コンクリートで構成された簡易的な壁面	コンクリート	200mm	15%	4.2	3.5
		トリカルネット 透明糸入りビニールシート	50m	85%		
	壁面 2 扉の常時開放状態で開口部が多い壁面	コンクリート	200mm	10%	4.2	5.6
		鉄板	50mm	50%		
		ポリカーボネート波板	0.7mm	40%		
	壁面 3 プラスチック材、ビニール材、コンクリートで構成された簡易的な壁面	コンクリート	200mm	15%	4.2	3.6
		トリカルネット 透明糸入りビニールシート	50m	85%		
	壁面 4 窓などの開口部が多い壁面方向	コンクリート	200mm	70%	4.2	8.4
		ガラス	20mm	30%		



図 3.3.2.5-5(a) 壁面 1 (牛舎側) 屋外参照点の状況



図 3.3.2.5-5(b) 壁面 2 (牛舎側) 屋外参照点の状況



図 3.3.2.5-5(c) 壁面 3 (牛待機室側) 屋外参照点の状況



図 3.3.2.5-5(d) 壁面 4 (搾乳室、事務室等) 屋外参照点の状況

(5) 建物占有面積率の算出

S 値の精緻化のアプローチとして、基地局周辺の建物占有面積率を算出し、その割合から補正値を定める。なお、本実証においては基地局から自由空間損失で計算される、調整区域端閾値までの距離を対象とすることで、最悪値条件を考慮することとする。また、本実証環境においては方位ごとに建物密度が大きく異なる為、建物占有面積率は基地局を基準として北、南側で分けて算出することとする。図 3.3.2.5-6 に対象となる範囲及び建物、樹木を示す。

図 3.3.2.5-6 に示す対象範囲を分母とした、建物占有面積率を表 3.3.2.5-3 に示す。

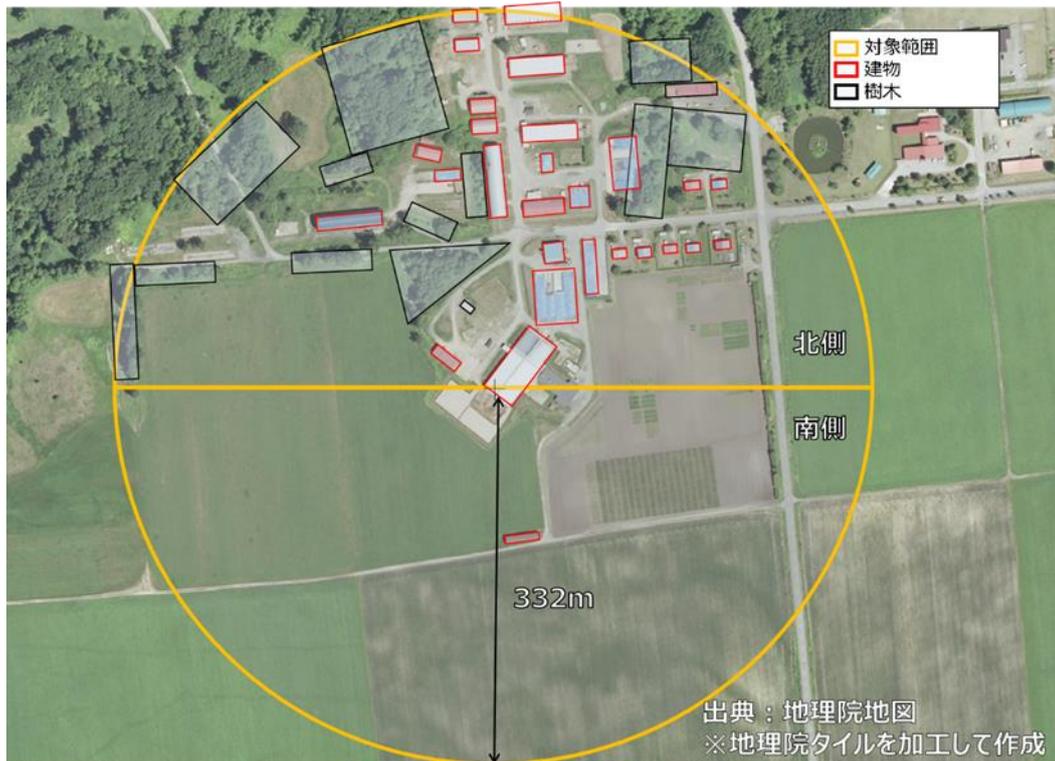


図 3.3.2.5-6 S 値精緻化範囲及び対象建物等

表 3.3.2.5-3 実証環境における建物占有面積率

対象範囲	建物占有面積 (m ²)	樹木占有面積(m ²)	対象範囲面積(m ²)	建物占有面積率 % ※樹木含む
北側	13,700	28,509	173,051	2.437
南側	542	0	173,051	0.003

電波伝搬ハンドブック 第 2 部 15 章*では建物占有面積率の値に応じて下記分類がされている。(※細矢良雄監修, "電波伝搬ハンドブック", リアライズ理工センター出版)

建物を地面に投影した時の投影面積の総和の全面積に対する割合 α (%)

$10\% \leq \alpha$: 市街地

$2\% \leq \alpha < 10\%$: 郊外地

$\alpha < 2\%$: 開放地

これらの結果から、本実証環境において基地局北側は建物占有面積率 2.4(%)となるため郊外地が望ましいと考えられ、基地局南側は建物占有面積率がほぼ 0%となることから開放地が望ましいと考えられる (表 3.3.2.5-4)。

表 3.3.2.5-4 実証環境における S 値

影響要因	条件	S [dB]
市街地	都市の中心部であって、2階建て以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など(既存)	0

郊外地	樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域(既存)	12.3
開放地	電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方 300～400m 以内が開けているような畑地・田地・野原など(既存)	32.5
	開放地にある牛舎 周辺環境が見通しとなるエリア 基地局半径 300m 程度において建物占有面積率 0%	

(6) 精緻化パラメータの妥当性評価

3.3.2.5 章(4)及び、3.3.2.5 章(5)にて精緻化を行った対象パラメータ“R”と“S”を用いて、再度カバーエリア及び調整対象区域図を作成し、実測値から推定されるエリア図との比較を行うことでその妥当性を評価する。

図 3.3.2.5-7 に精緻化後のパラメータを用いて算出したカバーエリア及び調整対象区域図を示す。図中破線は 3.3.2.2 章で示す仮説値 R (4.2dB) におけるエリア図であり、実線は壁面ごとに表 3.3.2.5-2 に示す精緻化値 R を考慮したエリア図である。また、表 3.3.2.5-4 の結果を基に基地局を基準として北側の伝搬モデルは郊外地 S (=12.3)、南側は開放地 (=32.5) を S 値に考慮している。

結果から、基地局からの方向毎に建物侵入損失 R を考慮することで、真円ではなく、重み付けされた楕円形のようなエリア図になることが分かる。また、基地局北側と南側で考慮する電波伝搬損失モデルを変えているため、やや南側のエリア図が広くなること分かる。

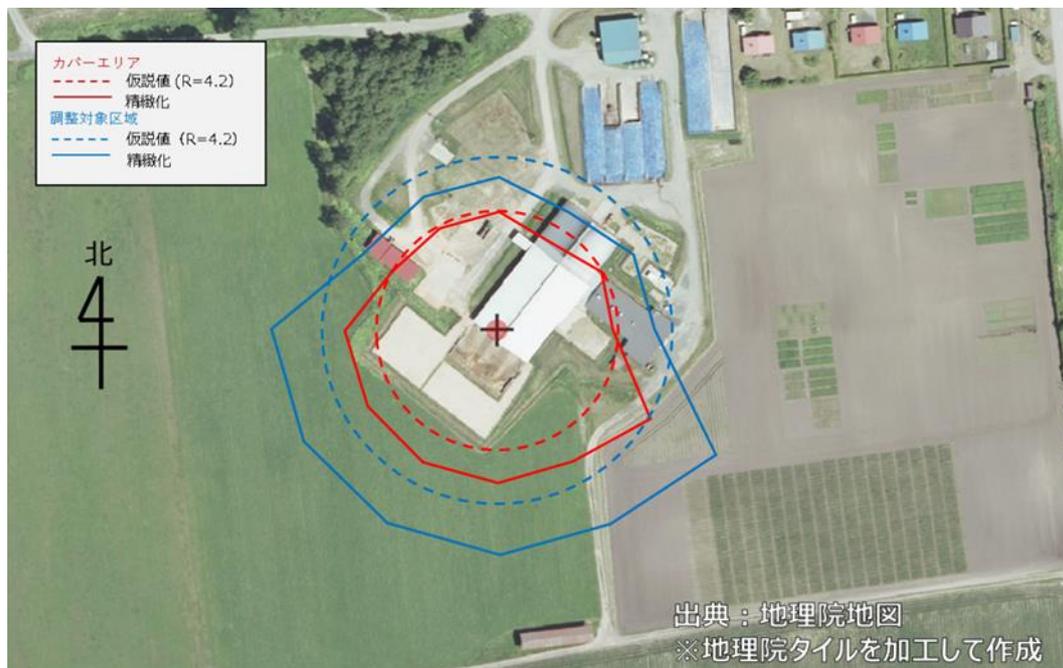


図 3.3.2.5-7(a) 精緻化パラメータを用いたカバーエリア及び調整対象区域図
：牛舎側基地局

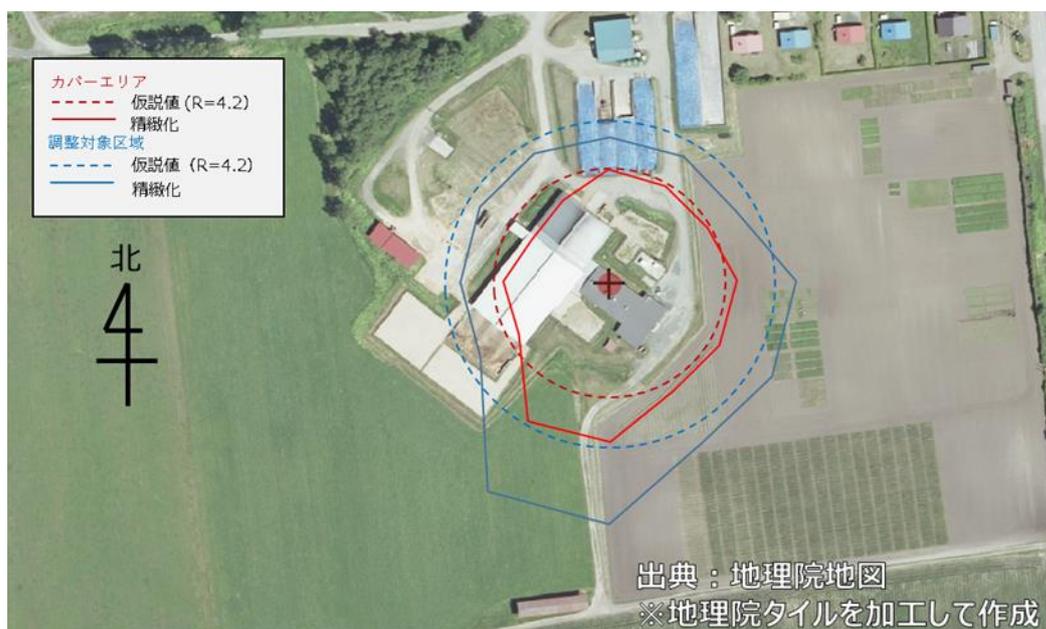


図 3.3.2.5-7(b) 精緻化パラメータを用いたカバーエリア及び調整対象区域図
：牛待機室側基地局

図 3.3.2.5-8 に精緻化後のパラメータを用いて算出したカバーエリア及び調整対象区域図と実測値から推定したカバーエリア及び調整対象区域図との比較結果を示す。

結果から、牛舎側基地局においては北東方向、西方向、南西方向で精緻化値との差分が見られた。要因としてはまず、北東方向では精緻化値から算出したエリア図が対象の壁面まで到達していないため、本来であれば見込むべきではない建物侵入損失が見込まれていることとなる。すなわち、カバーエリア端は壁面までとなり実測値とよく一致していることが分かる。次に、西方向では実測値よりも精緻化値のエリアが広いことが分かる。これは、基地局の配置状況によるものであり、図 3.3.2.5-9 に示す通り西側方向は基地局アンテナを設置する治具が遮蔽となっている可能性が考えられる。最後に南西方向は精緻化のエリア図より実測値がかなり強く観測されている。これは、前述した通り、南西方向の大扉が日中帯は常時開放状態であることが影響している。そのため、本実証環境の様な中空空間となる牛舎内に基地局を設置する場合のエリア算出法としては、扉等による開口部の変化がない方角においては、表 3.3.2.5-2 に示す壁面 1~2 の精緻化値 $R(=3.5\sim 3.6\text{dB})$ 程度の損失を見込むことが望ましい。一方で、扉の開閉により伝搬環境が変わる環境においては、その影響を考慮するため、開放時は基地局から屋外が見通し環境となるような方角において干渉調整区域のワーストケースとして自由空間モデルの適用が望ましいと考えられる。

牛待機室においては東方向以外概ね精緻化値と実測値が一致している。東方向の差分要因としては今回精緻化値に考慮した壁面は外壁のみであり、東方向は基地局アンテナから外壁まで複数の壁面を通過していることから、精緻化値のエリア図が広く算出されている。そのため、屋内において複数の壁面構造となる方角においては、その壁面材質が同一である場合は乗算した値にて R 値を定める必要が有ると考えられる。例えば、図 3.3.2.5-8(b) に示す牛待機室基地局からの東方向においては外壁までは最大で 3 枚の壁面（外壁を含めると

4枚の壁面構造)が存在するため、表3.3.2.5-2に示す壁面4の精緻化値 $R(=8.4\text{dB})$ を4倍した値(33.6dB程度)を見込むことが有効であると考えられる。なお、算出されたカバーエリア端及び調整区域端が建物内に収まるようであれば、外壁等の損失が本来見込まれるべきではないため、外壁等壁面端までをそれぞれの閾値端とする等の工夫が必要である。

また、パラメータ S 値においては基地局を中心とした北、南側においてそれぞれ違う値を精緻化値としており、全方位において一律で補正をかけるよりもエリア算出法と実測値の一致率は高いといえる。そのため、基地局周辺環境において方位ごとに建物占有面積率が異なる場合は、南北の2方位もしくは東西南北の4方位において(粒度を高めればそれだけ精密なエリア推定が可能)建物占有面積率を算出し、 S 値を定めることが有効的である。しかしながら、エリア算出法から導き出される基地局からそれぞれの閾値端までの距離は、周辺環境を考慮する補正值 S よりも、建物侵入損失値 R の方が及ぼす影響が支配的であるため、扉等の開閉による屋外に対する伝搬環境が変化する場合は、実測値との差分が大きくなる。そのため、前述した通り、屋外に対して見通し環境となる方向においては、奥村・秦式ではなく自由空間損失モデルを適用する等の柔軟なエリア設計が必要となると考えられる。

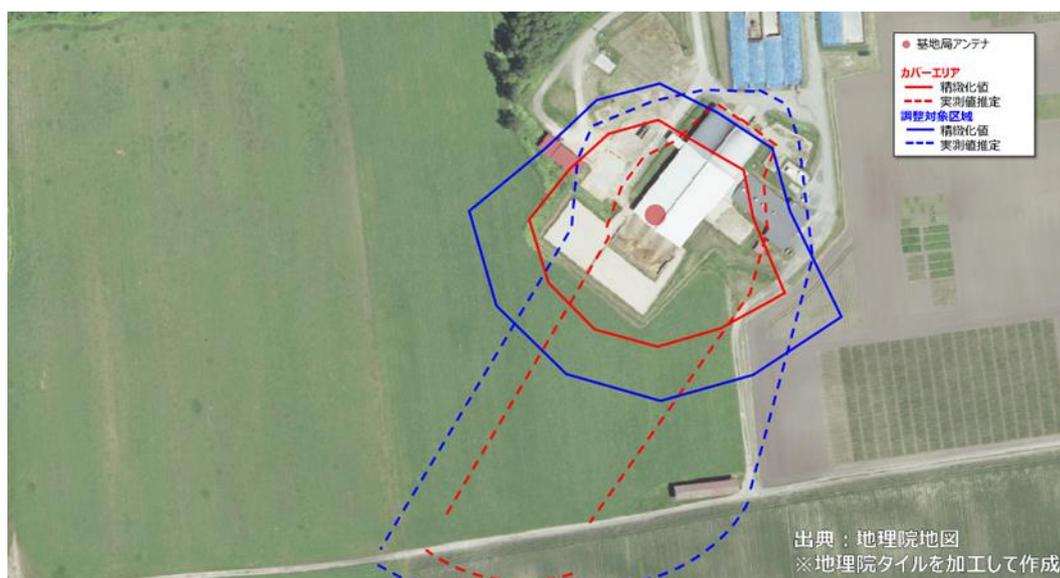


図 3.3.2.5-8(a) 精緻化エリア図と実測値推定エリア図との比較：牛舎側基地局

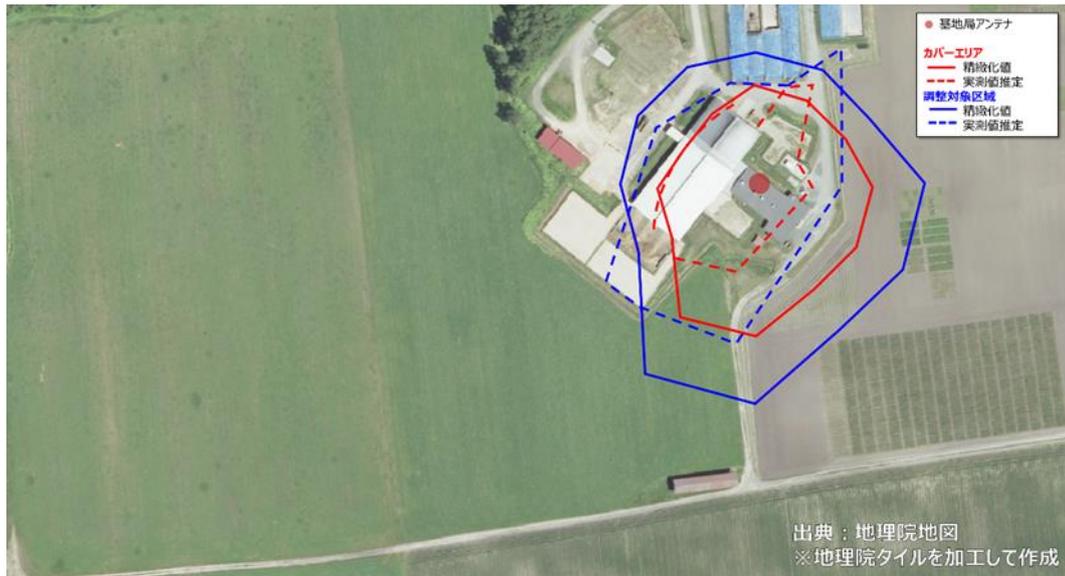


図 3.3.2.5-8(b) 精緻化エリア図と実測値推定エリア図との比較：牛待機室側基地局

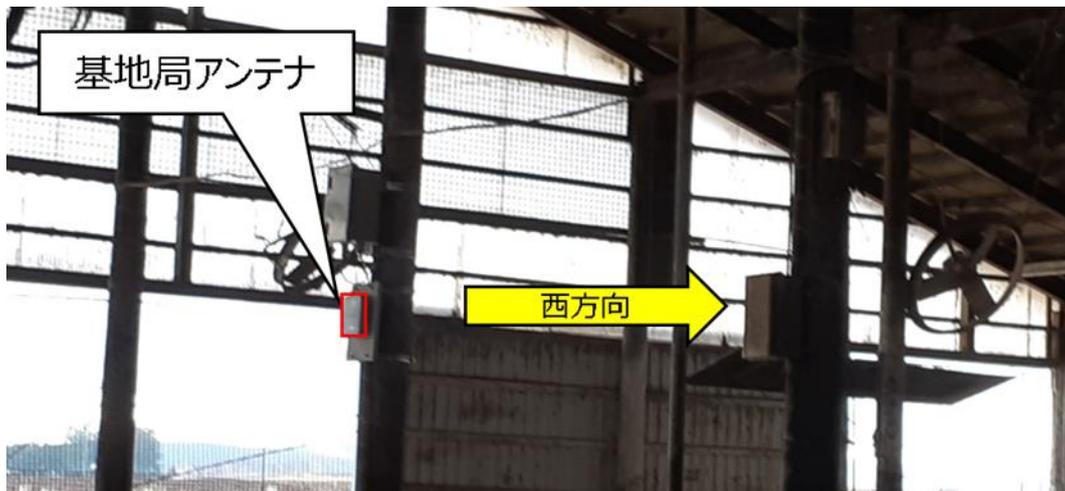


図 3.3.2.5-9 牛舎側基地局アンテナの設置状況

(7) 技術的課題の解決方策

今回の実証では、牛舎環境に置局したオムニ指向性のアンテナ 2 局を活用し、牛舎環境におけるエリア算出法パラメータ R 値と S 値の精緻化を実施した。その結果 R 値においては一般的な壁面と比較して大幅に小さな値となった。また、 S 値においても基地局からの方向により建物占有面積率が異なる場合は、方位ごとの伝搬モデルの適用が有効であることが分かった。

これらの結果から、自己土地外への電波漏洩の観点では、前述した通り、牛舎内においては開放的な環境であることと、開口部の多い壁面構造であることから、建物外への漏洩電力が一般的な建物と比べて強い傾向となる。その場合、他者土地にて他のローカル 5G システムが運用される場合は互いに干渉調整が必要となることから、サービスエリア内のカバレッジを十分とりつつ、できる限り調整対象区域を抑える置局設計が求められる。

本実証ではオムニ指向性のアンテナを壁面近くに配置したが、牛舎の開口部が広い壁面からの電波漏洩が強く出ているため、オムニ指向性のアンテナを用いる場合は、できるだけ壁面から離れた屋内中心での置局が望ましいと考えられる。

また、セクタ指向性のアンテナを用いて壁面方向もしくは、他のローカル 5G システムが運用される方向は、バックローブとなるような置局設計も有効であると考えられる。

3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

「本テーマには取り組まない」

3.3.3.1 実証の目的・目標

- (1) 背景となる技術的課題と実証目的
- (2) 実証目標

3.3.3.2 実証仮説

3.3.3.3 評価・検証項目

3.3.3.4 評価・検証方法

3.3.3.5 実証結果及び考察

3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発

3.3.4.1 実証の目的・目標

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

ローカル 5G 利用環境下においては、さまざまな地域が抱える課題を解決するためにユーザユニークな通信性能が要求される。特に、需要が高いのが TDD の特徴の 1 つである非同期通信に対するニーズである。しかし、非同期通信を実施した場合、周辺の他のキャリア 5G やローカル 5G システムとの間で有害な干渉問題が発生する可能性がある。そのため、総務省情報通信審議会では、キャリア 5G の TDD パターンとタイミングを一致させたまま上り/下りスロットのみを一部変更したパターン（準同期 TDD）の検討が行われており、令和 2 年 12 月には図 3.3.4.1-1 に示す、準同期 TDD1（以下、「制度化済準同期パターン」とする）が追加された。

農業分野における課題実証では、“フリーストール牛舎内でローカル 5G を用いた画像解析や映像伝送により個体の異常検知や位置検索、外部専門家への迅速な相談を実現し、個体管理作業の効率化”を目的としており、超高精細画像や動画のアップロードかつ高いセキュリティを有する閉域ネットワークを活用した地域医療ネットワーク（遠隔指導、リアルタイムモニタリング）の構築が期待されている。そのため、図 3.3.4.1-1 の追加例に示すような更に多くの上りスロットを割り当てた準同期 TDD2,3 の追加パターン（以下、「追加準同期パターン」とする）が必要となると考えられる。

また、4.7GHz 帯の隣接帯域には、携帯電話事業者のキャリア 5G バンドが存在しており、隣接帯域で運用しているキャリア 5G システムが運用されている可能性が高い。このような環境で、ローカル 5G 事業者が、準同期運用において、所望するローカル 5G 性能を得るためには、隣接 CH となるキャリア 5G や隣接もしくは同一 CH となるローカル 5G との間で、必要となる離隔距離、ガードバンド等を事前に把握し、回線設計や、システム設計に反映しておくことが望ましい。

スロット番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
同期 (TDD)	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D
制度化済準同期 (TDD1)	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U
追加準同期 (TDD2)	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U
追加準同期 (TDD3)	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U

追加例

※D:下りスロット、U:上りスロット、S: DからUへの切り替え期間を含む特別スロット

図 3.3.4.1-1 準同期 TDD 追加パターンの例⁵

(2) 実証目標

準同期 TDD の追加パターンの実証においては、3GPP における 5G 標準規格や、実際の装置インプリ状況等を勘案して、実証対象とするべき追加パターンを選択する必要がある。

⁵ https://www.soumu.go.jp/main_content/000745726.pdf

今回の実証においては、チップベンダ及び本実証においてローカル 5G 装置を提供する APRESIA Systems 株式会社との協議を踏まえ、現時点で動作可能と考えられる追加パターン（図 3.3.4.1-1 に示す準同期 TDD2 パターン）を実証対象とした。

3.3.4.2 実証仮説

農業を含め様々な分野においては、図 3.3.3.2-1 に示すような携帯電話事業者の運用するキャリア 5G や地域自治体及び一般企業等が運用するローカル 5G が、サービスエリアを近接もしくは重複して展開している可能性が高い。そのようなエリア内にローカル 5G を新たに導入する場合、キャリア 5G もしくは他事業者が運用するローカル 5G に有害な干渉問題を起こすことなく共存することが必要不可欠である。

4.7GHz 帯においては、4600~4900MHz 帯がローカル 5G 用に割当てられているが、屋外でも運用可能な帯域は、4800~4900MHz 帯だけである。農地におけるユースケースでは、屋外運用が前提となることが多いと考えられるため、他のローカル 5G 事業者とは同一 CH（4800~4900MHz）同士で運用するケースが多くなると想定される。

実証仮説では、ローカル 5G 性能に最も影響が有ると考えられる、近隣で同一 CH 運用される同期パターンと追加準同期パターン（準同期 TDD2 パターン）について、共用条件と伝送スループット性能について机上検討で確認する（図 3.3.3.2-2 参照）。

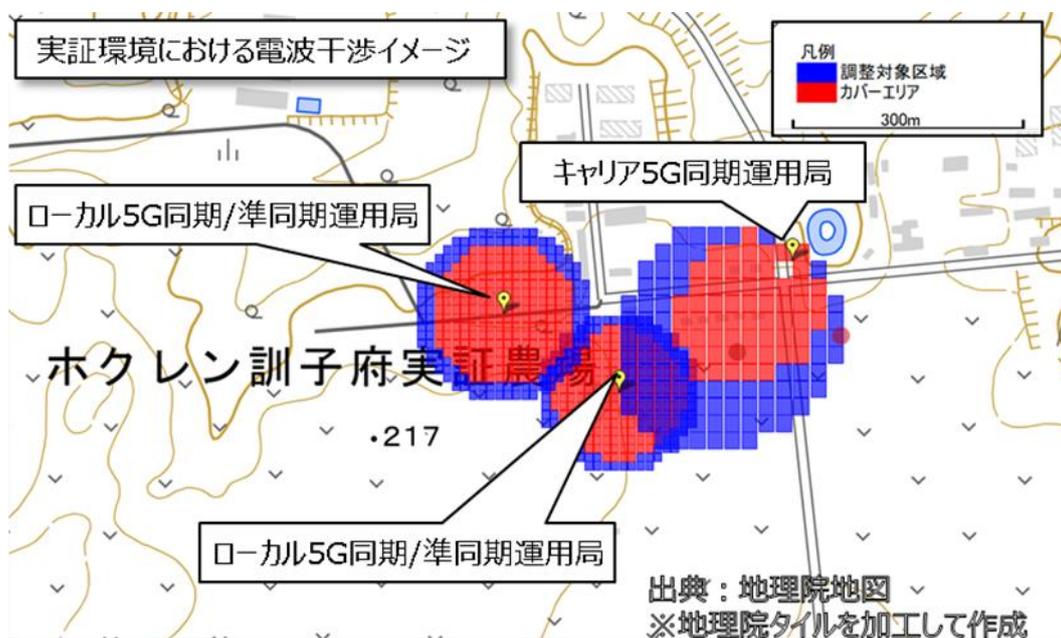
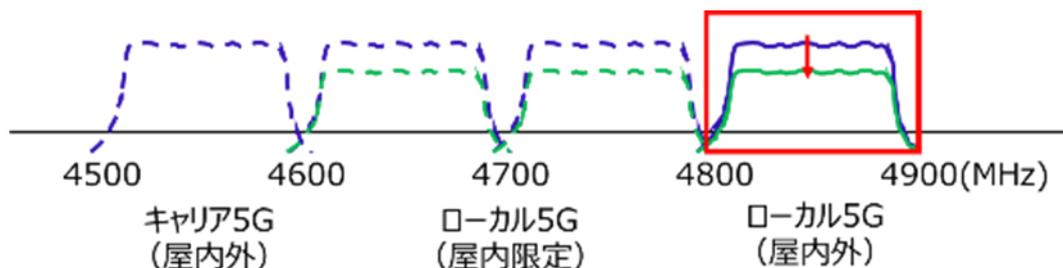


図 3.3.4.2-1 隣接もしくは同一 CH において複数の異なる 5G システムが運用される場合のサービスエリアイメージ



※レベルの差分に意図は無し

図 3.3.4.2-2 検討対象とするローカル 5G 運用 CH (実線)
(同期：青、準同期：緑)

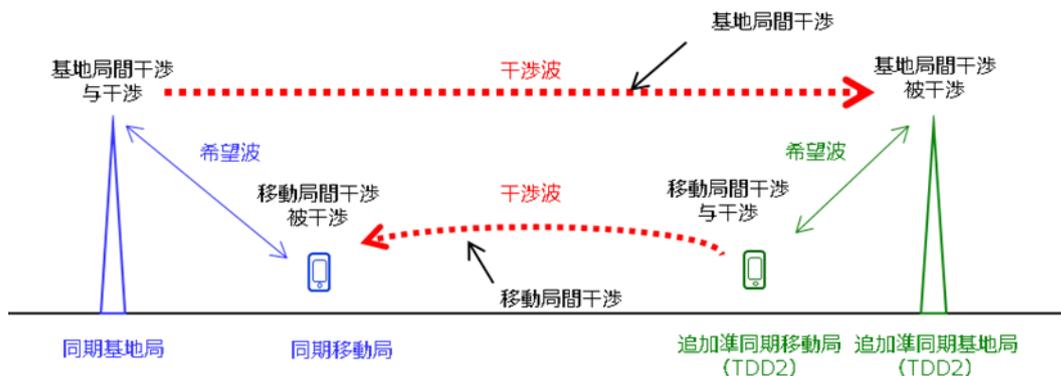
< 机上検討の前提条件 >

前述した情報通信審議会報告書によると、ローカル 5G システムを準同期で運用する場合は、準同期局は同期局に対し有害な混信を与えてはならず、逆に準同期局が同期局から有害な混信を受ける場合においても容認するものとし、同期局に保護を求めてはならないとされている。ここで、準同期システムからの与干渉シナリオは、準同期移動局から同期移動局への移動局間干渉であり、準同期システムの被干渉シナリオは、同期基地局から準同期基地局への基地局間干渉である。(図 3.3.4.2-3 参照)

従って、準同期移動局は、移動局間干渉が発生しない十分な離隔距離を確保した上での運用が必須となるものの、準同期基地局については、同期基地局へ近接しても、自らの運用への影響を気にしなければ、ルール上の問題は生じないことになる。しかし、現実には、準同期基地局は近接する同期基地局からの干渉影響を受けるため、所望の通信性能を得るために必要となる現実的な同期基地局との離隔距離を確保しなければならないことが想定される。

そのため、本実証仮説においては、基地局間干渉下における所要離隔距離を共用条件として検討する。

さらに、当該共用条件下において、準同期システムがどの程度のローカル 5G 性能を確保できるかについては、準同期システムの上り伝送スループットについて机上にて検討することとする。



スロット番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
同期 (TDD)	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D
追加準同期 (TDD2)	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U
干渉発生期間 (黄色部分)																				

図 3.3.4.2-3 同期/非同期区間における干渉影響パターン

● 共用条件の仮説

机上検討に用いる基地局諸元を表 3.3.4.2-1 に示す。なお、基地局諸元は本技術実証で使用する装置を記載している。同期運用システムと準同期運用システムの諸元は同一とする。ここで、情報通信審議会の手法 (1 対 1 正対モデル) を用いて、基地局間干渉における基地局間距離による所要改善量を検討する。

表 3.3.4.2-1 基地局の机上検討パラメータ等

項目	基地局	移動局	備考
周波数 (MHz)	4850	4850	
帯域幅 (MHz)	100	100	
アンテナ高 (m)	3.4	1.5	
アンテナ利得 (dBi)	5	2.3	基地局、移動局共にオムニ
伝送路損失 (dB)	0	0	
人体吸収損 (dB)	0	8	移動局側は人体損考慮
送信電力 (dBm)	0	23	
電力密度 (dBm/MHz)	-15	5.3	
雑音レベル (dBm/MHz)	-104		I/N=-6dB 時の 帯域内許容干渉電力=-110dBm/MHz から算出

表 3.3.4.2-2 に基地局間干渉における共用検討結果を示す。4.7GHz 帯ローカル 5G システムのカバーエリアは、高々数百 m 程度と考えられるため、基地局間距離を 20~200m まで 20m 間隔で配置した場合について検討を行った。検討結果によれば、141m 以上の基地局間距離を確保すれば、準同期システム側は同期システムからの影響を受けることなく運用することが可能と考えられる。

しかし、上述したように、ローカル 5G の運用ルールにおいては、準同期システム側は、同期システムに影響を与えなければ、より近接した状況でも運用可能である。今回、

検討している基地局間干渉状況下では、準同期基地局が同期基地局へ影響を与える状況は、原理的に発生しないので、どこまで近接できるかは、準同期システム側が、どの程度の干渉影響を許容するか、ということにゆだねられるはずである。

一般的に、情報通信審議会における共用検討で用いている被干渉閾値は、通信ができなくなる限界のレベルを規定しているわけではなく、被干渉側のマージンをある程度見込んだ閾値となっている。従って、想定される所要離隔距離よりも近接したとしても、準同期システム側で想定するローカル 5G 性能が確保できる可能性は否定できないと考えられる。

● 共用条件下におけるローカル 5G 性能の仮説

ここでは、上述した所要離隔距離よりも近接した場合に、準同期システム側のローカル 5G 性能がどの程度劣化していくかについて、理論式を用いて机上検討する。ここで検討対象とするのは、準同期システムの上り伝送スループットである。

準同期システムの上り伝送スループットは、準同期基地局で受信される希望波（準同期移動局からの信号電力）と干渉波（同期基地局からの信号電力）の比（SINR）を用いて、シャノンの定理から求めることができる¹³。また、SINR は、与干渉局と被干渉局間の距離により変動するので、基地局間距離をパラメータに、準同期システム上りスループットの変化を検討することができる。ただし、ここでは、検討を簡単にするため、電波伝搬式は自由空間とする。

ただし、本計算で得られる上り伝送スループット推定値は、再送制御や MIMO の影響を考慮していないので、実際の伝送スループットと全く同じではないことに留意する必要がある。

表 3.3.4.2-2 Parameters describing baseline Link Level performance for 5G

Parameter	DL	UL	Notes
α	0.6	0.4	Represents implementation losses
$SINR_{MIN}$, dB	-10	-10	Based on QPSK, 1/8 rate (DL) & 1/5 rate (UL)
$SINR_{MAX}$, dB	30	22	Based on 256QAM 0.93(DL) & 64QAM 0.93 (UL)

$$Throughput(SINR), bps/Hz = \begin{cases} 0 & \text{for } SINR < SINR_{MIN} \\ \alpha \cdot S(SINR) & \text{for } SINR_{MIN} \leq SINR < SINR_{MAX} \\ \alpha \cdot S(SINR_{MAX}) & \text{for } SINR \geq SINR_{MAX} \end{cases}$$

ここで、

- S(SINR) Shannon bound, $S(SINR) = \log_2(1 + 10^{(SINR/10)})$ [bps/Hz];
- α Attenuation factor, representing implementation losses;
- $SINR_{MIN}$ Minimum SINR of the code set, dB;
- $SINR_{MAX}$ Maximum SINR of the code set, dB.

シャノンの定理から算出した上り伝送スループットと SINR の関係を図 3.3.4.2-5 に示す。なお、帯域幅は 100MHz 幅における追加準同期パターン (TDD2) のスロット比率から、UL50%とし上記の式に 50MHz 幅を乗算している。

そのため、上り伝送スループットのターゲットを 100Mbps 程度とすると、図 3.3.4.2-5 と上述した共用検討結果 (表 3.3.4.2-2) より、基地局間距離は、概ね 20m まで近接することが出来ると考えられる。

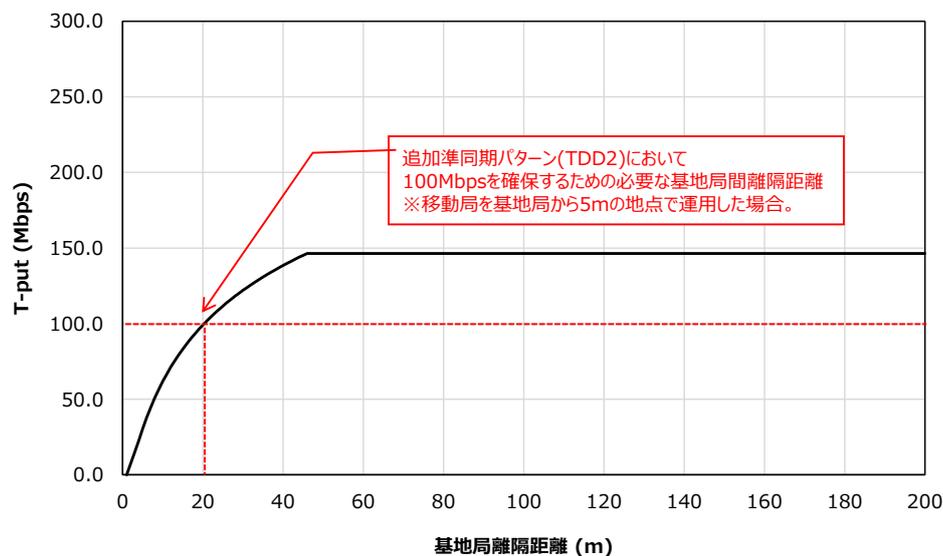


図 3.3.4.2-5 基地局間距離と伝送スループットの関係

3.3.4.3 評価・検証項目

本技術実証では、追加準同期パターンを対象として、周辺環境においてローカル 5G システム (同期パターン and/or 制度化準同期パターン) が運用されている実証環境を前提に、所望の通信品質を確保可能な運用条件 (所要改善量、所要離隔距離等) を評価する。

3.3.4.4 評価・検証方法

<共用検討シミュレーション>

共用検討シミュレーションについては、下記の流れで進めていくこととする。

ステップ 1: 共用検討を実施する干渉パターンの整理

ステップ 2: 実機での測定前のシミュレーションの実施 (机上検討)

ステップ 3: 実機での測定後のシミュレーションの実施 (机上検討)

(1) 共用検討を実施する干渉パターンの整理 (ステップ 1)

ここでは、追加準同期パターンを対象として、周辺環境においてローカル 5G システム (同期パターン and/or 制度化準同期パターン) が同一 CH にて運用されている実証環境を対象として共用検討を実施する。このような環境の場合、生じる干渉は、同期基地局/

制度化済準同期パターン基地局から追加準同期パターン基地局への基地局間干渉と、追加準同期パターン移動局から同期端末/制度化済準同期パターン移動局への移動局間干渉のみとなる（図 3.3.4.4-1¹⁴ 参照）。

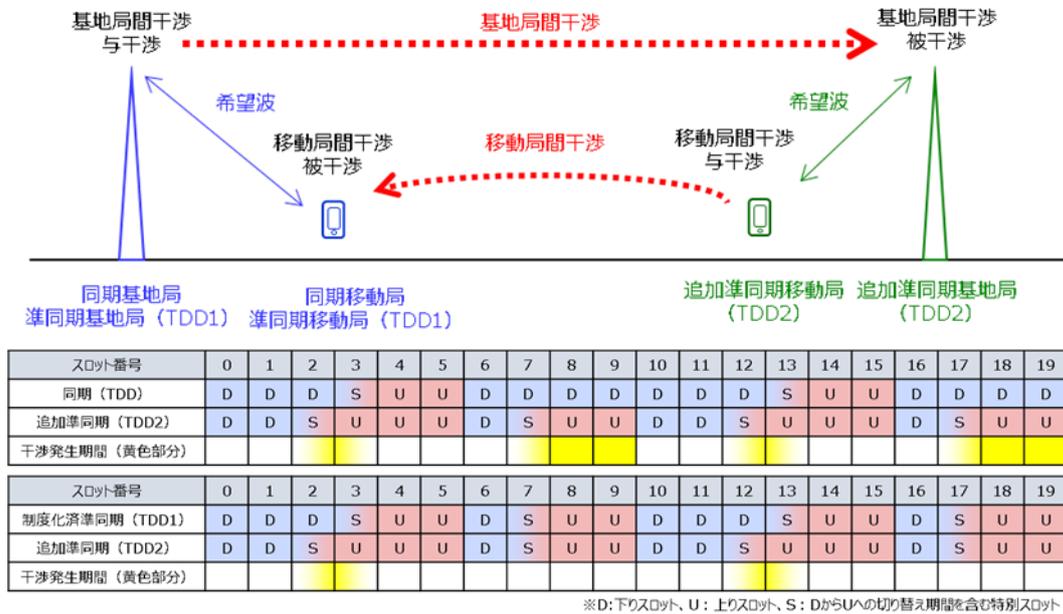


図 3.3.4.4-1 同期/非同期区間における干渉影響パターン

表 3.3.4.4-1 にて同期/非同期区間における干渉評価のパターンを整理している。本検討においては下記評価パターンにおいて共用検討を実施していくこととする。

- ①：同期基地局 (TDD) から追加準同期基地局 (TDD2) への基地局間干渉評価
- ②：追加準同期移動局 (TDD2) から同期移動局 (TDD) への移動局間干渉評価
- ③：制度化済基地局 (TDD1) から追加準同期基地局 (TDD2) への基地局間干渉評価
- ④：追加準同期移動局 (TDD2) から制度化済準同期移動局 (TDD1) への移動局間干渉評価

表 3.3.4.4-1 同期/非同期区間における干渉評価パターン

			与干渉					
			同期 (TDD)		制度化済準同期 (TDD1)		追加準同期 (TDD2)	
			基地局	移動局	基地局	移動局	基地局	移動局
被干渉	同期 (TDD)	基地局	検討対象外		検討対象外		検討対象外	
		移動局	検討対象外		検討対象外		②	
	制度化済準同期 (TDD1)	基地局	検討対象外		検討対象外		検討対象外	
		移動局	検討対象外		検討対象外		④	
追加準同期 (TDD2)	基地局	①	検討対象外		③	検討対象外		
	移動局	検討対象外		検討対象外		検討対象外		

(2) 実機での測定前のシミュレーションの実施 (ステップ 2)

仕様書の規定に従い、情報通信審議会と同じ手法 (1対1対向モデル、確率計算モデル)、パラメータでシミュレーションを実施する。

表 3.3.4.4-2 及び図 3.3.4.4-2~3 に検討する干渉シナリオを示す。

なお、図 3.3.4.4-2~3 では、表 3.3.4.4-2 干渉シナリオ 1 (①基地局間干渉、②移動局間干渉) を図示しているが、その他シナリオにおいても同期スロットのパターンのみが異なるだけでシナリオは同じであるため、省略する。

表 3.3.4.4-2 1 対 1 対向モデルの干渉シナリオ

#	干渉シナリオ	検討手法	共用検討パラメータ概要
1	①同期基地局 (TDD) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	<ul style="list-style-type: none"> 無線局パラメータ: 情通審 伝搬モデル: 自由空間 1対1計算時の離隔距離: 基地局間3m, 移動局間1m 確率計算モデル: 半径100m, 保護エリア無し, 移動局数を可変として計算。干渉確率3%以下で評価
	②追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 同期移動局 (TDD)	1対1 & 確率計算	
	③制度化済準同期基地局 (TDD1) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	
	④追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 制度化済準同期移動局 (TDD1)	1対1 & 確率計算	
2	①同期基地局 (TDD) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	<ul style="list-style-type: none"> 無線局パラメータ: 情通審, ただし, 基地局送信電力, 移動局送信電力累積分布を実測値に置き換える 伝搬モデル: 自由空間 1対1計算時の離隔距離: 基地局間3m, 移動局間1m 確率計算モデル: 半径100m, 保護エリア無し, 移動局数を可変として計算。干渉確率3%以下で評価
	②追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 同期移動局 (TDD)	1対1 & 確率計算	
	③制度化済準同期基地局 (TDD1) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	
	④追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 制度化済準同期移動局 (TDD1)	1対1 & 確率計算	
3	①同期基地局 (TDD) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	<ul style="list-style-type: none"> 無線局パラメータ: 実証実験で用いた実機のスペックを使用 (移動局送信電力累積分布も実測値を使用) 伝搬モデル: 自由空間 1対1計算時の離隔距離: 基地局間3m, 移動局間1m 確率計算モデル: 半径100m, 保護エリア無し, 移動局数を可変として計算。干渉確率3%以下で評価
	②追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 同期移動局 (TDD)	1対1 & 確率計算	
	③制度化済準同期基地局 (TDD1) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	
	④追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 制度化済準同期移動局 (TDD1)	1対1 & 確率計算	

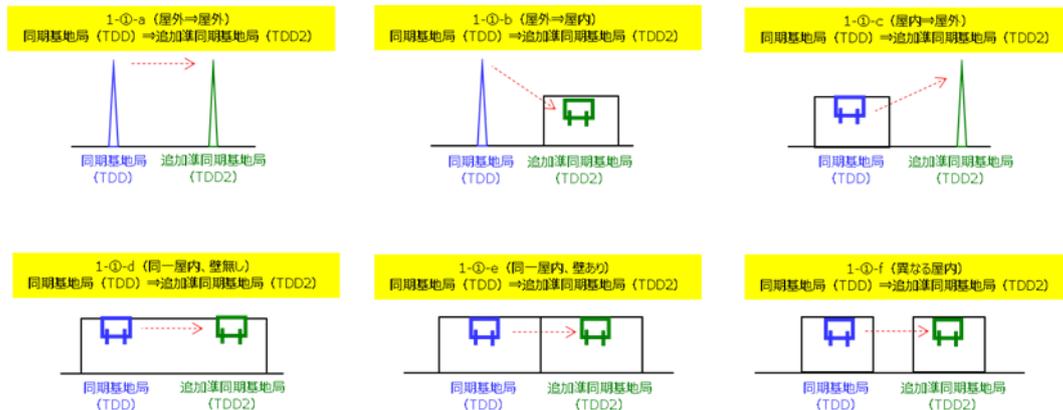


図 3.3.4.4-2 1 対 1 対向モデルの基地局間干渉シナリオ

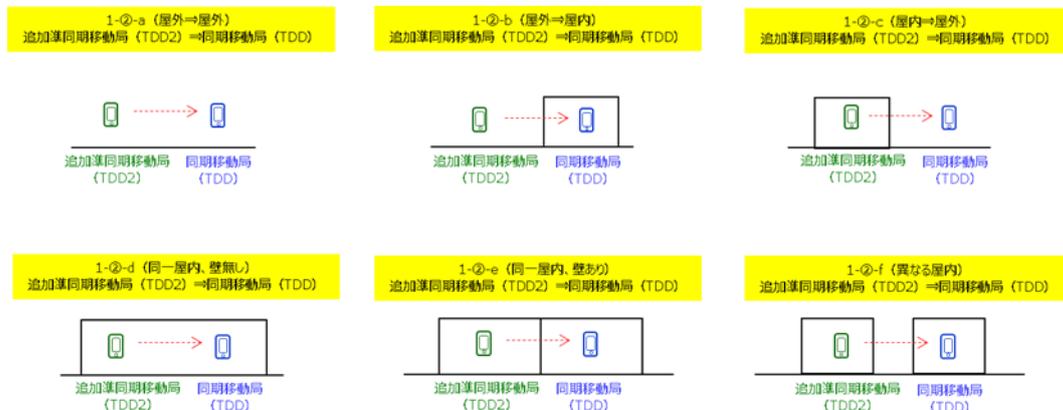


図 3.3.4.4-3 1対1対向モデルの移動局間干渉シナリオ

表 3.3.4.4-3~4 及び図 3.3.4.4-4 に各手法における設定を、表 3.3.4.4-5~6 及び図 3.3.4.4-5~6 にパラメータを示す。

表 3.3.4.4-3 1対1対向モデルの設定

項目	基地局間干渉	移動局間干渉
電波伝搬式	自由空間伝搬	
検討モデル	正対モデル	
水平離隔距離	3m	1m
考慮する損失	0dB	8dB (人体吸収損)

表 3.3.4.4-4 確率計算モデルの設定

項目	設定値
計算ソフトウェア	SEAMCAT 5.4.1
試行回数	2 万回
検討エリア半径	100m
保護エリア半径	-
移動局台数	可変値とした
移動局高度	1.5m
干渉確立	3%以下 (累積 97%値で許容干渉レベル以下)
伝搬モデル	自由空間伝搬
考慮する損失	8dB (人体吸収損)

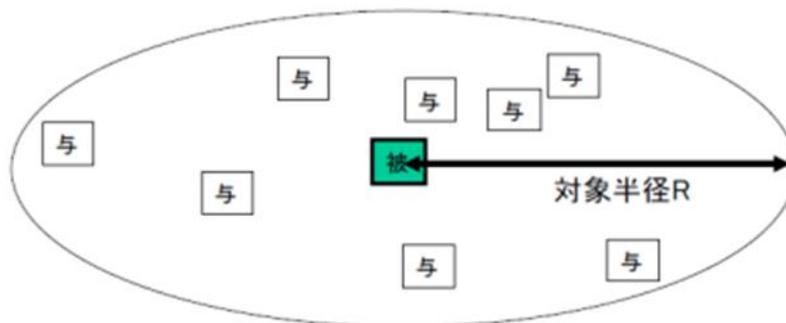


図 3.3.4.4-4 モンテカルロシミュレーションの計算モデル

表 3.3.3.4-5 基地局の共用検討パラメータ等

項目	マクロセル設定値	スモールセル設定値	屋内設定値
中心周波数(MHz)	4850		
送信帯域幅(MHz)	100		
空中線電力 (dBm/MHz)	28	5	0

空中線利得(dBi)	23	23	-20
給電線損失(dB)	3	3	0
等価等方輻射電力 EIRP (dBm/MHz)	48	25	-20
空中線指向特性 (水平、垂直)	図 3.3.4.4-5(a)	図 3.3.4.4-5(b)	図 3.3.4.4-5(c)
機械チルト(度)	6	10	90
空中線高(m)	40	10	5
隣接チャネル漏洩電力	[情通審のパラメータ] -4dBm/MHz (マクロセル) の高い値 -16dBm/MHz (スモールセル/屋内) の高い値 または下記 -44.2dBc (チャネル帯域幅 MHz 離調) -44.2dBc (2×チャネル帯域幅 MHz 離調) ※参照帯域幅は当該チャネル帯域幅の最大実効帯域幅		
スプリアス領域における 不要輻射の強度	-4dBm/100kHz (30MHz-1GHz) -4dBm/MHz (1GHz 以上) ※周波数帯の端から 40MHz 以上の範囲に適用		
許容干渉電力 帯域内干渉 (dBm/MHz)	-115dBm/MHz (I/N=-6dB、 NF=5dB)	-110dBm/MHz (I/N=-6dB、NF=10dB)	
許容干渉電力 帯域外干渉(dBm)	-52dBm (隣接 20MHz 幅) -43dBm (上記以 外)	-47dBm (隣接 20MHz 幅) -38dBm (上記以外)	

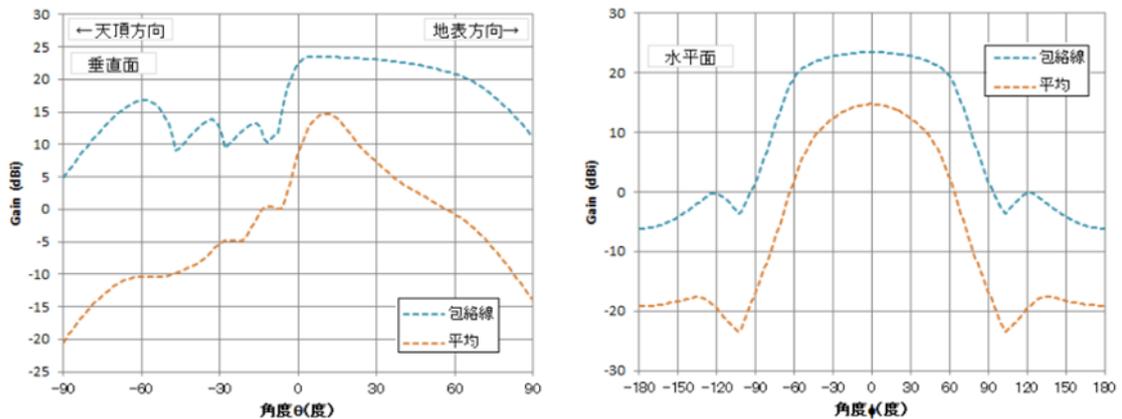


図 3.3.4.4-5(a) 基地局の空中線指向性特性 (マクロセル)
(干渉検討では、最大パターンを利用)

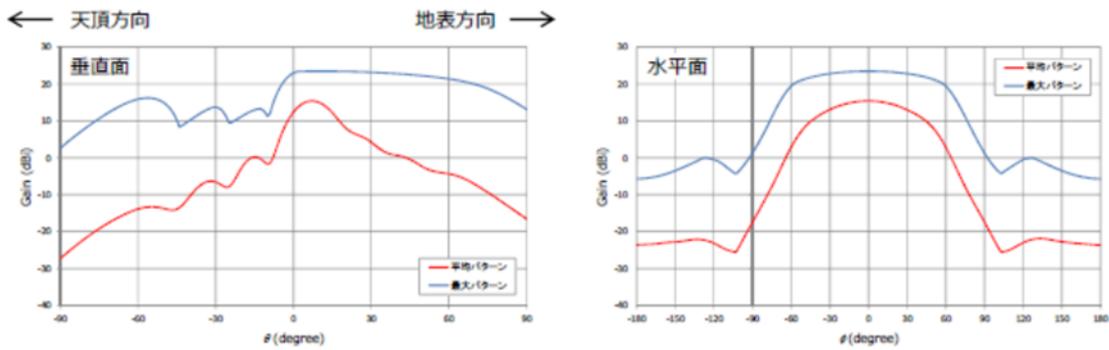


図 3.3.4.4-5(b) 基地局の空中線指向性特性（スモールセル）
（干渉検討では、最大パターンを利用）

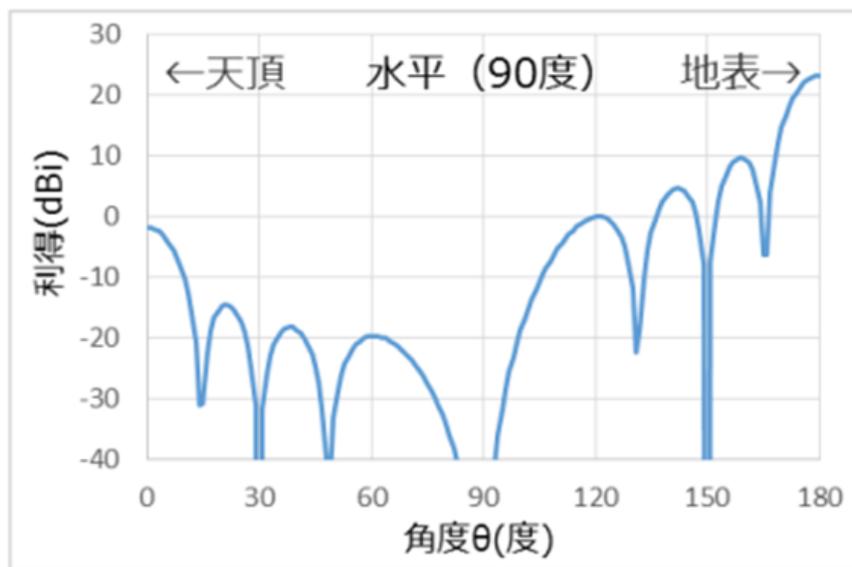


図 3.3.4.4-5(c) 基地局の空中線指向性特性（屋内）

表 3.3.4.3-6 移動局の共用検討パラメータ等

項目	設定値
中心周波数	4850MHz
送信帯域幅	100MHz
空中線電力	23dBm
空中線利得	0dBi
給電線損失	0dB
空中線指向特性	無指向性
空中線高	1.5m
隣接チャンネル漏洩電力	下記または-50dBm/3.84MHz の高い値 -33DBc (チャンネル帯域幅/2+2.5MHz 離調) -33DBc (チャンネル帯域幅/2+7.5MHz 離調) 下記または-50dBm/チャンネル帯域幅 MHz の 高い値 -30dBc (チャンネル帯域幅 MHz 離調)

スプリアス領域における 不要輻射の強度	-36dBm/1kHz (9kHz-150kHz) -36dBm/10kHz (150kHz-30MHz) -36dBm/100kHz (30MHz-1GHz) -30dBm/MHz (1GHz 以上)
その他損失	8dB (人体吸収損)
許容干渉電力 (帯域内干渉)	-110dBm/MHz (I/N=-6dB、NF=10dB)
許容干渉電力 (帯域外干渉)	-47dBm (隣接 20MHz 幅) -38dBm (上記以外)
移動局の送信電力分布	図 3.3.4.4-6

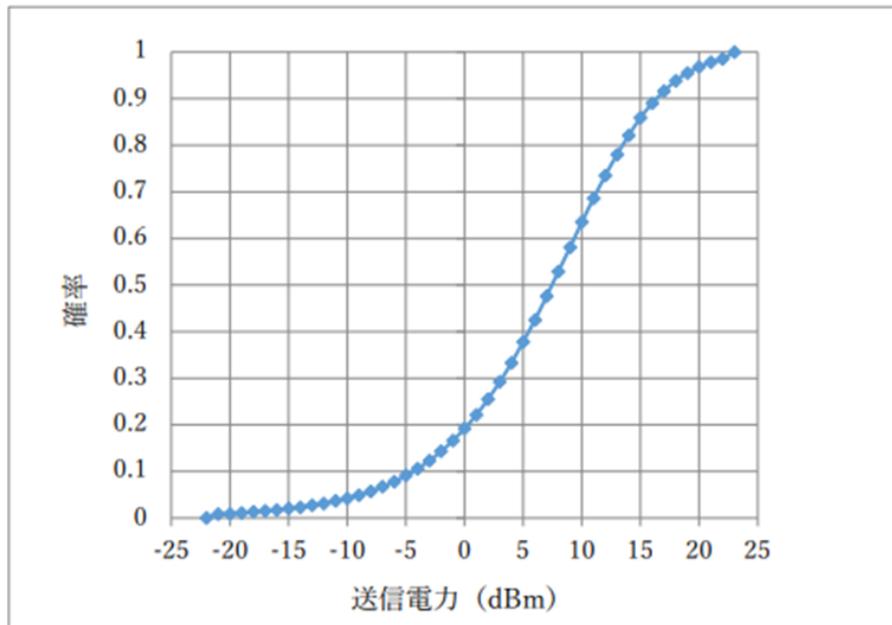


図 3.3.4.4-6 移動局の送信電力分布 (情通審)

(3) 実機での測定後のシミュレーションの実施 (ステップ 3)

仕様書の規定に従い (2) の条件において、移動局の送信電力分布について実測値を用いてシミュレーションを行う。

なお、本検討は同一 CH のみを対象としているため、基地局の送信スペクトラムマスクではなく、帯域内の最大電力値を用いて、最悪値条件にて評価することとする。

図 3.3.4.4-7 に実測値での移動局の送信電力分布を示す。

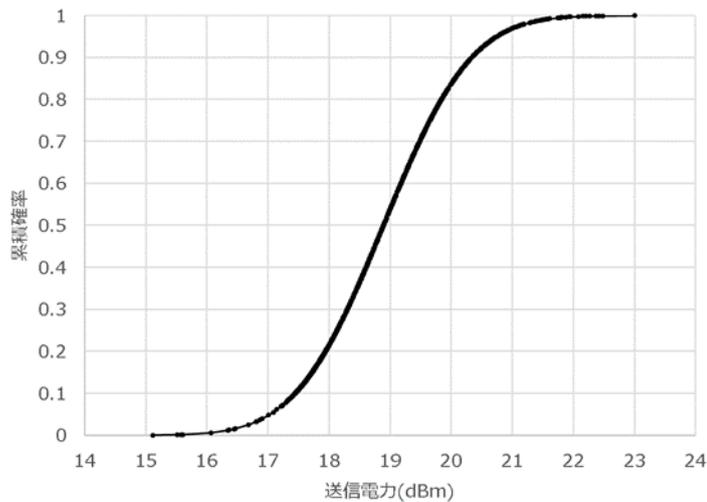


図 3.3.4.4-7 移動局の送信電力分布（実力値）

● 測定

同期パターン及び追加準同期パターンを具備した実機を用いた共用条件下での各種測定については、後に示す 3.3.6 章の技術実証における追加提案で記載する。

● 分析・考察

➤ 与干渉の分析・考察

仕様書の規定に従い、情報通信審議会の干渉検討を参考に、与干渉量、所要改善量、所要離隔距離を表に取りまとめる。

➤ 被干渉の分析・考察

仕様書の規定に従い、与干渉局からの距離を変数とした際の無線区間の伝送性能（スループット等）を取りまとめ、共用条件下でユースケースの所要性能が達成可能か評価する。達成できない場合は、達成するために必要な方策を考察する。

所望の通信品質を確保可能な運用条件（所要改善量、所要離隔距離等）を評価するため、3.3.3.2 章の実証仮説では、準同期基地局で受信される希望波（準同期移動局からの信号電力）と干渉波（同期基地局からの信号電力）の比（SINR）から、基地局間距離をパラメータとした、準同期システム上りスループットの変動結果について仮説を立てた。その際、移動局の位置は準同期基地局近傍で固定としたうえで、共用条件を示している。

ここでは、移動局からの距離の変化に応じた特性を評価するため、基地局間距離をいくつかの値で固定した上で、準同期システムの基地局～移動局間距離をパラメータとした、準同期システム上りスループットについて検討する（図 3.3.4.4-8 参照）。

具体的には、机上検討に用いる基地局諸元は 3.3.3.2 章の実証仮説と同一とし、情報通信審議会の手法（1 対 1 正対モデル）を用いて、基地局間距離を 20~200m まで 20m 間隔で配置した場合について、基地局間干渉下における上りスループットの変化を、準同期基地局～準同期移動局間距離をパラメータに評価する。

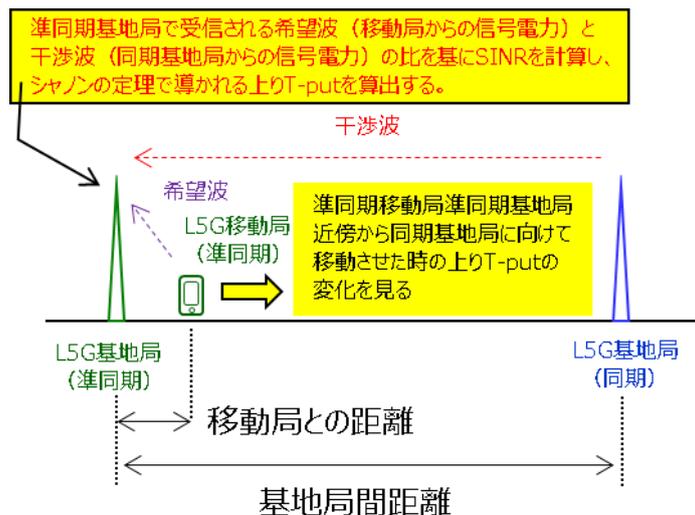


図 3.3.4.4-8 基地局間干渉下における準同期運用システム性能の評価イメージ

3.3.4.5 実証結果及び考察

本章では 3.3.3.4 章での与干渉の分析・考察結果を基地局間干渉、移動局干渉ごとに取りまとめ、同期運用/制度化済準同期運用と追加準同期運用の共用条件を策定する。

表 3.3.4.4-2 1 対 1 対向モデルの干渉シナリオ（再掲）

#	干渉シナリオ	検討手法	共用検討パラメータ概要
1	①同期基地局 (TDD) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	<ul style="list-style-type: none"> 無線局パラメータ：情通審 伝搬モデル：自由空間 1対1計算時の離隔距離：基地局間3m、移動局間1m 確率計算モデル：半径100m、保護エリア無し、移動局数を可変として計算。干渉確率3%以下で評価
	②追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 同期移動局 (TDD)	1対1 & 確率計算	
	③制度化済準同期基地局 (TDD1) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	
	④追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 制度化済準同期移動局 (TDD1)	1対1 & 確率計算	
2	①同期基地局 (TDD) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	<ul style="list-style-type: none"> 無線局パラメータ：情通審、ただし、基地局送信電力、移動局送信電力累積分布を実測値に置き換える 伝搬モデル：自由空間 1対1計算時の離隔距離：基地局間3m、移動局間1m 確率計算モデル：半径100m、保護エリア無し、移動局数を可変として計算。干渉確率3%以下で評価
	②追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 同期移動局 (TDD)	1対1 & 確率計算	
	③制度化済準同期基地局 (TDD1) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	
	④追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 制度化済準同期移動局 (TDD1)	1対1 & 確率計算	
3	①同期基地局 (TDD) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	<ul style="list-style-type: none"> 無線局パラメータ：実証実験で用いた実機のスペックを使用（移動局送信電力累積分布も実測値を使用） 伝搬モデル：自由空間 1対1計算時の離隔距離：基地局間3m、移動局間1m 確率計算モデル：半径100m、保護エリア無し、移動局数を可変として計算。干渉確率3%以下で評価
	②追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 同期移動局 (TDD)	1対1 & 確率計算	
	③制度化済準同期基地局 (TDD1) ⇒ 追加準同期基地局 (TDD2)	1対1	
	④追加準同期移動局 (TDD2) ⇒ 制度化済準同期移動局 (TDD1)	1対1 & 確率計算	

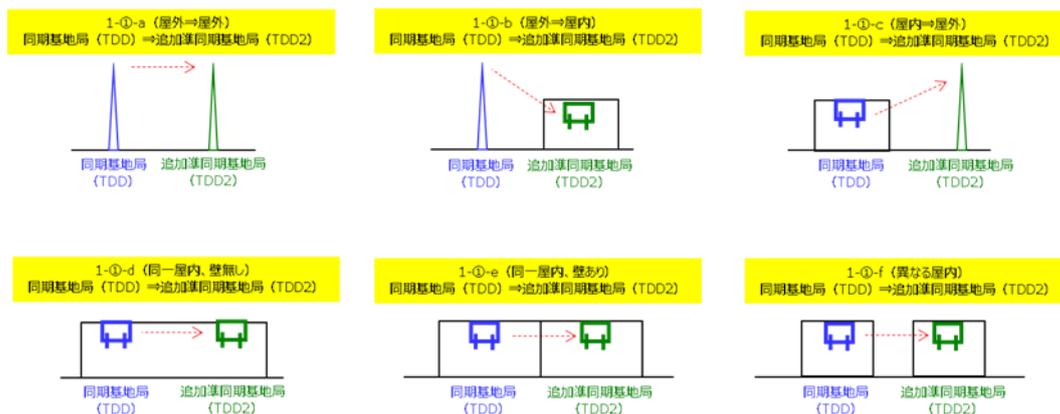


図 3.3.4.4-2 1 対 1 対向モデルの基地局間干渉シナリオ (再掲)

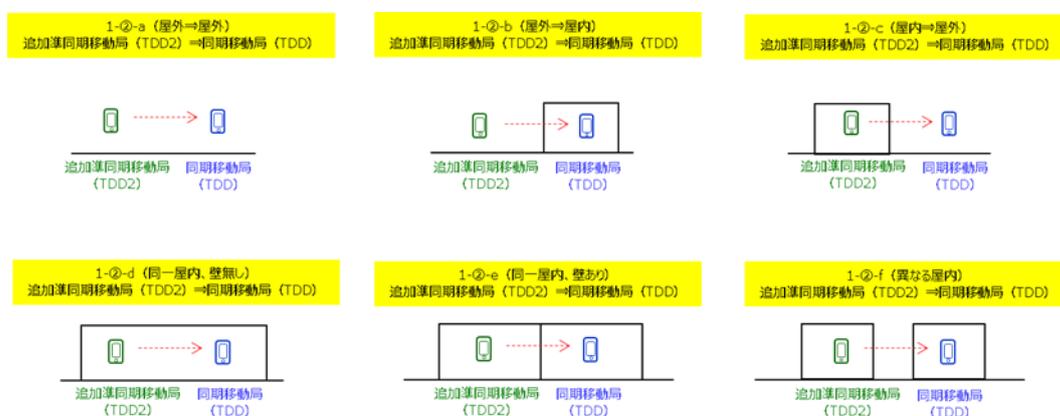


図 3.3.4.4-3 1 対 1 対向モデルの移動局間干渉シナリオ (再掲)

(1) 基地局間干渉シナリオ

基地局間干渉シナリオでは、同一 CH において、同期基地局 (TDD) もしくは制度化済準同期基地局 (TDD1) で運用されているローカル 5G 基地局から、追加準同期基地局 (TDD2) で運用されているローカル 5G 基地局への干渉影響を 1 対 1 対向モデルで検討する。互いのアンテナは正対している前提とし、結合損が最小となる離隔距離で計算している。

また、計算諸元は 3.3.4.4 章に示す情通審パラメータと、実証で用いる実機パラメータ (表 3.3.4.2-1) を用いている。

表 3.3.4.5-1 に、基地局間干渉シナリオにおける情通審パラメータを用いた共用計算結果 (1 対 1 対向モデル) を示す。計算結果からは、以下のことがわかる。

- 屋外のローカル 5G 基地局同士が共存する場合
 - 見通し外での運用が必要である
- 屋外のローカル 5G 基地局と屋内のローカル 5G 基地局が共存する場合
 - 屋外マクロセル運用時: 約 3.4km 以内にて運用すると、同期 (TDD) / 準同期 (TDD1) の基地局から準同期 (TDD2) の基地局への干渉影響が発生する可能性がある
 - 屋外スモールセル運用時: 約 220m 以内に近接して運用すると、同期 (TDD) / 準同期 (TDD1) の基地局から準同期 (TDD2) の基地局への干渉影響が発生する可能性がある

- 屋内セル運用時：屋外で運用する準同期（TDD2）がマクロセルの場合、問題は生じない（1-①-c）。しかし、屋外で運用する準同期（TDD2）がスモールセル運用の場合約 140m 以内に近接して運用すると同期（TDD）/準同期（TDD1）の屋内基地局から準同期（TDD2）の屋外基地局への干渉影響が発生する可能性がある。
 - 屋内のローカル 5G 基地局同士が共存する場合
 - 同一建物内の同一空間で運用する場合：2m 以内に近接して運用すると、同期（TDD）/準同期（TDD1）の基地局から準同期（TDD2）の基地局への干渉影響が発生する可能性があるが、物理的に考えにくい運用条件である。
- 壁面で隔たれている同一建物内と異なる建物内で運用する場合：問題は生じないと考えられる

表 3.3.4.5-1 基地局間干渉シナリオにおける情通審パラメータ
共用計算結果（1対1対向モデル）

項番	与干渉局	被干渉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯域内干渉		
				与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要(水平) 離隔距離[m]
1-①-a / 1-③-a 屋外⇒屋外	屋外マクロセル (TDD)/(TDD1)	屋外マクロセル (TDD2)	情通審 (28dBm/MHz)	9.9	124.9	1756,295
	屋外スモールセル (TDD)/(TDD1)	屋外スモールセル (TDD2)	情通審 (5dBm/MHz)	-12.6	97.4	74,229
1-①-b / 1-③-b 屋外⇒屋内	屋外マクロセル (TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	情通審 (28dBm/MHz)	-92.3	17.7	3,432
	屋外スモールセル (TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	情通審 (5dBm/MHz)	-92.5	17.5	222
1-①-c / 1-③-c 屋内⇒屋外	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋外マクロセル (TDD2)	情通審 (0dBm/MHz)	-120.1	-5.1	—
	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋外スモールセル (TDD2)	情通審 (0dBm/MHz)	-97.3	12.7	144
1-①-d / 1-③-d 同一建物 壁なし	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	情通審 (0dBm/MHz)	-106.3	3.7	2
1-①-e / 1-③-e 同一建物 壁あり	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	情通審 (0dBm/MHz)	-122.5	-12.5	—
1-①-f / 1-③-f 異なる 建物内	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	情通審 (0dBm/MHz)	-138.5	-28.5	—

表 3.3.4.5-2 に、基地局間干渉シナリオにおける情通審パラメータの送信電力密度のみを

実測値とした共用計算結果（1対1対向モデル）を示す。

計算結果からは、以下のことがわかる。

- 屋外のローカル 5G 基地局同士が共存する場合
 - 見通し外での運用が必要である
- 屋外のローカル 5G 基地局と屋内のローカル 5G 基地局が共存する場合
 - 問題は生じないと考えられる
- 屋内のローカル 5G 基地局同士が共存する場合
 - 問題は生じないと考えられる

表 3.3.4.5-2 基地局間干渉シナリオにおける情通審パラメータ+実測値
共用計算結果（1対1対向モデル）

項番	与干渉局	被干渉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯域内干渉		
				与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要(水平) 離隔距離[m]
2-①-a / 2-③-a 屋外⇒屋外	屋外マクロセル (TDD)/(TDD1)	屋外マクロセル (TDD2)	実測値 (20dBm/MHz)	-38.1	76.9	6,992
	屋外スモールセル (TDD)/(TDD1)	屋外スモールセル (TDD2)	実測値 (20dBm/MHz)	-37.6	72.4	4,175
2-①-b / 2-③-b 屋外⇒屋内	屋外マクロセル (TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	実測値 (20dBm/MHz)	-140.3	-30.3	—
	屋外スモールセル (TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	実測値 (20dBm/MHz)	-117.5	-7.5	—
2-①-c / 2-③-c 屋内⇒屋外	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋外マクロセル (TDD2)	実測値 (20dBm/MHz)	-140.1	-25.1	—
	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋外スモールセル (TDD2)	実測値 (20dBm/MHz)	-117.3	-7.3	—
2-①-d / 2-③-d 同一建物 壁なし	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	実測値 (20dBm/MHz)	-126.3	-16.3	—
2-①-e / 2-③-e 同一建物 壁あり	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	実測値 (20dBm/MHz)	-142.5	-32.5	—
2-①-f / 2-③-f 異なる 建物内	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	実測値 (20dBm/MHz)	-158.5	-48.5	—

表 3.3.4.5-3 に、基地局間干渉シナリオにおける実証実機パラメータ及び実測値を用いた共用計算結果（1対1対向モデル）を示す。計算結果からは、以下のことがわかる。

- 屋外のローカル 5G 基地局同士が共存する場合
 - 約 140m 以内にて運用すると、同期（TDD）/準同期（TDD1）の基地局から準同期（TDD2）の基地局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋外のローカル 5G 基地局と屋内のローカル 5G 基地局が共存する場合
 - 約 20m 以内にて運用すると、同期（TDD1）/準同期（TDD1）の基地局から準同期（TDD2）の基地局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋内のローカル 5G 基地局同士が共存する場合
 - 同一建物内の同一空間で運用する場合：約 140m 以内に近接して運用すると、同期（TDD）/準同期（TDD1）の基地局から準同期（TDD2）の基地局へ干渉影響が発生する可能性がある
 - 壁面で隔たれている同一建物内で運用する場合：約 20m 以内にて運用すると、同期（TDD）/準同期（TDD1）の基地局から準同期（TDD2）の基地局への干渉影響が発生する可能性がある
 - 異なる建物内で運用する場合：4m 以内に近接して運用すると、同期（TDD）/準同期（TDD1）の基地局から準同期（TDD2）の基地局への干渉影響が発生する可能性があるが、物理的に考えにくい運用条件である。

表 3.3.4.5-3 基地局間干渉シナリオにおける実証実機パラメータ＋実測値
共用計算結果（1対1対向モデル）

項番	与干渉局	被干渉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯域内干渉		
				与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量 [dB]	所要(水平) 離隔距離 [m]
3-①-a / 3-③-a 屋外⇒屋 外	屋外基地局 (TDD)/(TDD1)	屋外基地局 (TDD2)	実測値 (-20dBm/MHz)	-67.1	42.9	141
3-①-b / 3-③-b 屋外⇒屋 内	屋外基地局 (TDD)/(TDD1)	屋内基地局 (TDD2)	実測値 (-20dBm/MHz)	-83.3	26.7	22
3-①-c / 3-③-c 屋内⇒屋 外	屋内基地局 (TDD)/(TDD1)	屋外基地局 (TDD2)	実測値 (-20dBm/MHz)	-83.1	26.9	23
3-①-d / 3-③-d 同一建物 壁なし	屋内基地局 (TDD)/(TDD1)	屋内基地局 (TDD2)	実測値 (-20dBm/MHz)	-67.1	42.9	141
3-①-e / 3-③-e 同一建物 壁あり	屋内基地局 (TDD)/(TDD1)	屋内基地局 (TDD2)	実測値 (-20dBm/MHz)	-83.3	26.7	22

3-①-f / 3-③-f 異なる 建物内	屋内基地局 (TDD)/(TDD1)	屋内基地局 (TDD2)	実測値 (-20dBm/MHz)	-99.3	10.7	4
--------------------------------	-----------------------	-----------------	---------------------	-------	------	---

(2) 移動局間干渉シナリオ

移動局間干渉シナリオにおいては、同一 CH において、同期基地局 (TDD) もしくは制度化済準同期基地局 (TDD1) で運用されているローカル 5G 移動局から、追加準同期移動局 (TDD2) で運用されているローカル 5G 移動局への干渉影響を 1 対 1 対向モデル及びモンテカルロシミュレーションを用いた確率計算にて検討する。

また、1 対 1 対向モデルにおける計算諸元は 3.3.4.4 章に示す情通審パラメータと、実証で用いる実機パラメータ (表 3.3.4.2-1) を用いており、モンテカルロシミュレーションの計算モデルにおいては、図 3.3.4.4-6 に示す情通審における移動局送信電力分と、図 3.3.4.4-7 に示す実測値における移動局送信電力分布を用いることとする。

最初に、1 対 1 対向モデル (水平離隔距離 1m、正対モデル) で計算した結果を表 3.3.4.5-4 に示す。

計算結果からは、以下のことがわかる。

- 屋外のローカル 5G 移動局同士が共存する場合
 - 約 390m 以内にて運用すると、準同期 (TDD2) の移動局から同期 (TDD) /準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋外のローカル 5G 移動局と屋内のローカル 5G 移動局が共存する場合
 - 約 60m 以内にて運用すると、準同期 (TDD2) の移動局から同期 (TDD) /準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋内のローカル 5G 移動局同士が共存する場合
 - 同一建物内の同一空間で運用する場合：約 390m 以内に近接して運用すると、準同期 (TDD2) の移動局から同期 (TDD) /準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
 - 壁面で隔たれている同一建物内で運用する場合：約 60m 以内に近接して運用すると、準同期 (TDD2) の移動局から同期 (TDD) /準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
 - 異なる建物内で運用する場合：約 10m 以内に近接して運用すると、準同期 (TDD2) の移動局から同期 (TDD) /準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある

表 3.3.4.5-4 移動局間干渉シナリオにおける情通審パラメータ

項番	与干渉局	被干渉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯域内干渉		
				与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要(水平) 離隔距離[m]
1-②-a / 1-④-a 屋外⇒屋外	屋外移動局 (TDD2)	屋外移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-59.2	51.8	390.8

項番	与干渉局	被干渉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯域内干渉		
				与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要(水平) 離隔距離[m]
1-②-b / 1-④-b 屋外⇒屋内	屋外移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-75.4	35.6	60.5
1-②-c / 1-④-c 屋内⇒屋外	屋内移動局 (TDD2)	屋外移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-75.4	35.6	60.5
1-②-d / 1-④-d 同一建物 壁なし	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-59.2	51.8	390.8
1-②-e / 1-④-e 同一建物 壁あり	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-75.4	35.6	60.5
1-②-f / 1-④-f 異なる 建物内	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-91.4	19.6	9.6

共用計算結果 (1対1対向モデル)

表 3.3.3.5-5 に、移動局間干渉シナリオにおける情通審パラメータの送信電力密度のみを
実測値とした共用計算結果 (1対1対向モデル) を示すが、実測値の送信電力密度は情通審
の送信電力密度と同じであるため、同じ結果が得られている。

計算結果からは、以下のことがわかる。

- 屋外のローカル 5G 移動局同士が共存する場合
 - 約 390m 以内にて運用すると、準同期 (TDD2) の移動局から同期 (TDD) /準同
期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋外のローカル 5G 移動局と屋内のローカル 5G 移動局が共存する場合
 - 約 60m 以内にて運用すると、準同期 (TDD2) の移動局から同期 (TDD) /準同期
(TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋内のローカル 5G 移動局同士が共存する場合
 - 同一建物内の同一空間で運用する場合：約 390m 以内に近接して運用すると、準
同期 (TDD2) の移動局から同期 (TDD) /準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響
が発生する可能性がある
 - 壁面で隔たれている同一建物内で運用する場合：約 60m 以内に近接して運用する
と、準同期 (TDD2) の移動局から同期 (TDD) /準同期 (TDD1) の移動局への干
渉影響が発生する可能性がある
 - 異なる建物内で運用する場合：約 10m 以内に近接して運用すると、準同期 (TDD2)
の移動局から同期 (TDD) /準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可
能性がある

表 3.3.4.5-5 移動局間干渉シナリオにおける情通審パラメータ+実測値

共用計算結果（1対1対向モデル）

項番	与干渉局	被干渉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯域内干渉		
				与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要(水平) 離隔距離[m]
2-②-a / 2-④-a 屋外⇒屋外	屋外移動局 (TDD2)	屋外移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-59.2	51.8	390.8
2-②-b / 2-④-b 屋外⇒屋内	屋外移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-75.4	35.6	60.5
2-②-c / 2-④-c 屋内⇒屋外	屋内移動局 (TDD2)	屋外移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-75.4	35.6	60.5
2-②-d / 2-④-d 同一建物 壁なし	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-59.2	51.8	390.8
2-②-e / 2-④-e 同一建物 壁あり	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-75.4	35.6	60.5
2-②-f / 2-④-f 異なる 建物内	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-91.4	19.6	9.6

表 3.3.3.5-6 に、移動局間干渉シナリオにおける実証実機パラメータ及び実測値を用いた共用計算結果（1対1対向モデル）を示す。

計算結果からは、以下のことがわかる。

- 屋外のローカル 5G 移動局同士が共存する場合
 - 約 320m 以内にて運用すると、準同期（TDD2）の移動局から同期（TDD）/準同期（TDD1）の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋外のローカル 5G 移動局と屋内のローカル 5G 移動局が共存する場合
 - 約 50m 以内にて運用すると、準同期（TDD2）の移動局から同期（TDD）/準同期（TDD1）の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋内のローカル 5G 移動局同士が共存する場合
 - 同一建物内の同一空間で運用する場合：約 320m 以内に近接して運用すると、準同期（TDD2）の移動局から同期（TDD）/準同期（TDD1）の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
 - 壁面で隔たれている同一建物内で運用する場合：約 50m 以内に近接して運用すると、準同期（TDD2）の移動局から同期（TDD）/準同期（TDD1）の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
 - 異なる建物内で運用する場合：8m 以内に近接して運用すると、準同期（TDD2）の移動局から同期（TDD）/準同期（TDD1）の移動局への干渉影響が発生する可能性がある

表 3.3.4.5-6 移動局間干渉シナリオにおける実証実機パラメータ+実測値
共用計算結果 (1対1対向モデル)

項番	与干渉局	被干渉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯域内干渉		
				与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要(水平) 離隔距離[m]
3-②-a / 3-④-a 屋外⇒屋外	屋外移動局 (TDD2)	屋外移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	-59.9	50.1	320
3-②-b / 3-④-b 屋外⇒屋内	屋外移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	-76.1	33.9	50
3-②-c / 3-④-c 屋内⇒屋外	屋内移動局 (TDD2)	屋外移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	-75.9	34.1	51
3-②-d / 3-④-d 同一建物 壁なし	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	-59.9	50.1	320
3-②-e / 3-④-e 同一建物 壁あり	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	-76.1	33.9	50
3-②-f / 3-④-f 異なる 建物内	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	-92.3	17.7	8

1対1対向モデルにおける計算では、全ての干渉シナリオにおいて一定の離隔距離を確保することが必要という結果となっているが、ここでは、移動局の送信電力を最大値に設定して計算していることに留意する必要がある。

そのため、前述した実際の送信電力分布を踏まえた確率検討を行うことで、現実的な干渉問題の発生可能性などについて考察する。図 3.3.4.4-6 は、情報通信審議会で移動局与干渉の場合の確率計算に用いられた移動局送信電力の累積分布であり、累積確率分布 50%値で約 8dBm の送信電力値となっている。一方、今回技術実証フィールドで取得した移動局送信電力分布は、図 3.3.4.4-7 のようであり、累積確率分布 50%値で約 19dBm 程度であった。情報通信審議会で用いているデータよりも送信電力値が高めに張り付くケースも考えられるということを示す一例でもあるため、移動局台数をパラメータにモンテカルロシミュレーションを実施した。

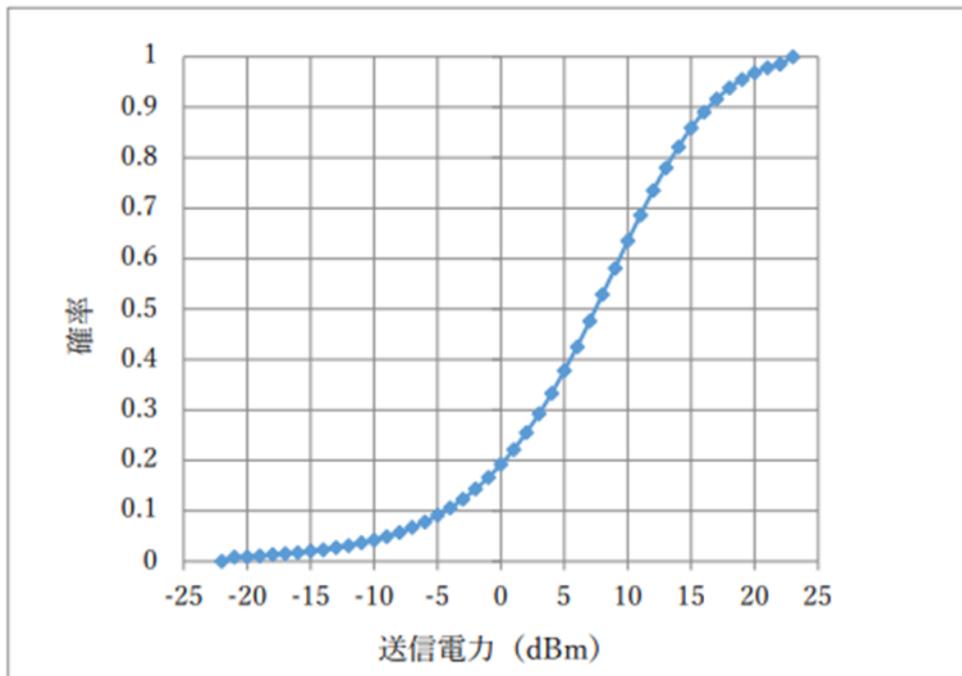


図 3.3.4.4-6 移動局の送信電力分布（情通審）（再掲）

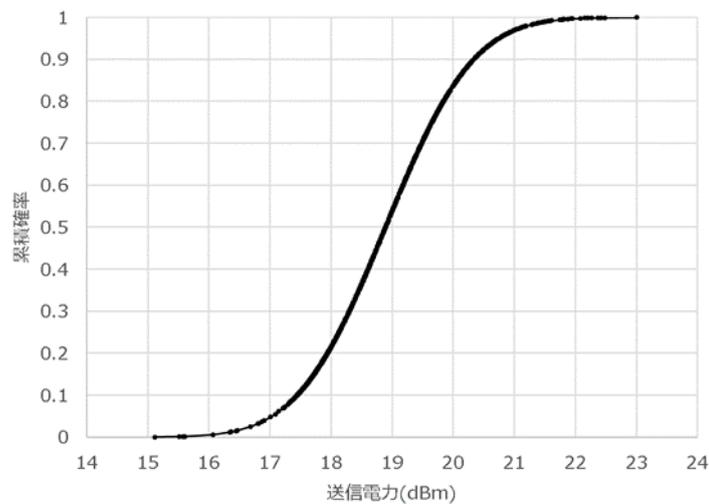


図 3.3.4.4-7 移動局の送信電力分布（実力値）（再掲）

表 3.3.4.5-7 と図 3.3.4.5-1 に、情通審の移動局送信電力分布を用いて実施したモンテカルロシミュレーションの結果を示す。シミュレーションは、全ての移動局干渉シナリオについて実施している。

計算結果からは、以下のことがわかる。

- 屋外のローカル 5G 移動局同士が共存する場合
 - 準同期 (TDD2) の移動局が 1 台であっても、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋外のローカル 5G 移動局と屋内のローカル 5G 移動局が共存する場合
 - 準同期 (TDD2) の移動局が 2 台以上になると、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の

移動局への干渉影響が発生する可能性がある

- 屋内のローカル 5G 移動局同士が共存する場合
 - 同一建物内の同一空間で運用する場合：準同期 (TDD2) の移動局が 1 台であっても、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
 - 壁面で隔たれている同一建物内で運用する場合：準同期 (TDD2) の移動局が 2 台以上になると、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
 - 異なる建物内で運用する場合：準同期 (TDD2) の移動局が 40 台以上になると、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある

表 3.3.4.5-7 移動局間干渉シナリオにおける情通審パラメータ
モンテカルロシミュレーション結果

項番	与干渉局	被干渉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯域内干渉	
				移動局 1 台の時の 所要改善量 [dB](97%値)	所要改善量がプラスになる (影響が出る) 移動局台数
1-②-a / 1-④-a 屋外⇒屋外	屋外移動局 (TDD2)	屋外移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	16	—
1-②-b / 1-④-b 屋外⇒屋内	屋外移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-6.2	2
1-②-c / 1-④-c 屋内⇒屋外	屋内移動局 (TDD2)	屋外移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-6.2	2
1-②-d / 1-④-d 同一建物 壁なし	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	16	—
1-②-e / 1-④-e 同一建物 壁あり	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-6.2	2
1-②-f / 1-④-f 異なる 建物内	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	情通審 (3dBm/MHz)	-16	40

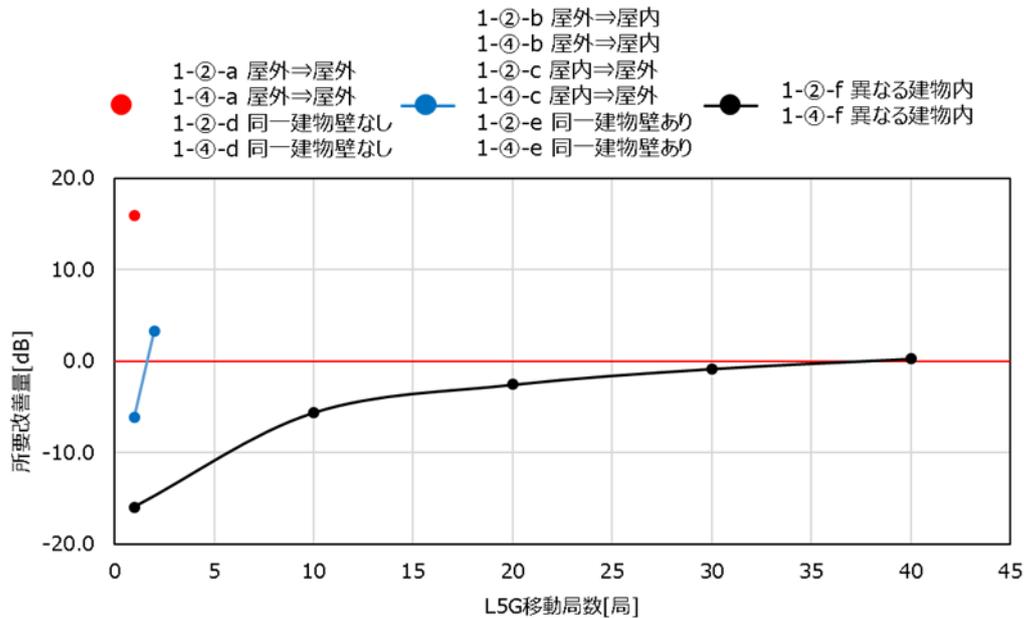


図 3.3.4.5-1 情報通信パラメータにおける移動局台数による所要改善量の変化

表 3.3.4.5-8 と図 3.3.4.5-2 に、実測値の移動局送信電力分布を用いて実施したモンテカルロシミュレーションの結果を示す。シミュレーションは、全ての移動局干渉シナリオについて実施した。計算結果からは、以下のことがわかる。

- 屋外のローカル 5G 移動局同士が共存する場合
 - 準同期 (TDD2) の移動局が 1 台であっても、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋外のローカル 5G 移動局と屋内のローカル 5G 移動局が共存する場合
 - 準同期 (TDD2) の移動局が 5 台以上になると、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
- 屋内のローカル 5G 移動局同士が共存する場合
 - 同一建物内の同一空間で運用する場合：準同期 (TDD2) の移動局が 1 台であっても、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
 - 壁面で隔たれている同一建物内で運用する場合：準同期 (TDD2) の移動局が 5 台以上になると、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある
 - 異なる建物内で運用する場合：準同期 (TDD2) の移動局が 160 台以上になると、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある

表 3.3.4.5-8 移動局間干渉シナリオにおける実測値パラメータ
モンテカルロシミュレーション結果

項番	与干渉局	被干渉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯域内干渉	
				移動局 1 台の時の 所要改善量 [dB](97%値)	所要改善量がプラスにな る(影響が出る) 移動局台数
3-②-a / 3-④-a	屋外移動局 (TDD2)	屋外移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	9.7	—

項番	与干渉局	被干渉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯域内干渉	
				移動局 1 台の時の 所要改善量 [dB](97%値)	所要改善量がプラスにな る(影響が出る) 移動局台数
屋外⇒屋外					
3-②-b / 3-④-b 屋外⇒屋内	屋外移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	-6.4	5
3-②-c / 3-④-c 屋内⇒屋外	屋内移動局 (TDD2)	屋外移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	-6.4	5
3-②-d / 3-④-d 同一建物 壁なし	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	9.7	—
3-②-e / 3-④-e 同一建物 壁あり	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	-6.4	5
3-②-f / 3-④-f 異なる 建物内	屋内移動局 (TDD2)	屋内移動局 (TDD)/(TDD1)	実測値 (3dBm/MHz)	-22.7	160

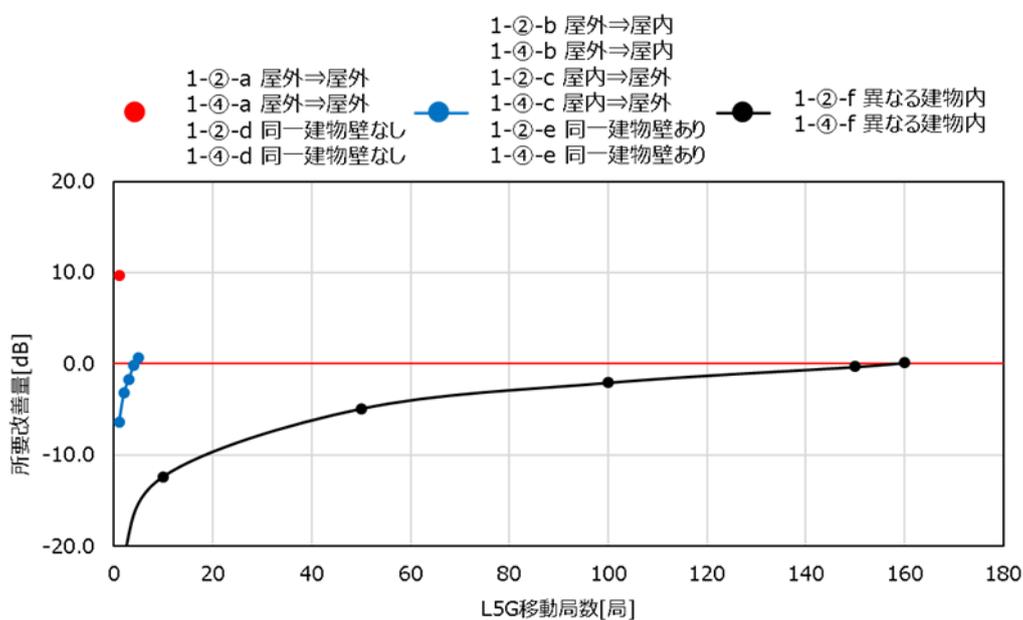


図 3.3.4.5-2 実測値パラメータにおける移動局台数による所要改善量の変化

(3) 共用条件下での所望の通信品質を確保可能な運用条件の考察

これまでの検討結果においては情報通信審議会及び実機諸元を用いた共用検討を実施しているが、共用検討で用いている被干渉閾値は、通信ができなくなる限界のレベルを規定しているわけではなく、被干渉側のマージンがある程度見込んだ閾値となっている。従って、3.3.3.5章(1)、(2)から想定される所要離隔距離よりも近接したとしても、準同期システム側で想定するローカル5G性能が確保できる可能性は否定できないと考えられる。

所望の通信品質を確保可能な運用条件（所要改善量、所要離隔距離等）を評価するため、3.3.3.2章の実証仮説では、追加準同期基地局(TDD2)で受信される希望波（追加準同期移動局(TDD2)からの信号電力）と干渉波（同期基地局(TDD)からの信号電力）の比（SINR）から、基地局間距離をパラメータとした、準同期システム上りスループットの変動結果について仮説を立てた。その際、移動局の位置は準同期基地局近傍で固定としたうえで、共用条件を示している。

ここでは、移動局からの距離の変化に応じた特性を評価するため、基地局間距離をいくつかの値で固定した上で、追加準同期基地局(TDD2)～移動局間距離をパラメータとした、追加準同期システム(TDD2)の上りスループットについて検討する（図3.3.4-8参照）。

具体的には、机上検討に用いる基地局諸元は3.3.3.2章の実証仮説と同一とし、情報通信審議会の手法（1対1正対モデル）を用いて、基地局間距離を20～141mまで20m間隔で配置した場合について、基地局間干渉下における上りスループットの変化を、追加準同期基地局(TDD2)～追加準同期移動局(TDD2)間距離をパラメータに評価する。

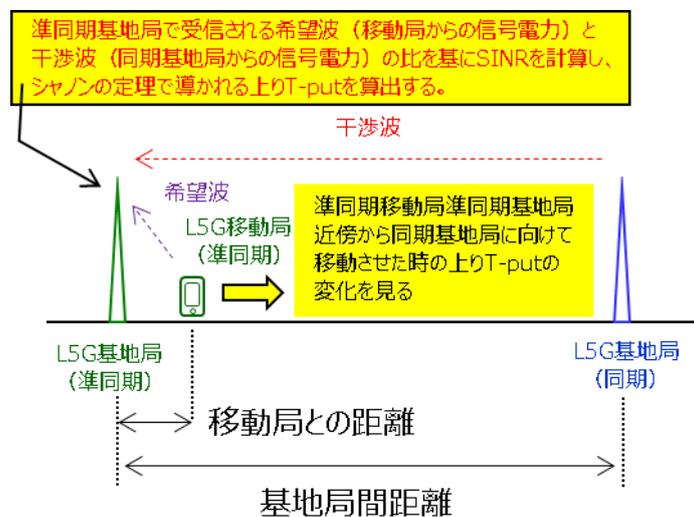


図 3.3.4.4-8 基地局間干渉下における準同期運用システム性能の評価イメージ(再掲)

追加準同期(TDD2)システムの上り伝送スループットは、準同期基地局で受信される希望波（準同期移動局からの信号電力）と干渉波（同期基地局からの信号電力）の比

(SINR)を用いて、シャノンの定理から求めることができる¹³。また、SINRは、与干渉局と被干渉局間の距離により変動するので、基地局間距離をパラメータに、追加準同期システム(TDD2)上りスループットの変化を検討することができる。なお、ここでは検討を簡単にするため、電波伝搬式は自由空間とする。

ただし、本計算で得られる上り伝送スループット推定値は、再送制御や MIMO の影響を考慮していないので、実際の伝送スループットと全く同じではないことに留意する必要がある。

表 3.3.4.2-3 Parameters describing baseline Link Level performance for 5G
(再掲)

Parameter	DL	UL	Notes
α	0.6	0.4	Represents implementation losses
$SINR_{MIN}$, dB	-10	-10	Based on QPSK, 1/8 rate (DL) & 1/5 rate (UL)
$SINR_{MAX}$, dB	30	22	Based on 256QAM 0.93(DL) & 64QAM 0.93 (UL)

$$Throughput(SINR), \text{ bps/Hz} = \begin{cases} 0 & \text{for } SINR < SINR_{MIN} \\ \alpha \cdot S(SINR) & \text{for } SINR_{MIN} \leq SINR < SINR_{MAX} \\ \alpha \cdot S(SINR_{MAX}) & \text{for } SINR \geq SINR_{MAX} \end{cases}$$

ここで、

$S(SINR)$	Shannon bound, $S(SINR) = \log_2(1 + 10^{(SINR/10)})$ [bps/Hz];
α	Attenuation factor, representing implementation losses;
$SINR_{MIN}$	Minimum SINR of the code set, dB;
$SINR_{MAX}$	Maximum SINR of the code set, dB.

シャノンの定理から算出した上り伝送スループットと SINR の関係を図 3.3.4.5-1 に示す。なお、帯域幅は 100MHz 幅における追加準同期パターン (TDD2) のスロット比率から、UL50%とし上記の式に 50MHz 幅を乗算している。

今回の課題実証における上り伝送スループットのターゲットが 65Mbps 程度であることを考慮すると、図 3.3.4.5-3 と上述した共用検討結果 (表 3.3.4.5-9) より、基地局間距離は表 3.3.4.2-4 に示す条件下において定めることが出来ると考えられる。しかしながら、3.3.3.5 章 (2) の移動局干渉の共用検討結果では、与干渉となる準同期 (TDD2) の移動局と、被干渉となる同期 (TDD) /準同期 (TDD1) の移動局間距離を 100m 以内で運用する場合は、移動局台数が 1 台であっても、同期 (TDD)/準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性がある (表 3.3.3.5-8)。これは移動局の送信電力密度が基地局と比べて高いことが原因であり、基地局間距離を表 3.3.3.2-4 に示す条件下において運用する場合は、同期運用事業者保護の観点から準同期 (TDD2) の移動局送信出力を抑える、もしくは、見通し外で運用することが必要となると考えられる。

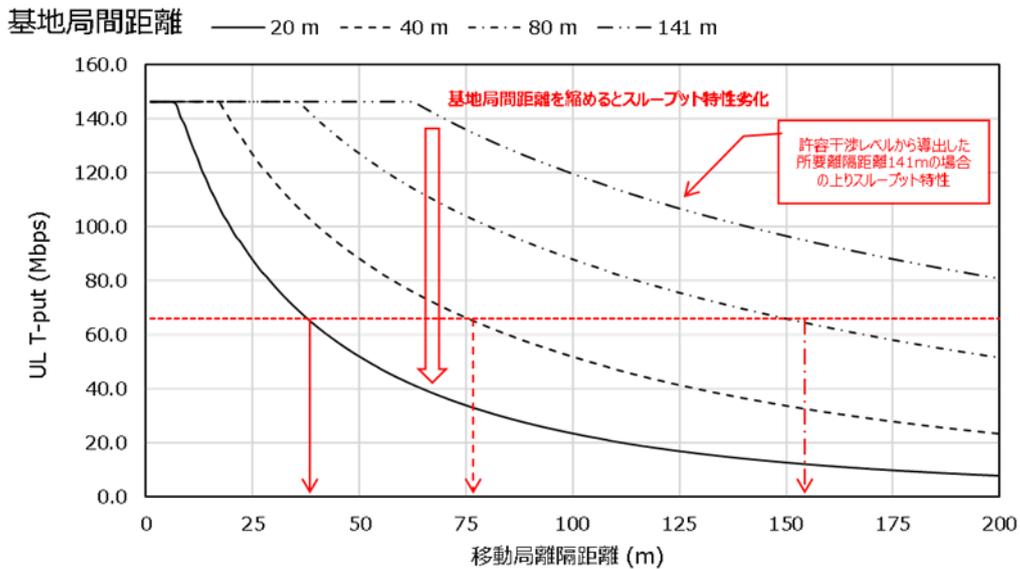


図 3.3.4.5-3 基地局間距離と伝送スループットの関係

表 3.3.4.5-9 上りスループットの所要値を 65Mbps とした場合のサービスエリア

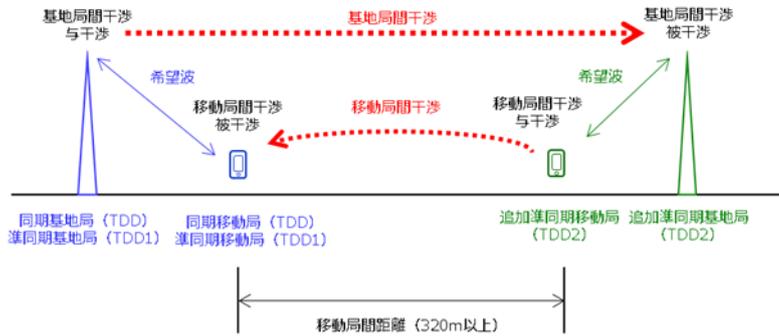
同期基地局との 基地局間距離	準同期システムで所要のパフォーマンス (65Mbps)を確保可能な最大サービスエリア
20m	半径約 40m の範囲
40m	半径約 75m の範囲
80m	半径約 150m の範囲
141m	—

(4) 技術的課題の解決方策

4.7GHz 帯において、同期 (TDD) /準同期 (TDD1) 運用するローカル 5G と、同一 CH で準同期 (TDD2) 運用するローカル 5G との間で生じる干渉影響について、所要離隔距離の算出及び干渉発生下における伝送品質の劣化度合いを考察した。その結果、本実証に用いる無線局諸元を対象とした場合、以下の知見を得た。

- 干渉が発生しない場合の共用条件について
 - 屋外のローカル 5G 同士が共存する場合、基地局間干渉の観点では、141m 以上の所要離隔距離を確保すれば、共用可能と考えられる。また、移動局間干渉の観点では、320m 以上の所要離隔距離を確保すれば、共用可能と考えられる。すなわち、移動局間干渉における所要離隔距離の方が基地局間干渉よりも大きくなるため、同期運用事業者保護観点では、本実証で用いた無線局を用いる場合、図 3.3.3.5-4 に示すように、準同期 (TDD2) 移動局の移動範囲を制限した運用が必要であると考えられる。ただし、見通し外で運用する場合や、準同期 (TDD2) 移動局の送信電力密度を下げる場合はこの限りではない。

■ 移動局の移動範囲を制限しない場合（ワーストケース）



■ 準同期 (TDD3) 移動局の移動範囲を制限する場合（ワーストケース）

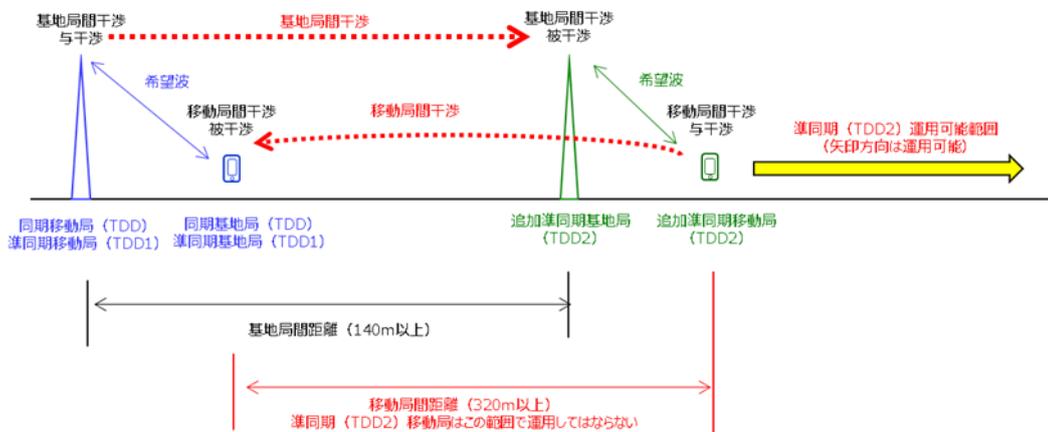


図 3.3.4.5-4 同期運用事業者保護観点における無線局共用条件

- 屋内のローカル 5G と屋外のローカル 5G が共存する場合、基地局間干渉の観点において、約 20m 以上の所要離隔距離を確保すれば、共用可能と考えられる。さらに、移動局間干渉の観点において、約 50m 以上の所要離隔距離を確保すれば、共用可能と考えられる。ただし、移動局台数が 5 台を超えると同期 (TDD) / 準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する。従って、屋内外において準同期 (TDD2) を運用する場合は、移動局の運用台数の制限等を実施するか、互いの移動局が見通し外となるような十分な離隔距離を確保する必要がある。加えて、移動局間干渉における所要離隔距離の方が基地局間干渉よりも大きくなるため、前述したとおり同期運用事業者保護観点では、準同期 (TDD2) 移動局の移動範囲を制限した運用についても必要と考えられる。
- 屋内のローカル 5G 同士が共存する場合、基地局間干渉の観点では、それぞれの基地局が異なる建物で運用される場合、4m 以上の所要離隔距離が必要である。さらに、移動局干渉の観点では、8m 以上の所要離隔距離が必要である。また、移動局台数が 160 台を超える同期 (TDD) / 準同期 (TDD1) の移動局への干渉影響が発生する可能性があるが、現実的には発生しづらい運用体制である。加えて、これらの所要離隔距離は異なる建物同士の壁面距離が 8m 以内の場合であり、ローカル 5G は基本的に自己土地内で運用することが前提となり、考えにくい運用体制であることから、基本的には共存可能と考えられる。

- 干渉が発生する場合の共用条件について

同期運用事業者保護の観点では、準同期運用事業者は同期運用事業者が運用する同期（TDD）移動局への干渉影響を与えてはならないが、逆に同期運用事業者が運用する同期（TDD）基地局からの干渉影響は容認した上で運用することが可能である。そのため、基地局間干渉の所要離隔距離 141m 以内で運用した場合において、本実証で目標値として定めている UL 伝送スループット 65Mbps を確保可能な運用条件を算出した。その結果下記運用条件であれば、所要性能を満たすことが確認できた。

- 基地局間距離 20m では、準同期（TDD2）移動局は半径 40m の範囲で運用可能
- 基地局間距離 40m では、準同期（TDD2）移動局は半径 75m の範囲で運用可能
- 基地局間距離 80m では、同期（TDD2）移動局は半径 150m の範囲で運用可能

しかし、この結果は基地局間干渉のみを考慮したものであり、同期運用事業者へ与える移動局干渉においては、移動局間距離を 100m 以内で運用した場合、移動局台数が 1 台であっても、同期（TDD）/準同期（TDD1）の移動局への干渉影響が発生する可能性がある。そのため、同期運用事業者保護の観点から準同期（TDD2）の移動局送信出力を抑える、もしくは、見通し外で運用することが必要であると考えられる。

3.3.5 その他のテーマ

「本テーマには取り組まない」

3.3.5.1 実証の目的・目標

- (1) 背景となる技術的課題と実証目的
- (2) 実証目標

3.3.5.2 実証仮説

3.3.5.3 評価・検証項目

3.3.5.4 評価・検証方法

3.3.5.5 実証結果及び考察

3.3.6 技術実証における追加提案

準同期 TDD 追加パターンの開発において、追加準同期パターンを具備した実機を用いて検証を行う。なお、3.3.6 章では実証コンソーシアムでローカル 5G 装置の提供を受ける APRESIA Systems 株式会社との協議を踏まえ、図 3.3.6 に示す追加準同期パターン (TDD2) を対象とする。

3.3.3 章にて実施した、同期基地局と追加準同期基地局との共用検討結果において、3.3.6 章では実機を用いた測定結果から、その妥当性を確認する。

スロット番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
同期 (TDD)	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D
制度化準同期 (TDD1)	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U
追加準同期 (TDD2)	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U	追加
追加準同期 (TDD3)	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U	

※D:下りスロット、U:上りスロット、S:DからUへの切り替え期間を含む特別スロット

図 3.3.6 検討対象とする追加準同期パターン

3.3.6.1 協力内容

技術実証の追加提案に関して、実証コンソーシアムからの協力内容を以下に示す。

(1) 干渉相手となる基地局

同期運用システムと準同期運用システムの干渉下におけるローカル 5G の性能評価について、実機を用いた検討を実施するため、本実証を通して使用するローカル 5G 同期運用基地局 1 局を提供する (表 3.3.6.1-1 参照)。詳細は 2.3 章を参照されたい。

表 3.3.6.1-1 ローカル 5G 同期運用基地局

装置構成	型式	サイズ	重量	消費電力	備考
CDU	ApresiaAERO-CDU100	440(W)×710(D)×88(H)mm	25kg	800W 以下	図 3.3.6.1-1
RU	ApresiaAERO-RU100	218(W)×218(D)×64(H)mm	3.5kg 以下	60W 以下	図 3.3.6.1-2
5G コア装置	HPE ProLiant DL360	46(W)×680(D)×88(H)mm	最大 19.5kg	393W	図 3.3.6.1-3
PTP サーバー	Time Server Pro. TS-2952	430(W)×500(D)×44(H)mm (突起部除く)	約 10kg	41W	図 3.3.6.1-4
PTP 対応スイッチ	Apresia20000-8X4T-AC	210(W)×220(D)×44(H)mm (突起部除く)	2.3kg	33W 以下	図 3.3.6.1-5



図 3.3.6.1-1 CDU (ApresiaAERO-CDU100) の外観



図 3.3.6.1-2 RU (ApresiaAERO-RU100) の外観



図 3.3.6.1-3 5G コア装置 (HPE ProLiant DL360) の外観



図 3.3.6.1-3 PTP サーバ (Time Server Pro. TS-2952) の外観



図 3.3.6.1-4 PTP 対応スイッチ (Apresia20000-8X4T-AC) の外観

(2) 干渉下での伝送性能を検証するための端末

前述したとおり、干渉下での伝送性能を検証するため、本実証を通して使用するローカル 5G 端末 1 台を提供する (表 3.3.6.1-2 参照)。詳細は 2.3 章を参照されたい。

表 3.3.6.1-2 提供するローカル 5G 同期運用端末

装置構成	型式	サイズ	重量	消費電力	備考
UE	ApresiaAERO-UE100	148(W)×100(D)×230(H)mm	1kg 以下	40W 以下	図 3.3.6.1-5



図 3.3.6.1-5 UE (ApresiaAERO-UE100) の外観

(3) 実証フィールド

3.3.6 章の共用検討結果から導き出される、離隔距離等の共用条件について検討が可能な環境を確保するにあたり、本実証環境である北海道常呂郡訓子府町駒里にある訓子府実証農場の牛舎内では図 3.3.6.1-6 に示す通り、基地局最大離隔距離は 60m 程度しか確保することが出来ない。また、実証時期は 1 月~2 月を見込んでおり、実証地域は積雪の影響により屋外環境を使用することが出来ないと考えられる。



図 3.3.6.1-6 訓子府実証農場の基地局間離隔可能距離

そのため、技術実証における追加提案においては、図 3.3.6.1-7 に示す、神奈川県横須賀市光の丘にある NTT ドコモ R&D センター内屋外駐車場で実施する。

図 3.3.6.1-8 に示す通り、実証フィールドにおいては見通し環境かつ直線距離で 160m 程度確保できるため、離隔距離を考慮した検討が十分可能である。また、3.3.4 章の共用検討では 1 対 1 正対モデルかつ自由空間伝搬式を活用しているため、その妥当性を評価するためには高低差が無く、見通し環境である本実証フィールドが適している。

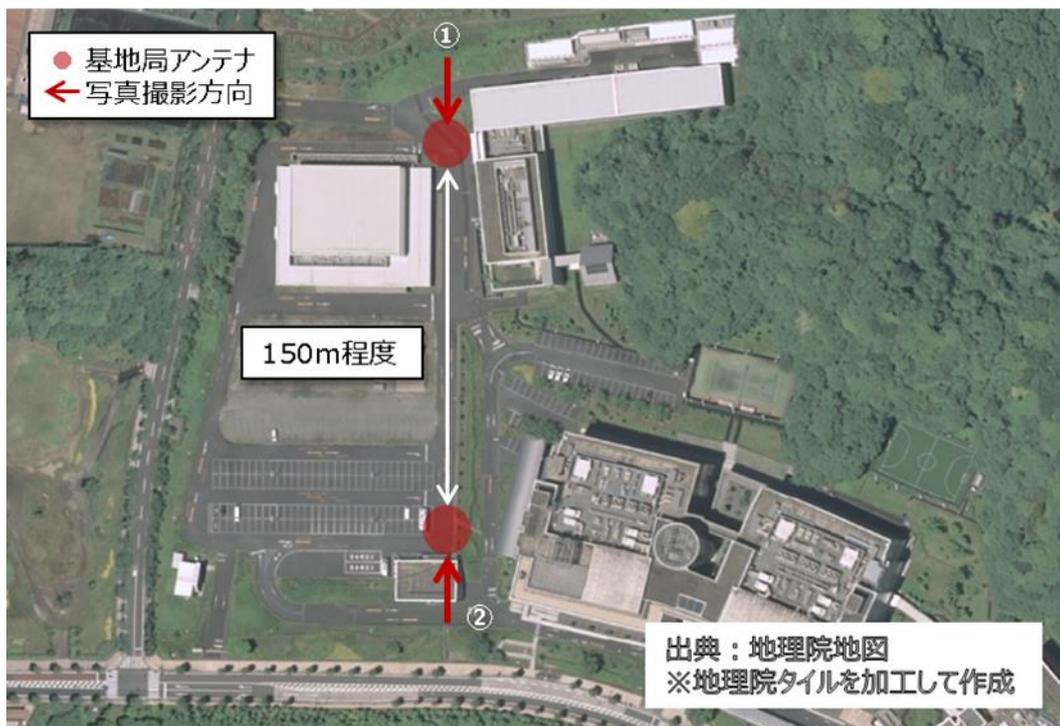


図 3.3.6.1-7 追加提案における実証フィールド

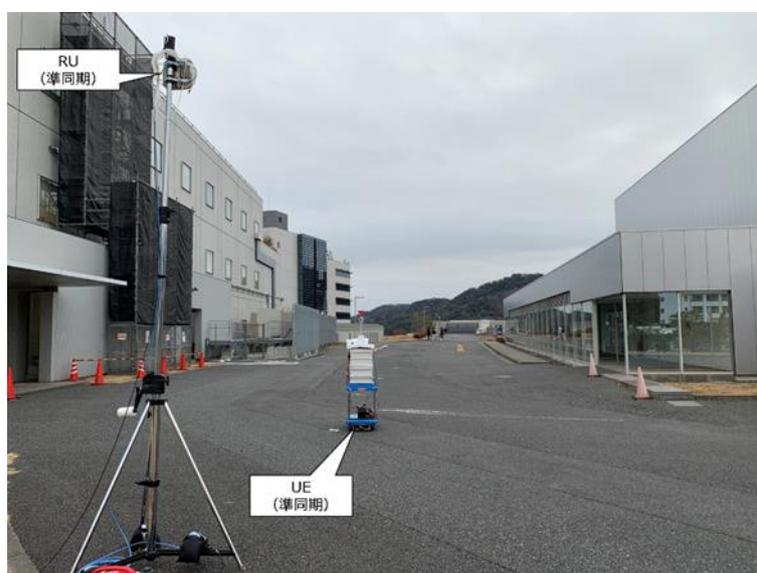


図 3.3.6.1-8(a) ①準同期基地局側からの実証環境



図 3.3.6.1-8(b) ②同期基地局側からの実証環境

(4) 測定機器類

実証環境における電波伝搬特性及び通信性能の測定においては、本実証を通して使用する測定機材 1 式と、基地局の送信スペクトラムマスク及び移動局の送信電力分布を取得するためのスペクトラムアナライザを提供する（表 3.3.6.1-3 参照）。詳細は 3.2 章を参照されたい。

表 3.3.6.1-3 実測に使用する測定機器

測定機器名	測定項目	備考
Anritsu エリアテスタ ML8780A ⁶	SS-RSRP RSSI SS-RSRQ SS-SINR	図 3.3.6.1-9
測定用 PC iPerf ⁷ Packet Capture (Wireshark ⁸)	伝送スループット 遅延時間	図 3.3.6.1-10
Garmin eTrex30xJ ⁹	GPS 座標	図 3.3.6.1-11
Anritsu フィールドマスタープロ MS2090A ¹⁰	基地局送信スペクトラム 移動局送信電力	図 3.3.6.1-12

5 _

<https://dl.cdn-anritsu.com/ja-jp/test-measurement/files/Product-Introductions/Product-Introduction/ml8780a-81a-jl11400.pdf>

7 <https://iperf.fr/>

8 <https://www.wireshark.org/>

9 <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/518048/pn/010-01508-10#specs>

10 <https://www.anritsu.com/ja-jp/test-measurement/products/ms2090a>



図 3.3.6.1-9 Anritsu エリアテストの外観



図 3.3.6.1-10 測定用 PC(iPerf,Wireshark)



図 3.3.6.1-10 Garmin eTrex30xJ



図 3.3.6.1-10 フィールドマスタ プロ™ (MS2090A)

3.3.6.2 評価・検証項目

同期運用システム及び追加準同期運用システムの干渉下におけるローカル 5G 性能への影響について、共用検討と実測結果から得られる知見の両方を用いて評価・検証を行い、実証環境における所望の通信品質を確保可能な運用条件（所要改善量、所要離隔距離等）を評価する。また、この評価・検証において、実証環境におけるローカル 5G の追加準同期パターンの開発に関する技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等についても考察を行う。

3.3.6.3 評価・検証方法

(1) 測定方法

図 3.3.6.3-1 に本実証環境における試験系統図を示す。また、基地局もしくは移動局間距離を可変とした測定を行うため、図 3.3.6.3-2~3 に示す通り機器養生を行う。

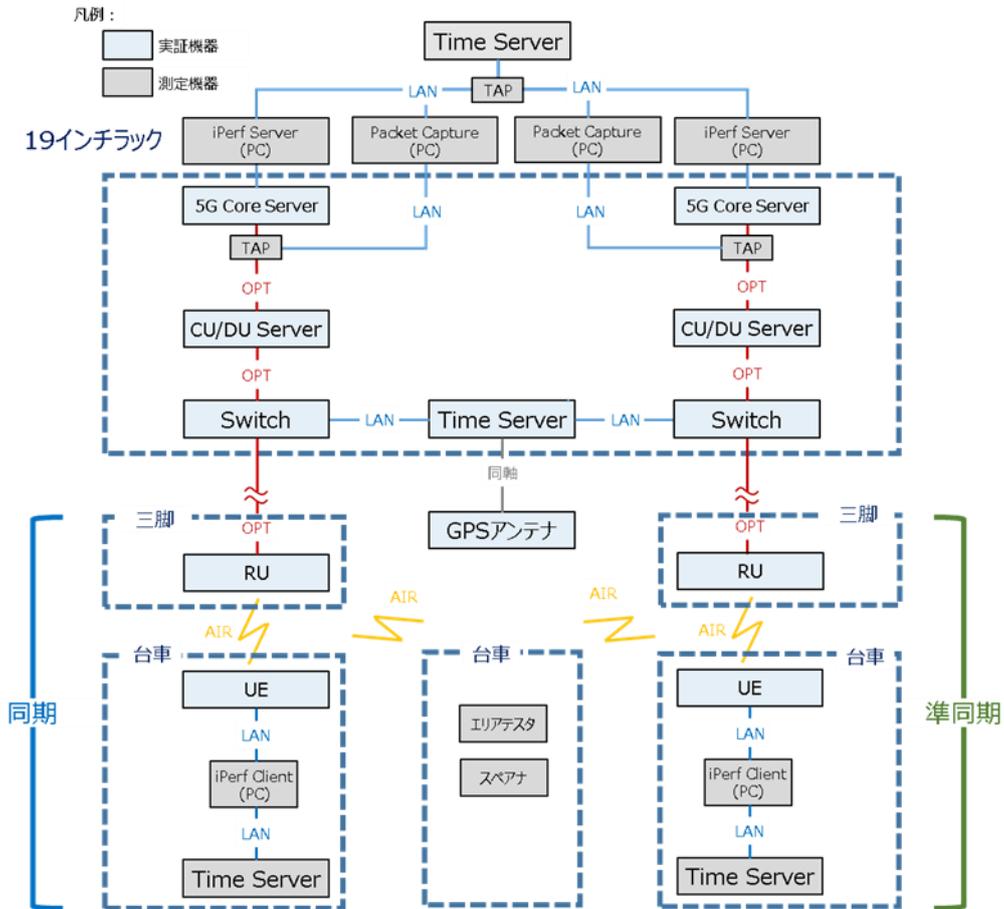


図 3.3.6.3-1 実証環境における試験系

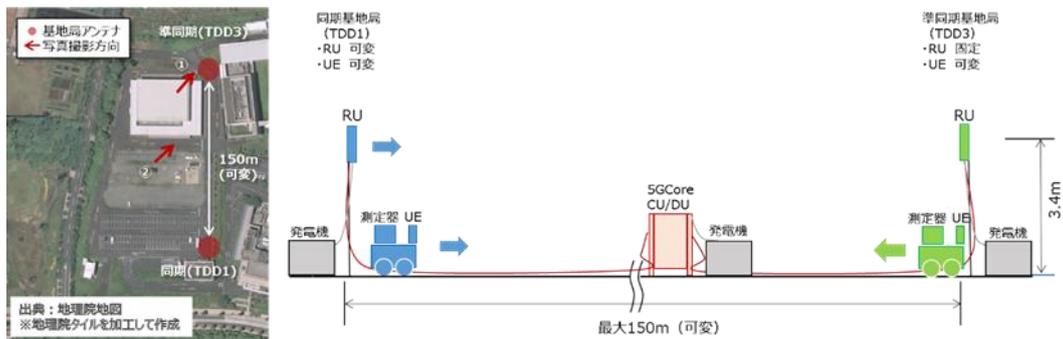


図 3.3.6.3-2 実証環境における機器養生

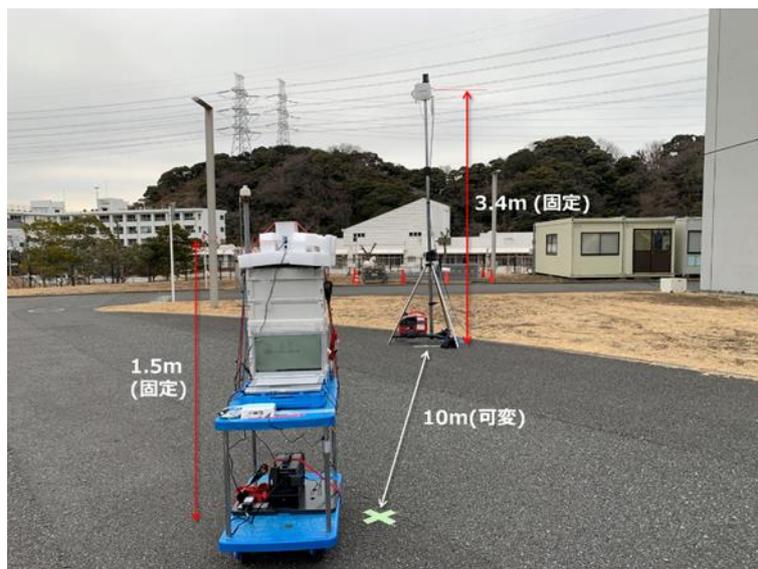


図 3.3.6.3-3 (a) ①5G RU 及び UE 設置状況



図 3.3.6.3-3 (b) ②5G Core 及び CU/DU 設置状況

1) 測定項目

仕様書上で規定されている受信電力 (SS-RSRP 値)、通信品質 (SS-SINR)、及び伝送性能 (UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延) について実測する。

2) 測定手法と実測模様

一般的に、TDD 方式の伝送スループットはシャノンの定理から通信路帯域幅、受信品質、TDD スロット比率により求められる。このうち、通信路帯域幅及び、TDD スロット比率については機器スペックに依存するものであり、本実証においては一律である。

そのため、基地局もしくは移動局の距離をパラメータとし、受信品質を可変とした場合の受信電力、通信品質、及び伝送性能（UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延）について測定を行う事とする。なお、測定に関しては、図 3.3.6.3-3 に示す干渉シナリオにおいて以下のパターンで実施する。



図 3.3.6.3-3 同期/非同期区間における干渉影響パターン

a) 単独運用における測定

図 3.3.6.3-4 に示すように同期運用システム及び準同期運用システムを単独運用した場合において 10m の間隔で基地局-移動局間距離を可変とし、3.3.6.2 章にて示した評価項目について実測を行う。

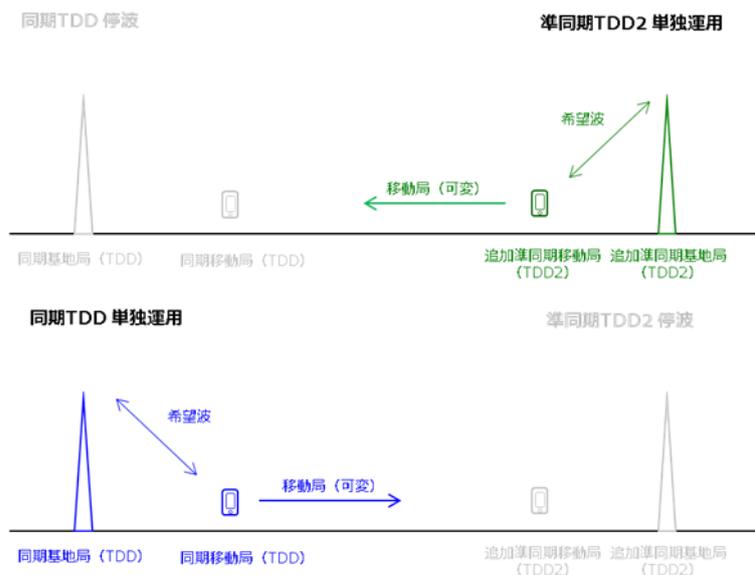


図 3.3.6.3-4 同期(TDD)/準同期(TDD2)運用システムを単独運用した場合の測定

b) 基地局間干渉下における測定

図 3.3.6.3-5 に示すように同期運用システム及び準同期運用システムを同時に運用した場合における基地局間干渉下にて、表 3.3.6.3-1 に示す基地局/移動局の距離関係をパタメータとして“準同期運用システム（被干渉側）”の伝送スループット（UL）を実測する。この際、同期基地局からの与干渉波レベルが基地局からの電力制御により変動しないように、同期基地局と同期移動局の位置関係は固定とする。

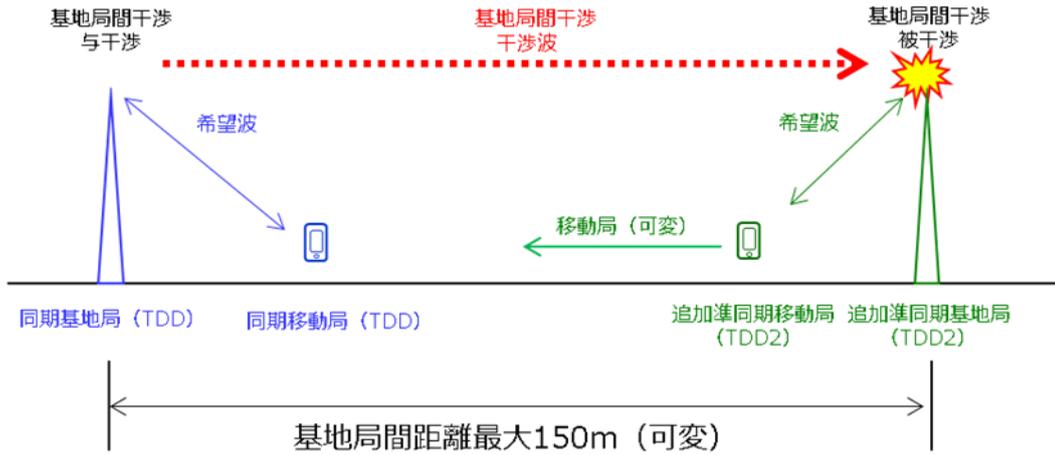


図 3.3.6.3-5 基地局間干渉評価における基地局/移動局配置

表 3.3.6.3-1 基地局間干渉評価における測定パターン

干渉パターン	基地局間距離 (m)	同期基地局-同期移動局間距離 (m)	準同期基地局-準同期移動局間距離 (m)	評価項目
基地局間干渉	150	30(固定)	10	準同期伝送 T-put(UL)
			20	
			30	
			40	
			50	
	100	30(固定)	10	準同期伝送 T-put(UL)
			20	
			30	
			40	
			50	
	50	30(固定)	10	準同期伝送 T-put(UL)
			20	
			30	
			40	
			50	
25	30(固定)	10	準同期伝送 T-put(UL)	
		20		
		30		

			40	
			50	

c) 移動局間干渉下における測定

図 3.3.6.3-6 に示すように同期運用システム及び準同期運用システムを同時に運用した場合における移動局間干渉下にて、表 3.3.6.3-2 に示す基地局/移動局の距離関係をパラメータとして“同期運用システム（被干渉側）”の伝送スループット（DL）を実測する。この際、準同期移動局からの与干渉波レベルが移動局からの電力制御により変動しないように、準同期基地局と準同期移動局の位置関係は固定とする。

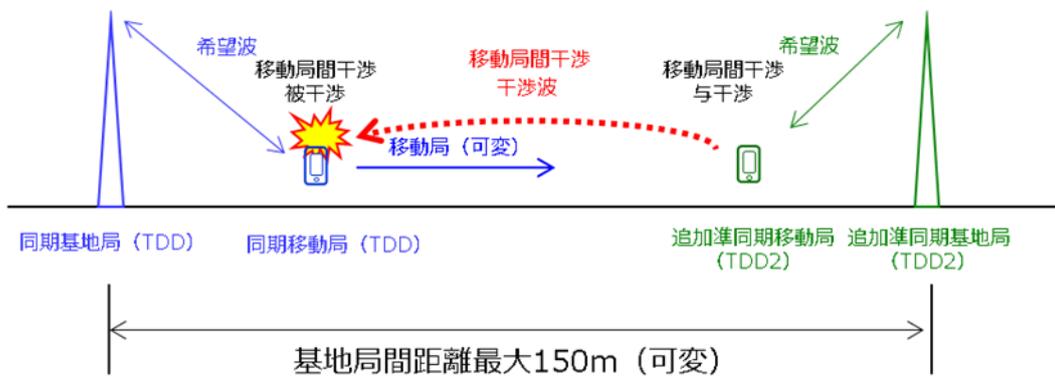


図 3.3.6.3-6 移動局干渉下における基地局/移動局配置

表 3.3.6.3-2 移動局間干渉評価における測定パターン

干渉パターン	基地局間距離 (m)	準同期基地局-準同期移動局間距離 (m)	同期基地局-同期移動局間距離 (m)	評価項目
移動局間干渉	150	10(固定)	10	準同期伝送 T-put(DL)
			20	
			30	
			40	
			50	
	100	10(固定)	10	準同期伝送 T-put(DL)
			20	
			30	
			40	
			50	
	50	10(固定)	10	準同期伝送 T-put(DL)
			20	
			30	
			40	
			50	

(2) 評価・検証方法

実証環境における所望の通信品質を確保可能な運用条件（所要改善量、所要離隔距離等）について、実測した各種データを用いて以下の流れで進めていくこととする。

1) 単独運用におけるシステム性能評価

同期運用システム及び準同期運用システムを単独で運用した場合の伝送スループットについて取りまとめる。

2) 基地局間干渉化における準同期運用システム性能評価

基地局間干渉下において、実測した準同期運用システムの伝送スループット(UL)について取りまとめ、1)の単独運用における準同期運用システムとの比較を行う。

3) 端末間干渉下における同期運用システム性能評価

移動局間干渉下において、実測した同期運用システムの伝送スループット(DL)について取りまとめ、1)の単独運用における準同期運用システムとの比較を行う。

4) 所望の通信品質を確保可能な運用条件の評価

3.3.4 章の共用検討結果の妥当性について、3.3.6 章で測定した実測値及び1)~3)で取りまとめたデータを用いて評価を行うことで、実証環境におけるローカル 5G の追加準同期パターンの運用条件について整理を行う。

3.3.6.4 実証結果及び考察

実証環境における下り受信電力及び受信品質の実測結果を図 3.3.6.4-1~2 及び表 3.3.6.4-1~2 に示す。

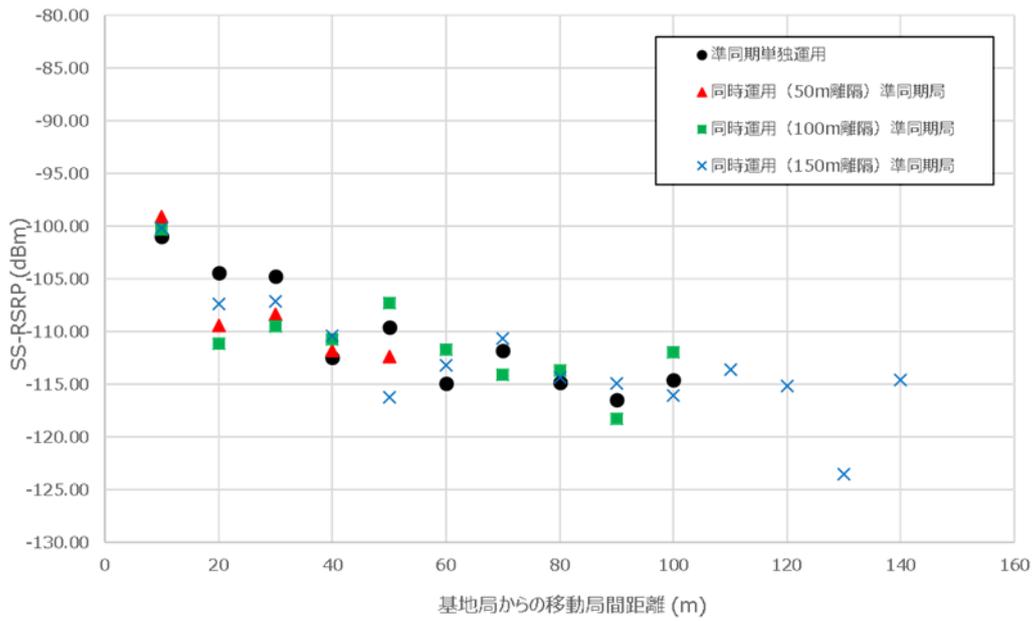


図 3.3.6.4-1(a) 準同期基地局からの受信電力 (SS-RSRP) 距離特性

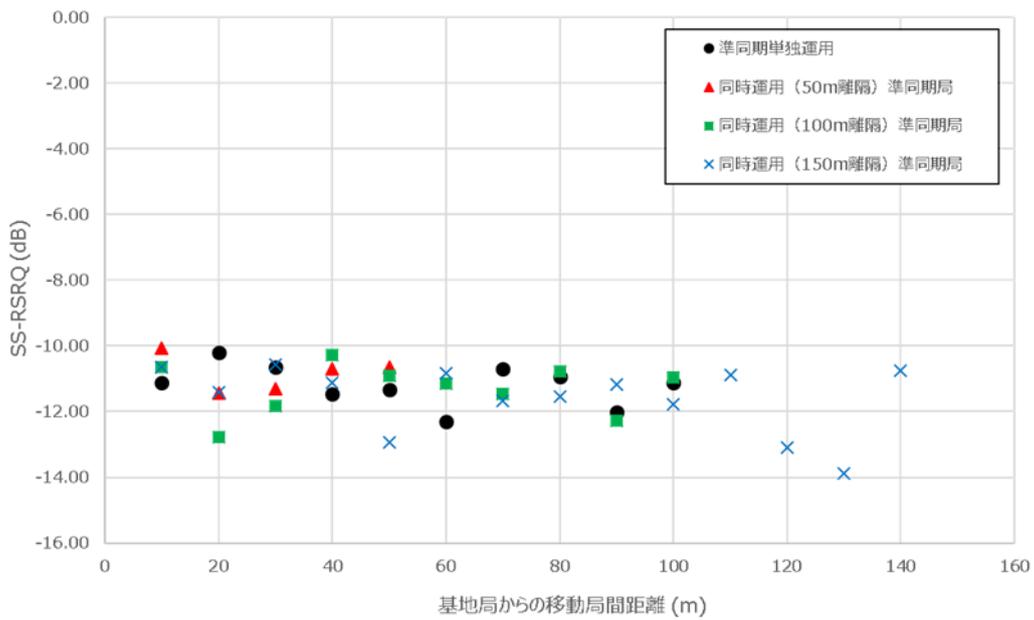


図 3.3.6.4-1(b) 準同期基地局からの受信電力 (SS-RSRQ) 距離特性

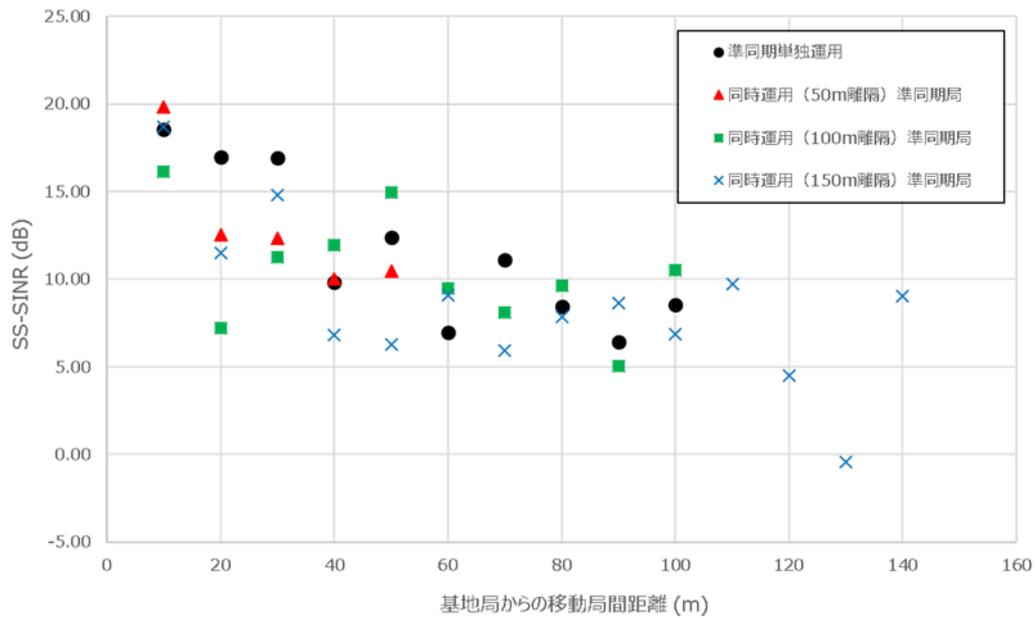


図 3.3.6.4-1(c) 準同期基地局からの受信電力 (SS-SINR) 距離特性

表 3.3.6.4-1 単独/同時運用における準同期基地局を対象とした SS-RSRP、RSRQ、SINR 測定結果

運用パターン	基地局からの移動局間距離(m)	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)
準同期基地局 単独運用	10	-100.99	-11.12	18.55
	20	-104.38	-10.21	16.98
	30	-104.75	-10.64	16.90
	40	-112.40	-11.46	9.84
	50	-109.61	-11.33	12.40
	60	-114.92	-12.30	6.95
	70	-111.75	-10.70	11.12
	80	-114.86	-10.94	8.43
	90	-116.50	-12.02	6.40
	100	-114.59	-11.12	8.55
同期/準同期基地局 準同時運用 (基地局間 離隔距離 50m)	10	-99.10	-10.06	19.84
	20	-109.38	-11.43	12.55
	30	-108.35	-11.31	12.35
	40	-111.79	-10.69	10.03
	50	-112.34	-10.65	10.45
同期/準同期基地局 準同時運用	10	-100.30	-10.65	16.14
	20	-111.11	-12.78	7.20

(基地局間 離隔距離 100m)	30	-109.49	-11.83	11.25
	40	-110.69	-10.27	11.93
	50	-107.26	-10.92	14.94
	60	-111.69	-11.16	9.48
	70	-114.06	-11.46	8.10
	80	-113.70	-10.77	9.64
	90	-118.24	-12.27	5.04
	100	-111.97	-10.97	10.49
同期/準同期基地局 準同時運用 (基地局間 離隔距離 150m)	10	-100.17	-10.65	18.69
	20	-107.40	-11.42	11.49
	30	-107.12	-10.56	14.81
	40	-110.42	-11.13	6.80
	50	-116.23	-12.93	6.29
	60	-113.15	-10.82	9.08
	70	-110.62	-11.67	5.93
	80	-114.35	-11.53	7.86
	90	-114.90	-11.18	8.63
	100	-116.07	-11.77	6.86
	110	-113.58	-10.88	9.70
	120	-115.13	-13.10	4.52
	130	-123.49	-13.87	-0.42
	140	-114.60	-10.75	9.01

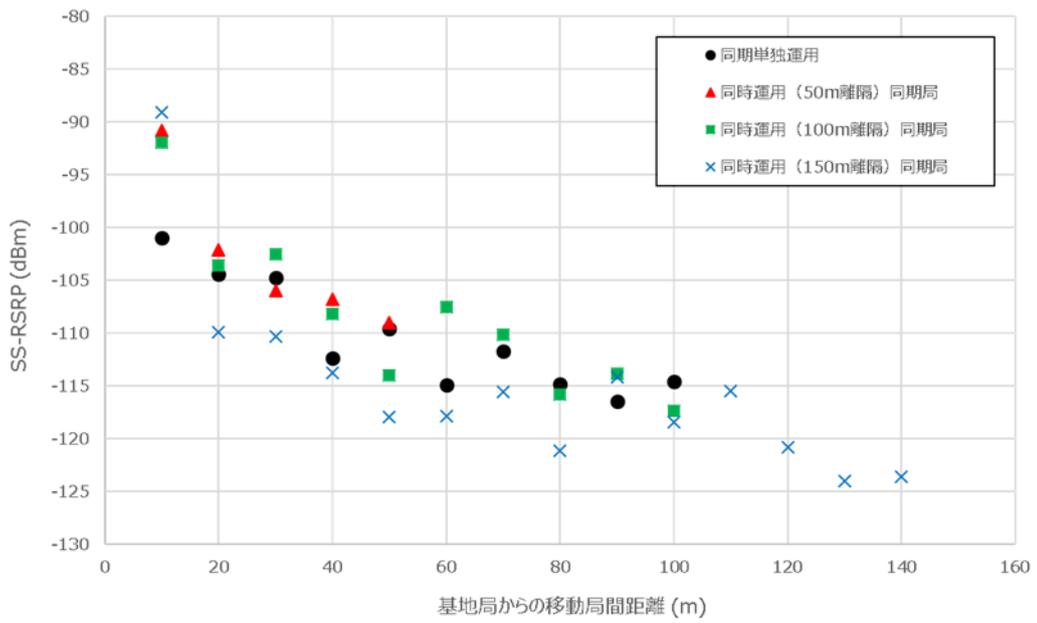


図 3.3.6.4-2(a) 同期基地局からの受信電力 (SS-RSRP) 距離特性

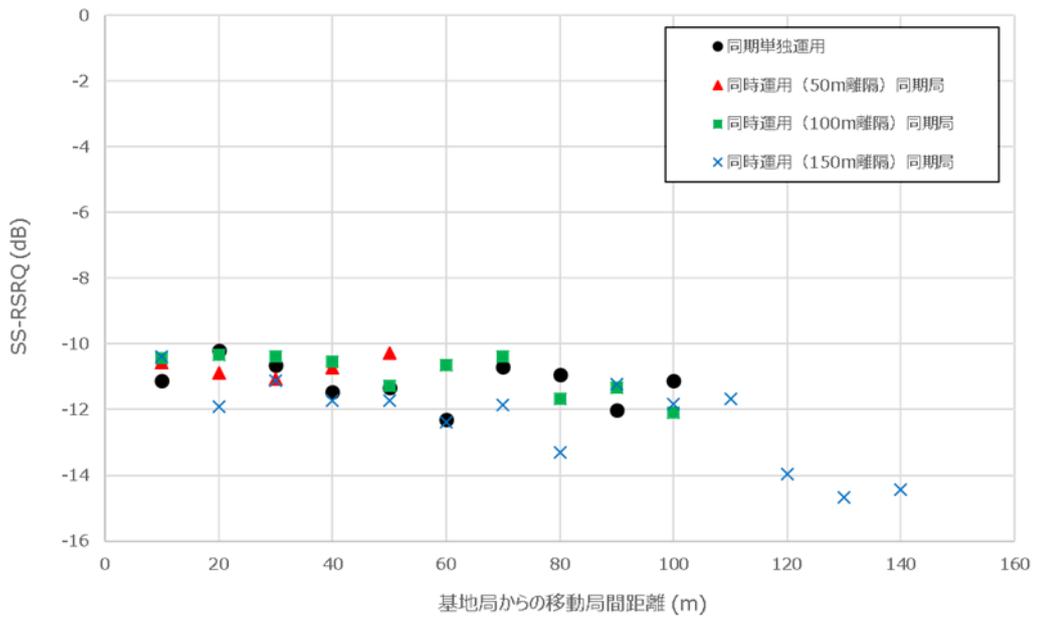


図 3.3.6.4-2(b) 同期基地局からの受信電力 (SS-RSRQ) 距離特性

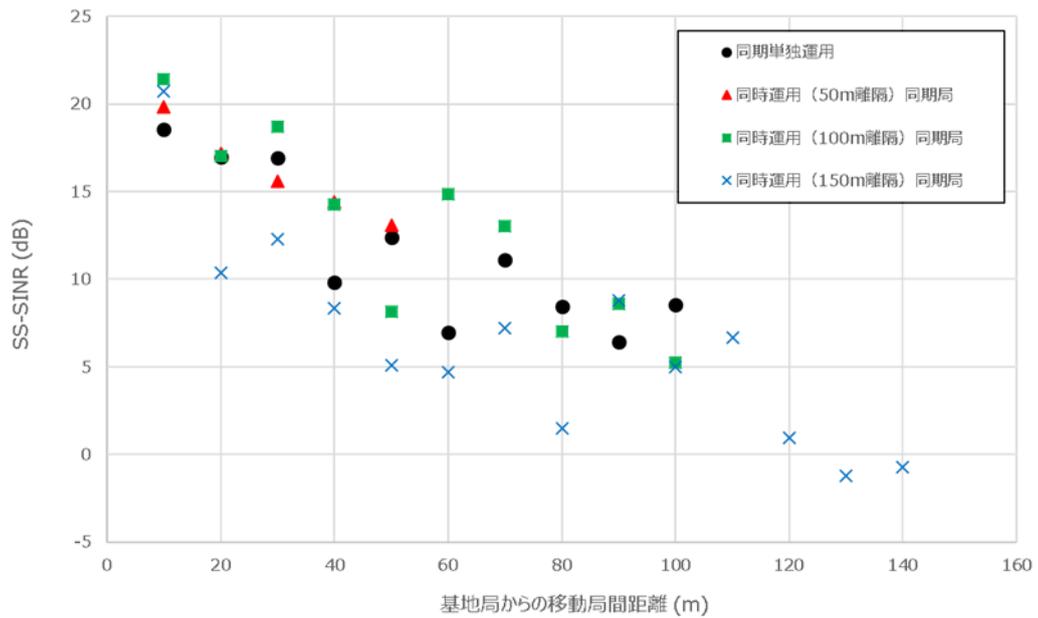


図 3.3.6.4-2(c) 同期基地局からの受信電力 (SS-SINR) 距離特性

表 3.3.6.4-2 単独/同時運用における同期基地局を対象とした SS-RSRP、RSRQ、SINR 測定結果

運用パターン	基地局からの移動局間距離(m)	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)
同期基地局 単独運用	10	-100.99	-11.12	18.55
	20	-104.38	-10.21	16.98
	30	-104.75	-10.64	16.90
	40	-112.40	-11.46	9.84
	50	-109.61	-11.33	12.40
	60	-114.92	-12.30	6.95
	70	-111.75	-10.70	11.12
	80	-114.86	-10.94	8.43
	90	-116.50	-12.02	6.40
	100	-114.59	-11.12	8.55
同期/準同期基地局 同時運用 (基地局間 離隔距離 50m)	10	-90.79	-10.57	19.84
	20	-102.13	-10.89	17.15
	30	-106.01	-11.07	15.60
	40	-106.79	-10.74	14.42
	50	-109.02	-10.28	13.08
同期/準同期基地局 同時運用	10	-91.94	-10.44	21.41
	20	-103.63	-10.32	17.04

(基地局間 離隔距離 100m)	30	-102.57	-10.40	18.70
	40	-108.22	-10.54	14.26
	50	-114.02	-11.29	8.16
	60	-107.52	-10.65	14.85
	70	-110.16	-10.39	13.01
	80	-115.83	-11.68	7.01
	90	-113.82	-11.33	8.56
	100	-117.37	-12.09	5.26
同期/準同期基地局 同時運用 (基地局間 離隔距離 150m)	10	-89.08	-10.38	20.70
	20	-109.90	-11.92	10.35
	30	-110.30	-11.13	12.27
	40	-113.76	-11.72	8.35
	50	-117.93	-11.74	5.07
	60	-117.88	-12.38	4.68
	70	-115.56	-11.86	7.20
	80	-121.18	-13.29	1.49
	90	-114.19	-11.22	8.78
	100	-118.48	-11.84	5.00
	110	-115.47	-11.67	6.69
	120	-120.82	-13.95	0.92
	130	-124.01	-14.67	-1.20
	140	-123.61	-14.43	-0.72

(1) 同期/準同期システム単独運用の場合の性能評価

図 3.3.6.4-3 に同期基地局 (TDD) 単独運用における伝送スループット測定結果を、図 3.3.6.4-4 に準同期基地局 (TDD2) 単独運用における伝送スループット測定結果を示す。なお、本実証で使用する無線機は、基地局-移動局間環境条件に合わせて変調方式等のパラメータチューニングが必要である、しかしながら、各試験項目の基地局-移動局間距離に応じてパラメータの最適化を図るとなると、考慮すべきパラメータが増え同じ条件において純粋な干渉影響の比較が困難となる。そのため、今回は移動局を可変しても通信が可能となる QPSK 変調方式を用いることとした。

結果から、同期基地局 (TDD) における、全体の DL 伝送スループット平均は 30Mbps 程度であり、UL 伝送スループットの平均は 16Mbps となることから、同期 (TDD) のスロット比率 7:2:1 (DL:UL:切替スロット) を考慮すると概ね想定通りと考えられる。また、準同期 (TDD2) における、全体の DL スループット平均は 14Mbps 程度であり、UL 伝送スループットの平均は 28Mbps 程度となることから、準同期 (TDD2) のスロット比率 3:5:2

(DL:UL:切替スロット) を考慮すると概ね想定通りと考えられる。

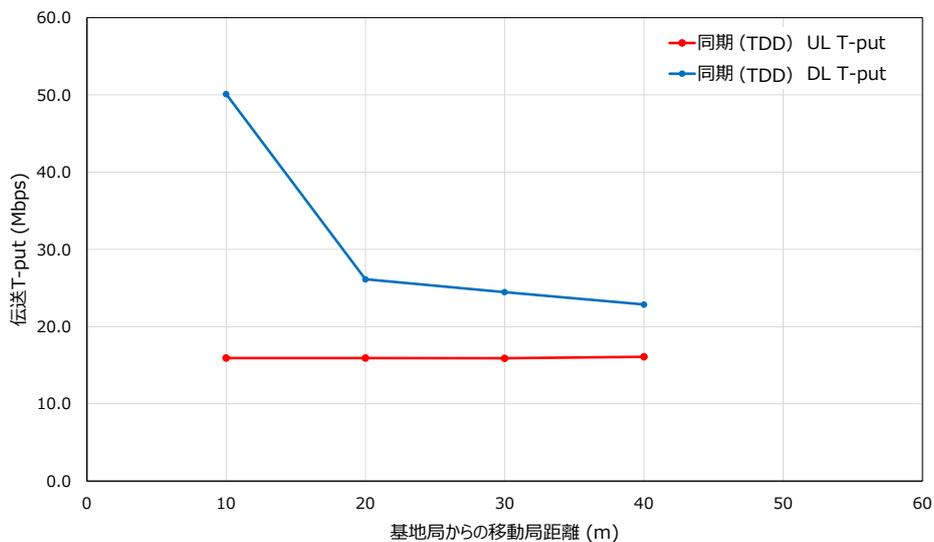


図 3.3.6.4-3 同期(TDD)運用システムにおける伝送スループット距離特性

表 3.3.6.4-3 同期(TDD)運用システムにおける伝送スループット距離特性

運用パターン	基地局からの移動局間距離(m)	SS-SINR (dB)	UL T-put (Mbps)	DL T-put (Mbps)
同期基地局 単独運用	10	18.55	15.9	50.1
	20	16.98	15.9	26.1
	30	16.90	15.9	24.5
	40	9.84	16.1	22.9
	全体平均値		15.57	16.0

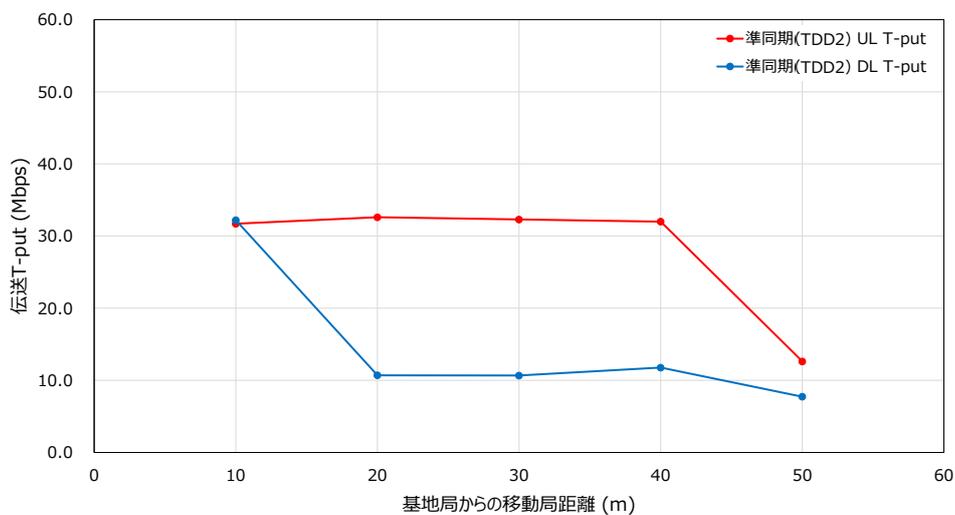


図 3.3.6.4-4 準同期(TDD2)運用システムにおける伝送スループット距離特性

表 3.3.6.4-4 準同期(TDD2)運用システムにおける伝送スループット距離特性

運用パターン	基地局からの 移動局間距離(m)	SS-SINR (dB)	DL T-put (Mbps)	UL T-put (Mbps)
準同期基地局 単独運用	10	18.55	31.7	32.2
	20	16.98	32.6	10.7
	30	16.90	32.3	10.7
	40	9.84	32.0	11.8
	50	12.40	12.6	7.7
	全体平均値	14.93	28.2	14.6

(2) 基地局間干渉下における準同期運用システム評価

図 3.3.6.3-5 に示す、同期基地局 (TDD) から準同期基地局 (TDD2) への与干渉影響について準同期基地局/移動局間距離をパラメータとした評価を行う。なお、基地局間干渉における被干渉は準同期移動局から準同期基地局への UL 伝送スループットとなるため、ここでは準同期運用システムを単独で運用した場合における準同期運用システムの UL 伝送スループットと、基地局間干渉下における準同期運用システムの UL 伝送スループットについて比較を行う。

図 3.3.6.4-6 に準同期基地局/移動局間距離を可変とした、準同期運用システムの UL 伝送スループットを示す。

結果から、基地局間干渉においては、基地局間距離 25m の地点に置いて干渉影響が発生した。また、準同期 (TDD2) 移動局が基地局から 20m の地点において、干渉なしと同等の値に回復している。これは、通信品質の劣化に伴い準同期 (TDD2) 移動局の送信電力制御が発生し、与干渉となる同期 (TDD) 基地局からの干渉波を希望波が上回ったためと考えられる。

これらの結果から、準同期 (TDD2) の基地局に対する干渉影響の評価は、本実証で取得した UL 伝送スループットの距離特性からでは困難であるため、基地局間干渉影響が見られた、同期 (TDD) /準同期 (TDD2) の基地局間距離 25m における、準同期 (TDD2) の基地局/移動局間距離 10m 地点に置いて取得した UL 伝送スループットを、累積確率分布としてグラフ化し、準同期 (TDD2) 単局における同条件で取得した干渉影響のない UL 伝送スループットとの比較を実施する (図 3.3.4.3-6)。図から、準同期 (TDD2) の移動局からの UL 伝送スループットは 50%値において干渉なしの場合 32Mbps 程度、干渉ありの場合 23Mbps となり、約 10Mbps の UL 伝送スループット劣化が見られた。

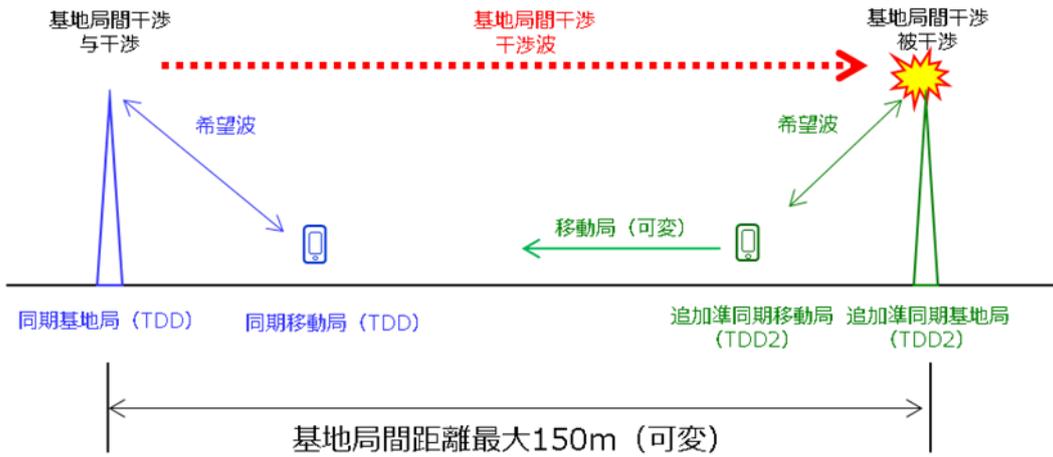


図 3.3.6.3-5 基地局間干渉評価における基地局/移動局配置 (再掲)

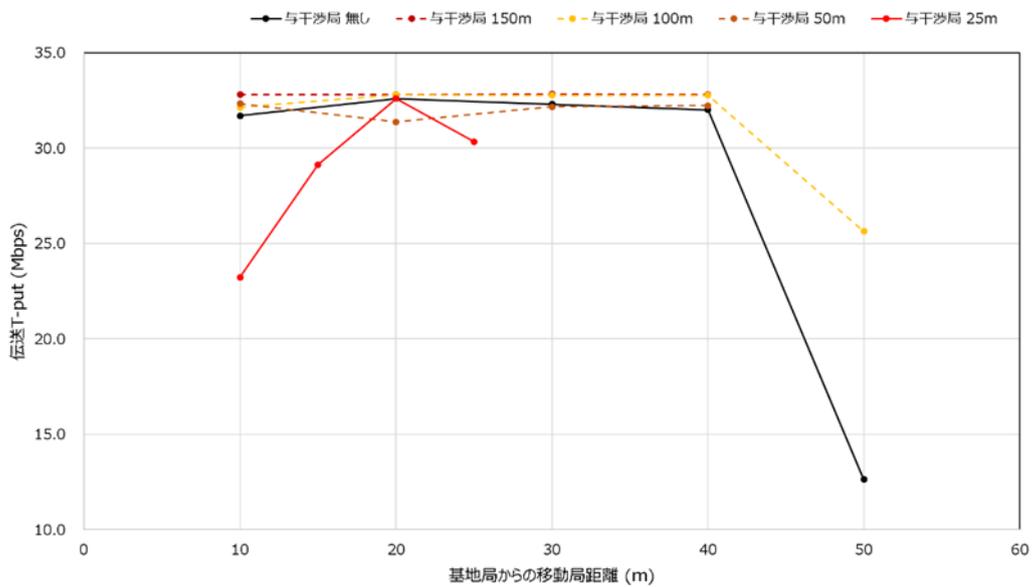


図 3.3.6.4-6 基地局間干渉下における準同期(TDD2)運用システム
UL 伝送スループット距離特性

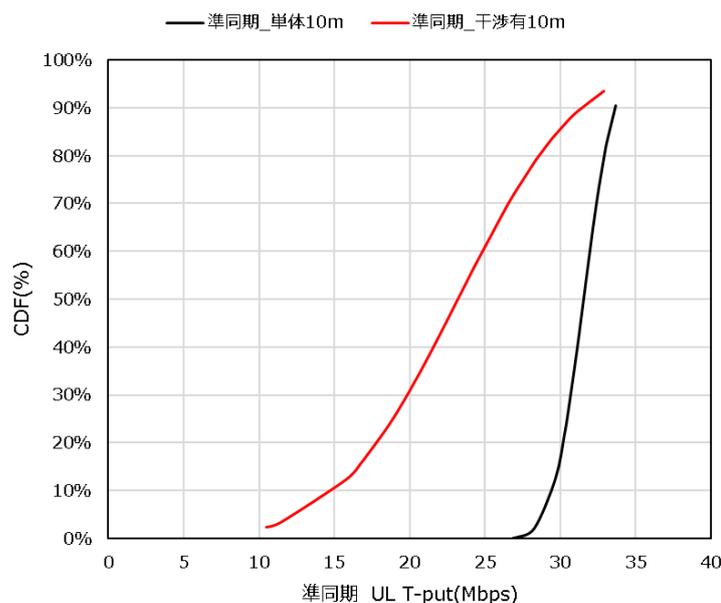


図 3.3.6.3-7 基地局間干渉下における準同期（TDD2）UL 伝送スループット累積分布

(3) 移動局間干渉下における同期運用システム評価

図 3.3.6.3-8 に示す、準同期移動局（TDD2）から同期基地局（TDD）への与干渉影響について同期基地局/移動局間距離をパラメータとした評価を行う。なお、移動局間干渉における被干渉は同期基地局から同期移動局への DL 伝送スループットとなるため、ここでは同期運用システムを単独で運用した場合における同期運用システムの DL 伝送スループットと、移動局間干渉下における同期運用システムの DL 伝送スループットについて比較を行う。

図 3.3.6.4-9 に同期基地局/移動局間距離を可変とした、同期運用システムの DL 伝送スループットを示す。

結果からは、基地局間距離 150m において、同期（TDD）移動局が基地局から 30m の地点で移動局間干渉が発生し DL 伝送スループットが劣化していることが確認できる。これは、同期（TDD）移動局が基地局から遠ざかる一方で、準同期（TDD2）移動局へ近づくためであり、40m 地点（同期/準同期移動局間距離 100m）においては、3Mbps 程度まで DL 伝送スループットが劣化していることが分かる（図 3.3.6.4-10）。

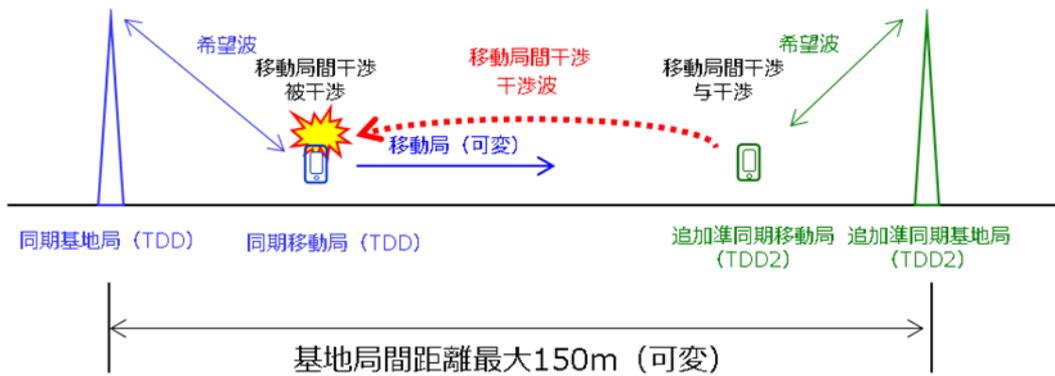


図 3.3.6.3-8 移動局干渉下における基地局/移動局配置 (再掲)

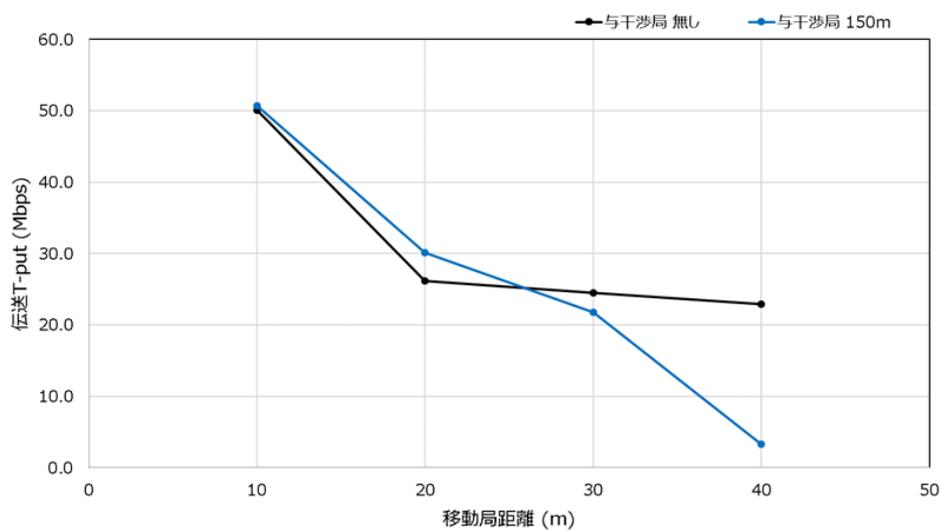


図 3.3.6.4-9 移動局間干渉下における同期(TDD)運用システム

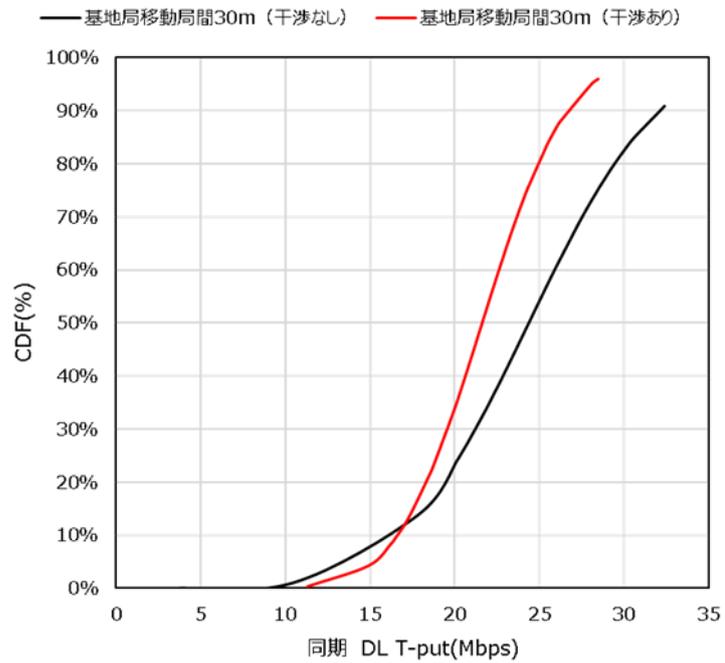


図 3.3.6.3-10(a) 移動局間干渉下における同期 (TDD) DL 伝送スループット累積分布 (同期/準同期移動局間距離 110m の場合)

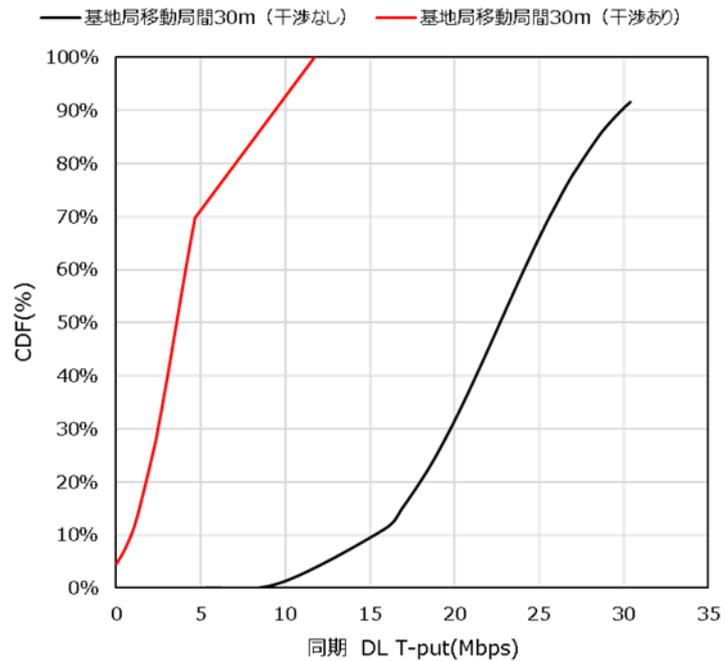


図 3.3.6.3-10(b) 移動局間干渉下における同期 (TDD) DL 伝送スループット累積分布 (同期/準同期移動局間距離 100m の場合)

(4) 所望の通信品質を確保可能な運用条件の評価

3.3.4 章の共用検討結果の妥当性について、3.3.6.4 章で取り纏めた実測値を用いて評価を行うことで、実証環境におけるローカル 5G の追加準同期パターンの運用条件について整理をおこなう。

図 3.3.6.3-11 に基地局間離隔距離 25m において測定した準同期 (TDD2) 移動局の基地局間干渉下における UL 伝送スループットを示す。結果から、机上検討結果と同様に実測値においても基地局-移動局間距離が 10m の地点において干渉影響が発生し、準同期 (TDD2) の UL 伝送スループットが劣化しているが確認できる (図中赤線)。しかし、20m 地点においては実測値のスループットが干渉なしと同等の値に回復している。これは、通信品質の劣化に伴い準同期 (TDD2) 移動局の送信電力制御が発生し、与干渉となる同期 (TDD) 基地局からの干渉波を希望波が上回ったためと考えられる。そのため、本実証で取得した実測結果からは共用検討から導き出される準同期 (TDD2) の UL 伝送スループットの劣化度合いについてのこれ以上の妥当性評価は困難である。

上記課題の解決策としては、干渉波と希望波の送信出力を同等とする手法が考えられる。しかしながら、本実証で用いた移動局並びに、一般に市販されている端末においては送信電力の出力は通信品質に応じて可変である。従って、移動局の最大出力に応じて基地局の送信電力の出力を合わせる必要が有るが、その場合は干渉影響が及ばない所要離隔距離が確保できる実証フィールドを用意することが望ましい。

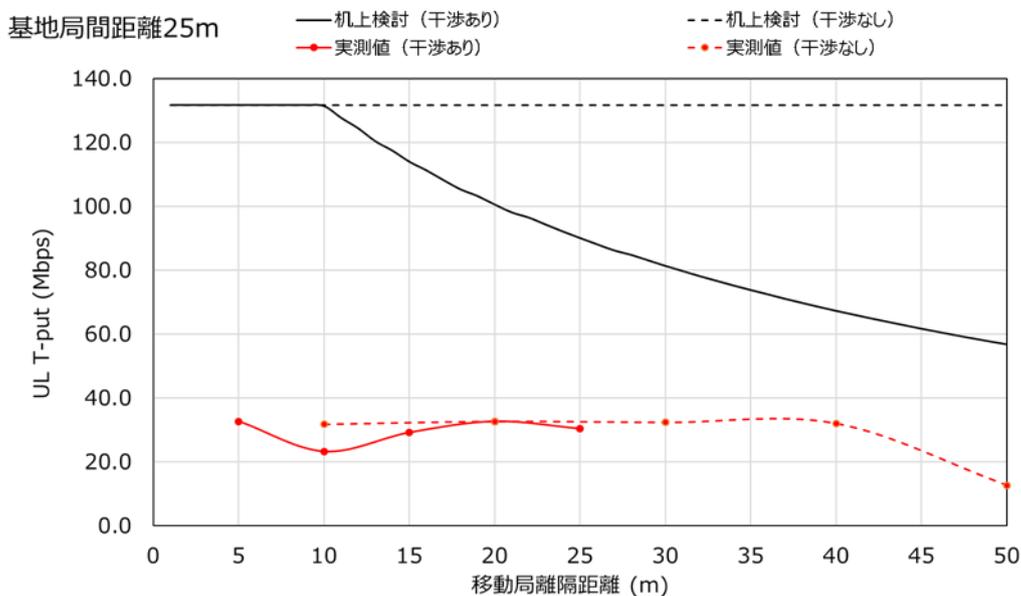


図 3.3.6.3-11 基地局間干渉下における机上検討と実測値との比較

最後に、本実証環境におけるローカル 5G の追加準同期パターンの運用条件について整理をおこなう。前提として、今回実証に用いた無線局諸元として基地局装置の送信電力密度は 0dBm/100MHz であり、移動局装置の最大送信電力密度は 23dBm/100MHz となる。よって同期運用事業者保護の観点でいえば、準同期運用事業者は同期運用事業者が運用する移動局に対して干渉影響を与えてはならないため、移動局装置の最大送信電力密度を考慮

した運用が求められる。従って、本実証においては、前述した通り基地局送信出力は移動機局の送信出力より低い値となることから、準同期移動局からの同期移動局に対する干渉影響を回避した運用を行えば良いと考えられる。

図 3.3.6.3-12 に基地局間距離を 150m とした場合の、移動局間距離を可変した同期 (TDD) の DL 伝送スループットを示す。結果から、移動局間距離が 110m の地点に置いて移動局間干渉が発生し、同期 (TDD) の DL 伝送スループットが劣化していることが分かる。そのため、本実測結果を基に運用条件を定める場合は、与干渉/被干渉となる移動局間距離を、120m 以上としたサイトエンジニアリングが必要と考えられる。ただし、これらの結果は、本実証で用いた無線局装置を用いた一例であり、他の無線局装置を用いる場合この限りではないため、今後、詳細な検討が必要であると考えられる。

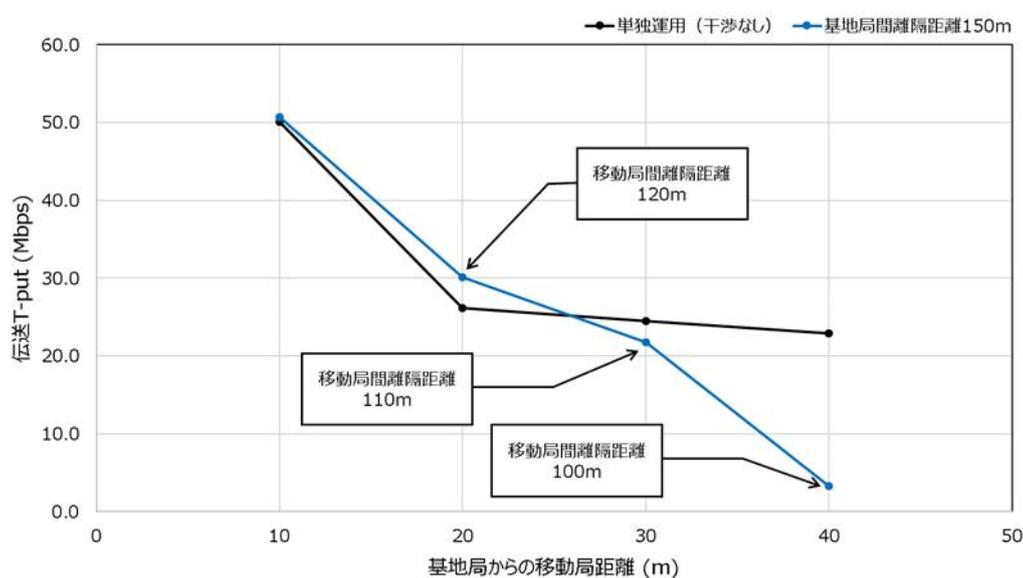


図 3.3.6.3-12 移動局間干渉下における同期(TDD)運用システム

4. ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）

4.1 実証概要

1.1 で前述した通り、畜産業は1戸当たりの経営規模が増加し、効率的な管理工程が求められている。酪農業では放し飼い方式（フリーストール方式）が多頭飼いに適しているが、個体管理面で酪農従事者に負担が掛かることが普及への足枷となっている。

そこで本実証では、フリーストール方式が抱える個体管理面の課題に対し、ローカル5G技術を活用して、①跛行検知、②個体識別・位置検索、③遠隔指導の3つの技術に関する実証を行い、個体管理作業の効率化と生産性の向上を目指す。なお本実証は、北海道訓子府町にある、ホクレン農業協同組合連合会が有する農場（訓子府実証農場）のフリーストール牛舎内で実施する。（図4.1-1）

実証内容	現状	課題解決方法
跛行検知	初期段階では判別ができず重症化に至るケースが多い	フリーストール牛舎内に設置した3次元カメラ・4Kカメラにより撮影された画像を解析し、乳牛の跛行（歩行異常の一種）の検知を実現
個体識別・位置検索	耳標から個体を識別目視で位置を確認	牛舎内に設置したFHDカメラによる撮影画像を解析し、個体識別・位置検索を実現
遠隔指導	往来による対面指導	スマートグラス・4Kカメラによる映像伝送により、早期に指導が必要な乳牛の遠隔指導を実現

図 4.1-1 課題実証の概要

① 跛行検知

乳牛の廃用の原因となる三大疾病の一つである蹄病に関する蹄の健康維持は、生乳の品質や生産効率に深く繋がりがあり、経済的損失に関わるため非常に重要である。しかし、近年の高齢化等で1戸当たりの飼育頭数が増加傾向にある中で、1頭1頭を健康管理のために観察することは極めて困難である。

跛行検知システムの実証では、乳牛をカメラで撮影し、取得データを解析して歩行異常（跛行）を検知する。重度の跛行は勿論のこと、個体ごとの歩様に注目し、跛行の早期発見または事前予測を目指す。早期の跛行の検知によって、蹄病の重症化にかかる経済的損失の低減が期待される。

② 個体識別・位置検索

牛が自由に動き回るフリーストール牛舎では、個体ごとに異常兆候を認識した場合、発情行動をした場合、牛群移動をする場合など、日々の作業で特定個体が牛舎内のどの位置にい

るかを探し出す必要がある。目視による斑紋や体格等の差異による識別は難易度が非常に高く、複数頭いる牛群の中で一頭ずつ耳標番号を頼りに探すため、時間を要するという課題がある。

個体識別・位置検索システムの実証では、複数のカメラを用いてフリーストール牛舎内の乳牛の動線を追跡し、スマートフォンやタブレット端末上でマップの閲覧や乳牛の位置検索を行うことのできるシステムを構築することで、個体位置特定にかかる管理工数削減を目指す。

③ 遠隔指導

高い生産性を維持するためには適切な管理方法のもと乳牛の健康管理を行うことが重要である。畜産コンサルタントの現地訪問により管理方法の改善や飼料バランスの提案といった技術指導を受けている酪農従事者もいるが、往来距離の問題から多くても月に1回程度に留まっており、指導内容のフィードバックや異常発生時の相談を具体的かつ頻繁に行うことは難しい状況である。獣医師についても同様に、昨今の産業獣医師不足に加えて往来距離の観点から1日当たりの診療・治療可能頭数が限られている。

遠隔指導システムの実証では、4Kカメラとスマートグラスを用いて畜産コンサルタントや獣医師へ高精細な映像や音声の通信、乳牛個体データを提供し、遠隔での技術指導や相談できる環境を構築することで、技術指導の頻度を高め、高い生産性の維持を実現する。

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

4.2.1 ユーザが抱える課題の具体化（イシューツリー）と本実証技術との関係性

本事業で対象とするユーザは、多頭飼いのための管理工数が増加しており、またそれによって牛の適切な健康管理が行えていないという問題を抱えている。他方、多頭飼いに適するフリーストール牛舎への移行による管理工数の低減や、獣医師や畜産コンサルタント等の外部専門家への適時の相談が必要となるが、既存の農場リソース（職員数やノウハウ）では対応が困難であり、また農場が郊外にあることから外部専門家の往来による適時の相談も難しい状況にある。

上記を踏まえると、対象ユーザにおいては、フリーストール牛舎の運用に係る管理工数を削減するための技術や物理的な往来等の制約を回避するためのリモート技術を導入することにより、事業生産性を向上するための取組を推進していく必要がある。

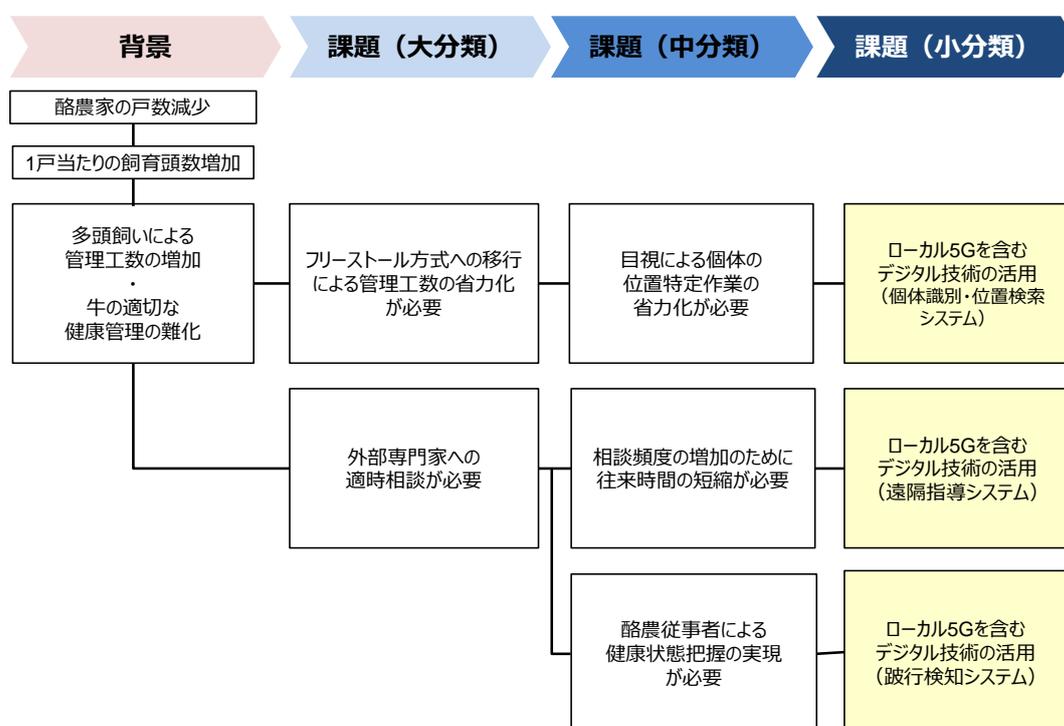


図 4.2.1 ユーザが抱える課題の具体化

4.2.2 ユーザにおける実装時の姿や方向性及び実装に向けたステップ

本実証において 3 つの技術を活用したソリューションの検証を行い、将来的には各技術をパッケージ化したアプリケーションとして、クラウドを通じてユーザが利用できる状態で提供することを最終的なゴールと考える。(図 4.2.2-1)

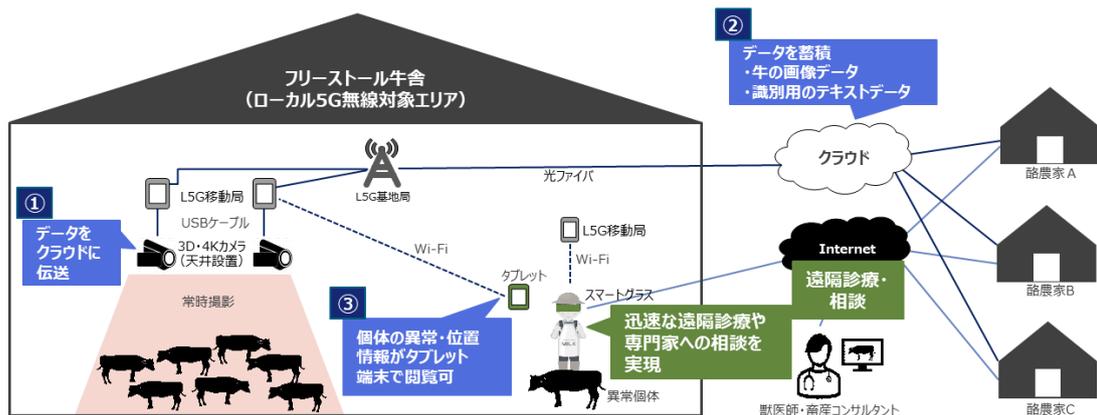


図 4.2.2-1 実装時のサービスモデル

実装の実現のためには、本実証での検証結果を踏まえてソリューションの技術的な要件を確立し、実装に係る具体的な課題を抽出する必要があることから、本実証においてはソリューションの有効性に関する検証に重点を置いて取組を進める。本実証後に実装シナリオの見直しやサービスモデルの普及促進活動を実施することで本実証技術のユーザ企業（訓子府実証農場）や他の類似事業者への実装を推進していく。

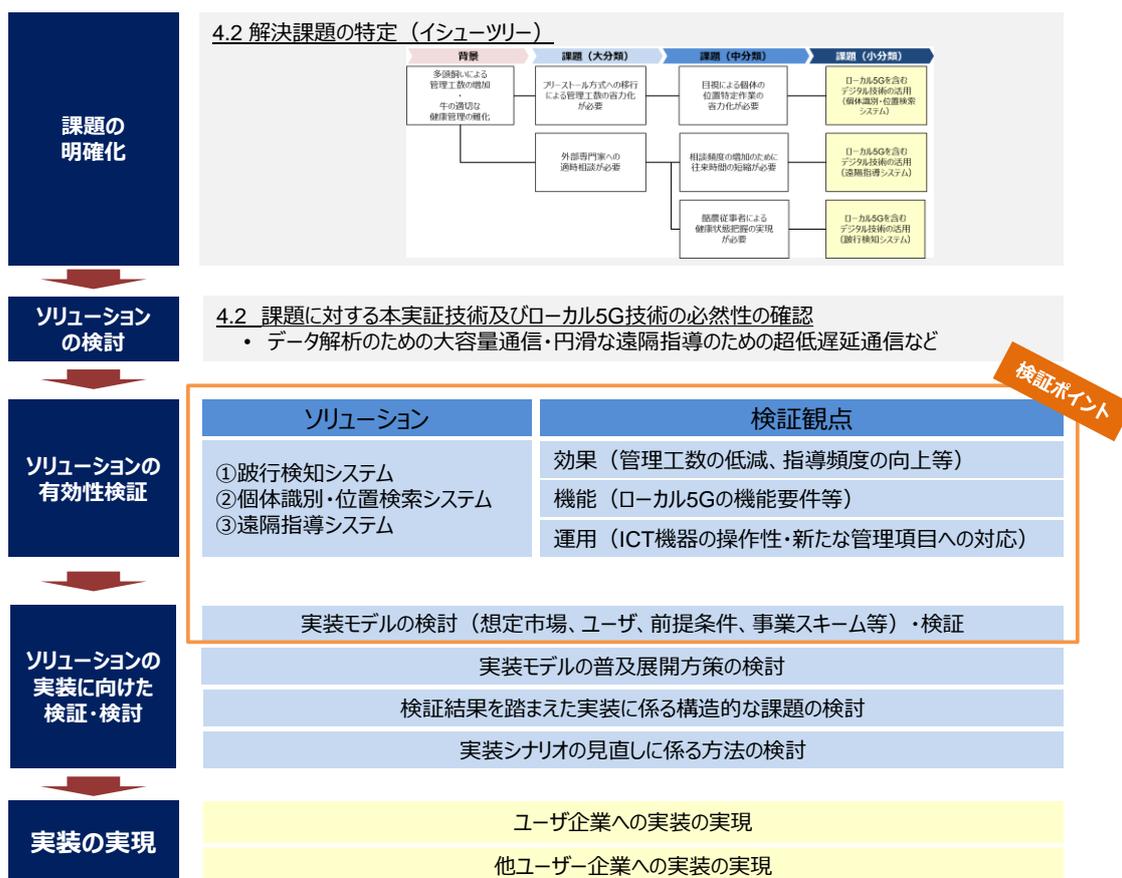


図 4.2.2-2 実装までのステップ

4.2.3 本事業の課題実証における目標

前述したとおり、本事業の課題実証においてはソリューションの有効性に関する検証を行う。検証するソリューションとしては乳牛の①跛行検知システム、②個体識別・位置検索システム及び乳牛の健康把握のための③遠隔指導システムの 3 つを対象とし、各システムの技術的な目標の達成状況を測る KPI を設定することで有効性についての評価を行う（詳細は 4.4 を参照）。

	実証内容	実証目標
ソリューションの有効性	跛行検知システム	跛行検知の実現可能性
	個体識別・位置検索システム	管理工数低減効果の確認
	遠隔指導システム	遠隔指導の有効性の確認

図 4.2.3 課題実証の内容と目標

4.3 実証環境

4.3.1 実証フィールドの概要

本実証は、北海道、訓子府町にある、ホクレン農業協同組合連合会（ホクレン）が有する農場（訓子府実証農場）のフリーストール牛舎内で実施する。訓子府実証農場は本実証コンソーシアムの構成員であるホクレンが有する農場であることから、従来の経営状況、管理状況を詳細に把握できる点で実証結果の分析に適したフィールドである。また、畜産コンサルタントと同様の指導が可能なスタッフが常駐している全国的に珍しい農場であり、跛行検知システムや遠隔指導システムに関して都度フィードバックが期待できる点も分析に適している。以下の図 4.3.1-1 に訓子府実証農場の全景、図 4.3.1-2 にフリーストール牛舎の平面図を示す。

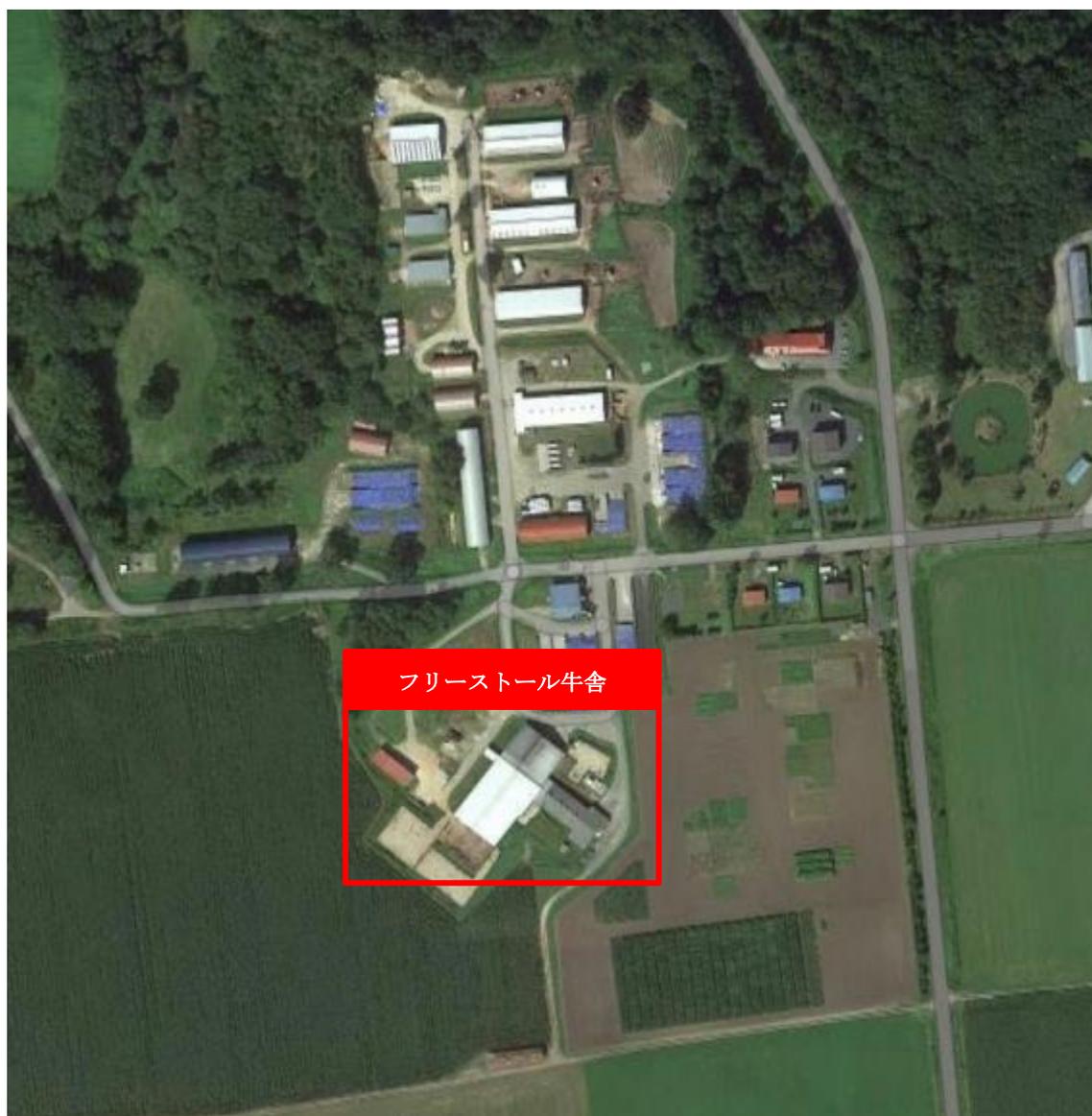


図 4.3.1-1 訓子府実証農場

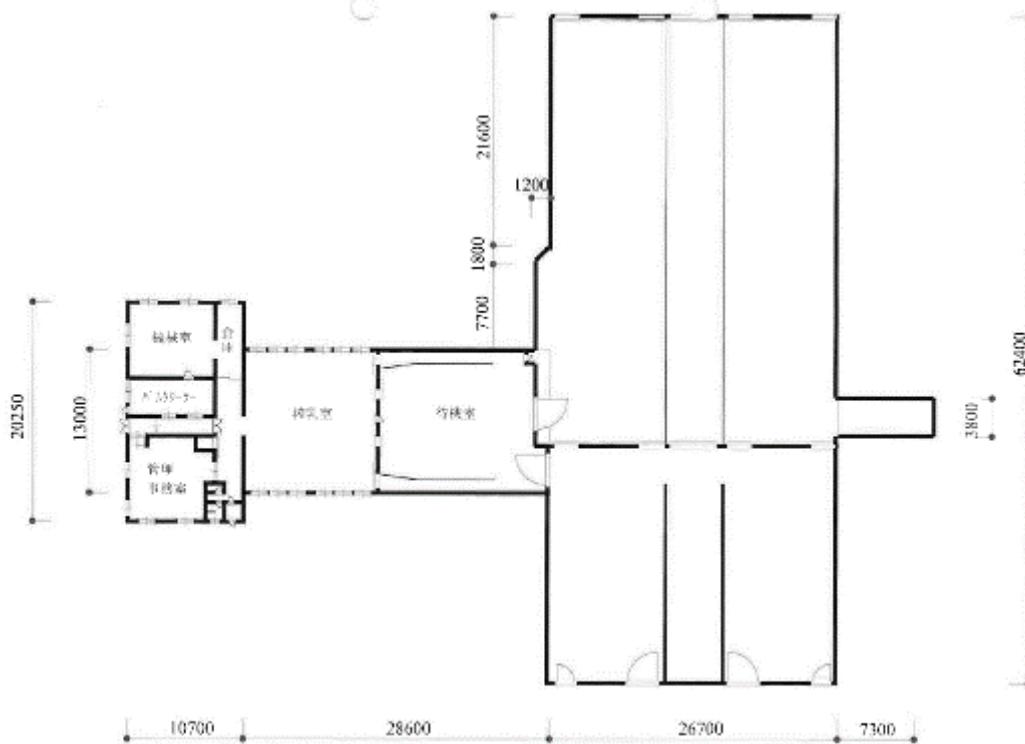


図 4.3.1-2 フリーストール牛舎の平面図

4.3.2 システム環境の概要

実証を行うシステム環境を以下の図 4.3.2-1 に示す。本実証は農林水産省「スマート農業実証プロジェクト(ローカル 5G)」実証と連携し、より効率的な実装を見据え、次年度以降は以下の図 4.3.2-2 の構成に変更することを想定している。具体的には個体識別・位置検索用の GPU サーバーを回線提供者データセンター(クラウド環境)に配置し、スマホやタブレット端末を通じて個体識別・位置検索結果を問題なく閲覧できるかどうかを検証するために、クラウドサーバーでの蓄積されたデータの処理速度、クライアント端末からのアクセス速度を測定する。

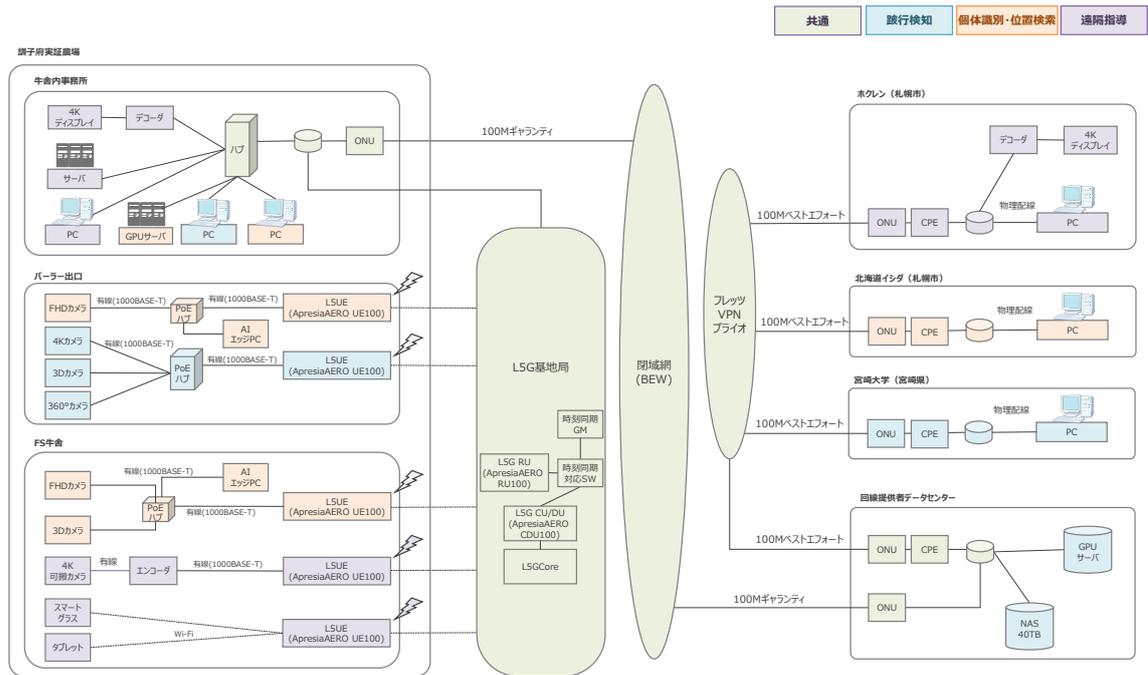


図 4.3.2-1 実証環境 (ネットワーク・システム構成)

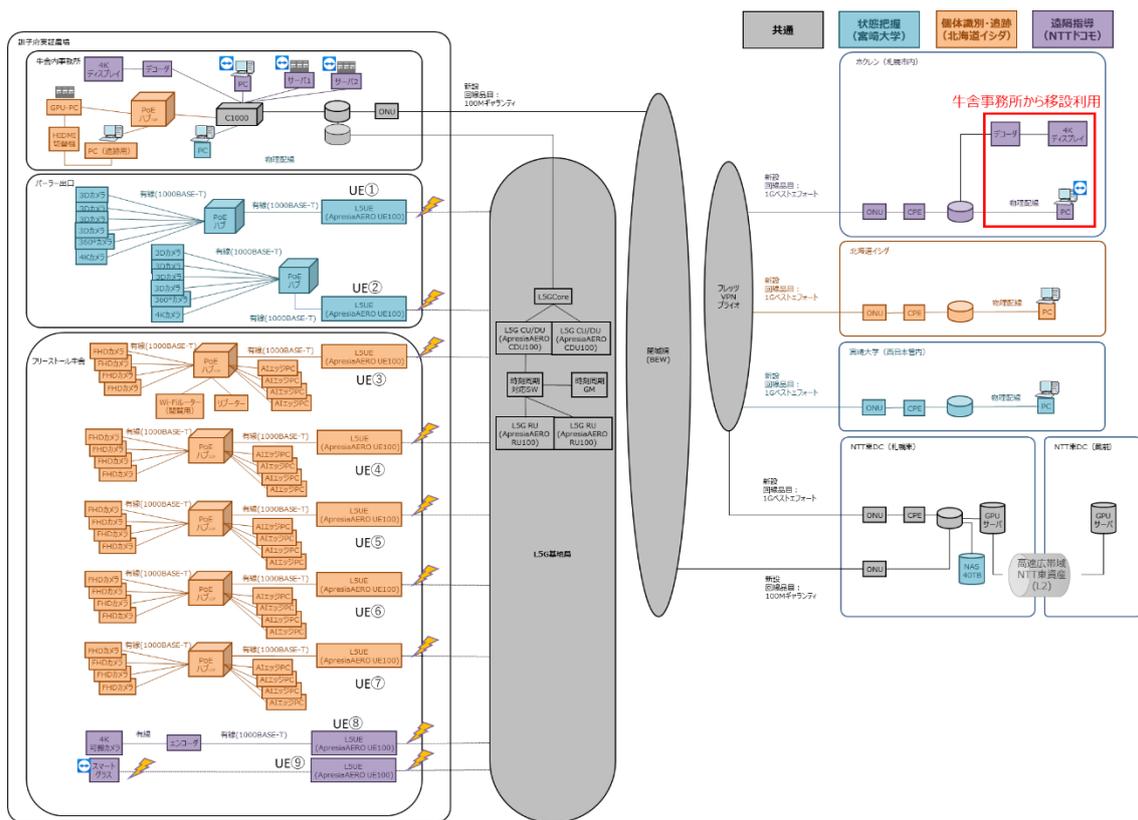


図 4.3.2-2 令和 4 年度の実証における実証環境 (ネットワーク・システム構成)

4.4 実証内容

4.4.1 ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証

4.4.1.1 効果検証

(1) 評価・検証項目

本事業の課題実証では、跛行検知システム、個体識別・位置検索システム、遠隔指導システムの実装による効果の検証をそれぞれ行う。

跛行検知システムでは、従来の日常業務では重症化してから顕在化する牛の跛行に対して、システムを活用することで軽症・中等症等の極力早期の段階で検知できるかを検証する。具体的には、専門家の判定と跛行検知システムの判定が一致した割合を「跛行検知率」として設定し、本実証を通じて測定を行う。個体識別・位置検索システムでは、従来、酪農従事者が目視で時間をかけて行っている個体の検索の作業が、システムの活用によりどの程度削減可能であるかを検証する。具体的には、(保持率：追跡保持出来ている一定時間システムで検索可能な個体の割合) × (正解率：システムで追跡した位置と実際に同位置にいた乳牛の割合) を位置検索率として設定し、本実証を通じて測定を行う。なお、跛行検知率および位置検索率については、過去の類似実証事業での結果と同等以上の検知率の達成を目標としたため、本実証では跛行検知率は 80%、位置検索率は 60%と設定した。遠隔指導では、従来、畜産コンサルタントが対面で実施していた指導を、遠隔指導システムを用いた指導に変更した場合、対面での指導と同レベルの指導が再現できるかどうかを検証する。

表 4.4.1.1-1 各実証内容における測定項目

No.	実証内容	評価・検証項目	評価項目の概要	主な測定項目
1	跛行検知システム	跛行の早期検知性	システムを活用することで酪農従事者の観察では判別できない重症化する前の跛行を検知できるかを検証する。	跛行検知率 (80%)
2	個体識別・位置検索システム	個体識別に係る管理工数の削減性	目視で行っていた個体の探索作業をシステムで代替可能であるかを検証する。	位置検索率 (60%)
3	遠隔指導システム	遠隔指導の実現性	対面で実施していた指導環境と比較したときの遠隔による指導の有効性について検証する	対面指導再現率 (アンケート結果の評点 4 以上が 100%)

(2) 評価・検証方法

1) 跛行検知システムにおける評価・検証方法

跛行検知システムでは、日常業務では発見に至らない跛行をシステムにより早期に検知可能であるかを検証する。

搾乳パーラーとフリーストール牛舎を繋ぐ通路上の床面上方 3m に下向きに設置された 3D カメラおよび搾乳パーラー入口に設置された 4K カメラからの画像を主要な入力データ（教師データ）とする（図 4.4.1.1-1）。

当初、2 つある搾乳パーラーとフリーストール牛舎を繋ぐ通路のうち、片側だけを使用し教師データの収集を行う予定としていたが、実証期間の短縮および実証期間内の精度向上に向けて、両方の通路にカメラを設置し、期間内にできるだけ多くの教師データを取得することとした。

入力データには 3D カメラからの距離データと 4K カメラからの画像が記録されており、画像から牛の領域のみ AI を用いて抽出する。そして得られたデータから、歩幅、体重負荷等の特徴量を算出する（図 4.4.1.1-2、図 4.4.1.1-3）。

その後、得られた特徴ベクトルを用いて機械学習により分類されたデータベースの内容と照合することで跛行であるかどうかを判断する。またここで個々のデータを保存し、時系列データ分析を行うことで跛行になりやすい、もしくは軽度の跛行であることを認識する。

上記を踏まえ、システムで検知された跛行の状態が本当に跛行であるかを専門家により評価することで跛行検知率を算出し、システムによる跛行検知の有効性について検証する。

跛行の状態に関する評価については、専門家によって跛行の重症度を跛行スコア 1～5 段階に分類し、4K カメラによる検知ではスコアに応じて 1～5 段階に、3D カメラによる検知では 2 分類評価として跛行スコア 1 を健康な牛、跛行スコア 2 以上を跛行の牛として分類した。

「跛行検知率」は専門家の判定と跛行検知システムの判定が一致した割合とし、過去の類似実証事業における検知率（80%）以上を目標とする。

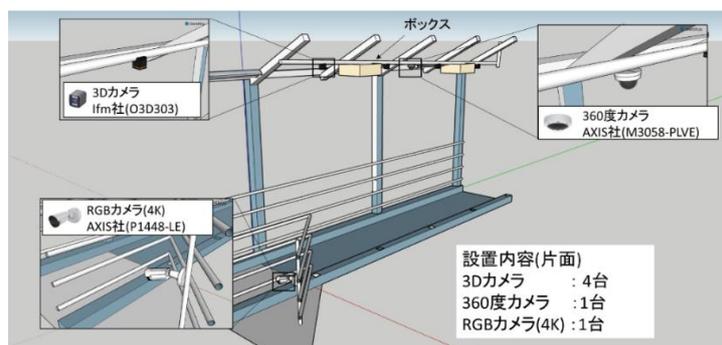




図 4.4.1.1-1 跛行検知システムにおける各カメラの設置箇所
(図の左下が 4K カメラ、右下が 3D カメラの現地での設置状況)

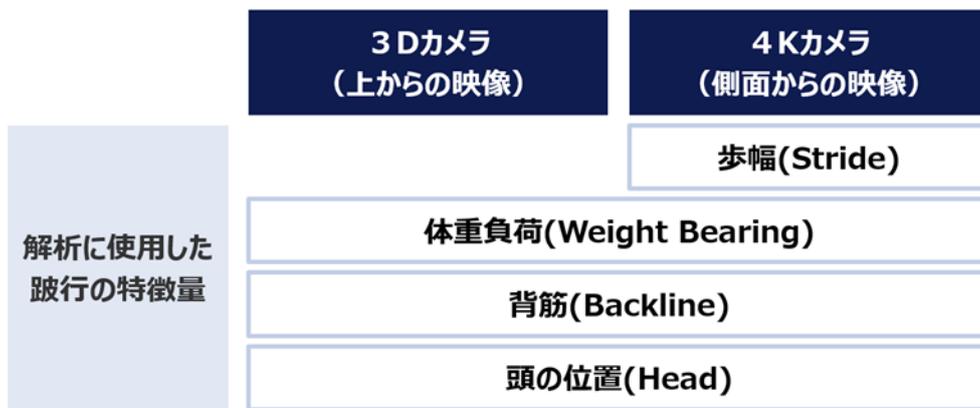


図 4.4.1.1-2 各カメラで抽出した特徴量

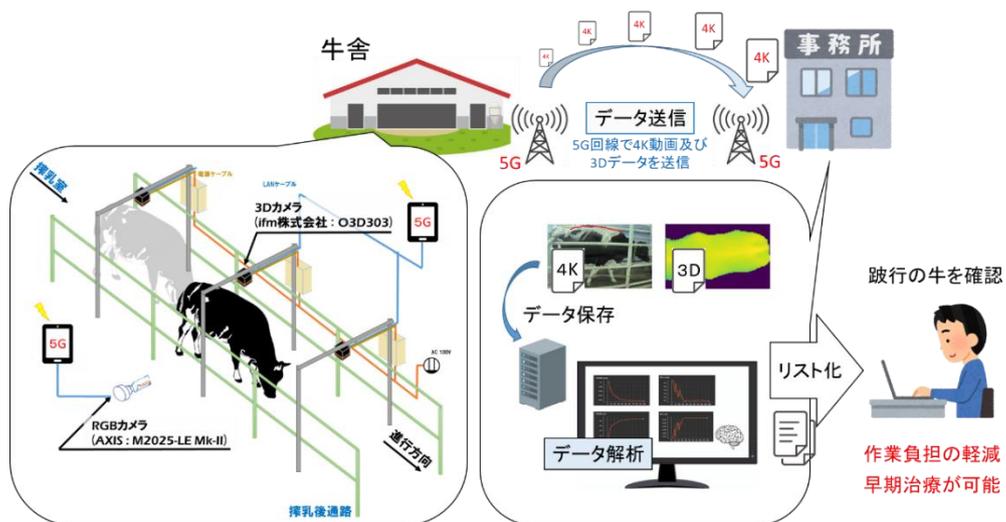


図 4.4.1.1-3 跛行検知システムのシステム概要

2) 個体識別・位置検索システムにおける評価・検証方法

個体識別・位置検索システムでは、従来目視で1頭1頭探していた牛の管理工数をシステムの活用によりどの程度削減可能であるかを検証する。

検証方法としては、カメラとAIによる画像認識技術を用いて、フリーストール牛舎内の乳牛の個体番号を識別するとともにその動線を追跡し、スマートフォンやタブレット端末上でマップの閲覧・乳牛の位置検索を行うことのできるシステムを構築する(図4.4.1.1-4)。

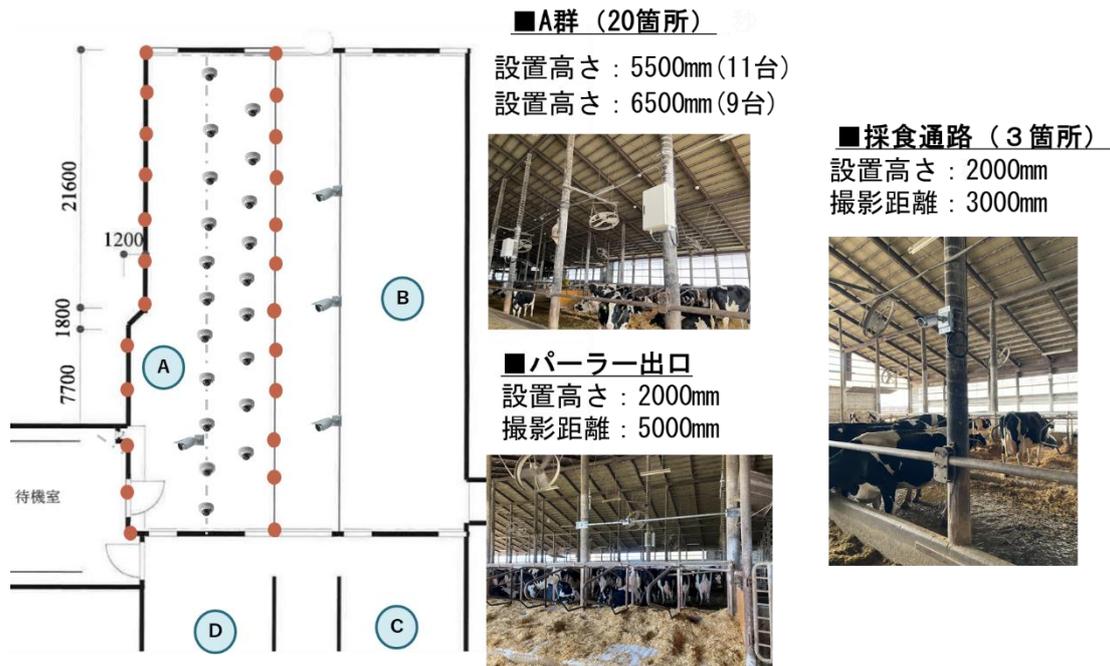


図 4.4.1.1-4 個体識別・位置検索システムにおけるカメラの設置イメージ

カメラで撮影されたデータを集約、繋ぎ合わせしマップ化したものをタブレットで表示し、それを用いて牛群に馴染みのないサービス開発者2名に乳牛の探索を実施してもらうことで検証を実施する(図4.4.1.1-5)。

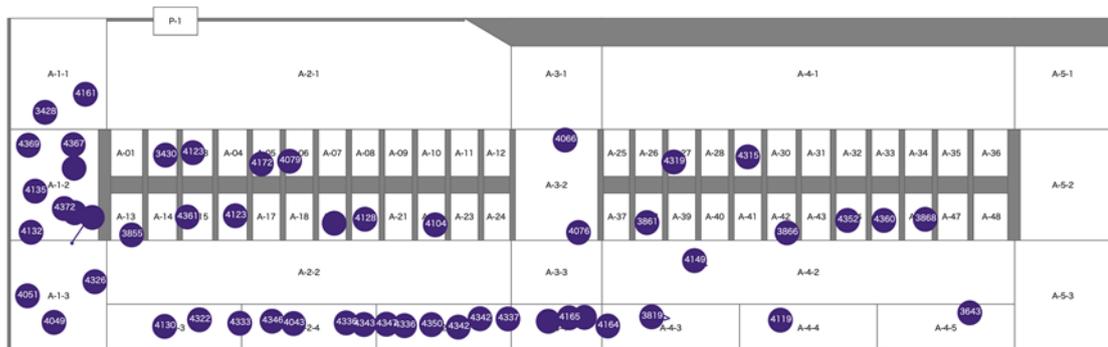


図 4.4.1.1-5 カメラデータのマップ図

システムの活用による個体検索の精度を位置検索率として測定し、以下の算出式を用い

て試算・検証を行う。

位置検索率＝カメラが認識し、追跡保持出来ている一定時間システムで検索可能な個体の割合（保持率）×追跡保持できており、追跡位置と実際に同位置にいた個体の割合（正解率）

位置検索率は、60%を目標とする。

3) 遠隔指導システムにおける評価・検証方法

遠隔指導システムでは、スマートグラス及び4Kカメラによる遠隔指導の有効性検証として、アンケート調査を行うことで映像と音声の品質を評価する。以下にアンケートの詳細を示す。

● 回答者の属性

回答者はホクレン農業協同組合連合会の従業員であり、「生産者」、「コンサルタント・獣医師」の目線での評価を行う。ホクレン従業員ではあるが、日常業務内容から各目線での適正な評価は得られると考え、生産者6名、コンサルタント9名、獣医師1名の計16名に対してアンケートを実施する。

- 生産者：ホクレン訓子府実証農場で乳牛の飼育をしている者
- コンサルタント・獣医師：コンサルタントは一般生産者向けに牛群管理などのコンサルタント業務を担う者、獣医師はホクレン訓子府実証農場に常駐し、獣医師資格を持つ者

● 設問

生産者向け、コンサルタント及び獣医師向けの2パターンを用意した（表4.4.1.1-2）。

表 4.4.1.1-2 アンケート設問（映像・音声品質）

	生産者向け	コンサルタント・獣医師向け
音声	<ul style="list-style-type: none"> ・接続は問題なく実施できたか ・接続失敗回数 ・途切れを感じるか ・雑音はないか ・エコーはないか ・音量に問題はないか 	<ul style="list-style-type: none"> ・接続は問題なく実施できたか ・接続失敗回数 ・途切れを感じるか ・雑音はないか ・エコーはないか ・音量に問題はないか ・遅延を感じるか
映像	<ul style="list-style-type: none"> ・配信接続は問題なく実施できたか ・配信接続失敗回数 	<ul style="list-style-type: none"> ・配信接続は問題なく実施できたか ・配信接続失敗回数 ・映像は鮮明か ・途切れを感じるか ・乱れを感じるか ・ピントは合っているか ・照度に問題はないか ・コントラストに問題はないか

● 評価基準

5段階とし、遠隔業務の実現可能性の観点から評価する。

➤ 映像評価

- ・非常に良い（5点）：全業務が遠隔で可能な品質
- ・良い（4点）：タブレット等の既存ビデオ通話よりも遠隔業務の可能性を有する
- ・普通（3点）：ビデオ通話と同じレベルの遠隔業務が可能
- ・悪い（2点）：遠隔業務には一部改善が必要
- ・非常に悪い（1点）：遠隔業務が困難

➤ 音声評価

- ・非常に良い（5点）：主観的に固定電話並みの品質と判断
- ・良い（4点）：主観的に携帯電話並みの品質と判断

- ・普通（3点）：主観的に IP 電話サービス並みの品質と判断
- ・悪い（2点）：コミュニケーションに一部支障が出る
- ・非常に悪い（1点）：音声の認識が困難

上記に加え、対面指導再現率（現地訪問による目視との差）についてもアンケート調査を踏まえて検証を行う。以下にアンケートの詳細を示す。

- 回答者属性
 - ホクレン従業員に「獣医師・コンサルタント」の目線で評価を行ってもらうために、獣医師 1 名、コンサルタント 9 名の計 10 名にアンケートを行う。
- 設問
 - ・見たい情報は得られたか
 - ・色、きめ細かさ、立体感はどうか
 - ・改善点、良い点、追加してほしい機能について自由記述
- 評価基準
 - ・非常に良い（5点）：目視と同等
 - ・良い（4点）：概ね目視と同等
 - ・普通（3点）：視覚情報（映像品質）は問題ないが、画角について目視と差異がある
 - ・悪い（2点）：視覚情報に不足がある
 - ・非常に悪い（1点）：必要な情報が得られない

以下の図 4.4.1.1-6 に本実証で構築する遠隔指導システムのシステム構成を示す。スマートグラスとともに、ローカル 5G ネットワーク下で 4K カメラ、4K ディスプレイを併用することで、高精細画像を獣医師等に円滑に送信し、乳牛の状態を正確に診断できる環境を構築する。

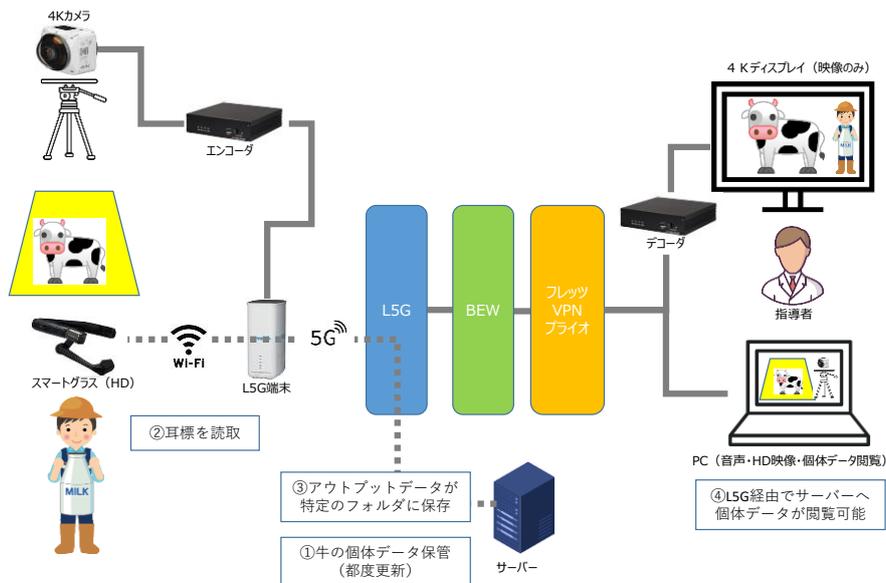


図 4.4.1.1-6 遠隔指導システムのシステム概要

(3) 実証結果及び考察

1) 跛行検知システムにおける実証結果及び考察

a) 4K カメラによる跛行検知率の算出結果

まず AI より得られた牛の領域から特徴量を求める。フレームごとに特徴量(背筋・頭の位置・歩幅)を抽出し、その特徴量の平均および中央値を算出し、特徴ベクトルとする (図 4.4.1.1-7)。

次に、機械学習モデルの一種である Support Vector Machine (SVM) を用いて、分類を行い、跛行スコア毎の検出を行った。表 4.4.1.1-3 は専門家のスコアと SVM で予測されたスコアを示しており、17 頭の牛を用いて評価を行った結果、専門家のスコアと 16 頭が一致し、跛行検出および分類精度は 94%であった。

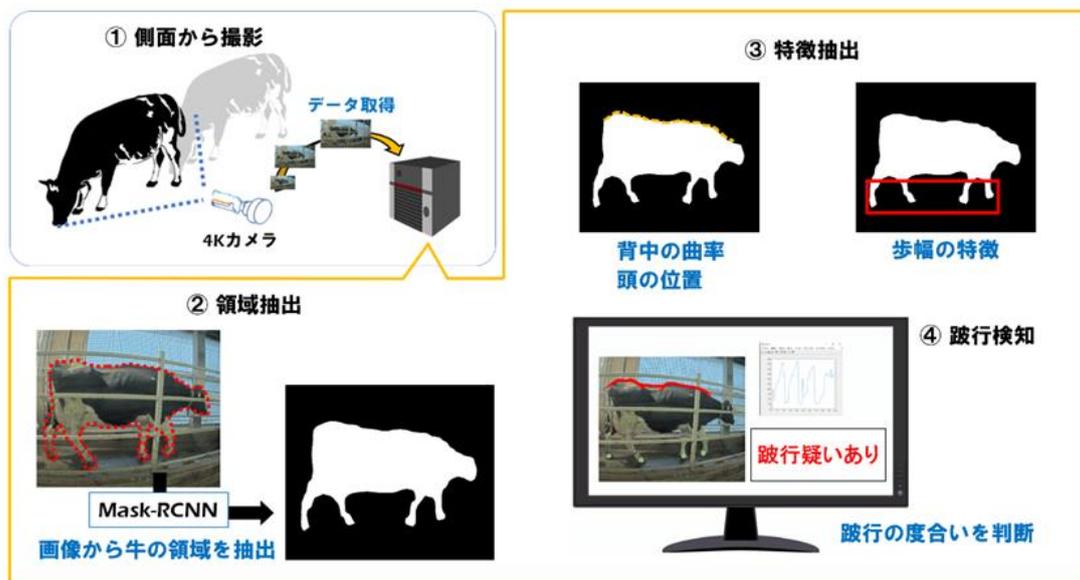


図 4.4.1.1-7 4K カメラによる跛行検知システムの流れ

表 4.4.1.1-3 専門家とシステムによる跛行スコアの分類

耳標番号	4043	3428	4361	4119	4066	4132	4128	4336	3868	3861	3855	3819	4142	4161	4076	4164 (M)	4164 (E)
専門家スコア	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
予測スコア	1	1	1	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4

b) 3D カメラによる跛行検知率の算出結果

11/23(昼), 11/28(朝), 11/28(昼), 11/29(朝)の撮影データを使用し、合計 95 ビデオ(47 頭)を Train, Test を 8:2 で分割を行った (図 4.4.1.1-8)。

首の傾きを特徴量とし、機械学習の手法の一つである GBDT(勾配ブースティング木)を用いて分類した結果、跛行検出精度は 75%であった。

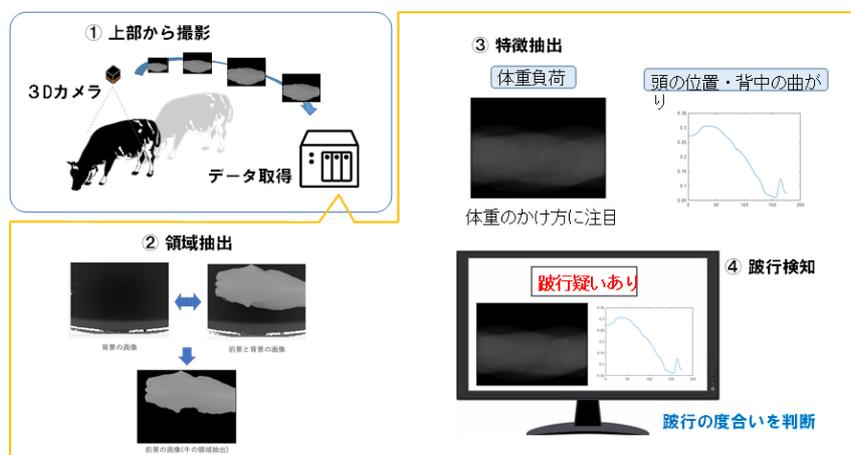


図 4.4.1.1-8 3D カメラによる跛行検出の流れ

c) 考察

4K カメラから mask R-CNN を用いて牛の領域を抽出したが、現時点では個体ごとに抽出の精度に差異が見られるため、跛行検知に重要な特徴である牛の背中の曲線をより正確に出せるようアルゴリズムの改良を行っていく必要がある。

牧場の環境によって 4K カメラの必要な画角が得られない場合があるため、3D カメラに関してもデータ量を増やして学習を行い、有効な特徴量を追加することによって、検知率 80%を目指す。また、有用な特徴を検討していくことによって、4K カメラと同様のスコア分類を実施できるよう改良していく。

2) 個体識別・位置検索システムにおける実証結果及び考察

a) 正解率の算出結果

まず本システムにて 40 頭の牛に個体番号をラベル付けし、1 時間後にラベル付けが保持できており、かつ番号の正しい個体数の割合（正解率）を算出した。検証は 3 回実施した。

結果として、採食前で 60.0% 正解率となり、それに対して採食時は 15.0% であり、牛が密集している時間帯では不正解が多く、平均正解率は 42.5% となった（表 4.4.1.1-4）。

表 4.4.1.1-4 正解率の算出結果

検証時間	正解	不正解	個体番号なし	個体数	正解率	不正解率	Lost
8:30～9:30	21	5	14	40	52.50%	13%	35%
10:30～11:30	6	5	29	40	15.00%	13%	73%
13:00～14:00	24	7	9	40	60.00%	18%	23%

b) 保持率の算出結果

追跡対象牛に対して、本システムにてラベル付けを開始してからラベルが外れるまでの時間を計測した。結果の算出方法は、測定時間 7 時間の中で追跡保持できた時間の割合で算出した。

結果として平均保持率は 20.29%（1 時間 25 分）、最大保持率は 92.86%（6 時間 30 分）となり、それに対して、最小保持率は 0.1%（42 秒）となった。

特に採食時の牛の重なりにより牛認識（2 頭が 1 頭に認識等）が出来ないことがあり、保持率を下げる要因となった（図 4.4.1.1-9）。



図 4.4.1.1-9 追跡保持時間の検証結果

c) 個体検索率の検証結果

位置検索率は 8.62%の結果となった。算出方法は下記となる。

(A) 平均保持率 20.29% × (B) 全体正解率 42.5% = 8.62%

最大保持率が 92.86%の結果に対して、採食時の牛が密集する時間帯では最小保持率が 0.1%と大きく低下していることが目標達成出来ない理由にあげられる。これらを改善するためには、下記内容の改善を行う必要があると考えている。

- カメラ間の繋ぎ合わせのためのアルゴリズムの改良
- 追加機械学習を行うことにより、密集している個体の識別精度を向上 (特に採食通路)
- カメラ撮影しているエリアにおいて牛認識率の低い箇所を特定し、適切なカメラ位置を検討し調整を行う
- 採食通路側を 4K カメラにより撮影し、より高精度の牛の耳標・顔識別を行う
- 個体番号が外れた牛について再度ラベル付けするタイミングを設け、動線追跡を再開させる処置を検討する

3) 遠隔指導システムにおける実証結果及び考察

a) 映像評価の結果及び考察

生産者を対象としたアンケート結果を図 4.4.1.1-10、獣医師・コンサルタントを対象としたアンケート結果を図 4.4.1.1-11 に示す。

映像評価については、概ね“普通（評点 3）”以上の回答数が多い結果となった。“良い（評点 4）”以上の回答もあり、評価者の見る観点によっては遠隔業務に適用可能な品質を確保できていると考える。ただし、通信状況の影響を受ける項目（接続、途切れ、乱れ）について、“悪い（評点 2）”の評価が多く、実証時のローカル 5G の速度低下、通信断に起因する評価と推測されるため、ローカル 5G の安定化により改善が見込まれる。その他、「鮮明さ」、「照度」、「コントラスト」についても“悪い（評点 2）”の評価があり、牛舎内の照度に関因するものと推測されるため、ポータブル投光器での補助等により改善可否の検証を進める。

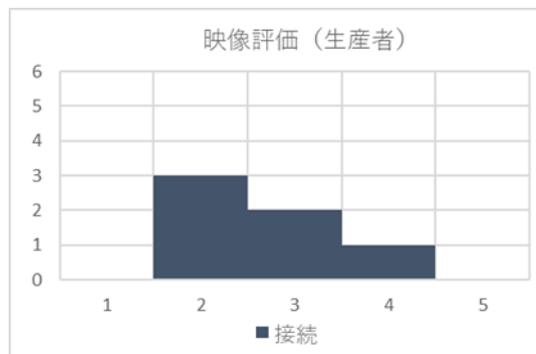


図 4.4.1.1-10 生産者へのアンケート結果

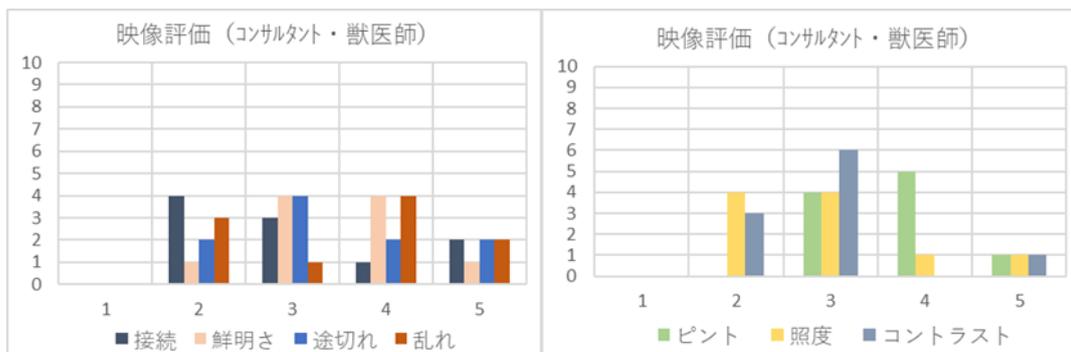


図 4.4.1.1-11 獣医師・コンサルタントへのアンケート結果

b) 音声評価の結果及び考察

生産者を対象としたアンケート結果を図 4.4.1.1-12、獣医師・コンサルタントを対象としたアンケート結果を図 4.4.1.1-13 に示す。

音声評価については、ほぼ“普通（評点 3）”以上の回答であった。IP 電話サービス以上の品質と判断されており、コミュニケーションを取る上で支障がないものとする。こちらに関して「接続」で悪い評価があるが、映像評価同様ローカル 5G の安定化により改善が見

込まれる。

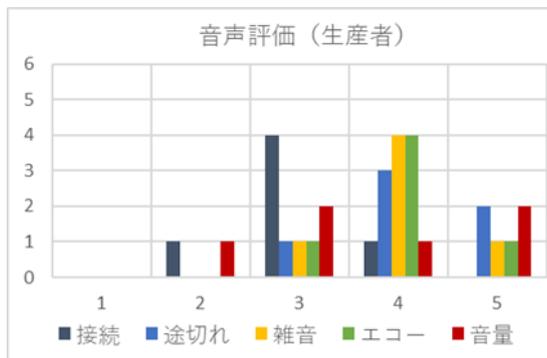


図 4.4.1.1-12 生産者へのアンケート結果

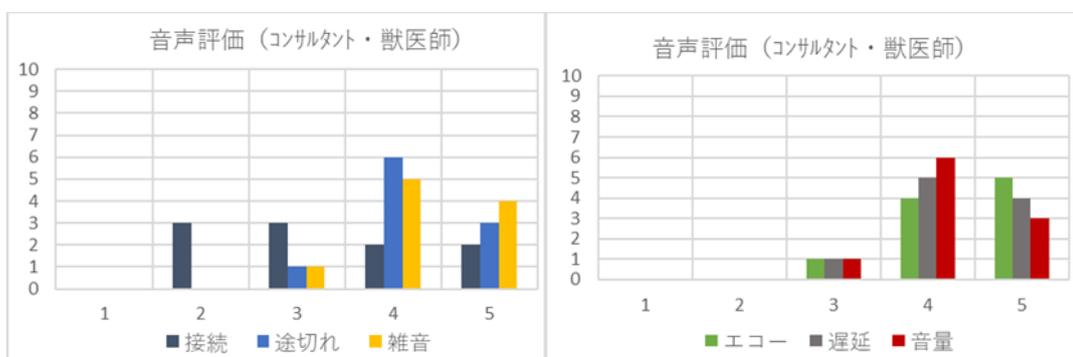


図 4.4.1.1-13 獣医師・コンサルタントへのアンケート結果

c) 対面指導再現率（現地訪問による目視との差）の結果及び考察

「見たい情報は得られたか」という項目については“良い（評点 4）”、“非常に良い（評点 5）”の評価が全体の 10%、「色、きめ細かさ、立体感」という項目については“良い（評点 4）”、“非常に良い（評点 5）”の評価が全体の 30%となっており、目標の 100%には及ばない結果となった（図 4.4.1.1-14）。また、“非常に悪い（評点 1）”、“悪い（評点 2）”の評価が各 1 ポイントあった。評価ポイントについてヒアリングの結果、4K カメラ映像での品質には問題はないが、同カメラのズーム機能等の画角に対する評価であることを確認。従来の目視で必要とする見え方が生産者の撮影方法や機器性能により十分に情報伝達できていないことが判明した。

上記の通り、対面指導再現率の目標は未達であり、画角等に対する改善点は見受けられたが、「見たい情報は得られたか」という項目においては“普通（評点 3）”が 90%以上を占めており、細かい情報が必要な指導業務を除き、遠隔指導は可能であると想定される。遠隔指導システムが広く受け入れられるためには、対面指導と比較して“良い（評点 4）”の評価を得ることが必要になると考えられるため、全ての評点が 4 以上になるように機器の選定や生産者の習熟度による解消が可能か検証を進めるとともに、ローカル 5G の安定運用や照度確保対策の実施についても検討を行う必要がある（表 4.4.1.1-5）。

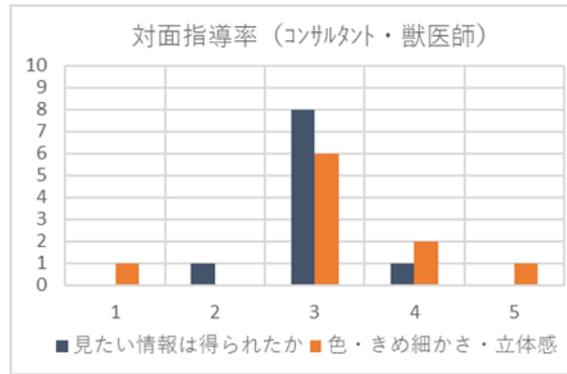


図 4.4.1.1-14 対面指導再現率のアンケート結果

表 4.4.1.1-5 対面指導再現率に対するコメント

設問	回答
改善点	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天気、光の入り方（明るさ）によって見え方が変わる。 ・ なるべく人の目に近い見え方になるようにできれば良い。 ・ 視野を狭くしても良いので、もう少し拡大した映像でなければ、鮮明になっても情報量が少ないと感じる。 ・ 静止しないと映像が乱れるので、生産者側も練習が必要。 ・ 映像が途切れないことが最優先と感じた。
良い点	<ul style="list-style-type: none"> ・ 牛の毛づやが 4K、スマートグラスともによく見える。 ・ 牛群を広く見ることができる点は良かった。 ・ 映像が乱れない時の鮮明さは良かった。 ・ 目で見ているくらいの映像が見られ臨場感を得られた。 ・ 想像していたより共有した空間にいる感じがした。 ・ 映像、音声のズレを全く感じなかった。 ・ スマートグラス（FHD）は想像よりも映像がキレイだった。
追加してほしい機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ マクロで写すことができると良いかもしれない。 ・ 音声から耳標番号を認識できるようにした方が良い。 ・ 4K カメラのズーム機能。 ・ 360°映像。 ・ 夜でも牛群全体が見られるようにしてほしい。

4.4.1.2 機能検証

(1) 評価・検証項目

畜産コンサルタントは牛群単位で乳牛の毛艶、肉付き、飼料の食い込み、牛糞等をチェックする。酪農従事者では見逃される僅かな変化や異常に気づくことが重要であり、往来による目視レベルに近づいた判断を行うためには 4K 映像や円滑なコミュニケーションを取るために遅延が無いことが求められる。そのため、可搬型のカメラを用いて高精細な映像や音声をリアルタイムに伝送するためローカル 5G を必要とする。

また、本実証においては、「秘匿性」と「構造に応じたエリア設計」も必要になると考えている。牛の個体情報は生産者の同意なしに開示できない情報であるため、秘匿性の高い情報であると言える。牛舎は生産者ごとに構造・広さも様々で、システムを利用する場所に応じて必要となる伝送帯域も異なるため、構造に応じたエリア設計も必要な要素であると言える。これらの条件を踏まえると、秘匿性の高い牛の個体情報を扱うことができる点、牛舎の構造に応じてエリア設計ができる点、Wi-Fi や公衆回線と異なり帯域を占有でき、特定エリア（牛舎内）の通信安定化が図れる点において、ローカル 5G を導入するメリットはあると考えられる。ただし、生産者の要望に応じて他の手段で本実証技術を実装することも可能ではある。例えば、生産者が牛の個体情報に秘匿性を求めない場合や、牛舎が狭くエリア設計の必要性がない場合においては、Wi-Fi やインターネット回線を利用することも可能である。

上記を踏まえ、本課題実証で活用するローカル 5G 技術の機能検証項目及びその検証方法を以下の表 4.4.1.2-1 に示す。

表 4.4.1.2-1 課題実証における機能検証項目

No.	機能要件	評価・検証項目	
1	システム全体の伝送帯域		
2	超高速 (大容量通信)	映像品質の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・解像度 ・コーデック ・フレームレート
3		音声品質の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・呼損率（トラヒック状況による変化）
4	超低遅延	音声品質の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・音声遅延（コーデックによる変化）

(2) 評価・検証方法

以下に本実証において検証するローカル 5G 機能の検証方法の詳細を示す。

1) システム全体の伝送帯域

システム全体で要求される上りスループットの要件を満たすかについて検証を実施する。各システムの必要伝送帯域をもとに伝送帯域目標は 65Mbps (UL) とする。

各システムの必要伝送帯域は以下の通り (表 4.4.1.2-2)。

表 4.4.1.2-2 実証に必要な伝送帯域

実証内容	機器	数量	容量 (Mbps)	計 (Mbps)
跛行検知	3D カメラ	4	0.50	2.00
	360°カメラ	1	10.80	10.80
	4K カメラ	1	12.00	12.00
個体識別・位置検索	識別 FHD カメラ	4	4.00	4.00
	追跡 FHD カメラ (一次処理後)	20	0.01	0.20
遠隔指導	スマートグラス	1	4.00	4.00
	4K カメラ	1	20.00	20.00
合計				65.00

2) 映像品質 (超高速) の評価

解像度、コーデック、フレームレートを変化させた設定に対するアンケートにより、映像品質の評価 (5 段階の主観評価) を実施する。以下にアンケートの詳細を示す。

● 回答者

ホクレン従業員に「獣医師・コンサルタント」として映像品質を評価してもらうために、10 名に対してアンケートを実施する。

● 評価基準

5 段階とし、遠隔業務の実現可能性の観点から評価する。

映像評価

- ・非常に良い (5 点) : 全業務が遠隔で可能な品質
- ・良い (4 点) : タブレット等の既存ビデオ通話よりも遠隔業務の可能性を有する
- ・普通 (3 点) : ビデオ通話と同じレベルの遠隔業務が可能
- ・悪い (2 点) : 遠隔業務には一部改善が必要
- ・非常に悪い (1 点) : 遠隔業務が困難

3) 音声品質 (超高速・超低遅延) の評価

遅延はコーデック、呼損率はローカル 5G トラヒック状況を変化させ、アンケートによ

る評価（5段階の主観評価）を実施し、平均点を集計する。各設定に応じた平均点の比較を行うとともに、5項目（遅延、途切れ、雑音、エコー、音量）の合計点数により「適切なIP電話サービスを提供するための品質確保・評価基準」（図4.4.1.2-1）におけるクラスC基準相当の設定値を検証する。以下にアンケートの詳細を示す。

● 回答者

ホクレン従業員に「生産者」、「獣医師・コンサルタント」として音声品質を評価してもらうために、生産者6名、獣医師1名、コンサルタント6名の計16名にアンケートを行う。

● 評価基準

- ・非常に良い（5点）：主観的に固定電話並みの品質と判断
- ・良い（4点）：主観的に携帯電話並みの品質と判断
- ・普通（3点）：主観的にIP電話サービス並みの品質と判断
- ・悪い（2点）：コミュニケーションに一部支障が出る
- ・非常に悪い（1点）：音声の認識が困難

適切なIP電話サービスを提供するための品質確保・評価基準

「IPネットワーク技術に関する研究会」報告書

	クラスA (固定電話並 ^(注))	クラスB (携帯電話並 ^(注))	クラスC
総合伝送品質率(R)	>80	>70	>50
エンドトゥエンド遅延	<100ms	<150ms	<400ms
呼損率(接続品質)	≤0.15	≤0.15	≤0.15

*R値、遅延に関する表中の数値は95%確率で満足させるものとする。

(注)ここでの固定電話並、携帯電話並とは、それぞれ通話品質に注目した場合を表し、その他の機能等について既存の固定電話並又は携帯電話並を求めるものではない。

図 4.4.1.2-1 「適切な IP 電話サービスを提供するための品質確保・評価基準」

(3) 実証結果及び考察

1) システム全体の伝送帯域について

必要伝送帯域の定量的目標 **65Mbps** は達成した。しかしながら、通信の安定運用に向けては、「一時的な速度低下」や「接続断」といった問題点が見られた。

問題点は、RU-UE 間の接続時に規定値以上のエラーが発生したことが要因である。ローカル 5G ベンダにて現状のログ収集が完了したことから、エラー原因の特定と対策の実施により改善が見込まれるものと推測する。

2) 映像評価（超高速）についての結果及び考察

4K映像を伝送し、映像品質を評価することで機能要件の検証を行った。映像伝送に関する設定は表 4.4.1.2-3 の通り。

表4.4.1.2-3 映像品質の機能要件

項目	設定値
解像度（4Kカメラ）	3,840×2,160
コーデック	H.265
フレームレート	30fps

アンケート結果を図4.4.1.2-2に示す。通信状況の影響を受ける項目（接続、途切れ、乱れ）について、“悪い（評点2）”の評価が多く、実証時のローカル5Gの速度低下、通信断が起因している。また、「鮮明さ」、「照度」、「コントラスト」の“悪い（評点2）”評価については、牛舎内の照度に起因するものと推測されるため、ポータブル投光器での補助等による改善を検討する。

ローカル5Gの通信が安定している際は“普通（評点3）”以上の回答が多数得られており、超高速の機能要件にかかる4K映像品質は一定の評価を得ている。ローカル5GのRU-UE間の接続時におけるエラー原因の特定と対策実施で通信を安定化することで品質の向上を見込む。

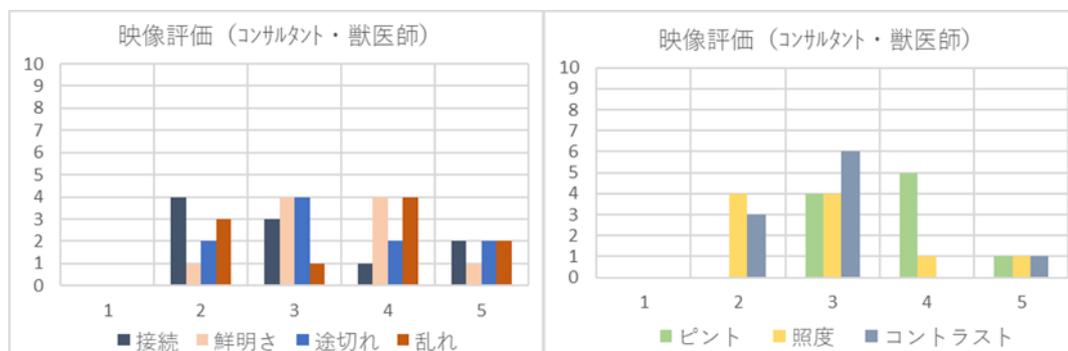


図 4.4.1.2-2 映像評価のアンケート結果

3) 音声評価（超高速・超低遅延）についての結果及び考察

おおむね“普通（評点3）”を上回る回答結果となった（図 4.4.1.2-3）。IP 電話サービス以上の品質と判断されており、コミュニケーションを取る上で支障がないものとする。

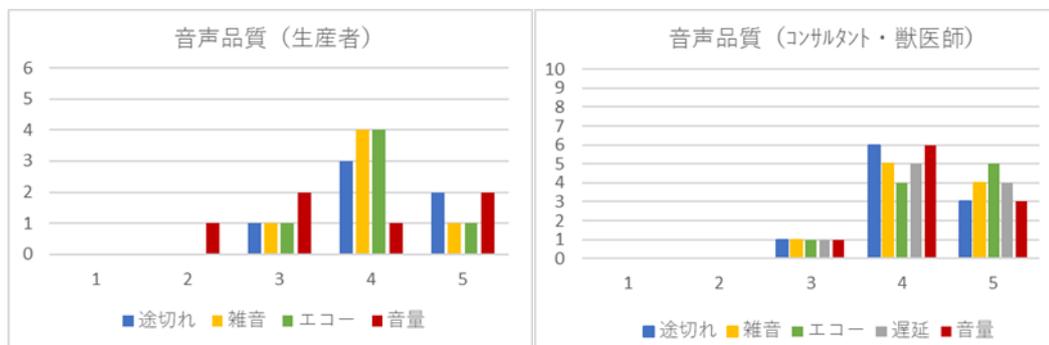


図 4.4.1.2-3 音声品質のアンケート結果

4.4.1.3 運用検証

(1) 評価・検証項目

本課題実証で検証する各システムを実運用した際の影響について検証を行う。以下に各システムを実運用した際に生じる運用面の変化（評価・検証項目）を表 4.4.1.3-1 に示す。

跛行検知システムでは分析結果をタブレット等で確認する作業が発生することから、運用面への影響を考慮して、操作性等を検証する。

個体識別・位置検索システムでは跛行検知システムと同様、タブレットによる操作性の確認を実施する。また、牛の識別・検索に使用するカメラの洗浄作業が発生することを考慮し、カメラの汚れによる識別精度への影響を確認する。

遠隔指導システムではスマートグラスやウェアラブルカメラによる音声通信や遠隔先が閲覧する乳牛の個体データの入力作業等が発生することから、その影響を考慮した対策の有効性について検証を行う。

表 4.4.1.3-1 課題実証における運用検証項目

No.	実証内容	評価・検証項目 (運用面の変化)	評価項目の概要
1	個体識別・ 位置検索 システム	タブレット等による個体 位置検索作業	従来目視で実施していた個体の探索作業を タブレット等で行う変化が想定される。
		カメラを 洗浄する作業	カメラ汚れによる識別精度の確認
2	遠隔指導 システム	指導に伴う映像・音声通 信、耳標読取、乳牛の個 体情報入力作業	スマートグラスやウェアラブルカメラでの音 声通信、遠隔先が閲覧する乳牛個体データ のための耳標読取作業、個体情報入力作業 の発生が想定される。

※跛行検知システムにおけるタブレットの操作性に関する検証については次年度の農水省事業の中で実施する予定

(2) 評価・検証方法

1) タブレット等による個体位置検索作業

システムを実装する際には、タブレットの操作を含めたマニュアルの作成・操作方法の指導を検討している。これらの対策を踏まえて、操作性および運用面に支障がないか酪農従事者へアンケートを行う。

2) カメラ汚れによる識別精度の確認

設置したカメラが粉塵等の汚れにより個体認識精度の変化から運用面に支障がないかを

検証する。

3) 映像音声通信、耳標読取、乳牛の個体情報入力作業

酪農従事者がスマートグラス、ウェアラブルカメラで撮影し、映像や音声を伝送する作業、遠隔先が閲覧する乳牛個体情報をテキストデータとしてインプットする作業及び定期的なデータ更新作業の発生が想定される。

各機器の操作についてはマニュアル作成、操作方法の指導をすることで対応する。その後、操作利便性について農場従事者にアンケート調査を行うことで、運用への影響について検証する。アンケート詳細は以下の通り。

- 回答者の属性
ホクレン従業員が「生産者」の目線での評価を行う。なお、6名の従業員に対してアンケートを実施する。
- 設問
 - ・ 作業の負担感は許容できる範囲内か (5段階評価)
 - ・ 操作は容易か (5段階評価)
 - ・ 改善点、良い点、追加してほしい機能について自由記述またインプット作業については、実証結果による必要なインプット情報を見直すことを想定している。

(3) 実証結果及び考察

1) タブレット等による個体位置検索作業

ホクレン従業員からの評価結果としてタブレットは大きく収納も不便で持ち運びながらの作業が難しいとの意見がよせられたことから、持ち運び可能なスマートフォンが必要と史料する。

また、現場では不要な機能を除外しマップのみ表示とし、操作性を向上させる必要がある。下記内容を考慮しスマホ対応していく。

- マップ画面を画面サイズにあわせ最大化し表示する。
- ログイン無で利用可能にする。

現場で不要な機能は除外する。(マップのみ表示)

2) カメラ汚れによる識別精度の確認

カメラの汚れはほぼ無く、本システムでの汚れによる識別精度には影響はない状況。カメラ設置3ヶ月が経過しても識別精度に変化はなかった(図4.4.1.3-1)。

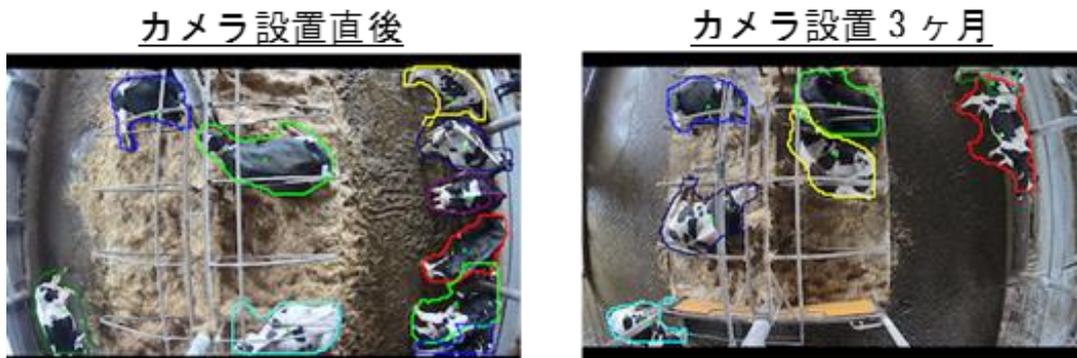


図 4.4.1.3-1 カメラ汚れによる識別精度の検証結果

3) 映像音声通信、耳標読取、乳牛の個体情報入力作業

アンケート結果を図4.4.1.3-2に、アンケートで得られたコメントを表4.4.1.3-2に示す。

データのインポート作業は生産者が利用している牛群管理システムのデータ(csvファイル)をインポートすることで作業負担を軽減することができた。

スマートグラスの操作面については、マニュアルを作成し、マニュアルを見ながら作業者に操作を実施してもらい作業性に問題はなかった。しかし、スマートグラスで耳標番号を読み取る作業(バーコード認識)は、牛が動き回ったり、牛の耳の毛が読み取りの妨げとなったりしたため、スムーズに実施できなかった。その結果、「作業負担感」や「操作の容易度」で「悪い(評点2)」評価が多くなっている。

耳標読み取りが困難な事象の改善策として、音声認識機能の追加を行ったことから作業

負担感や容易度は改善されると考える。また、操作性は反復利用による習熟でマニュアルを見ながらの操作は不要になると推測しており、継続的な運用で実用可能と判断する。

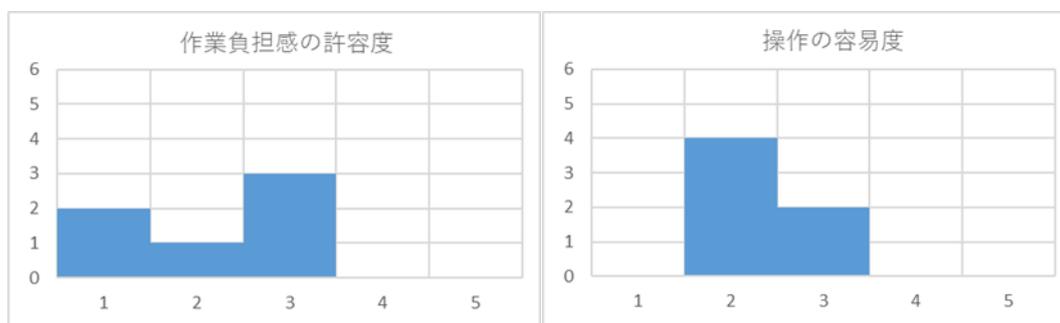


図 4.4.1.3-2 作業負担と操作容易度に関するアンケート結果

表 4.4.1.3-2 アンケートで得られたコメント

設問	回答
改善点	<ul style="list-style-type: none"> ・スタートまでの段取りが長い ・耳標読みこみ→スタートの流れは変えて欲しい ・カメラの位置と目の位置のズレが気になる ・片目での作業はやや難あり ・耳標の読みとりが難しい ・読みとり時間が短い
良い点	<ul style="list-style-type: none"> ・慣れると相手とのやりとりがスムーズにできそう ・バッテリー切れなどのトラブルはない ・近未来を感じた ・音声読みとりの感度は良い ・想像していたより共有した空間にいる感じがした ・接続のラグが少なく相手との会話ができる
追加してほしい機能	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートグラスの画面を左側にもつけられるようにしてほしい ・個体データを表示するのであれば耳標の番号を読み込んで遠隔先の画面上に都度表示されるようになると良い

4.4.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検証

4.4.2.1 ローカル 5G 活用モデルの構築・検証

(1) 想定される具体的な主体及びターゲット（地域・市場・ユーザ等）

本課題実証で検証するサービスモデル（ローカル 5G 活用モデル）のターゲットとしては、実証フィールドが属している北海道地域の酪農家を実装対象ユーザとして考えている。また北海道地域の類似ユーザへ普及を行った後、全国の酪農家に対しても本実証技術の展開を行い、フリーストール牛舎が抱える課題解決に取り組むことを念頭に社会実装を推進していく。なお、本実証においては管理対象を乳用牛としているが、豚、馬など他の畜産または水産分野などの他業種への技術の横展開についても可能性を検討していく。

方向性としては上記に示すターゲットや分野に相違はない。他方、類似ユーザや分野へ本技術を実装する上では、各種条件を確認し、詳細な実装可能性について精査が必要である。本実証を通じて確認された実装における条件としては、牛舎の高さ、パーラーの構造、牛の頭数、農場の経営規模など考慮する必要がある。

- 牛舎の高さ
牛舎の高さが高い場合は、個体の位置検出用のカメラ設置が高所作業になるため、設置費用がかさむ可能性が考えられる。また、牛舎の高さが低い場合は、1台のカメラが捉えられる牛の頭数が少なくなる可能性があるため、カメラの台数を増やす必要性も考えられる。
- パーラーの構造
本実証環境ではパーラーから牛が1頭ずつ出てくるので個体識別が比較的容易な環境であるが、パーラーから牛が同時に複数出てくる場合は個体識別用カメラの位置を工夫する等の対策を行う必要がある。
- 牛の頭数
頭数が多い場合、牛舎の広さも大きくなる傾向があるため、位置検出用のカメラの台数が増えることが考えられ、機器費が増える可能性がある。
- 農場の経営規模
本実証技術は農場に係る労務費の低減を主とする技術であり、経営規模が大きいほど導入効果が大きくなる技術に位置づけられる。今回生産者として設定した訓子府実証農場の経営規模は経産牛の頭数が約170頭であるに対し、直近の想定ターゲットとして考えている北海道道内の類似農家（フリーストール牛舎）の経産牛の平均頭数が約100頭であるため、訓子府実証農場のフリーストール牛舎は中規模以上の酪農家であるといえる。少なくとも中規模以上の酪農家であれば、費用負担が可能（本技術の実装が可能）であると想定される。また、本技術を実装することで個体管理業務をシステム化することが出来るため、少人数でより多くの頭数を飼育することが可能になることを鑑みると、北海道内の平均的な経営規模のフリーストール牛舎が本実証技術を導入することで経営規模を大きくすることが出来る可能性もある。

(2) 対象となるシステム(普及に資するソリューションや事業モデル等のパッケージ)

本課題実証で検証するサービスモデルの概念図（再掲）を以下の図 4.4.2.1-1 に示す。

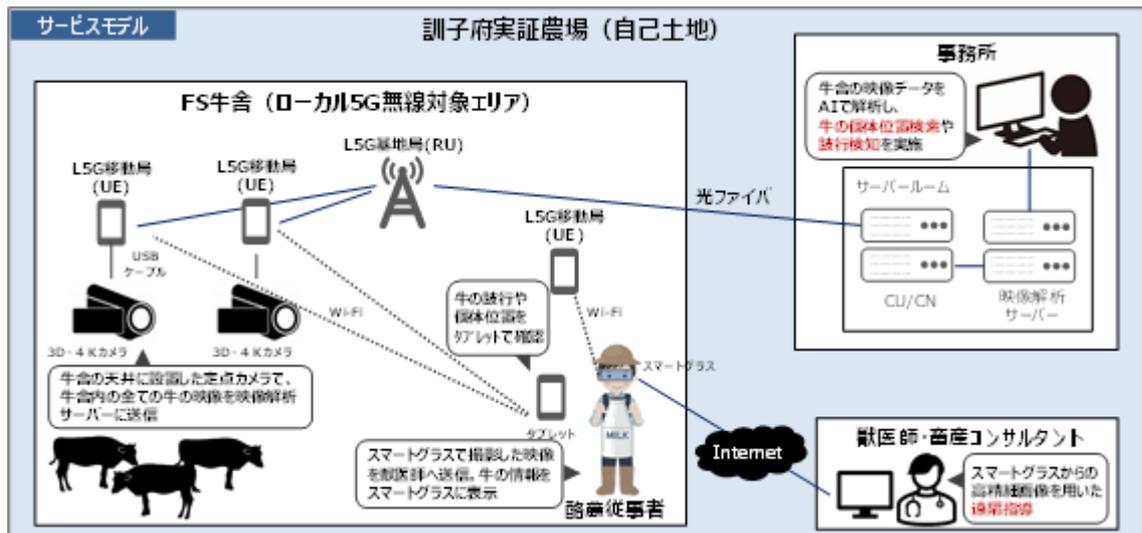


図 4.4.2.1-1 サービスモデルのイメージ (再掲)

複数のシステムを包含するサービスモデルであることからある程度高額な導入費用を想定しているが、普及に際してはユーザの経営面への影響を最小限とするために、極力安価なサービスモデルとすることが望まれる。

(3) 詳細の前提条件 (実証地域やユーザ等の固有な要因や実証環境との関係等)

本サービスモデルが想定しているユーザはフリーストール牛舎を保有している酪農従事者であるが、その背景となる前提条件としては、①飼育頭数が多く乳牛の管理面で課題を抱えている、②職員数が少なく効率的な管理が求められている、③農場が郊外にあり畜産コンサルタントや獣医師による細やかな指導が受けられていない、といった課題を抱えていることが挙げられる。特に対象地域としている北海道は、土地の広さから多頭飼いに適した環境であるものの、広大な土地故に畜産コンサルタントや獣医師の往来時間や飼育頭数当たりの職員数といった観点で課題を抱えており、多くの潜在的なユーザが存在していると考えられる。

(4) 標準モデル (ネットワーク・システム構成等)

サービスモデルの標準モデル (ネットワーク・システム構成) は以下の図 4.4.2.1-2 を想定している。全体に係るネットワーク・システム構成としては、本実証ではビジネスイーサワイド (閉域網) で行っていた通信をより安価な通常のインターネット回線へ変更することを検討している。また、跛行検知および個体識別・位置検索については、データをクラウド上で蓄積し、ユーザ (酪農従事者) 同士で解析結果やノウハウを共有できるシステム構成を想定している。遠隔指導については、牛の個体情報の蓄積および生産者と畜産コンサルタント間の通信を開始するための認証作業を行っているサーバーをクラウドへ移行する。

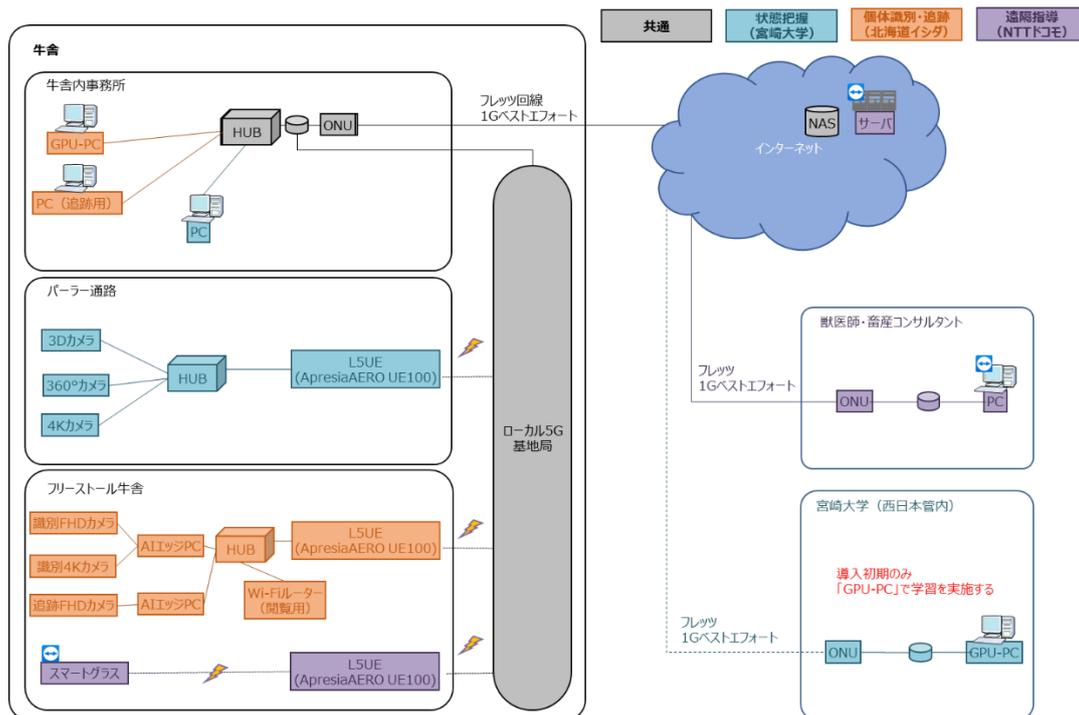


図 4.4.2.1-2 標準モデル（ネットワーク・システム構成のイメージ）

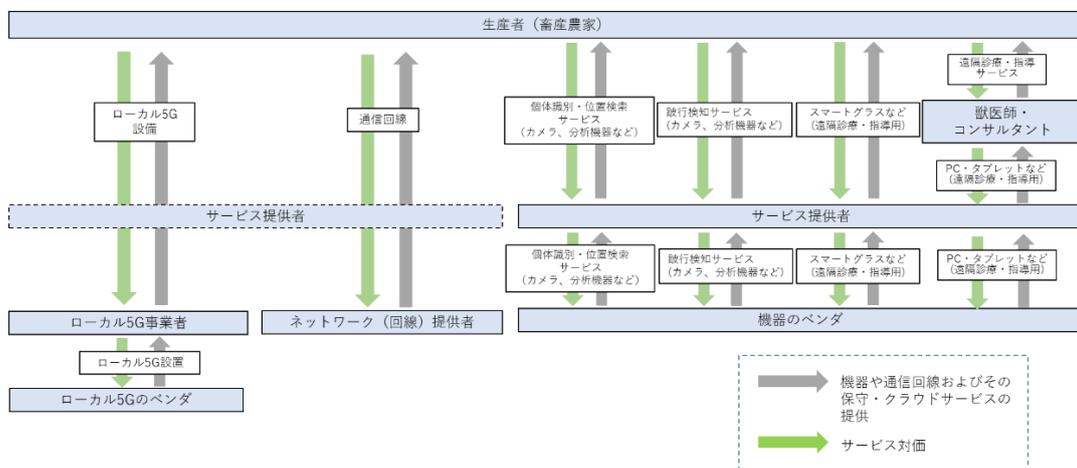
各システムで想定しているデータフローを以下に示す。

- 跛行検知システム
「4K カメラ・3D カメラ・360°カメラ」で牛を検知し、その映像を L5G 基地局経由でデータ蓄積用のクラウド環境へと送信される。
- 個体識別・個体検索システム
「FHD カメラ・4K カメラ」で牛を撮影し、映像データをテキスト化した後、L5G 基地局を経由してデータ蓄積用のクラウド環境に送信される。
- 遠隔指導システム
スマートグラスを活用し、酪農従事者と外部専門家（獣医師・畜産コンサルタント）の間を映像と音声で繋ぎ、遠隔での指導を実現する。映像と音声の送信は L5G 基地局から PC に送信される。

(5) 体制・事業スキームのモデル

本実証で検証した技術・サービスを社会実装する際のビジネスモデルにおけるステークホルダーとしては、エンドユーザである生産者（酪農従事者）、エンドユーザにサービスを提供するサービス提供者、ローカル 5G 設備・ネットワークを提供する事業者、実際に遠隔指導サービスを行う獣医師・コンサルタントが挙げられる。なお、訓子府実証農場が所在している地域では、オホーツク農業共済組合（NOSAI オホーツク）が獣医師・畜産コンサルタントを取りまとめ、各農家に派遣を行っているため、本ビジネスモデルでは NOSAI オホーツクを獣医師・畜産コンサルタントとして想定した。

ローカル 5G 設備については、ローカル 5G 事業者がローカル 5G のベンダからローカル 5G 設備を購入またはリースし生産者へ提供する。導入する設備の検討についてはサービス提供者を介して行うため、生産者はローカル 5G 事業者と個別にやり取りを行う必要はない。ネットワークについてはネットワーク提供者が生産者へ通信回線の提供を行う。導入するネットワークの検討についてはサービス提供者を介して行うため、生産者はネットワーク提供者と個別にやり取りを行う必要はない。跛行検知サービス、個体識別・位置検索サービス、遠隔指導サービスに用いられる機器については、サービス提供者が機器のベンダから機器の購入を行う。その後、サービス提供者がベンダから購入した機器を組み合わせ合わせてシステムを構築し生産者へ提供する。なお、遠隔指導については、従来通り獣医師・コンサルタントが生産者の対面となりサービス提供が行われるため、獣医師・コンサルタントが遠隔指導の際に使用する PC・タブレットはサービス提供者から獣医師・コンサルタントへ提供される（図 4.4.2.1-3）。



各ステークホルダーの定義と役割

- 生産者：
本実証技術（サービス）の主要ユーザー。本実証においてはホクレン訓子府実証農場を生産者として実証を実施した。社会実装においては、北海道および全国の類似ユーザーとして、フリーストール牛舎を採用している畜産農家を想定している。
- サービス提供者：
本実証技術（サービス）を提供する機関。本実証においては、跛行検知システムについては宮崎大学、個体識別・位置検索については北海道インダ、遠隔指導についてはNTTドコモをサービス提供者として実証を実施した。社会実装においては本実証のサービス提供者が社会実装の推進にも貢献することを想定している。
- 機器のベンダ：
本実証技術（サービス）に必要なカメラ・分析機器・スマートグラスなどを提供する機関。本実証においては、サービス提供者が適切な機器を提供できるベンダの選定を行った。社会実装においても、サービス提供者によって適切なベンダの選定が行われることを想定している。
- ローカル5G事業者：
本実証技術（サービス）に必要なローカル5G環境を提供する機関。本実証においてはNTTドコモをローカル5G事業者として実証を実施した。社会実装においては、NTTドコモ以外がローカル5G事業者となることも想定している。
- ネットワーク提供者：
本実証技術（サービス）に必要なネットワークを提供する機関。本実証においてはNTT東日本とネットワーク提供者として実証を実施した。社会実装においては、サービス提供者が適切なネットワーク提供者を選定することを想定している。
- 獣医師・コンサルタント：
本実証技術（サービス）において遠隔指導を提供するステークホルダー。本実証においては、NOSAIオホーツクを獣医師・コンサルタントとして想定している。社会実装においては、生産者が従来から利用している獣医師・コンサルタントが該当すると考えている。

図 4.4.2.1-3 想定するビジネスモデルのイメージ

(6) 導入効果（課題解決等に資する導入効果及び有用性等）

1) 導入効果の具体化

本サービスモデルで提供するソリューションである、跛行検知サービス、個体識別・位置検索サービス、遠隔指導サービスそれぞれで得られる導入効果および効果検証のためのロジックツリーを表 4.4.2.1-1 と図 4.4.2.1-4 に示す。

跛行検知サービスでは、早期の跛行検知により初期段階での治療が可能になるため、重症化した際に行われる獣医師による診断や抗生物質投与に伴う牛乳の出荷停止を防ぐことができるため、獣医師費用の削減や搾乳量減産の防止に資する効果が得られる。

個体識別・位置検索サービスでは、従来管理工数が嵩んでいた乳牛の個体探索作業が削減可能であり、少ない職員数で効率的な管理が可能になる。

遠隔指導サービスでは、対面指導時にかかっていた往来時間の削減や交通費の削減を図ることが出来る。往来時間の削減に伴い、畜産コンサルタント一人当たりの指導可能回数が増えることが想定される。その結果、牛の健康管理環境が改善され、牛乳の増産が見込まれると考えられるため、売上の増加を図ることができる。

表 4.4.2.1-1 各ソリューションの導入による経営改善効果と目標

提供ソリューション	導入による経営改善効果	経営改善に向けた目標
跛行検知サービス	売上の増加 コストの低減	跛行の重症化に伴う牛乳の減産低減と獣医師費用の削減
個体識別・位置検索サービス	コストの低減	個体の位置把握にかかる工数削減
遠隔指導サービス	売上の増加 コストの低減	・獣医師の往診時間、費用の削減 ⇒獣医師の診療回数の増加 ⇒牛の健康管理環境の改善 ⇒牛乳の増産

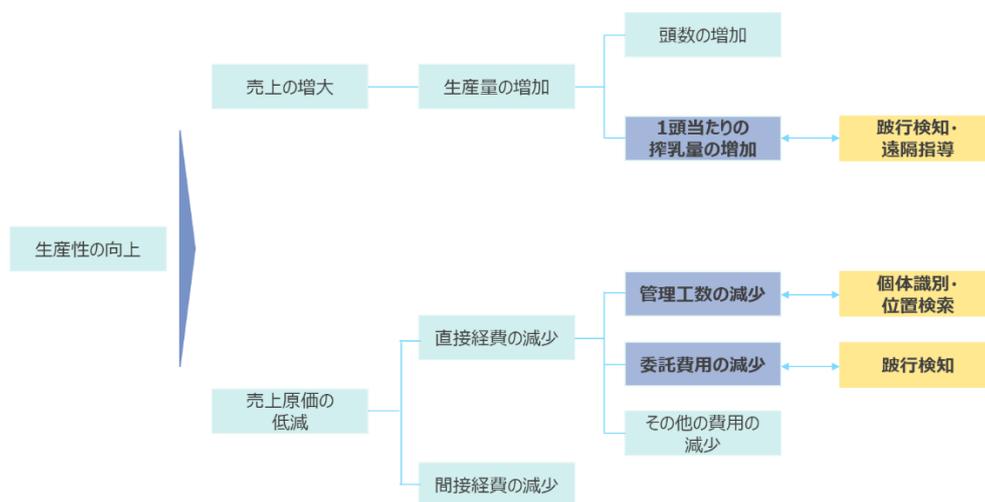


図 4.4.2.1-4 実証の効果検証に向けたロジックツリー

2) 導入効果を踏まえた費用対効果の試算イメージ

a) 跛行検知サービス

跛行検知サービスに係る導入コストとしては、ローカル 5G・NW 整備費と設置工事費、システム開発費、機器費が挙げられる (図 4.4.2.1-5)。運用コストとしては、早期検出が可能になった場合は重症化時の獣医師費用がかからなくなるため、機器の保守費とローカル 5G 利用料、通信利用料のみがコストが挙げられる。よって、年ごとのシステムの導入効果を算出する場合は以下の式で算出することができる。

導入効果＝

$$\begin{aligned} & (\text{牛乳の減産量低減による売上の増加分} + \text{獣医師費用の低減によるコストの低下分}) \\ & \times \text{投資回収期間} - \text{導入コスト} \end{aligned}$$

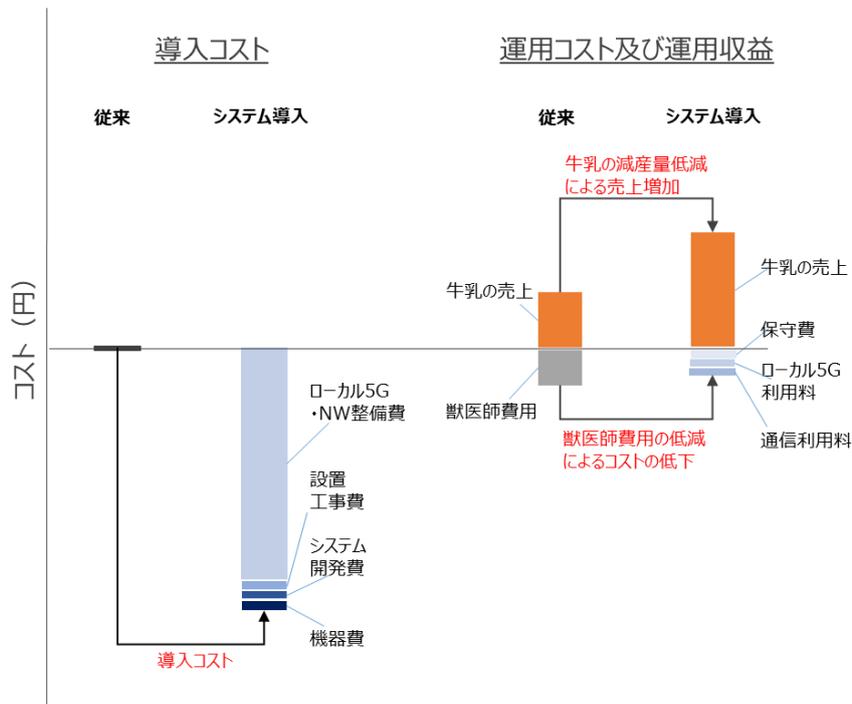


図 4.4.2.1-5 跛行検知システム導入による収支比較イメージ

本技術の導入による牛乳の減産量低減による売上の増加を試算すると以下のようなになる。
 $251 \text{ 千円 (年間の跛行由来の廃棄乳による損失額 : 昨年度実績)} \times 94\% \text{ (4K カメラの跛行検知率)} = 236 \text{ 千円 (売上増加効果)}$

獣医師費用の大部分が跛行に起因する費用であると仮定し、本技術の導入によるコスト削減の効果を試算すると以下のようなになる。
 $3741 \text{ 千円 (年間の獣医師費用 : 昨年度実績)} \times 94\% \text{ (4K カメラの跛行検知率)} = 3517 \text{ 千円 (売上増加効果)}$

上記の仮定で、スマート農機の減価償却期間である 7 年を投資回収期間として収支計画のシミュレーションを行った(表 4.4.2.1-2)。投資回収期間の 7 年間の収支としては 50,086 千円の赤字となった。原因としては、導入コストの高止まりが主な要因と考えられる。それを踏まえ、導入コストの削減のために、ローカル 5G 費用の低減と、システムの汎用化によるシステム開発費の低減に取り組む必要がある。

表 4.4.2.1-2 跛行検知システムの収支計画シミュレーション

	(千円)						
	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
導入コスト	56,264						
システム開発費	13,283						
設置工事費	3,795						
機器費	2,780						
L5G費(共通)	33,712						
NW整備費(共通)	2,693						
本技術の導入に際し新たに発生する運用コスト/年	2,870	2,870	2,870	2,870	2,870	2,870	2,870
保守費	278	278	278	278	278	278	278
ローカル5G利用料(共通)	10	10	10	10	10	10	10
通信利用料(共通)	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582
本技術の導入によるコスト低減効果/年	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517
本技術の導入による収益増加効果/年	236	236	236	236	236	236	236
収支	55,381	883	883	883	883	883	883
累積	55,381	54,499	53,616	52,734	51,851	50,969	50,086

b) 個体識別・位置検索サービス

個体識別・位置検索サービスに係る導入コストとしては、ローカル 5G・NW 整備費と設置工事費、システム開発費、機器費が挙げられる(図 4.4.2.1-6)。運用コストとしては、システム導入後の位置探索に係る費用、機器の保守費とローカル 5G 利用料、通信利用料が挙げられる。よって、年ごとのシステムの導入効果を算出する場合は以下の式で算出することができる。

導入効果 = 工数削減によるコストの低下分 × 投資回収期間 - 導入コスト

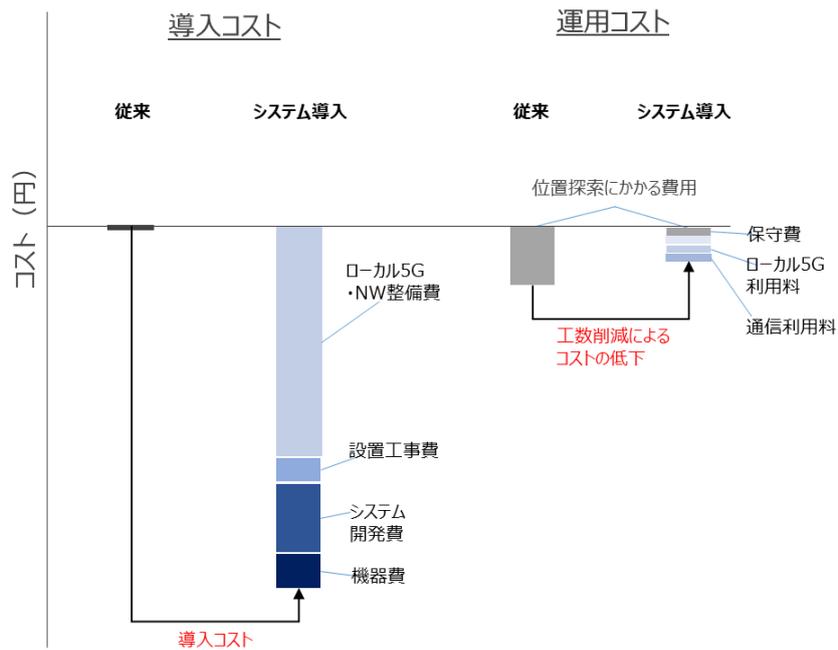


図 4.4.2.1-6 個体識別・位置検索システム導入による費用比較イメージ

なお、位置検索については本実証の中で個体検索に係る時間の削減率の検証を行った。具体的には、システム利用の有無ごとにフリーストール内の全 46 頭の中から特定の個体を発見（目視で耳標番号を確認）するまでの所要時間の測定を行った。探索対象の牛は、システム利用無しの際は全頭の中から、システム利用有りの際は個体番号追跡できている個体の中からランダムに選択した。実証を行った結果、システム利用なしで平均 201.1 秒かかっていた位置探索時間が、システム利用により平均 24.4 秒に削減でき、管理工数を約 80%減少させることが出来た。（図 4.4.2.1-7）。

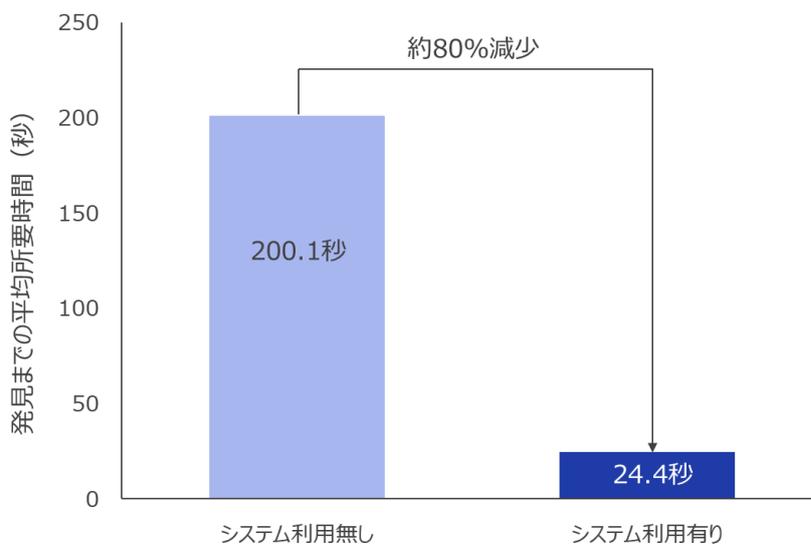


図 4.4.2.1-7 システム有無時の個体発見までの所要時間

全労務費のうちフリーストール牛舎の個体管理に係る労務費の割合を 50%と仮定し、本技術の導入によるコスト削減効果を試算すると以下ようになる。

41084 千円（全労務費：昨年度実績）×50%（フリーストール牛舎の個体管理に係る労務費の割合）×8.62%（個体検索率）×80%（管理工数の削減率）＝1417 千円

上記の仮定で、スマート農機の減価償却期間である 7 年を投資回収期間として収支計画のシミュレーションを行った（表 4.4.2.1-3）。投資回収期間の 7 年間の収支としては 55,451 千円の赤字となった。原因としては、導入コストの高止まりと個体検索率の目標未達成が大きな影響を与えていると考えられる。それを踏まえ、導入コストの高止まりについては、ローカル 5G 費用の低減と、システムの汎用化によるシステム開発費の低減に取り組む必要がある。個体検索率の目標未達成については、4.4.1.1(3)で述べたようにアルゴリズムの改良やカメラ位置の再検討などを実施し、個体検索率の向上を図る必要がある。

表 4.4.2.1-3 跛行検知システムの収支計画シミュレーション

	(千円)						
	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
導入コスト	46,870						
システム開発費	7,000						
設置工事費	2,000						
機器費	1,465						
L5G費（共通）	33,712						
NW整備費（共通）	2,693						
本技術の導入に際し新たに発生する運用コスト／年	2,642	2,642	2,642	2,642	2,642	2,642	2,642
保守費	50	50	50	50	50	50	50
ローカル5G利用料（共通）	10	10	10	10	10	10	10
通信利用料（共通）	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582
本技術の導入によるコスト低減効果／年	1,417	1,417	1,417	1,417	1,417	1,417	1,417
収支	48,096	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226
累積	48,096	49,322	50,548	51,773	52,999	54,225	55,451

c) 遠隔指導サービス

遠隔指導に係る導入コストとしては、ローカル 5G・NW 整備費と設置工事費、システム開発費、機器費が挙げられる（図 4.4.2.1-8）。運用コストとしては、機器の保守費とクラウド利用料、通信利用料、獣医師費用が挙げられる。獣医師費用に関しては、システム導入により交通費の削減が可能になるが、触診等の対面での対応が必要な病気もあると考えられるため、システム導入後にもゼロにはならないと想定される。よって、年ごとのシステムの導入効果を算出する場合は以下の式で算出することができる。

導入効果＝

（牛乳の増産による売上の増加分＋獣医師費用の低減によるコストの低下分）
×投資回収期間－導入コスト

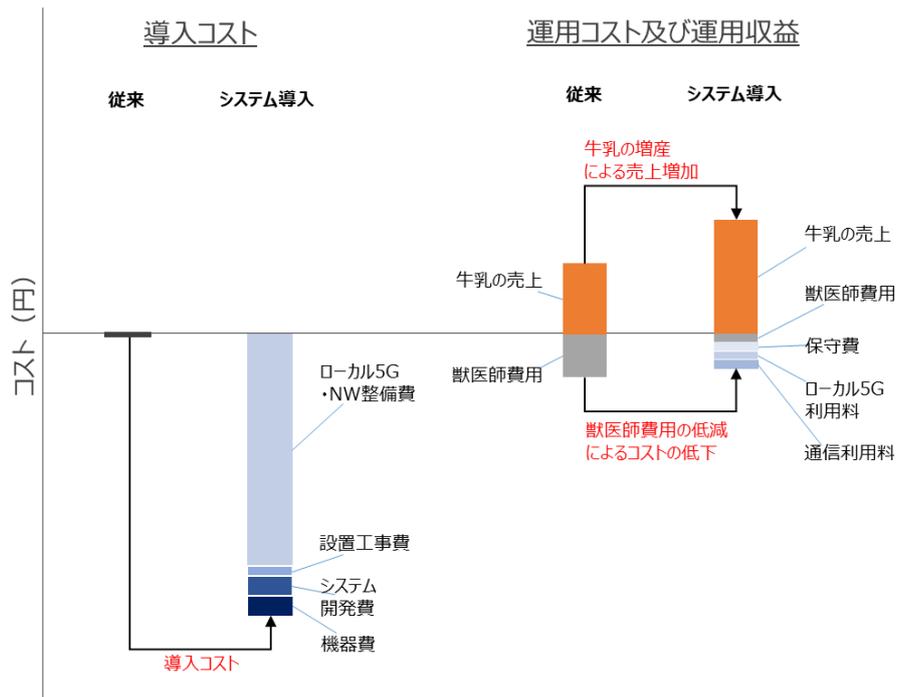


図 4.4.2.1-8 遠隔指導システム導入による費用比較イメージ

遠隔指導サービスを導入することにより、獣医師・畜産コンサルタントは往来時間を削減することが可能になる。それに伴い、獣医師・畜産コンサルタントが1頭にかかる指導時間を延ばすことが可能になり、牛の健康管理環境を改善することができるため、牛乳の増産が見込めると考えられる。このように、遠隔指導サービスに関しては、生産者の導入効果を試算するためには、獣医師・畜産コンサルタントの導入効果も考慮して検討する必要があることが分かった。

4.4.2.2 普及展開方策の検討

本実証技術の普及方策に係る具体的な検討計画として、検討観点と体制および具体的な検討方法について、3 フェーズに分けて検討を行う（図 4.4.2.2-1）。

普及にあたっての体制としては、本実証で開発に携わった各機関が主体となって技術提案を行っていく方針とする。また、必要に応じて 5GSC や JA 全農などの農業機関を活用することで、各サービスをパッケージ化してユーザ（フリーストール農家）に訴求していくパターンも想定している。

具体的な普及展開方策として以下のフェーズ 1～3 を検討した。

- フェーズ 1：本実証（及び農水省事業）期間内（1～2 年）

訓子府町を含む北海道内の酪農従事者に対して、本技術の実装に向けた普及活動を行う。普及の対象として類似の生産者（フリーストール牛舎を採用する生産者）を抽出した上で、ホクレンを中心に技術の広報、技術に対する疑問点・懸案点の解消を行う。

普及を目指すにあたり、本実証技術の導入にかかるコストと、得られる効果を踏まえた費用対効果の分析が必要となる。本実証コンソーシアムメンバーである NTT ドコモを中心としたサービス提供者、エンドユーザでもあるホクレンを主要な検討メンバーとし、コストダウン施策の検討及び効果の定量的な評価を行うことで、実証期間内に費用対効果の明確化を図る。なお、現時点ではコストダウン施策として、システムのクラウド化や画像解析用のカメラとして安価な 360 度カメラの採用を想定しており、これらの実現可能性についても検討を行う。将来的には遠隔指導で用いるスマートグラスを 4K 化することにより、さらなる費用低減可能性も想定している。

また、実証農場にとどまらず広く活用されるサービスとするために、横展開を見据えた技術標準化の項目の抽出を実証期間中に行い、将来的な仕様化の準備を行う。

- フェーズ 2：短期（3～5 年）

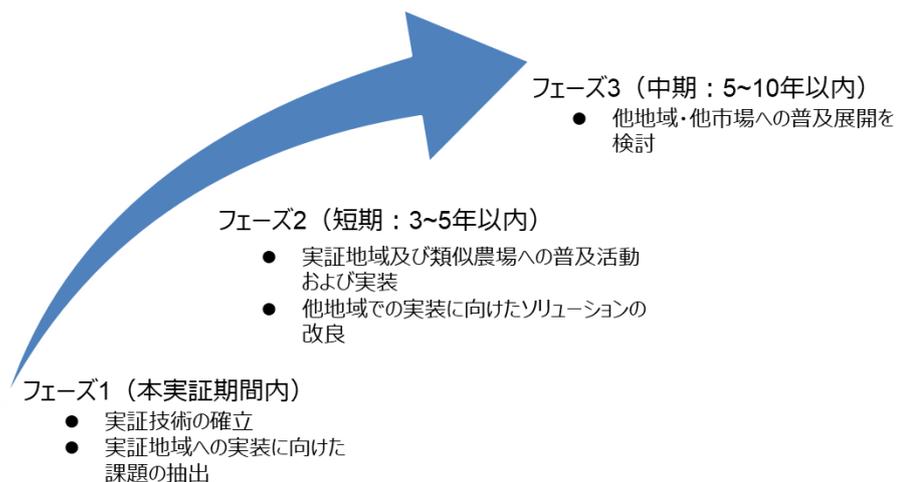
本事業（及び農水省事業）を踏まえて実証技術の効果を検証し、3～5 年以内を目標に実証農場（ホクレン訓子府農場）およびフェーズ 1 で抽出した効果が期待できる北海道内の酪農農場を対象に実装を進める。

加えて、北海道外の酪農従事者に対しても、5GSC や JA 全農などと協力の上、気候や営農形態の違いを踏まえた上で普及活動を開始する予定である。

フェーズ 1 で抽出した技術標準化の項目については、本フェーズにおいて標準化を行い、仕様化を目指す予定である。

- フェーズ 3：中期（5～10 年）

中長期的には、酪農以外の畜産農家（肉牛等）に適用するための技術的な仕様を検討する。畜舎の形状や飼育方法の違い等により生じる技術要件の違いを明らかにしたうえで、酪農同様に費用対効果の分析、生産者への普及活動を行う予定である。



	地域	市場	想定ユーザ	普及方策
フェーズ1	北海道	酪農	搾乳農家	・ ホクレン、実証フィールドがある訓子府町と連携し、実装に向けた具体的な調整を実施。
フェーズ2	北海道	酪農	搾乳農家	・ 実証地域および北海道の類似する農場への本技術の普及活動 ・ 実証地域への実装の完了
	本州	酪農	搾乳農家	・ ドコモやJAチャネルを活用し、本州の他ユーザへの普及展開方策の検討
フェーズ3	全国	肉牛	肉牛農家	・ 酪農以外の畜産農家（肉牛農家）への普及展開を検討

図 4.4.2.2-1 普及展開方策

4.4.3 ローカル 5G の実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

4.4.1 及び 4.4.2 で示したソリューションとしての検証及び実装に関する検証を踏まえた上で、ローカル 5G の活用モデルの実現や実装に係る課題について検討の深堀を行った。課題についての具体的な解決方針については 4.4.4-(2)に記載を行っている。

- 通信ネットワーク仕様の見直し

本実証では閉域網 (BEW) での接続を行っていたが、閉域網 (BEW) はインターネット接続と比較して費用が高く、生産者の導入コストとして負担となる。また、畜産コンサルタントが外出中でも、外出先から遠隔指導をするためにタブレット端末からインターネット接続できるようにしてほしいとの要望もあった。これらの背景を踏まえて、回線環境にとらわれることのない柔軟なシステム構築としてインターネット接続についても検討を行う必要があると考えられる。

- 個体識別・位置検索システムにおける識別精度の改善

個体の追跡に関しては、当初の予定では UE は入力遅延なく、かつ、信号が遮断されることなく使用できる見込みであったが、UE 個々の速度差分が生じるために追跡がうまく行えなかったり、UE からの信号が途切れて追跡が切れてしまったりする事象が発生することがあった。UE の速度差分に関しては、プログラムでつなぎ合わせるカメラのフレーム数を調整して対応することで追跡が途切れることなく行えるようになった。UE の信号が途切れることに関しては、UE メーカーにて調整してもらい、試験環境下では問題なく作動することが確認できたため、牛舎環境でも問題なく作動するかを確認する必要がある。

- 遠隔指導システムにおける耳標読取方法の改善

遠隔指導では、スマートグラスで耳標を読み取ることで牛の個体情報を呼び出すことが出来るシステムになっていたが、対象となる牛が動き回ったり、耳の毛が邪魔となったりして耳標の読み取りに時間がかかるケースが見られた。改善策として、カメラでの耳標読み取り方式に加えて、耳標の番号を読み上げて音声認識させることで認証を行う音声方式を追加する必要があると考えられる。

- 実装した機器・システムの維持管理性

本実証技術を実装する際には、スマートグラスやタブレット端末等の ICT 機器や、PC・カメラ等の分析用機器・システムを多く導入する必要があるため、機器・システムの維持管理について対応を検討することが必要になると考えられる。機器の操作性については、導入時に操作方法のレクチャーを行うとともに、マニュアルを整備して運用に支障のないように配慮することが対応策として考えられる。機器の保守については、保守契約をオプションとして用意し、保守に係る作業も含めたサービスを提供することが対応策として考えられる。

- 費用対効果

ローカル 5G 導入に係る導入コストや直近数年にかかるシステムの運営コスト等に対し

て、ユーザの捉え方によっては導入におけるハードルの要因の一つとなることが考えられる。ユーザがコストメリットを得るためには、ある程度の期間が必要となってくることが想定されるため、本実証で構築したシステムの有用性や効果を例示として見せるなどして、ユーザの懸念を払しょくするような取り組みが求められる。

また、本ソリューションではPCやカメラ等多くの機器を使用するため、機器面においても導入コストがハードルとなる可能性がある。そのため、ニーズに応じた機器のスペック検討を行い、安価な機器への変更が行えるオプションを提供するなど、ユーザ目線でのソリューション提供を行うことが必要になることが考えられる。

● 法制度

従来は初診における畜産を対象とした遠隔診療が獣医師法第18条によって禁止されていたが、改正されて初診から遠隔診療を行うことが認められることとなった。しかしながら、遠隔診療を行うための環境が現段階では整備されていない状態である。技術的な課題については本実証において検討を実施しているものの、技術的な面以外にも遠隔診療の普及のためには、遠隔診療用の診療報酬体系の整備や遠隔診療生産者だけでなく獣医師および畜産コンサルタントの利益を意識した事業スキームを検討する必要がある。

以上の状況を踏まえ、遠隔診療を実現するための環境整備がどのように行われるか動向を注視し、生産者および獣医師・畜産コンサルタントの意見を取り入れたソリューションを展開していくことが求められる。

4.4.4 継続利用の見通し・実装計画

継続利用の見通し、実装計画については、社会実装までの流れ（プロセス）の明確化、実証を通じて確認された課題と解決策の検討、実装に向けた収支計画を精査することで整理した（図 4.4.4-1）。

(1) 社会実装までの流れ

訓子府実証農場に本実証技術の実装を行うまでの流れを図 4.4.4-1 に示す。社会実装に向けては、①課題の明確化、②ソリューションの検討、③ソリューションの有効性検証、④ソリューションの実装に向けた検証・検討、⑤実装の実現、のステップで取り組む必要がある。①、②については本実証事業の実施に先立ち、机上検討を通じて明らかにした（4.1、4.2）。③については、本実証事業の主要スコープとして取り組んだ（4.4.1）。④は実証結果を踏まえて検討を行った（4.4.2、4.4.3）。

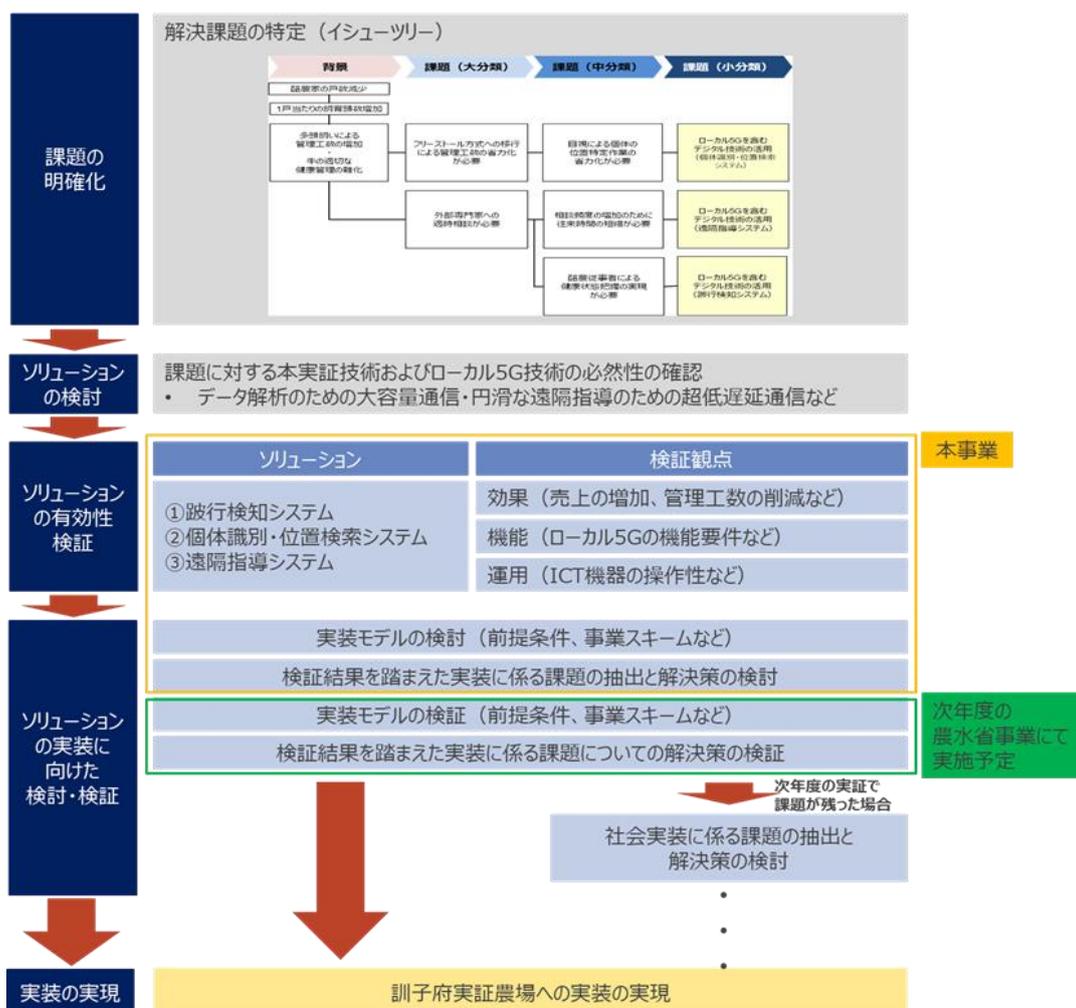


図 4.4.4-1 訓子府実証農場への実装に向けたステップ

(2) 実証を通じて確認された課題と解決策

本実証を通じて確認された課題としては、通信ネットワーク仕様、個体識別・位置検索システムにおける識別精度、遠隔指導システムにおける耳標読取方法、機器・システムの維持管理性、ローカル 5G 設備を含む導入コストの課題、遠隔診療を行うための環境整備の課題が挙げられる。

▶ 通信ネットワーク仕様の課題

通信ネットワークについては、次年度の農水省事業にて、回線環境にとらわれることのない柔軟なシステム構築としてインターネット接続の導入を検討する予定である。本課題については次年度の実証において解決される見込みであり、実証終了後の社会実装の際には、最適化された状態で提供可能となることを想定している。

▶ 個体識別・位置検索システムにおける識別精度の課題

識別精度に影響を与えていた UE の信号が途切れる事象に関しては、UE メーカーの調整により試験環境下では問題なく作動することが確認できているため、次年度の農水省事業にて牛舎環境下での作動確認を行う予定である。本課題については次年度の実証において解決される見込みであり、実証終了後の社会実装の際には、最適化された状態で提供可能となることを想定している。

▶ 遠隔指導システムにおける耳標読取方法の課題

耳標の読み取り方法については、耳標の番号を読み上げて音声認識させることで認証を行う音声方式の導入・検証を次年度の農水省事業にて行う予定である。本課題については次年度の実証において解決される見込みであり、実証終了後の社会実装の際には、最適化された状態で提供可能となることを想定している。

▶ 機器・システムの維持管理性の課題

機器の操作性に関しては、次年度の農水省事業にてマニュアルの整備を充実化させる予定である。さらに、実証終了後の社会実装の際には、本ソリューションを導入する畜産農家に対して、導入時の機器・システムの操作方法のレクチャーを追加オプションとして用意することで、導入時のフォローを行うことを検討している。

機器の保守に関しては、次年度の農水省事業を実施している期間中は各ソリューションの主担当者がメインとなって行う予定である、実証終了後の社会実装の際には、保守契約をオプションとして用意することを検討している。

▶ ローカル 5G 設備を含む導入コストの課題

ローカル 5G 設備の導入コストに関しては、次年度の農水省事業にて本ソリューションの導入効果を精査する予定である。実証終了後の社会実装の際には、国の補助金制度を活用することで生産者の負担を軽減できる可能性がある。令和 3 年度予算で「スマート農業の全国展開に向けた導入支援事業」として、スマート農業の導入のための機械の購入費を 1000

万円程度補助する補助金制度があり、令和 4 年度以降も同様の補助金制度が実施される可能性が考えられる。

PC やカメラの導入コストに関しては、本実証ではより高い精度を実現させることを目標に機器の選定を行ったが、社会実装に向けて必要最低限のスペックを担保できる機器の選定およびカメラ台数の設定についても、次年度の農水省事業において継続して検証していく予定である。実証終了後の社会実装の際には、ユーザのニーズに応じて安価な機器への変更が行えるオプションを用意するなど、導入コストを低減するための方策を検討している。

➤ 遠隔診療を行うための環境整備の課題

遠隔診療のニーズに則したソリューションを提供できるように、次年度の農水省事業にて獣医師が所属している NOSAI オホーツクと連携を図り、生産者だけでなく獣医師および畜産コンサルタントの利益も意識した事業スキームを検討する予定である(図 4.4.4-2)。実証終了後の社会実装の際には、実証で得られた生産者および獣医師・畜産コンサルタントの意見を取り入れたソリューションを展開していく予定である。

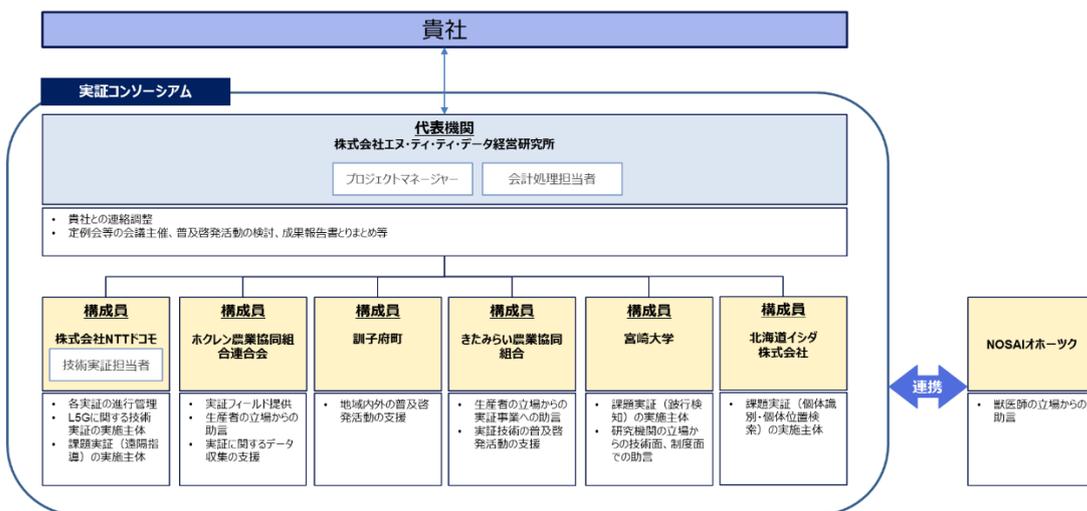


図 4.4.4-2 実証コンソーシアムの体制

(3) 実装に向けた収支計画

跛行検知システムおよび個体識別・位置検索システムについて、実装に向けた収支計画のシミュレーションを実施した。4.4.2.1(6)で述べたように、導入効果の発現のためには導入コストの低減が重要なポイントとなるため、導入コストと運用コストの削減率が0%、25%、50%、75%の時の4パターンについて検討を行った。遠隔指導システムについては、今年度の実証においては獣医師・畜産コンサルタントの導入効果の検証を実施しておらず、それに伴う生産者の導入効果も検証していないため、次年度の農水省事業にて収支計画の精査を行う予定である。

遠隔指導システムについては、機能的な実証を行い遠隔指導技術が対面指導の代替可能

かどうかの検討を行った。他方、今年度の実証開始時点では遠隔診療が解禁していなかったため、実際に獣医師・畜産コンサルタントの業務の中で本技術を導入し、経営改善の観点から実証を行うには至らなかった。令和3年12月に初診から要指示医薬品の処方も含めた遠隔診療が解禁となったため、次年度の実証においては、獣医師・畜産コンサルタントを取りまとめているNOSAIオホーツクと連携し経営改善効果の精緻化の検証、収支計画の検討を行う予定である。

1) 跛行検知システムの収支計画のシミュレーション

4K カメラの跛行検知率は94%で目標を達成しており、訓子府実証農場へ実装する際も94%で跛行を検知できると仮定した。

本システムの導入による牛乳の減産量低減による売上増加の試算は以下のように行った。
 $251 \text{ 千円 (年間の跛行由来の廃棄乳による損失額: 昨年度実績)} \times 94\% \text{ (4K カメラの跛行検知率)} = 236 \text{ 千円 (売上増加効果)}$

獣医師費用の大部分は跛行に起因する費用であると仮定し、本システムの導入によるコスト削減の効果の試算を以下のように行った。

$3,741 \text{ 千円 (年間の獣医師費用: 昨年度実績)} \times 94\% \text{ (4K カメラの跛行検知率)} = 3,517 \text{ 千円 (売上増加効果)}$

上記の仮定で、一般的な農機の減価償却期間である7年を投資回収期間として収支計画のシミュレーションを行った(表4.4.4-1、表4.4.4-2、表4.4.4-3、表4.4.4-4)。導入コスト・運用コストを75%削減したパターンでは実装5年目で収支が1,111千円となり、投資回収期間内で黒字化を図ることができた。跛行検知システムの実装においては、導入コスト・運用コストの削減がポイントとなることが分かった。導入コストの削減に向けて、システムの汎用化によるシステム開発費の削減を検討する必要がある。

表 4.4.4-1 導入コスト・運用コストを0%削減した場合のシミュレーション結果

	(千円)						
	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
導入コスト	56,264						
システム開発費	13,283						
設置工事費	3,795						
機器費	2,780						
L5G費(共通)	33,712						
NW整備費(共通)	2,693						
本技術の導入に際し新たに発生する運用コスト/年	2,870	2,870	2,870	2,870	2,870	2,870	2,870
保守費	278	278	278	278	278	278	278
ローカル5G利用料(共通)	10	10	10	10	10	10	10
通信利用料(共通)	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582
本技術の導入によるコスト低減効果/年	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517
本技術の導入による収益増加効果/年	236	236	236	236	236	236	236
収支	55,381	883	883	883	883	883	883
累積	55,381	54,499	53,616	52,734	51,851	50,969	50,086

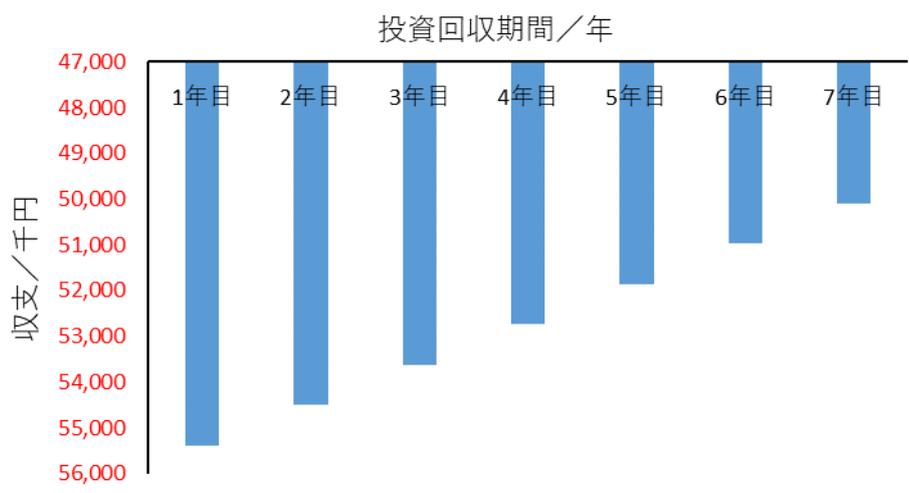


表 4.4.4-2 導入コスト・運用コストを 25%削減した場合のシミュレーション結果

(千円)

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
導入コスト	42,198						
システム開発費	9,963						
設置工事費	2,846						
機器費	2,085						
L5G費 (共通)	25,284						
NW整備費 (共通)	2,020						
本技術の導入に際し新たに発生する運用コスト／年	2,153	2,153	2,153	2,153	2,153	2,153	2,153
保守費	209	209	209	209	209	209	209
ローカル5G利用料 (共通)	8	8	8	8	8	8	8
通信利用料 (共通)	1,937	1,937	1,937	1,937	1,937	1,937	1,937
本技術の導入によるコスト低減効果／年	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517
本技術の導入による収益増加効果／年	236	236	236	236	236	236	236
収支	40,598	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
累積	40,598	38,998	37,397	35,797	34,197	32,597	30,997

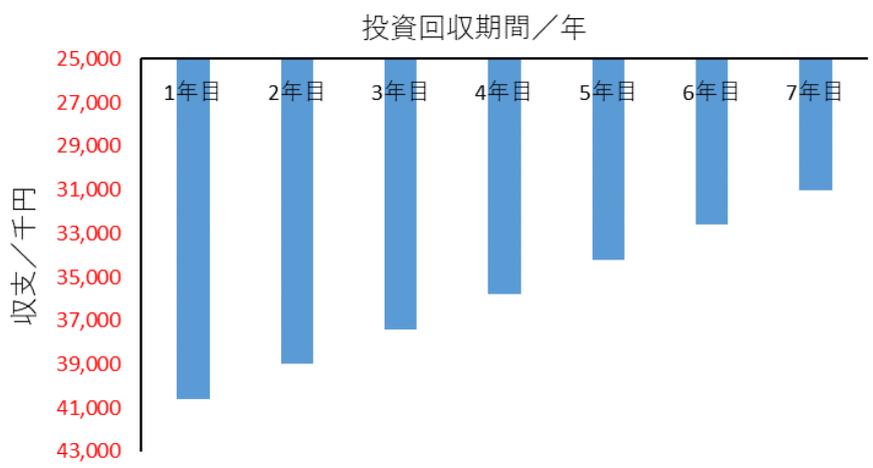


表 4.4.4-3 導入コスト・運用コストを 50%削減した場合のシミュレーション結果

(千円)

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
導入コスト	28,132						
システム開発費	6,642						
設置工事費	1,898						
機器費	1,390						
L5G費（共通）	16,856						
NW整備費（共通）	1,347						
本技術の導入に際し新たに発生する運用コスト／年	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435
保守費	139	139	139	139	139	139	139
ローカル5G利用料（共通）	5	5	5	5	5	5	5
通信利用料（共通）	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291
本技術の導入によるコスト低減効果／年	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517
本技術の導入による収益増加効果／年	236	236	236	236	236	236	236
収支	25,814	2,318	2,318	2,318	2,318	2,318	2,318
累積	25,814	23,496	21,179	18,861	16,543	14,226	11,908

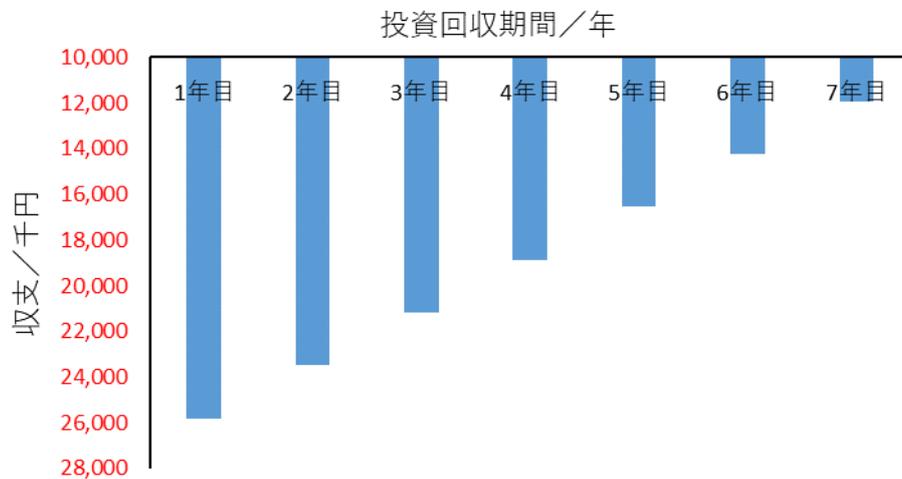
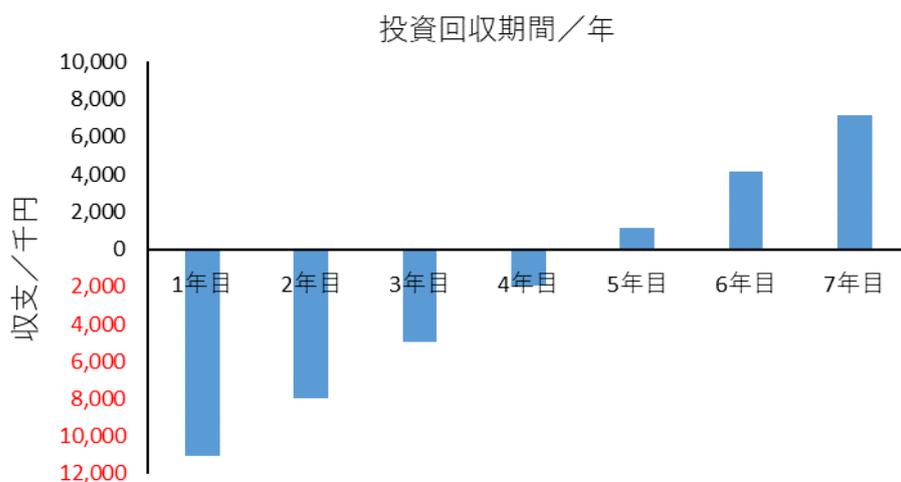


表 4.4.4-4 導入コスト・運用コストを 75%削減した場合のシミュレーション結果

(千円)

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
導入コスト	14,066						
システム開発費	3,321						
設置工事費	949						
機器費	695						
L5G費（共通）	8,428						
NW整備費（共通）	673						
本技術の導入に際し新たに発生する運用コスト／年	718	718	718	718	718	718	718
保守費	70	70	70	70	70	70	70
ローカル5G利用料（共通）	3	3	3	3	3	3	3
通信利用料（共通）	646	646	646	646	646	646	646
本技術の導入によるコスト低減効果／年	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517	3,517
本技術の導入による収益増加効果／年	236	236	236	236	236	236	236
収支	11,031	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035	3,035
累積	11,031	7,995	4,960	1,925	1,111	4,146	7,181



2) 個体識別・位置検索システムの収支計画シミュレーション

次年度の農水省事業にて個体検索率が目標の 60%を達成でき、訓子府実証農場へ実装する際も 60%で個体検索できると仮定した。

全労務費のうちフリーストール牛舎の個体管理に係る労務費の割合を 50%と仮定し、本システムの導入によるコスト削減効果の試算を以下のように行った。

41,084 千円（全労務費：昨年度実績）×50%（フリーストール牛舎の個体管理に係る労務費の割合）×60%（個体検索率）×80%（管理工数の削減率）＝9,860 千円

上記の仮定で、一般的な農機の減価償却期間である 7 年を投資回収期間として収支計画のシミュレーションを行った（表 4.4.4-5、表 4.4.4-6、表 4.4.4-7、表 4.4.4-8）。導入コスト・運用コストを削減しないパターンでも 7 年目で収支が 3,654 千円となり導入効果を発現させることができた。25%削減したパターンでは 5 年目で収支が 4,239 千円、50%削減したパターンでは 3 年目で収支が 2,182 千円、75%削減したパターンでは 2 年目で収支が 6,682 千円となり黒字化を図ることができた。個体検索率が 8.62%の場合は 7 年以内に導入効果が発現しなかったことを鑑みると、個体識別・位置検索システムにおいては、個体検索率の向上がポイントとなることが分かった。個体検索率の向上に向けて、アルゴリズムの改良やカメラの再選定、カメラの取り付け位置の見直し等を行う予定である。

表 4.4.4-5 導入コスト・運用コストを 0%削減した場合のシミュレーション結果

(千円)

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
導入コスト	46,870						
システム開発費	7,000						
設置工事費	2,000						
機器費	1,465						
L5G費（共通）	33,712						
NW整備費（共通）	2,693						
本技術の導入に際し新たに発生する運用コスト／年	2,642	2,642	2,642	2,642	2,642	2,642	2,642
保守費	50	50	50	50	50	50	50
ローカル5G利用料（共通）	10	10	10	10	10	10	10
通信利用料（共通）	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582	2,582
本技術の導入によるコスト低減効果／年	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860
収支	39,652	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218	7,218
累積	39,652	32,435	25,217	17,999	10,781	3,564	3,654

投資回収期間／年

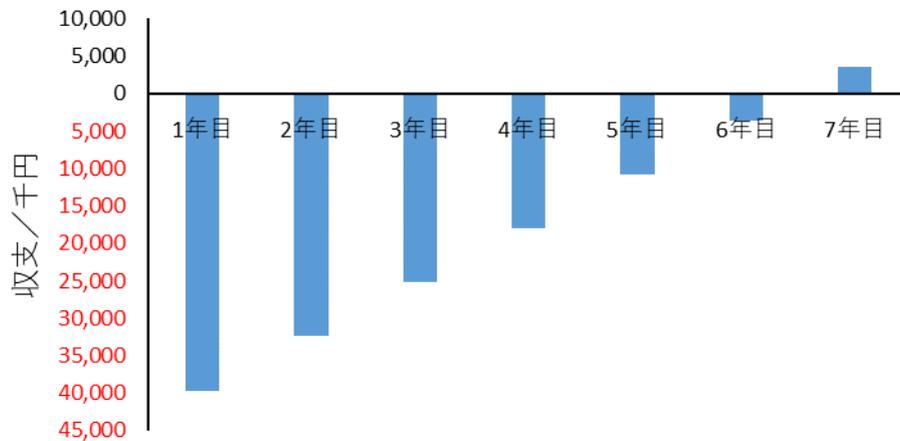


表 4.4.4-6 導入コスト・運用コストを 25%削減した場合のシミュレーション結果

(千円)

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
導入コスト	35,153						
システム開発費	5,250						
設置工事費	1,500						
機器費	1,099						
L5G費（共通）	25,284						
NW整備費（共通）	2,020						
本技術の導入に際し新たに発生する運用コスト／年	1,982	1,982	1,982	1,982	1,982	1,982	1,982
保守費	38	38	38	38	38	38	38
ローカル5G利用料（共通）	8	8	8	8	8	8	8
通信利用料（共通）	1,937	1,937	1,937	1,937	1,937	1,937	1,937
本技術の導入によるコスト低減効果／年	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860
収支	27,274	7,878	7,878	7,878	7,878	7,878	7,878
累積	27,274	19,396	11,518	3,639	4,239	12,117	19,996

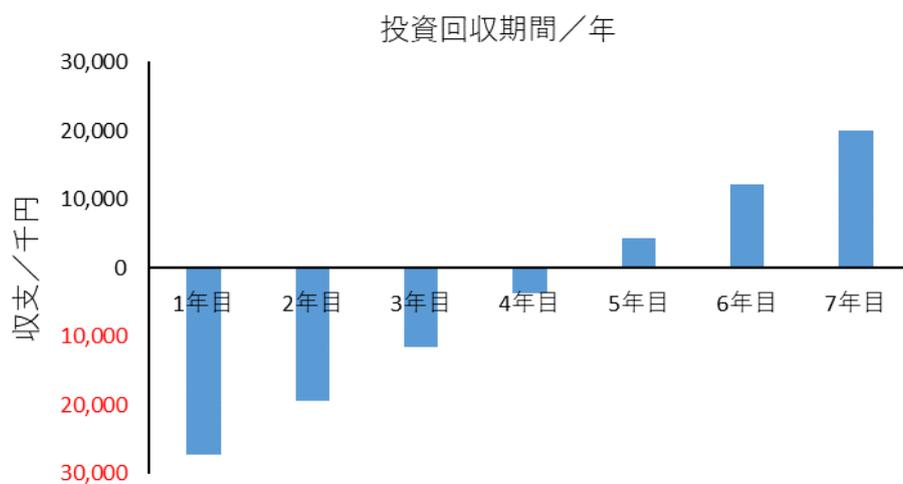


表 4.4.4-7 導入コスト・運用コストを 50%削減した場合のシミュレーション結果

(千円)

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
導入コスト	23,435						
システム開発費	3,500						
設置工事費	1,000						
機器費	733						
L5G費 (共通)	16,856						
NW整備費 (共通)	1,347						
本技術の導入に際し新たに発生する運用コスト／年	1,321	1,321	1,321	1,321	1,321	1,321	1,321
保守費	25	25	25	25	25	25	25
ローカル5G利用料 (共通)	5	5	5	5	5	5	5
通信利用料 (共通)	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291
本技術の導入によるコスト低減効果／年	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860
収支	14,896	8,539	8,539	8,539	8,539	8,539	8,539
累積	14,896	6,357	2,182	10,721	19,260	27,799	36,338

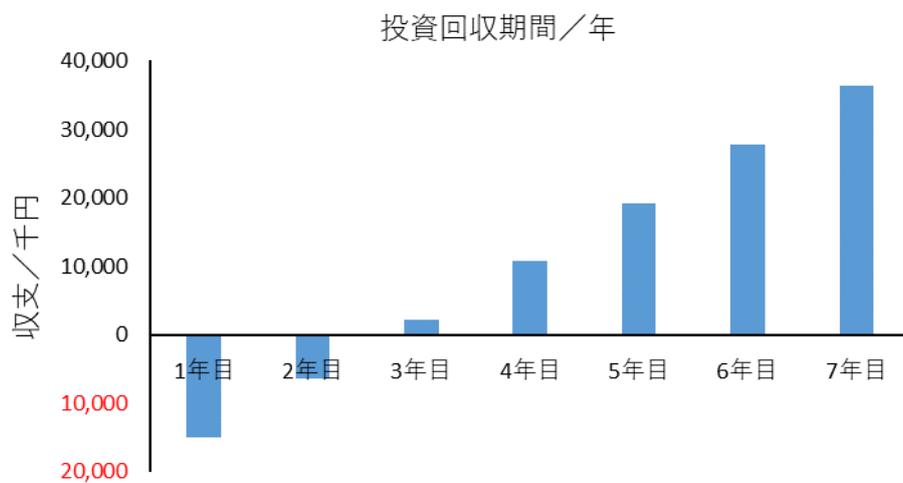
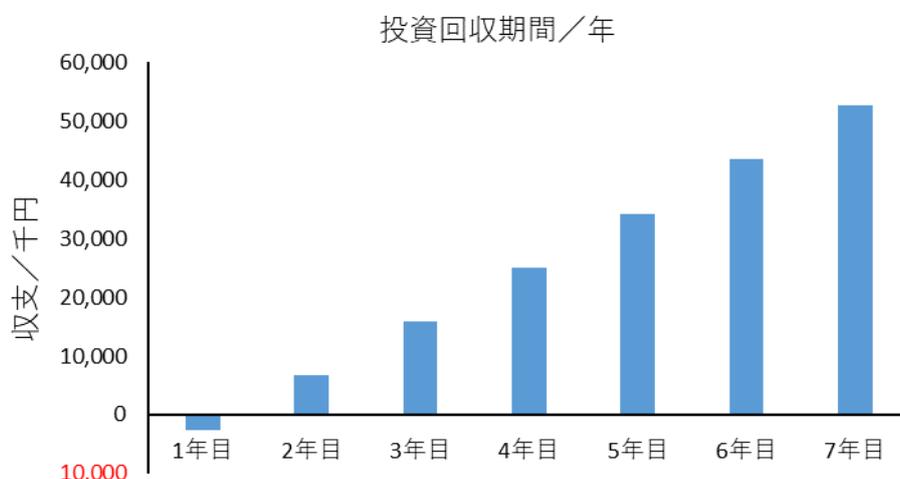


表 4.4.4-8 導入コスト・運用コストを 75%削減した場合のシミュレーション結果

(千円)

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
導入コスト	11,718						
システム開発費	1,750						
設置工事費	500						
機器費	366						
L5G費（共通）	8,428						
NW整備費（共通）	673						
本技術の導入に際し新たに発生する運用コスト／年	661	661	661	661	661	661	661
保守費	13	13	13	13	13	13	13
ローカル5G利用料（共通）	3	3	3	3	3	3	3
通信利用料（共通）	646	646	646	646	646	646	646
本技術の導入によるコスト低減効果／年	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860	9,860
収支	2,518	9,200	9,200	9,200	9,200	9,200	9,200
累積	2,518	6,682	15,881	25,081	34,280	43,480	52,679



(4) 収支改善に向けたアクションプラン

前項にて実装に向けた収支計画のシミュレーションを行った結果、跛行検知システムでは、導入コスト・運用コストを 75%削減した場合において実装 5 年目で収支が 1,111 千円となり、黒字化を図れることが分かった。個体識別・位置検索システムでは、個体検索率が目標の 60%を達成した場合は、導入コスト・運用コストを削減しなくても実装 7 年目で収支が 3,654 千円となり、黒字化を図れることが分かった。このシミュレーション結果を踏まえ、収支計画の黒字化に向けては各システムの機能改善またはコスト低減を図る必要がある。以下に機能改善およびコスト低減に向けた取組内容とそれらを踏まえたサービス化に向けたアクションプランを示す（図 4.4.4-3）。

- 機能改善に向けた取組内容

2022 年度は、農水省事業にて跛行検知率および位置検索率の向上のためにアルゴリズムの改良および機械学習量の増加を図る予定である。これに合わせてカメラの設置位置の最適化も予定している。位置検索率に関しては、個体識別用の FHD カメラを 4K

カメラへ変更し、高精度な画像を取得できるようにすることも検討している。2022年度中に十分な機能改善を行うことができなかつたり、さらなる課題が明らかとなつたりした場合は、2023年度も継続して機能改善を行う必要がある。

2022年度中に機能改善を行うことができた場合は、2023～2024年度において、本実証で検証した機能以外の追加機能の検討を行う予定である。追加機能としては、動線分析による牛の発情の検知や、跛行以外の病気の兆候の検知、乳牛以外の動物への本技術の適応などを考えている。

- コスト低減に向けた取組内容

2022年度は、農水省事業にて導入コストおよび運用コストの低減策の検討・検証を行う予定である。導入コストの低減策としては、①国・自治体の補助金制度を活用したローカル5G機器の導入費用の低減、②安価なカメラの使用およびカメラ台数の削減による機器費の低減、③カメラ台数の削減に伴う設置工事費の低減を考えている。運用コストの低減策としては、カメラの低廉化および台数削減に伴う保守費の低減を考えている。

2022年度中にコスト低減策について十分な検証が行えなかつた場合は、2023年度も継続してコスト低減策について追加検討・検証を行う必要がある。

- サービス化に向けたアクションプラン

2022～2023年度では、上記のコスト低減に向けた取組内容も踏まえて、跛行検知システム、個体識別・位置検索システム、遠隔指導システムそれぞれのサービスモデルおよび価格の検討を行う予定である。そして、2024年度には、各システムのサービス提供の開始を予定している。

また、2024年度には本実証で検証した機能以外の追加機能の検討が終わる見込みのため、2025～2026年度において、追加機能を含めたサービスについてサービスモデルおよび価格について検討を実施する予定である。

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
機能改善に向けた取組	農水省事業における各システムの機能改善	本実証機能以外の追加機能の検討			
コスト低減に向けた取組	農水省事業における各システムのコスト低減	各システムのコスト低減			
サービス化に向けたアクションプラン	サービス化に向けたシステムごとのサービスモデルおよび価格検討		跛行検知/個体識別・位置検索/遠隔指導システムのサービス提供開始		
				追加機能を含めたサービス化に向けた検討	

図 4.4.4-3 機能改善・コスト低減に向けた取組とサービス化に向けたアクションプラン

5. 普及啓発活動の実施

本活動は、本実証で検証を行った各技術の普及活動として、請負事業者である三菱総合研究所が実施する映像制作への協力や実証視察会などを実施し、本実証事業の社会実装に向けた取組を推進することを目的としている。また、映像制作への協力や実証視察会の実施に加え、コンソーシアム独自での映像コンテンツの制作や同コンテンツを用いた説明会、関連技術の学会発表や取材対応を通じて広報・プロモーション活用を実施することで、社会実装に向けた本実証技術の認知向上に向けた取組も実施した。

5.1 映像制作への協力

本実証作業及び実証フィールドであるフリーストール牛舎の様子について撮影を行い、下記の種類の映像素材を提供することで普及啓発活動用の映像制作に協力した（図 5.1-1～5.1-6）。



図 5.1-1 牛舎の風景



図 5.1-2 毎日の作業の様子



図 5.1-3 個体識別・位置把握の撮影シーン

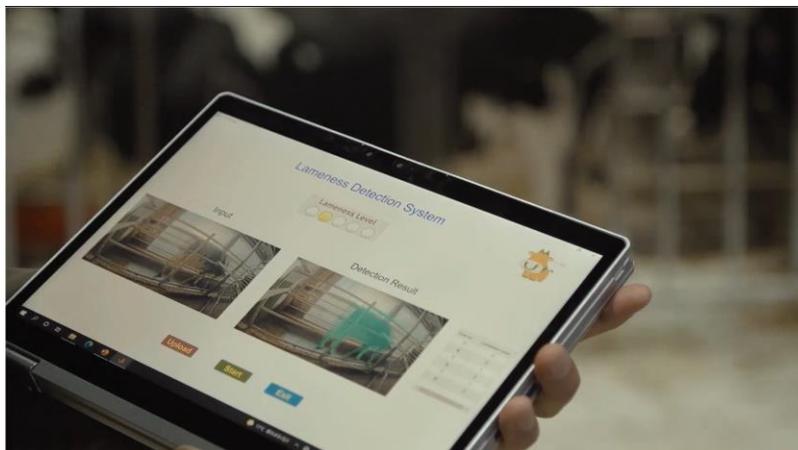


図 5.1-4 跛行検知の撮影シーン



図 5.1-5 スマートグラスの使用シーン



図 5.1-6 事務所で確認する様子、獣医師・畜産コンサルタントの確認

- 写真の提供
5G 関係機器、設置場所、実証風景等の写真を総務省内の報告に向け提供した（図 5.1-7～5.1-8）。



図 5.1-7 ローカル 5G 基地局の写真



図 5.1-8 フリーストール牛舎の外観の写真

5.2 実証視察会の実施

関連企業・団体に対し本実証内容について周知することを目的として、実証技術・設備及び実証フィールドであるフリーストール牛舎についての視察会を実施した。

- 実施日時：令和3年12月23日 12:00～15:30
- 実施場所：ホクレン訓子府実証農場
- 参加人数：計41名（実証コンソーシアム外：8名）

一部の参加者についてはリモートでの参加となり、実証コンソーシアム外からは、以下の企業・団体からの参加を受けた。

- 北海道総合通信局
- 農林水産省北海道農政事務所
- 三菱総合研究所

- 視察会実施要領

ホクレン訓子府実証農場の講堂において実証技術、設備に関する説明を下記のとおり行ったのち、現地においてフリーストール牛舎の見学を行い、事後に質疑応答の時間を設けた（図5.2-1、5.2-2）。

フリーストール牛舎の見学にはカメラ及びマイクスピーカーを携行し、リモートでの参加者のためにオンライン中継を実施した。

- 実証技術、設備に関する説明
 - ・ 跛行検知技術実証の概要、進捗状況（宮崎大学より）
 - ・ 個体識別・位置検索技術実証の概要、進捗状況（北海道インダより）
 - ・ 遠隔診断技術実証及びローカル5G設備の概要、進捗状況（NTTドコモより）
- フリーストール牛舎見学
 - 牛舎及び実証設備の設置状況（ホクレンより）



図 5.2-1 講堂における説明の状況



図 5.2-2 フリーストール牛舎見学の様況 (オンライン中継)

● 質疑応答結果

質疑応答においては、参加者から下記の質問が挙げられ、それぞれ技術実証を担当する各者より回答がなされた（表 5.2-1）。

表 5.2-1 実証視察会における質問事項と回答

項目	質問	回答
跛行検知技術 について	牛舎の環境において各種カメラの剛性は問題ないか (北海道農政部)	特段これまでの実証では問題ない (宮崎大学)
	3D カメラ・4K カメラ単体での検知は可能か (北海道農政部)	精度の向上には組み合わせで使用することが望ましいが、カメラ単体に対応したシステムも検討する (宮崎大学)
	牛の形状にも個体差があるが、識別することはできるのか (北海道農政部)	形状の個体差を機械学習に組み込んで対応している (宮崎大学)
	検知した跛行スコアの正確性に対する評価はどのように行うのか (北海道農政部)	削蹄の際に定期的な状態チェックを行っており、そのデータを用いて評価する (ホクレン)
個体識別・位置検索 技術について	カメラ一台当たりの識別対象頭数はどの程度か (北海道総通局)	カメラの画角等性能に依存する (北海道イシダ)
	移動速度の速い個体についても識別可能か (北海道総通局)	識別可能である (北海道イシダ)
ローカル 5G 設備 について	2K カメラを使用する場合でもローカル 5G を使う方が望ましいか (北海道総通局)	カメラの台数・性能を求める場合必要であり、跛行検知においても望ましい (NTTドコモ、宮崎大学)
	BEWを選定した理由はセキュリティ面か、またフレッツ光等の回線は使用可能か (北海道総通局)	<ul style="list-style-type: none"> ● セキュリティ面及び実証実験では通信環境の安定性から BEW を選定した ● 社会実装においてはコスト面等からインターネットの採用は考えられる (NTTドコモ)
	牛舎内の鉄骨による干渉などの影響はあるか (三菱総研)	環境に応じたチューニングにより対応可能 (NTTドコモ)
	上りの回線速度が想定より遅いが影響はあるか (三菱総研)	今後もメーカー (アプレシア) とともに改善に取り組んでいく (NTTドコモ)
その他	3つの実証技術を一つのパッケージとして売り出す場合、個体識	検討し、システム連携させるなら統一したデータを使用する

	別データは統一するのか (コンソーシアムPO)	ようにしたい (NTTドコモ)
	訓子府町には獣医師ほどの程度 いて、稼働率はどのくらいか (北海道総通局)	正確な人数は把握していない が、数は減少傾向であり、多忙 と聞いている(訓子府町)

5.3 その他普及啓発活動

5.3.1 広報用コンテンツの整備

● 広報用動画の制作

Web サイトでの情報発信等を想定して、本実証の概要及び具体的な課題実証内容をまとめた約6分間の広報用動画の制作を行った。

動画の制作にあたっては、動画の構成と訴求したい事項について検討を行い(図 5.3.1-1)、実際の技術実証や農場の風景、実証コンソーシアムメンバーへのインタビューを撮影した上で、アニメーション・インフォグラフィックス・ナレーションを挿入し本実証のアピールポイントを表現することとし、その内容をストーリーボードとして整理したうえ制作した(図 5.3.1-2、図 5.3.1-3)。

	第一部 プロジェクトの全体概要		第二部 各課題実証テーマの説明			第三部 今後の展望
時間	30秒~1分	30秒~1分	3分~3分30秒			30秒
構成	スマート農業実証の実施背景・目的	プロジェクトの全体概要	各課題実証の代表者等による説明・意気込み			ソリューションの実装・普及に向けた取り組み
			宮崎大学 (走行検知)	北海道イシダ (個体識別・位置検索)	NTTドコモ (遠隔指導)	
アピールポイント	人材不足や経営課題等、農業分野全体が抱える課題に対して、スマート農機等を活用して、課題を解決することを目的とする	L5Gを活用して、個体の異常の早期発見や稼働の効率化等、生産者の経営改善に寄与することを目的として取り組む	実機の映像を交えながら、各課題やソリューションの導入効果、今後の展望等、実証事業者のメッセージを届ける ・各課題実証のテーマや特徴(先進性、独自性等)、実施の必要性(現場の課題等) ・L5Gを活用することにより期待される効果 ・今年度の実証の達成度合いや今後の目標等			ユーザーのニーズや課題解決を踏まえて、ソリューションの実装・普及に向けた取り組みを進めていく
表現方法	<ul style="list-style-type: none"> ナレーション イラスト/アニメーション 	<ul style="list-style-type: none"> ナレーション イラスト/アニメーション 実機の映像等(動画、写真) 	<ul style="list-style-type: none"> インタビュー動画 実機の映像等(動画、写真) インフォグラフィックス 			<ul style="list-style-type: none"> ナレーション イラスト/アニメーション

図 5.3.1-1 動画の構成・アピールポイントに係る検討

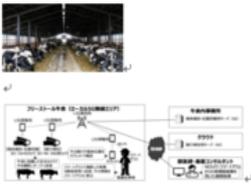
TIME	イメージ	ナレーション	尺
0	タイトルテロップ もしくはプロジェクトのロゴ等		4"
1	現状の畜産業の課題 ・実写（北海道の牧場） ・牛 ・生産者のイメージカット 	N： 現在、日本の畜産業は多くの課題を抱えています。 高齢化による後継者不足、労働力不足、生産性低下、経営課題など、 解決すべき問題が散見されます。	15"
2	現場の声（課題提起） 生産者のインタビュー ・牛舎のインサート	ON（仮）： 少子高齢化や過疎化の影響もあり、労働力不足、後継者不足が大 きな課題です。	15"
3	生産者のインタビュー ・牛舎のインサート	ON（仮）： 農場が広いので牛の管理が難しい。効率的に作業できるようにな れば嬉しい。	15"
4	プロジェクトの概要説明 ・牛舎イメージ ・プロジェクト概要インフォ 	N： このプロジェクト「???'は、牛舎内で乳牛を放し飼いにするフ リーストール牛舎普及のために、ローカル5G技術とICTを活用、 導入。 生産現場の高度化や経営改善など、デジタル革新の促進を目的とし ています。	30"
5	扉	テロップ：牛の歩行情報検知による異常個体の早期発見	4"

図 5.3.1-2 ストーリーボードイメージ



図 5.3.1-3 広報用動画

- プレスリリースの実施

本実証の開始とその概要について広く周知を行うため、実証コンソーシアムの連名でプレスリリースを行った（図 5.3.1-4）。

- 配信年月日：令和 3 年 10 月 25 日
- タイトル：「産学官連携によるローカル 5G を用いたスマート農業実証プロジェクトの開始について～ICT 技術を用いた乳牛の効率的な個体管理をめざす～」
- 内容：本実証実験を令和 3 年 10 月 25 日より開始すること、実証の目的及び概要、実証期間・実施場所について
- 社名記載：株式会社 N T T データ経営研究所
株式会社 N T T ドコモ北海道支社
ホクレン農業協同組合連合会
国立大学法人宮崎大学
北海道インダ株式会社
きたみらい農業協同組合
訓子府町

- 広報用 HP の制作

本実証の情報発信に使用するため広報用 HP を開設した。

- 開設年月日：令和 4 年 2 月 16 日
- 開設場所：N T T データ経営研究所 HP 内 (<https://www.nttdata-strategy.com/news/L5G2022.html>)
- コンテンツ：実証実験概要に関する説明、広報用動画リンク

2022.02.08

産学官連携によるローカル5Gを用いたスマート農業実証プロジェクトの開始について

～ICT技術を用いた乳牛の効率的な個体管理をめざす～

株式会社NTTデータ経営研究所

株式会社NTTデータ経営研究所を代表機関として、株式会社NTTドコモ北海道支社、ホクレン農業協同組合連合会、国立大学法人宮崎大学、北海道インダ株式会社、きたみらい農業協同組合、訓子府町の7者は、この度、産学官連携によるローカル5G※1を用いたスマート農業の実現に向けた実証実験(以下、本実証実験)を2021年10月25日(月)より開始しました。

本実証実験は、訓子府町内のホクレン訓子府実証農場を実証フィールドとして、フリーストール牛舎※2にローカル5G基地局を設置し、ローカル5G端末に接続した4Kカメラや3Dカメラで撮影した乳牛の高精細映像画像を分析することで、システムによる乳牛の個体識別、位置検索、健康状態の把握を実現し、一次産業分野の深刻な人手不足の解決につながる酪農従事者の個体管理に係る稼働削減や乳牛の健康異常の早期発見および重症化の未然防止による生産性の向上をめざします。

なお、本実証実験は、総務省の令和3年度「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」および農林水産省の令和3年度「スマート農業実証プロジェクト(ローカル5G)」の採択を受け取り組むものです。

1. 実証実験期間

2021年10月25日(月)～2023年3月31日(木)【予定】

2. 実証実験実施場所

ホクレン訓子府実証農場(住所:北海道常呂郡訓子府町駒里184-7)



[詳細はこちら](#)

図 5.3.1-4 広報用 HP の概観

5.3.2 近隣農家への説明会の実施

本実証の周知を行うとともに酪農家からの意見を収集するため、本実証について実証内容について訓子府町より町内の酪農家に対し説明会を実施した。

- 実施年月日：令和3年12月14日
- 参加者：9名（町内酪農家4名、JAきたみらい畜産部3名、訓子府町2名）
- 酪農家からの意見：高精度カメラとAI解析により、分娩予知の実証も合わせてできないのか。分娩においては破水や足が出てくるといった兆候はカメラやAI解析でできないか。

5.3.3 学会発表実績

宮崎大学より国際会議において2点の論文を発表、採択された。

- 会議名：2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies
- 開催場所：大阪府豊中市 千里ライフサイエンスセンター
- 開催期間：令和4年3月7日～9日
- 発表論文：以下2点

[1] Thi Zin, Su Myat Noe, Moe Zet Pwint, Ikuo Kobayashi, “An Intelligent Method for Detecting Lameness in Modern Dairy Industry”, The 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech 2022), Osaka, Japan, 7-9 Mar. 2022. (Accepted)

[2] Su Myat Noe, Thi Zin, Pyke Tin, Ikuo Kobayashi, “A Deep Learning-based solution to Cattle Region Extraction for Lameness Detection”, The 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech 2022), Osaka, Japan, 7-9 Mar. 2022. (Accepted)

5.3.4 取材対応実績

- 北海道新聞社からの取材

本実証内容について北海道新聞社から取材を受けた。

- 実施年月日：令和4年2月3日
- 取材相手：北海道新聞社 北見報道部
- 内容：ローカル5Gの仕組みや使用するメリット、実証して新たに明らかになったこと、全国で実施しているローカル5G実証の中で本実証独自の取組はあるのか、本実証で必要な通信量・通信速度などについて説明を行った。

- MRT 宮崎放送からの取材

本実証についてMRT 宮崎放送から取材を受けた。

- 放送年月日：令和4年1月14日
- 取材対応：宮崎大学
- 取材相手：MRT 宮崎放送「Check！」
- 内容：研究内容について、非接触・非侵襲センサー情報の解析アルゴリズムを応用し、家畜の状態を24時間監視できるシステムを目指していること、及び高度な画像処理やAIとの先端技術を活用したスマート農業の研究開発を行っている旨の説明を行った。

6. 実施体制

本事業では、実証コンソーシアムを組成し、産官学連携により事業の履行と効果的な普及啓発活動に取り組んだ（図 6-1）。

代表機関である株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所は、事業の確実な履行に向けた連絡・調整及び会議の主催、普及啓発活動の検討・実施、成果の取り纏めを行った。株式会社 NTT ドコモは、各実証の進行管理を行うとともに、L5G に関する技術実証と、課題実証のうち遠隔指導を担当した。

ホクレン農業協同組合連合会は本実証事業におけるフィールドを提供するとともに、スマート農業技術の実証に係る農業従事者の知見の共有・助言を行い、また普及啓発活動も実施した。同様に、きたみらい農業協同組合においても生産者の立場からの課題実証に対する助言及び訓子府町において自治体のコネクションを活用した実証技術の情報発信・普及啓発に向けた取り組みを行った。

北海道インダは課題実証のうち個体識別・個体位置検索実証を担当した。宮崎大学は研究機関として課題実証のうち跛行検知実証を担当するとともに、学会発表等を通じた情報発信、普及啓発を行った。

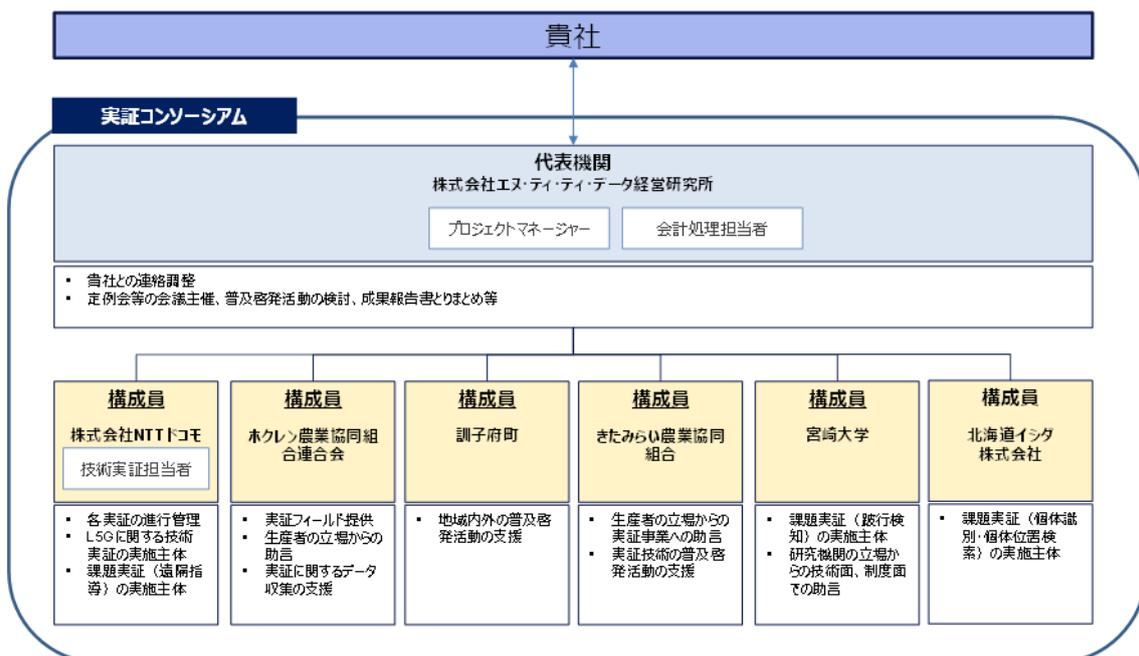


図 6-1 実証コンソーシアムの構成

7. スケジュール

9月から12月にかけて免許申請、機器調達、ネットワーク構築等の実証環境の構築をNTTドコモが主導して行った。

技術実証については、電波伝搬特性の測定を12月中旬にかけて、準同期TDD追加パターンの開発を1月から実施した。

課題実証については、跛行検知実証は12月に現地での実証を行い、その後NASに保存されたデータ等を活用してアルゴリズム開発を継続した。個体識別・個体位置検索実証については、12月からプログラム改修を完了するごとに現地で動作検証を継続して行った。遠隔指導についても12月に現地での実証を行い、その後事務所内に環境を構築しての動作検証、耳標読み取りの音声認識機能の追加、マニュアルの改訂等の各種改良を実施した。

普及啓発活動については、現地実証に合わせて映像素材の撮影や実証視察会を実施し、10月のプレスリリースを皮切りに各種広報活動を継続した。

当初の計画と実績に相違が生じた部分としては、契約時期の遅延により実証環境の構築に遅れが生じ、課題実証、特に現地における実証期間を想定より確保することができない結果となった(表7-1)。

表 7-1 実証の全体スケジュール

項目	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
実証環境の構築									
免許申請			→	→					
機器調達			→	→	→	→			
ネットワーク構築			→	→	→	→			
ソリューション開発			→		→	→			
接続試験					→	→			
技術実証 (基本提案)									
電波伝搬特性等の測定					→	→			
技術実証 (追加提案)									
準同期TDDの追加パターンの開発							→	→	
課題実証									
跛行検知実証	現地実証					→	→	→	→
	アルゴリズム開発					→	→	→	→
個体識別・個体位置検索実証 (プログラム改修及び現地実証)						→	→	→	→
遠隔指導	現地実証					→	→	→	→
	動作検証、各種改良					→	→	→	→
普及啓発活動									
映像制作への協力					→	→	→	→	→
実証視察会の実施					→	→	→	→	→
その他広報活動					→	→	→	→	→
成果報告書の作成									
						→	→		

→ 実績

- - - 計画