# 課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けたローカル 5G の

# 電波伝搬特性やローカル 5G 等の活用に関する

# 技術的検討並びに調査検討の請負

【技術実証編】

# 報告書

2022年3月30日

株式会社三菱総合研究所

# 目次

1. 実証の設計	2
1.1 課題認識	2
1.1.1 実用的な電波伝搬モデルの構築	2
1.1.2 エリア化手法の改善	3
1.1.3 安心・安全な運用(準同期方式の確立)	4
1.2 令和2年度実証の成果と取り組み課題	5
1.2.1 実用的な電波伝搬モデルの構築	5
1.2.2 エリア化手法の改善	6
1.2.3 安心・安全な運用(準同期方式の確立)	7
1.3 実証設計	8
1.3.1 実証目標の明確化	9
1.3.2 基本的手法に則った実証実験の実施	10
1.3.3 計測枠組みの設計と指示	11
2. 電波伝搬モデルの精緻化	
21 概要	14
2.1 似安	
2.1.1 电双丛因际备量率半	14 19
2.1.3 精緻化の進め方	
	20
2.2 測定のよう構成にの方法	20
2.2.2 提供データフォーマット	
2.2.3 パラメータ推定(最適値算出)方法	21
2.3 測定結果と考察	22
2.3.1 Rの精緻化	23
2.3.3 Sの精緻化	73
2.4 まとめ	
2 電波反射振に上るエリマ構築の矛動化	94
3.1 概要	
3.2 電波反射板活用事例	
3.2.1 エリア構築の課題/電波反射板による課題解決方策	
3.2.2 个感地帯の把握	
3.2.3 リンクハンェット昇出例/シミュレーション実施例 2.2.4 カボーエリフ/理教社会ロビュの影響でで	
3.2.4 ガハーエリブ/調金刈豕区域への影響評価 205 電波反射振行とて空信電力体の改善効果	
3.3 電波反射板の諸元・特性	
3.3.1 電波反射板の材質/大きさ/重量	

	3.3.2 電波反射板利得の算出値及び実測値	131
	3.3.3 電波反射板ビーム幅(半値角)の算出値および実測値	134
	3.4 設置の容易性・コスト比較	138
	3.4.1 設置の容易性比較	138
	3.4.2 コスト比較	138
	3.5 エリア設計手法のモデル化	139
	3.5.1 実証 No.01 と実証 No.03 のモデル化	140
	3.5.2 実証 No.04 のモデル化	142
	3.5.3 実証 No.14 のモデル化	143
	3.5.4 実証 No.22 と実証 No.25 のモデル化	144
	3.6 電波反射板の有効な条件、有効でない条件	145
	37 まとめ	146
	3.7.1 雷波反射板が有効となるユースケース	
	3.7.2 エリア設計手法のモデル化	147
	3.7.3 電波反射板有効性比較	147
	3.7.4 電波反射板の活用によるエリア構築の課題解決	149
1	淮同期 TDD の追加パターンの閉発	150
4	. 年间労100 の追加バターンの開光	150
	4.1 概要	150
	4.1.1 実証目標	150
	4.2 干渉シナリオの整理	151
	4.2.1 周波数隣接条件	151
	4.2.2 基地局間干渉と移動局間干渉	152
	4.2.3 実証コンソーシアムの干渉シナリオー覧	154
	4.2.4 干渉シナリオの組み合わせ	154
	4.3 隣接周波数における干渉(共用検討シミュレーション・実機検証・分析/考察	<b>ξ</b> )
		156
	4.3.1 実証 No.01 の共用検討	156
	4.3.2 実証 No.15 の共用検討	179
	4.3.3 実証 No.17 の共用検討	193
	4.4 同一周波数における干渉(共用検討シミュレーション・実機検証/分析考察)	221
	4.4.1 実証 No.02 の共用検討	221
	4.4.2 実証 No.23 の共用検討	253
	4.5 一次請負者による実機を用いた検証(技術実証の追加提案)	277
	4.5.1 実証概要	277
	4.5.2 作業日程・作業体制	277
	4.5.3 実証環境・システム	278
	4.5.4 評価・検証項目	288
	4.5.5 評価・検証方法	289
	4.5.6 実証結果及ひ考察	295
	4.6 まとめ	308
	4.6.1 隣接周波数における干渉	308

	4.6.2 同一周波数における干渉	
5.	5. その他のテーマ	312
	5.1 実証の位置づけ	312
	5.2 実証内容	312
	5.3 実証結果	312
	5.3.1 エリア構築の柔軟化に資するテーマの実証結果	312
	5.3.2 エリア構築の柔軟化以外に係るテーマの実証結果	316
6.	). ローカル 5G の普及に向けた技術的課題の解決方策等についての考察	323
	61 は街宇証テーフ しこついての考察	202
	0.1 投附 天証 / 一 、 1 に うい この 考奈	323
	0.1 投稿       1 200 Cの名祭         6.1.1 明らかになった事項や技術的課題の解決方策	
	6.1.1 明らかになった事項や技術的課題の解決方策 6.1.2 今後検討すべき課題	
	<ul> <li>6.1.1 明らかになった事項や技術的課題の解決方策</li> <li>6.1.2 今後検討すべき課題</li> <li>6.2 技術実証テーマⅡについての考察</li> </ul>	
	<ul> <li>6.1.1 明らかになった事項や技術的課題の解決方策</li> <li>6.1.2 今後検討すべき課題</li> <li>6.2 技術実証テーマⅡについての考察</li> <li>6.2.1 明らかになった事項や技術的課題の解決方策</li> </ul>	
	<ul> <li>6.1.1 明らかになった事項や技術的課題の解決方策</li></ul>	
	<ul> <li>6.1.1 明らかになった事項や技術的課題の解決方策</li></ul>	
	<ul> <li>6.1 投納実証 ) ~ マ П こうい Cの考察</li></ul>	

#### 1. 実証の設計

本実証事業におけるローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討(以下、技術実証 という)では、以下の①~③の事項について技術基準改定の検討や低廉な機器の普及などを 念頭におき検討した。

- 電波伝搬モデルの精緻化
- ② 電波反射板によるエリア構築の柔軟化
- ③ 準同期 TDD の追加パターンの開発

本章では、①~③の事項について検討が必要である背景・理由について述べたうえで、一 次請負者としての課題認識を述べる。また、当該課題認識を踏まえ、実証コンソーシアムの 実施事項や審査の用件等をどのように設計したのかを説明する。

#### 1.1 課題認識

ローカル 5G は 2020 年度の 4.7GHz 帯(4.6GHz~4.9GHz 帯のこと。以下同じ)の制度 化を経て、今後市場として設立期から成長期へと移行する。普及促進の観点からは、①ロ ーカル 5G システムの利便性向上を図りながら、②ローカル 5G のユースケースの拡大やエ リア展開へと進むことが期待される。①については、まずは<u>単一のユースケースなどでロ ーカル 5G システムを「点」で整備できるように(整備しやすく)すること</u>、②は<u>多用なユ</u> ースケースが共存できるようにローカル 5G としての「面」としての整備をどのように実現 するかが重要と考える。

従って、上記の①・②の段階をそれぞれ目標として捉えながら、それらを実現するための課題とその解決アプローチを考えていくことが肝要である。解決アプローチは、技術的な側面及び運用・制度的な側面がある。なお、我が国免許制度の場合は、他国と比べても 技術的な基準や考え方に立脚して厳格に制度設計されていることから、両側面は密接な関係があるといえる。

以下に具体的な課題とアプローチ案について整理する。

課題の内容			ローカル 5G のユースケースや利用環境 (屋内外)によっては電波伝
			搬環境とそれに伴うパフォーマンス等が変化しやすく、システム構
			築やエリア整備にあたっては電波伝搬に係る正確な理解が不可欠で
			ある(安定的な通信を求められるユースケースにおいては大きな課
			題)。他方、現行の審査基準ではカバーエリアおよび調整対象区域
			の算出方法が一律であることから、 <u>干渉調整時におけるツールとし</u>
			て、環境に応じ現実に近似した電波伝搬モデル(算出式や付随デー
			<u>タ)の構築</u> が求められる。
	解決	技術面	多様な電波環境やユースケースを想定した電波伝搬モデルの精緻化
アプローチ			▶ 概要:ローカル 5G の周波数帯・ユースケース・電波伝搬環境
			等に応じて、実証フィールドを活用する等で、電波環境の特性

#### 1.1.1 実用的な電波伝搬モデルの構築

	評価(データ計測等)による電波伝搬に関する理解の深化、	対
	応する既存の電波伝搬モデルを踏まえたパラメータ値の精維	致化
	(または遮蔽損等を踏まえた新たな係数・項に関する検討)	を
	行い、実務上有益な情報や知見を得る。また、今後のユース	スケ
	ースやニーズに応じて、自己土地・他者土地利用基準に係る	る実
	測(屋内外間や他者土地への漏れ等)なども想定される。	
	▶ 方法:検証用パラメータに応じて、モデル(伝送距離等) ペ	や計
	測枠組み(計測単位・粒度等)を予め定め、実証側がユース	スケ
	ースとともに検証の環境を提案する。制度化において基準で	であ
	る電波伝搬モデルを踏まえ、地形・環境等に応じた補正係数	数に
	よる伝搬損失等の精緻化について考察する。	
運用・制	エリア化算出手法の見直し	
度面	▶ 電波伝搬モデル(算出式)の見直しについて、実測を重ねる	るな
	どで統計的有意性を確保した上で、地形・環境に応じた場合	合分
	け等で現行制度(または制度に準じた各種ガイドラインや業	業界
	標準など)に反映することを目指す。	
	▶ 上記見直しを通じ、調整負荷を軽減するとともに利便性の高	高い
	運用や柔軟なエリア整備に向けて、システム間の調整エリフ	アの
	縮減効果を踏まえ、適宜干渉調整における手順等へ反映する	るこ
	とを目指す。	

# 1.1.2 エリア化手法の改善

課題の内容		ローカル 5G は 5G システムを柔軟に利用できるメリットがある一方、
		ユースケースや利用環境により電波伝搬環境に大きく左右されると
		ともに(屋内におけるレイアウト変更に伴う伝搬環境の変化含む)、
		きめ細かにエリア構築・調整を行う必要がある。しかしながら、現場
		レベルでは、レイアウト変更のたびに、アンテナ位置等の設定調整や
		工事とともに免許の変更申請が必要となり、コスト増および迅速性の
		欠如といった課題があり、 周波数帯や環境等に応じたエリア化の改善
		<u>やより柔軟な利用に向けた検討</u> が求められている。
解決	技術面	エリア化の改善・柔軟性向上に資する手法の検討
アプローチ		▶ 概要:電波反射板や中継局(移動局免許)の活用など、サイトエン
		ジニアリング等によるエリア化の改善や設計手法を考案し、実証
		フィールドまたは模擬的な環境にて検証を行う(令和 2 年度実証
		では工場において電波反射板によるエリア化改善について実証)。
		その他、今後のユースケースやニーズに応じて、可搬・可搬半固
		定運用や無線従事者に係らず現場での調整が可能な技術や実現方
		法等の提案も考えられる。
		▶ 方法:実測と電波伝搬シミュレーションを組み合わせること等で
		汎用化・共有知化を行う。ただし、実証フィールドでは、環境依存
		や計測の実施に係る制約があることから、特に屋内環境について

	はイベント会場等を活用するなどで模擬的な環境を構築し、伝搬
	に影響を与える壁、資材の材質・厚さや配置を変更しながら検証
	データを蓄積することが想定される。
運用·	免許申請条件の緩和
単度面	<ul> <li>電波反射板の活用など、エリア化改善に資する条件(ローカル 5G 基地局のアンテナ位置変更、アンテナ指向性変更、送信電力値の 変更等)に係る免許申請条件の緩和等に寄与する。 なお、電波反射板については、免許制度上の扱いについて整理の 上、実証の対象範囲等について精査が必要(基地局の一部と見な される場合、基地局免許申請時に合わせて申請が必要)となる。</li> <li>その他にも中継局の活用が考えられる。5G(ローカル 5G含む) 4.7GHz帯、ミリ波バンドにおいては、5G NR 用の無線中継局の 規定がない。中継局は現場レベルでの対応が容易等のメリットを 有するが、5G NR 用無線中継局は 2021 年 12 月頃の仕様策定を 目指している等、令和 3 年度実施するための技術的な実現の見通</li> </ul>
	しか立っていないことから、次年度以降の美証課題候補とするのが適当と考えられる。

# 1.1.3 安心・安全な運用(準同期方式の確立)

課題の内容	準同期方式の運用においては、ローカル 5G を安心・安全に利用する
	ために、他システムに干渉を与えない又は自システムが干渉を受けて
	も運用上支障がないと判断するための、共通な知見が求められる。
	ローカル 5G ユースケース(UL 重視など) への対応と電波有効利用の
	観点から準同期方式が制度化されているが、制度化済みパターン(同
	期 TDD 及び準同期 TDD1)における実機によるさらなる検証と、更
	なる多様なユースケースの要望に応じた準同期(以下、「追加準同期」
	という。)パターンにおける運用への検討が求められる。
解決 技術面	i 準同期運用の検証および拡張に関する検討
アプローチ	▶ 概要:制度化済みパターンについては、多様なユースケースの要
	件に応じた、シミュレーションによる干渉等の検討と実機による
	検証とを行う。追加準同期運用については、異なる UL/DL 比の
	提案および異なる準同期パターン間等でのシミュレーションに
	よる干渉検討を行うことにより、新たな知見を得る(令和2年度
	実証では、ユースケースにおける要求性能に対して UL スループ
	ットが不足するものが数多く見られた)。
	方法:共用検討で実施するモンテカルロシミュレーション等によ
	り干渉影響や UL スロットの信号速度の変化等の特性評価等を
	行う。実証コンソーシアム側では特性評価等の実測を行いシミュ
	レーション結果の検証等を行うことか想定される。
	淮同期運用における王法報減に盗する手注の検討
	<u> 宇岡海座市におりる「少牡္</u> (に良りる于広 <u>の</u> (快)) ト
	キャリア 5G 基地局→ローカル 5G 基地局干渉および

	ローカル 5G 移動局→キャリア 5G 移動局干渉
	等を軽減するための手法(改善に資する置局の場所、送信電力制
	御パラメータの調整等)の検討・考察を行う。
	▶ 方法:準同期運用(TDD1)を前提とした実証環境・システムを
	構築し、各種実測データ等により検証・考察を行う。
運用·	準同期運用ルールの検証と見直し
制度面	▶ 制度済みパターンについては、シミュレーションの実施および実
	証を通じて運用ルール等の検証を行うとともに、新たな準同期パ
	ターンについては、技術的条件等の運用ルールへの反映による、
	複数のモードに対応した機器調達や相互接続検証に係るコスト
	負担の低減を図ることを目指す。
	> なお、追加準同期パターンの運用に対応した商用機等の入手が現
	時点では困難が予想され、実機による技術的な実証の見通しがた
	たないことから、実機による実証については次年度以降の実証課
	題候補とするのが適当と考えられる。

#### 1.2 令和2年度実証の成果と取り組み課題

上記の課題設定に照らして、ローカル 5G 等の電波伝搬特性等に関する技術実証内容と 類似の調査結果を参照・整理し、取り組むべき課題を検討した。類似の調査結果として、具 体的には総務省の令和2年度ローカル 5G 等開発実証の成果を踏まえ、令和3年度取り組 むべき課題を設定した。令和2年度ローカル 5G 等開発実証では、様々な利用場面を想定 した、ローカル 5G を活用する課題解決システムの開発実証を通じ、多種多様な実証フィ ールドにおける電波伝搬に関するデータを取得し、その分析が行われた。そこで得られた 知見と顕在化した課題を整理すると、ローカル 5G のより柔軟な運用、及び低廉かつ安心 安全なローカル 5G の利活用の実現に向けて、さらに以下の点について取り組むべきと考 えられる。

#### 1.2.1 実用的な電波伝搬モデルの構築

1点目は、前述の「1.1.1 実用的な電波伝搬モデルの構築」に関して、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における伝搬損失式と、実際 の伝搬損失結果との差異に対するより詳細な調査検討である。令和 2 年度開発実証では、 様々な実証フィールドにおける実測を通じて、実際にこれらの差異が存在することが確認 できた。実証の成果の概要を表 1-1 に示す。具体的には、4.7GHz 帯と 28GHz 帯 (28.2GHz~29.1GHz 帯のこと。以下同じ)の両周波数帯において、また、屋外から屋内 への影響および屋内・屋外それぞれの環境において、エリア算出法の式と実測値の比較を 行ったところ、多くが 10dB 以上の差分が計測された。

これらの成果も踏まえ、令和3年度実証においては、エリア算出法に対し、様々なフィールドで生じる差異を考慮する具体的な手法に関する検討を実施することで、電波利用の 公平性を高めつつローカル5Gにおける他者干渉調整の効率化を実現することを目指した。

周波数	類型	環境	知見(No.は実証の通し番号)
4.7GHz	屋外→	農業用ハウ	エリア算出法の式より、自由空間損失+17.4dBの方が実
帯	屋内	ス	測に近い(No3)
		雨よけ	エリア算出法の式より、自由空間損失+14.2dBの方が実
			測に近い (No3)
		バス	エリア算出法の式より以下の方が実測に近い(No9)
			<ul> <li>他の車両とすれ違う頻度が低い環境:</li> </ul>
			自由空間損失+11.6dB
			<ul> <li>他の車両とすれ違う頻度が高い環境:</li> </ul>
			自由空間損失+21.8dB
	屋外	圃 場	エリア算出法の式より自由空間損失+13.3dB の方が実
		(NLOS)	測に近い(No3)
		路側	エリア算出法の式より以下の方が実測に近い(No9)
			<ul> <li>● 車両が通過する頻度が低い環境:</li> </ul>
			自由空間損失+6.2dB
			<ul> <li>● 2 台以上の車両が同時に通過しない環境:</li> </ul>
			自由空間損失+14.8dB
			<ul> <li>● 2 台以上の車両が同時に通過する環境:</li> </ul>
			自由空間損失+18.4dB
		郊外地	開放地と郊外地が入り混じる場所で郊外地を適用すると
			電波が飛びすぎるケース有(No10)
		観光地	人体損失(エリア算出法の式では 8dB)について以下の
			とおり精緻化(No13)
			● 直接波の影響が大きい地点:最大 18dB、平均 9dB
			● 俯角が大きい地点:最大 11dB
			● 複数の反射波が到来する地点: 3~4dB
	屋内	工場	屋内に基地局を置く場合の建物侵入損は 16.2dB より小
			さくした方が実測に近い(No6)
		車両基地	建物侵入損は約 11.2dB が妥当(エリア算出法の式では
			16.2dB) (No10)
		病院	病院では、建物侵入損は18.1dBが妥当(エリア算出法の
			式では 16.2dB) (No19)
ミリ波	屋内	工場	ミリ波はビームフォーミングを活用する実装であるた
			め、アンテナの指向性を考慮すべき(No6)

表 1-1 「電波伝搬モデルの精緻化」に関する令和2年度開発実証の成果

#### 1.2.2 エリア化手法の改善

2 点目は、前述の「1.1.2 エリア化手法の改善」について、サービスエリア(業務区域)に よる不感地の解消に向けたサイトエンジニアリング手法の確立である。ローカル 5G は、 基地局の設置上の制約も多く、令和 2 年度の実証ではエリア算出法におけるカバーエリア 内であっても遮蔽等により十分な受信電力が得られない不感地の例が多数報告された。

令和 3 年度は、これらの不感地の解消に対して、より具体的なエンジニアリング手法についてのノウハウを蓄積し、低廉かつ柔軟なローカル 5G 運用についての知見を確立する

ことを目的とした。なお、令和2年度開発実証では、一部の実証が電波反射板を用いた不 感地帯の解消を試みている。例えば、工場内部で電波反射板を用いたエリア改善を試みた 実証においては、以下の知見が得られている。

総務省「地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証(No.8 工場内の無線化の 実現)」報告書<sup>1</sup>より引用

■反射板を用いた実用的なエリア改善の指針

- 金属の反射板を使う場合、改善エリアがかなり狭いため、現場設備などの通信や無線コンバータのバックホールなど動かない特定のものに対しての使用が現実的である。
- 複数のものや移動を伴うものとの通信を改善したい場合、広めのエリアでの改善が必要となるため、反射波のビームが広いメタサーフェスの反射板等の使用を考えるべきである。
- 金属製の工作機械等が多く反射波が有効に使える今回のような工場ではなく、電波が 飛びにくい環境の方が、反射板の導入メリットは大きい。

■反射板を使う評価を行った際に、気づいた注意点

 今回のような環境変動が大きい工場の場合、電波反射板を使う場合、環境変化にセンシ ティブになるリスクがあるため、そのリスクを踏まえた上でのシステム設計、アプリケ ーション適用が必要である。

上記の成果より、電波反射板を用いたエリア改善の仮説として、

- 見通し外のエリアに固定端末が設置されるような環境・ユースケースで有用性が大きい
- 工場のような区切りが少ない屋内空間よりも、ショッピングセンターや病院など、区分けされた空間が複数存在する屋内空間で有用性が大きい

と考えられる。上記は一例であるが、令和3年度の実証においては上記のような仮説に基づき、より電波反射板の有用性が高いと想定される環境において、より精度の高い実証を 行うことを目指した。

#### 1.2.3 安心・安全な運用(準同期方式の確立)

3点目は、ローカル5Gの活用の中でニーズの高い上り通信速度の向上である。令和2年

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> http://go5g.go.jp/sitemanager/wp-

 $content/uploads/2021/05/\% E4\% BB\% A4\% E5\% 92\% 8C\% EF\% BC\% 92\% E5\% B9\% B4\% E5\% BA\% A6L5G\% E9\% 96\% 8B\% E7\% 99\% BA\% E5\% AE\% 9F\% E8\% A8\% BC\% E6\% 88\% 90\% E6\% 9E\% 9C\% E5\% A0\% B1\% E5\% 91\% 8A\% E6\% 9B\% B8_No8_\% E5\% B7\% A5\% E5\% A0\% B4\% E5\% 86\% 85\% E3\% 81\% AE\% E7\% 84\% A1\% E7\% B7\% 9A\% E5\% 8C\% 96\% E3\% 81\% AE\% E5\% AE\% 9F\% E7\% 8F\% BE.pdf$ 

度実証の様々な課題解決システムにおいては、5Gにおける高速大容量の特性を活かし、高 精細な画像等を端末から送信し、専門家やAI等の判断をフィードバックするシステムが多 く提案されたが、同期運用もしくは制度化された UL/DL 比が 1:1 の準同期運用では、通信 速度が要求に対し不十分となるケースも存在した。

この点に関しては、前述の「1.1.3 安心・安全な運用(準同期方式の確立)」のとおり、 準同期運用を拡張していくことが望ましい。令和2年度実証においては、表 1-2のとおり、 周波数帯(4.7GHz帯・ミリ波)×CH(チャンネルの意味、以下同様)の各パターンのう ち、隣接 CH・同一 CH における同期運用システムと準同期運用システムについてシミュ レーションベースでの結果を得ている(制度化済の UL/DL パターンを想定)。令和3年度 は、ニーズの高い上り通信速度の向上に向けて新たな準同期パターンの実現性を含めた実 証を行い、ローカル 5G の特徴を活かすより柔軟な運用を実現する制度化を目指した。な お、実機についてはいずれのパターンについても令和2年度開発実証では検証は出来てい ないため、実機での検証結果は実装に向けては有用なデータとなる。

周波数带	-	パターン	シミュレーション	実機
4.7GHz	隣接 CH	同期⇔準同期	実施済み(No10,11,17)	未実施
帯		準同期⇔準同期	未実施	未実施
	同一 CH 同期⇔準同期		実施済み(No4,No11)	未実施
		準同期⇔準同期	未実施	未実施
ミリ波	隣接 CH	同期⇔準同期	未実施	未実施
		準同期⇔準同期	未実施	未実施
	同一CH	同期⇔準同期	未実施	未実施
		準同期⇔準同期	未実施	未実施

表 1-2 「準同期運用に関する共用検討」に関する令和2年度開発実証の実施状況

#### 1.3 実証設計

技術実証をコンソーシアムに実施させるにあたり、一次請負事業者が設計しなければな らない内容は以下2点である。

- ① 実証コンソーシアムが実施する事項
- ② 実証コンソーシアムが備えるべき要件

①については公募要領の別紙1「技術実証実施要領」(以下、技術実証実施要領)として策定した。加えて、より具体的な内容を実施計画書様式に記載すべき事項として整理した。この際、実施計画書様式に記載すべき事項については、第1回技術実証専門会合での議論を踏まえたものとした。

②については公募要領本紙「4.評価・選定および採択」「(2)審査基準」に策定するとと もに、審査の際に審査の観点として具体化・詳細化した。内容の詳細は公募要領および審査 表を参照することとし、ここではどのような考え方で①、②を設計したのかを述べる。

#### 1.3.1 実証目標の明確化

#### 1.3.1.1 考え方

令和 2 年度実証では、技術実証の本来の目標「技術基準等の整備に資する知見を得る」 に対して不十分な理解と計画のまま、仕様書に記載された「具体的な実施項目」(例:20 点 程度の測定点で受信電力等を測定する)を機械的に実施するに留まったケースが散見され た。これは、技術実証の目的や実証目標(ゴール)を、実証コンソーシアムにおいて十分に 認識されておらず、「計測を行うことで仕様書規定を満たす」という範疇を越えなかったた めといえる。裏を返せば、「技術基準等の整備に関する知見を得る」ことに対する目標設定 には改善余地があると考え、公募要領や審査基準に反映した。

#### 1.3.1.2 公募要領や実施計画書様式等への反映内容

公募時(公募要領)においては、技術課題を念頭に、一次請負者が「何故本検証を行うか」 といった趣旨を述べるとともに、実証目的ならびに実証目標(ゴール)について明確化した。 その上で、実証コンソーシアム側の提案(様式)においては、当該目的・目標(ゴール)に 対する理解や問題意識について深堀していただくとともに、どのように目標を達成するか、 すなわち「仮説の構築」→「具体的な測定項目の測定」→「測定データの評価・考察」とい う仮説検証型のアプローチによる手順について具体的に提案するよう、提案書の様式を作 成した。具体的な反映内容を以降に示す。

#### (1) 公募要領への反映

● 公募要領において、技術実証実施に係る留意事項として以下を記載した。

技術実証の実施にあたっては、検討によって明らかにすること(実証目標)に加え、な ぜそれを明らかにする必要があるのか(実証目的)と、実証目的の背景にある技術的課題 について、ユーザニーズに基づき設定されたローカル 5G の利用環境や所要性能等(提案 するローカル 5G を用いたソリューションを含む。)と関連させて明確にすること。

- 技術実証実施要領において、一次請負者が導出を目指す技術的知見(以下、テーマ別 詳細)を具体的に示した。
  - テーマI:電波伝搬モデルの精緻化については、精緻化の対象として想定するエリア算出式のパラメータを示した。応募者に対しては、どのパラメータをどのように精緻化するか提案するように求めた。
  - > テーマⅡ:電波反射板によるエリア構築の柔軟化については、ユースケースにおけるエリア構築の課題を電波反射板でどう改善するかを定量的に設定することを求めた。
  - ▶ テーマⅢ:準同期 TDD の追加パターンの開発については、開発を想定する準同期 TDD 追加パターンを示した。応募者に対しては、どのパラメータをどのように精緻化するか提案するように求めた。
- 技術実証実施要領において、一次請負者が導出を目指す技術的知見に資するアウト プットイメージ(以下、テーマ別詳細)を具体的に示した。

- ▶ テーマⅠ:精緻化後のパラメータを用いた屋内外のカバーエリアおよび調整対象区域の作図。
- テーマⅡ:電波反射板を設置する際のエリア設計手法(シミュレーション条件やパラメータ等の選び方等)のモデル化。電波反射板が有効となる条件や使い方。
- > テーマⅢ:与干渉に関する与干渉量、所要改善量、所要離隔距離の表。被干渉に 関する、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。

#### (2)提案書様式/実施計画書様式への反映

- 提案書様式、実施計画書様式には、テーマ別に実証目標という項目を設け、記載すべき内容を指示した。
- 上記に加え、実施計画書様式にはアウトプットイメージとして一次請負者による 技術的知見導出に資する表やグラフを示した。

#### 1.3.2 基本的手法に則った実証実験の実施

#### 1.3.2.1 考え方

令和 2 年度実証では、各実証事業の開始時期が異なっていたとともに、技術実証に関す る PMO を担う「技術実証調整事業者」が決定する前に実証が開始され、また各実証の仕様 書上、統一的な目標や計測等の枠組みを設けていなかったこと等から、各実証コンソーシ アムの実証手順が統一されていなかった。特に、事前の仮説構築が義務付けられていなか ったことから、得られた実証結果の妥当性を評価することが困難であり、技術的知見を得に くい点が問題であった。以上から、シミュレーションや文献調査による机上検討を実証前に 行うことを義務付けることで、得られた実証結果の妥当性が評価可能になると考えた。

#### 1.3.2.2 公募要領や実施計画書様式等への反映内容

科学的実証の原則に立ち返り、適切なプロセス(下記)による実証スキームを確立した。

- 仮説の立案 シミュレーションにより予測
- 実証 仮説の検証を主眼に置いての実証
- ③ 仮説の修正 実証結果をもとにシミュレーション条件やパラメータを検証
- ④ 条件、パラメータを見直し再度シミュレーション
- ⑤ 考察 実証結果を裏付けるシミュレーション条件やパラメータを元に
   考察

具体的には、公募要領において実施事項として仮説の立案(エリア構築等)を義務付ける とともに、審査項目等に反映した。詳細な反映内容を以降に示す。

(1) 公募要領への反映

● 公募要領において、技術実証実施に係る留意事項として以下を示した。

実証目標の達成のために仮説を構築した上で、実証の結果と仮説の差分を比較し仮説を 検証し、必要に応じて仮説を修正すること。

- 技術実証実施要領において、実証コンソーシアムが実施する事項として仮説立案(以下、テーマ別詳細)を設けた。
  - ▶ テーマⅠ:精緻化の対象パラメータの値について実証環境の環境条件に基づき 精緻化の仮説を立てること。仮説に基づきパラメータの値を修正した算出式を 用いて、屋内外のカバーエリアおよび調整対象区域を作図すること。
  - > テーマⅡ:シミュレーション等により、電波反射板設置前後のカバーエリアおよび調整対象区域を作図し、エリア構築の課題(不感地帯等)を明らかにするとともに電波反射板を設置することにより解消されることを示すこと。
  - > テーマⅢ:実測前に情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月)<sup>2</sup>に記載された手法、パラメータによって、提案する追加準同期パターンの干渉検討をシミュレーションすること。実測後には実機の実力値等を使って再度シミュレーションすること。

#### (2) 提案書様式/実施計画書様式への反映

提案書様式、実施計画書様式には、テーマ別に実証仮説という項目を設け、記載すべき内容を指示した。

#### 1.3.3 計測枠組みの設計と指示

#### 1.3.3.1 考え方

令和 2 年度実証では、各実証コンソーシアムの実施計画策定と同時並行で、電波伝搬測 定方法の具体的な指示を行ったが、すでに実証コンソーシアムにおけるシステムや計測機 器の手配や具体的な計測手法策定が完了している状況の中で、細部までの標準化が難しい こともあり、結果として測定方法にばらつきが生じることになった。また、各事業での測 定のばらつきを抑える上では、事前の測定およびデータのとりまとめについて細部まで認 識を合わせることが重要である。

#### 1.3.3.2 公募要領や実施計画書様式等への反映内容

令和 3 年度は、あらかじめ公募要領の段階から、複数事業者の測定結果の統合・分析の ための共通化や結果の品質向上を目的とした測定に関する手法等の標準化について提示し た。また、ローカル 5G 機器を含むシステムの信頼性確認も兼ねて、事前にラボ等での特性 取得等における測定方法・測定結果のレビュー等を実施することも示した。詳細な反映内 容を以降に示す。

#### (1) 公募要領への反映

公募要領において、技術実証実施に係る留意事項として以下を示した。

<sup>2</sup> 情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(総務省;令和2年7

月) : https://www.soumu.go.jp/main\_content/000697525.pdf

測定前に当社に対し、想定する測定点や測定方法、それらの理由を示し、当社の確認を得 て測定すること。当社で実施する横断的な分析に資するデータを取得するため、当社から測 定方法に指示があった場合は、それに従うこと。

● 公募要領において、その他要件として以下を示した。

「③ネットワーク・システム構成」のうち開発を伴う機器を利用する場合、その旨と開発 の内容を提案書に明記するとともに、現地検証前にラボ環境で環境要因を極力排除した機 器固有の性能を確認すること。開発を伴わない機器を利用する場合、適切な検討に資するよ う、ベンダの品質保証試験評価データ等を入手するか、または現地検証前にラボ環境で環境 要因を極力排除した機器固有の性能を確認すること。

- (2) 提案書様式/実施計画書様式への反映
  - 提案書様式、実施計画書様式には、テーマ別に評価・検証項目という項目を設け、 測定すべき指標を指示した。
  - 上記に加え、実施計画書様式には評価・検証方法という項目において、より具体的 な測定手法を指示した。

2章以降では、本章で述べた設計・考え方に基づき採択した実証事業の技術実証結果について、技術実証テーマ別に整理・分析・考察する。

<本報告書で掲載する各実証の番号について>

本報告書では、各実証事業の採択時に実証毎に付番した番号(No.X)について、便宜上 下表のとおり番号を振り直している。

採択時の実証番号(No.x)	本報告書
No.1 中山間地域での EV ロボット遠隔制御等による果樹栽培支援に向けた	No.1
ローカル 5Gの技術的条件及び利活用に関する調査検討	
No.2 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	No.2
No.3 新型コロナからの経済復興に向けたローカル 5G を活用したイチゴ栽培の知能化・自動	No.3
化の実現	
No.4 ローカル 5G を活用した山間部林業現場での生産性向上および安全性向上のための実用	No.4
化モデル検証	
No.5 5G 及びデータフュージョンによる熟練溶接士の技能の見える化及び遠隔指導の実証	No.5
No.6 プラントの遠隔監視によるガス漏れ等設備異常の効率的検知の実現	No.6
No.7,8 中小企業における地域共有型ローカル 5G システムによる AI 異常検知等の実証	No.7
No.9 ローカル 5G を活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用	No.8
の実現	
No.10 空港における遠隔監視型自動運転に向けた通信冗長化設計による映像監視技術の実現	No.9
No.11 ローカル 5G を活用した操船支援情報の提供および映像監視による港湾内安全管理の	No.10
取組み	
No.12 港湾・コンテナターミナル業務の遠隔操作等による業務効率化・生産性向上の実現	No.11
No.13 ローカル 5G を活用した鉄道駅における線路巡視業務・運転支援業務の高度化	No.12
No.14 ローカル 5G と AI 技術を用いた鉄道駅における車両監視の高度化	No.13
No.15 ローカル 5G を活用した高速道路トンネル内メンテナンス作業の効率・安全性向上に	No.14
関する開発実証	
No.16 高速道路上空の土木建設現場における、安全管理の DX 化に求められる超高精細映像	No.15
転送システムの実現	
No.17 ローカル 5G を活用した遠隔型自動運転バス社会実装事業	No.16
No.18 大型複合国際会議施設におけるポストコロナを見据えた遠隔監視等による安心・安全	No.17
なイベントの開催	
No.19 スマートシティにおける移動体搭載カメラ・AI 画像認識による見守りの高度化	No.18
No.20 スタジアムにおけるローカル 5G 技術を活用した自由視点映像サービス等新たなビジ	No.19
ネスの社会実装	
No.21 ローカル 5G ネットワーク網を活用したコンサート空間内におけるワイヤレス映像撮	No.20
影システムの構築	
No.22 共生社会を見据えた障がい者スポーツにおけるリモートコーチングの実現	No.21
No.23 道路における災害時の被災状況確認の迅速化および平常時の管理・運営の高度化に向	No.22
けた実証	
No.24 富士山地域 DX 「安全・安心観光情報システム」の実現	No.23
No.25 ローカル 5G を活用した災害時におけるテレビ放送の応急復旧	No.24
No.26 大都市病院における視覚情報共有・AI 解析等を活用したオペレーション向上による医	No.25
療提供体制の充実・強化の実現	

表 1-3 各実証の番号

## 2. 電波伝搬モデルの精緻化

#### 2.1 概要

電波伝搬モデルの精緻化においては、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。)に基づく基地局ごとのカバ ーエリアおよび調整対象区域と実測値の比較検証、現実の利用環境に近い電波伝搬モデル (算出式、パラメータ)の検討を行う。

#### 2.1.1 電波法関係審査基準

電波法関係審査基準の別紙 16-(1)では、ローカル 5G のカバーエリアおよび調整対象区域 は、基地局が発射し、陸上移動局が受信する電波の受信電力が基準値以上となる範囲として おり、その算出法を定めている。算出法は、4.7GHz 帯と 28GHz 帯において異なっており、 以下のように定めている。

#### 2.1.1.1 4.7GHz 帯

#### (1) 基地局の諸元

使用基地局の諸元は、工事設計書記載の諸元とする。

#### (2) 陸上移動局の諸元

使用する陸上移動局の諸元は、次のとおりとする。

空中線利得	0dBi
給電線損失	0dB
空中線地上高	1.5m

#### (3) 受信電力

申請者の無線設備 の区分	40MHz システム	50MHz システム	60MHz システム	80MHz システム	100MHz システム
カバーエリア	-88.6 dBm	-87.6 dBm	-86.9 dBm	-85.6 dBm	-84.6 dBm
調整対象区域 (許容干渉レベル)	—95.0 dBm	—94.0 dBm	—93.0 dBm	−92.0 dBm	—91.0 dBm

## (4) 伝搬等に関する計算式

伝搬等に応じて受信電力を算出する際の計算式は、次のとおりとする。

Pr = Pt + Gt - Lf + Gr - L - 8

Pr[dBm]:受信レベル(受信電力)Pt[dBm]:送信電力(基地局の空中線電力)Gt[dBi]:送信アンテナ利得Lf[dB]:基地局の給電線損失

Gr[dBi]:受信アンテナ利得 L[dB]:伝搬損失(注)

- (注) 伝搬損失 L は自由空間伝搬損失式及び拡張秦式を基礎として算出することとし、送受 信間距離 dxy によって以下の式で算出する。なお、以下の②又は③で得られる伝搬損失 L が①より小さな値の場合、L は①の値に変更する。
  - ① d<sub>xy</sub>≦0.04km の場合
    - L = L0

 $= 32.4 + 20 \log_{10}(f) + 10 \log_{10}\{(d_{xy}^{2}) + (H_b - H_m)^2 / 10^6\} + R \quad \dots \dots ( \vec{\mathfrak{X} 1.1} )$ 

- f (MHz): 使用する周波数
- H<sub>b</sub>(m): 基地局の空中線地上高
- dxy (km): 基地局と伝搬損失を算定する地点との距離
- Hm(m):移動局の空中線地上高。第2項の定めるところによる。
- R(dB): 基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損(16.2)。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。
- ② 0.04km<d<sub>xy</sub><0.1kmの場合

$$\begin{split} \mathbf{L} &= \mathrm{LO}_{(d_{xy}=0.04)} + \left\{ 2.51 \times \log_{10}(d_{xy}) + 3.51 \right\} \times \left\{ \mathrm{L}_{H_{(d_{xy}=0.1)}} - \mathrm{LO}_{(d_{xy}=0.04)} \right\} \quad (式 \ 1.2) \\ & \mathbf{d}_{xy} \, (\mathrm{km}) : \, \mathrm{基} \mathfrak{w} \, \mathrm{局} \, \mathrm{と} \mathrm{G} \mathfrak{m} \, \mathrm{\sharp} \mathrm{\xi} \, \mathrm{\xi} \, \mathrm{g} \, \mathrm{tr} \, \mathrm{s} \, \mathrm{d} \, \mathrm{s} \, \mathrm{d} \, \mathrm{s} \, \mathrm{d} \, \mathrm{s} \, \mathrm{d} \, \mathrm{s} \, \mathrm{s} \, \mathrm{s} \, \mathrm{d} \, \mathrm{s} \, \mathrm{s} \, \mathrm{s} \, \mathrm{d} \, \mathrm{s} \, \mathrm$$

$$\begin{split} \mathbf{L} &= \mathbf{L}_{\mathrm{H}} \\ &= 46.3 + 33.9 \log_{10}(2000) + 10 \log_{10}(f/2000) \\ &- 13.82 \log_{10}(max(30, H_b)) + \{44.9 - 6.55 \log_{10}(max(30, H_b))\} (\log_{10}(d_{xy}))^{\alpha} \\ &- a(H_m) - b(H_b) + R - K - S \qquad (式 1.3) \\ &f(\mathrm{MHz}) : (E \Pi + 3 \pi) \\ &H_b(\mathbf{m}) : \overline{E} \pm u \overline{B} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} u \bot \overline{B} \\ &d_{xy}(\mathrm{km}) : \overline{E} \pm u \overline{B} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} u \bot \overline{B} \\ &d_{xy}(\mathrm{km}) : \overline{E} \pm u \overline{B} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} u \bot \overline{B} \\ &H_m(\mathbf{m}) : 8 \overline{m} \overline{B} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} u \bot \overline{B} \\ &H_m(\mathbf{m}) : 8 \overline{m} \overline{B} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} u \bot \overline{B} \\ &R(\mathrm{dB}) : \overline{E} \pm u \overline{B} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} u \bot \overline{B} \\ &m \overline{k} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} u \bot \overline{B} \\ &h_m(\mathbf{m}) : 8 \overline{m} \overline{B} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} u \bot \overline{B} \\ &h_m(\mathrm{m}) : 8 \overline{m} \overline{B} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} u \bot \overline{B} \\ &h_m(\mathrm{m}) : \overline{k} \overline{m} \overline{k} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} \nabla \psi + \overline{k} \\ &h_m(\mathrm{m}) : \overline{k} \overline{m} \overline{k} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} \nabla \psi + \overline{k} \nabla \psi + \overline{k} \nabla \psi + \overline{k} \\ &h_m(\mathrm{m}) : \overline{k} \overline{m} \overline{k} \partial \underline{c} \nabla \psi + \overline{k} \\ &h_m(\mathrm{m}) : \overline{k} \overline{m} \overline{k} \partial \overline{k} \partial \psi + \overline{k} \nabla \psi + \overline{k} \\ &h_m(\mathrm{m}) : \overline{k} \overline{m} \partial \overline{k} \partial \psi + \overline{k} \nabla \psi + \overline{k} \nabla$$

$$a(H_m) = \begin{cases} 0.057 & : 中小都市の場合 \\ -0.00092 & : 大都市の場合 \end{cases}$$
  
大都市 : 市街地のうち特に大規模な都市の領域であって、おおむね 5 階建   
て以上の建物が密集した地域

中小都市:市街地のうち、大都市に相当する地域以外のもの

b(Hb):基地局高に対して考慮する補正項であり、下記による。

$$b(H_b) = \begin{cases} 0 & : H_b \ge 30m \\ 20 \log_{10}(H_b/30) & : H_b < 30m \end{cases}$$

- K:地形情報データにより算入し難い地形の影響等の補正値であり、通常は0とし、地形水面の反射、小規模の見通し外伝搬の影響等を特に考慮する必要のある場合に算入する。
- S(dB):市街地、郊外地および開放地に対して考慮する補正値であり、下記による。
  - (1)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): S=0.0
  - (2)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): S=12.3
  - (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): S=32.5
- なお、②又は③で得られる伝搬損失Lが①より小さな値の場合、Lは①の値に変更する。

報告 ITU-R SM.2082-2 では、拡張秦式に関して次の制限がある。

- 基地局、移動局にかかわらず、高いほうのアンテナ高を H<sub>b</sub>、低いほうのアンテナ高 を H<sub>m</sub>とする
- 1m より低いアンテナ高は、1m を採用する
- アンテナ高が 200m より高い場合には適用できない
- アンテナ間の距離が 100km より離れている場合には適用できない(αの値の制限)

#### 2.1.1.2 28GHz 帯

#### (1) 基地局の諸元

使用基地局の諸元は、工事設計書記載の諸元とする。

#### (2) 陸上移動局の諸元

使用する陸上移動局の諸元は、次のとおりとする。

空中線利得	20dBi
給電線損失	0dB
空中線地上高	1.5m

#### (3) 受信電力

申請者の無線設備 の区分	50MHz システム	100MHz システム	200MHz システム	400MHz システム
カバーエリア	$-84.2~\mathrm{dBm}$	$-81.2~\mathrm{dBm}$	$-78.2~\mathrm{dBm}$	$-75.2~\mathrm{dBm}$
調整対象区域 (許容干渉レベル)	—93.0 dBm	—90.0 dBm	−87.0 dBm	-84.0 dBm

#### (4) 伝搬等に関する計算式

伝搬等に応じて受信電力を算出する際の計算式は、次のとおりとする。

Pr = Pt + Gt - Lf + Gr - L - 4

Pr[dBm]: 受信レベル(受信電力)

Pt[dBm]:送信電力(基地局の空中線電力)

Gt[dBi]:送信アンテナ利得

Lf[dB]: 基地局の給電線損失

Gr[dBi]: 受信アンテナ利得

L[dB]: 伝搬損失(注)

(注) 伝搬損失Lは勧告ITU—R P.1411を基礎として算出することとし、以下の式で算出する。

①屋外で見通し外の場合

陸上移動局から基地局が見通せない場合は、以下により伝搬損失を算出する。

dRDの値は、以下の式のkに0から4までの値を入力し、その値を求めて、上記の式に値 を入力し算出する。

$$d_k = \sqrt{\left(\frac{\frac{25(h_1 - 1.5) \times (2k + 1)}{2(h_r - 1.5)} - 25k}{\sin \pi/2}\right)^2 + (h_1 - 1.5)^2}$$

 $L_{d_{RD}} = L_{d_k} + \frac{L_{d_{k+1}} - L_{d_k}}{d_{k+1} - d_k} \cdot (d_{RD} - d_k) \quad (d_k \le d_{RD} \le d_{k+1}) \quad \dots \quad (\vec{\mathbb{R}} \ 1.6)$ 

 $L_{d_{RD}}$ の値は、以下の式にkに0から4までの値を入力し、全ての値を求めて、上記の条件の範囲内の値を入力し算出する。なお、 $d_k$ は式 3.5により求めたものである。

$$L_{d_{k}} = 20 \cdot \log_{10} \left\{ 4\pi \sqrt{\left(\frac{25 \cdot (h_{1} - 1.5) \cdot (2k + 1)}{2 \cdot (h_{r} - 1.5)}}{\sin \phi_{k}}\right)^{2} + (h_{1} - 1.5)^{2} / (0.4^{k} \cdot \lambda)} \right\}$$
.....(式 1.7)

$$\phi_{k} = tan^{-1} \left( \frac{\frac{25 \cdot (h_{1} - 1.5) \cdot (2k + 1)}{2 \cdot (h_{r} - 1.5)}}{\frac{25 \cdot (h_{1} - 1.5) \cdot (2k + 1)}{2 \cdot (h_{r} - 1.5)} - 25k} \cdot tan \frac{\pi}{2} \right)$$

......(式 1.8)

d(m): 基地局から陸上移動局までの距離

h1(m): 基地局の高さ(アンテナ高)

hr (m):以下の条件に応じて指定する平均建物高

条件	值(m)
概ね5階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合	15
概ね3階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合	10
概ね2階までの建物が密集 する地域に基地局を開設する場合	6
概ね平屋が散在する地域や田園地域の場合	3

λ(m):指定周波数の波長

これは勧告 ITU-R P.1411-10 における Models for propagation over roof-tops の Sitespecific model の suburban area の伝搬モデルとして定義されたものである。P.1411 にお いては以下の制限がある。

```
hr: any height m

\Deltah1: 1 to 100 m

\Deltah2: 4 to 10 (less than hr) m

h1: hr + \Deltah1 m (高い局のアンテナ高)

h2: hr - \Deltah2 m (低い局のアンテナ高)

f: 0.8 to 38 GHz

w: 10 to 25 m

d: 10 to 5 000 m
```

②見通せる場合

陸上移動局から基地局が見通しの場合は、以下により伝搬損失を算出する。

 $L = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad \dots \qquad ( \vec{\asymp} \ 1.9 )$ 

d(m): 基地局から陸上移動局までの距離

λ(m):指定周波数の波長

#### ③屋内の場合

基地局を屋内に設置する場合は、以下により伝搬損失を算出する。

 $L = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) - R \qquad (\ddagger 1.10)$ 

d(m): 基地局から陸上移動局までの距離

λ(m):指定周波数の波長

R (dB): 建物侵入損(20.1)

#### 2.1.2 精緻化対象

本検討では、カバーエリア、調整対象区域を算出する電波伝搬モデルを現実の利用環境に 近いモデルとするために、現在の算出法の簡便さは維持することを前提に、地形や遮蔽物な どの現実の利用環境に依存するパラメータを精査することとした。

4.7GHz 帯を使用する場合、地形情報データにより算入し難い地形の影響等の補正値である K、市街地、郊外地および開放地に対して考慮する補正値である S、基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損の R が、このパラメータとなる。また、28GHz 帯を使用する場合、 基地局と陸上移動局の間に存在する建物の平均建物高 hr、基地局を屋内に設置する場合の 建物侵入損 R である。

#### 2.1.3 精緻化の進め方

実証コンソーシアムに対して、表 2-1 に示す各パラメータの精緻化の方向性及び実施環 境の要件を提示し、実証環境に適合するパラメータの精緻化のためのデータを収集した。

周波数帯	精緻化対象 パラメータ	精緻化の方向性	実施環境の要件			
4. 7GHz帯	K	斜面や植生、水面の影響の 定量化	<ul> <li>●基地局設置場所が屋外である。</li> <li>●基地局と測定点の距離が100m以上確保できる。</li> <li>●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。</li> </ul>			
	S	選択基準の詳細化	<ul> <li>●基地局設置場所が屋外である。</li> <li>●基地局と測定点の距離が100m以上 確保できる。</li> </ul>			
	R	壁面の材質・厚さ別の定量化	●基地局設置場所が屋内である。			
28GHz帯	hr	選択基準の明確化	<ul><li>●基地局設置場所が屋外である。</li><li>●基地局が見通せない測定点を確保できる。</li></ul>			
	R	壁面の材質・厚さ別の定量化	●基地局設置場所が屋内である。			

表 2-1 精緻化対象パラメータの環境要件

取得データは、複数の測定点での受信電力結果であり、そのデータに基づいてパラメー タの最適化を行う。

パラメータの精緻化により得られる効果として望ましいのは、エリア算出法で計算され るエリア境界と実際のエリア境界の距離の誤差を一定値以内にすることである。つまり、 目標として距離誤差を数値化することが最も望ましい。しかしながら、以下の課題により 精緻化対象パラメータを最適化しても、距離誤差をどこまで小さくできるのかの目標を設 定することは難しい。

- 伝搬モデルは距離に比例するモデルではなく、基地局からの距離によって、受信電力 誤差の与える距離誤差が異なる。
- エリア算出式をより多くのフィールドに適用するため、本検討で精緻化対象パラメ ータとした、K(地形)、S(環境 市街/郊外/開放)、R(侵入損)、hr(環境 建物高)の補正 項は、このような単純な定数での補正が可能か、各パラメータが独立に決定できるか 等は明確でない。
- このため、本検討では、パラメータの最適化について評価することとした。

#### 2.2 測定および精緻化の方法

#### 2.2.1 実証コンソーシアムの提供データの測定法と統計手法

実証コンソーシアムに対し、以下の方法で受信電力を測定することを依頼した。

- 受信電力として、SS-RSRPを測定する。
- 定在波の影響を避けるため、測定点ごとに、10λ(λは波長)の範囲で測定位置を動かしながら(あるいは 10λの範囲で複数の位置を定めて)測定を実施し、全てのサンプル(トータル 1000 サンプル)を統計処理する。
- 測定周期は任意。
- 1000 サンプルの中央値を代表値として採用。ただし、平均、標準偏差、上位 10%値、 下位 10%も算出する。
- 測定周期は任意。
- 測定機のアンテナが指向性を持つ場合、あるいは実際の利用において端末のアンテナが指向性をもつ場合は、それを考慮した測定(アンテナの水平・垂直方向の角度を変化させた測定)を行う。
- また、測定点に関して、以下の依頼を行った。
- 精緻化を行うために実施する測定点の選択方法については、パラメータの種別や各 実証環境に応じて異なると思われるが、エリア算出式は干渉調整等を行うためのエ リア端を示すことが主たる目的であるため、エリア端周辺での十分な測定が必要に なると考えられる。
- 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の実施が望 ましい。例えば、置局点を中心として 30°方向ごとに方位を区切る場合、カバーエ リア端、調整対象区域端でそれぞれ 12 点(方位)ずつの点について、精緻化後の算出 式で求められるエリア端での受信電力誤差や、実際のエリア端受信電力の地点との 距離の誤差を評価することになる。

#### 2.2.2 提供データフォーマット

測定点情報の提供を依頼したデータフォーマットを表 2-2 に示す。

測定点 ID	基地局との 3D距離 [m]	基地局との 水平距離 [m]	基地局アン テナ地点 標高 [m]	基地局アン テナ地上高 [m]	送信電力 Pt [dB m]	送信アンテ ナ利得 Gt [dBi]	基地局給 電線損失 Lf[dBi]	受信アンテ ナ利得 Gr [dBi]	受信給電 線損失 [dBi]	測定点標 高 [m]	端末(測定 器)アンテナ 地上高 「m1	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/m m/dd)	備考
1	200.42	200.00	1.00	15.00	30.00	7.00	2.00	0.00	1.00	1.50	1.50	0	2021/12/10	積雪 1.0m
2	100.84	100.00	1.00	15.00	30.00	5.00	2.00	0.00	1.00	1.50	1.50	0	2021/12/10	積雪 1.0m
3	81.05	80.00	1.00	15.00	30.00	3.00	2.00	0.00	1.00	1.50	1.50	0	2021/12/10	積雪 1.0m
4	230.37	230.00	1.00	15.00	30.00	8.00	2.00	0.00	1.00	1.50	1.50	0	2021/12/10	積雪 1.0m
5	120.70	120.00	1.00	15.00	30.00	7.00	2.00	0.00	1.00	1.50	1.50	0	2021/12/10	積雪 1.0m
6	105.80	105.00	1.00	15.00	30.00	5.00	2.00	0.00	1.00	1.50	1.50	0	2021/12/10	積雪 1.0m
7	130.65	130.00	1.00	15.00	30.00	6.00	2.00	0.00	1.00	1.50	1.50	0	2021/12/10	積雪 1.0m
8	280.30	280.00	1.00	15.00	30.00	8.00	2.00	0.00	1.00	1.50	1.50	0	2021/12/10	積雪 1.0m
9	215.39	215.00	1.00	15.00	30.00	7.00	2.00	0.00	1.00	1.50	1.50	0	2021/12/10	積雪 1.0m
10	190.44	190.00	1.00	15.00	30.00	7.00	2.00	0.00	1.00	1.50	1.50	0	2021/12/10	積雪 1.0m

表 2-2 提供データフォーマット(測定点情報)

また、受信電力測定結果の提供を依頼したデータフォーマットを表 2-3 に示す。

- 双 4 0 12円/ クノオ マント (又旧甩刀側足hu	表	2-3 携	世供デー	タこ	フォーマッ	1	(受信電力測定結果
--------------------------------	---	-------	------	----	-------	---	-----------

測定点	算出式による		ş	実測値 [dB	3]		中心周波数 [GHz]		4.85	入力例				
ID	受信電力	中央値	平均値	標準偏差	上位	下位								
	[dB]				10%値	10%値		精緻化対象パラメータ	К	入力例				
1	-100.57	-92.00	-92.00	0.40	-92.00	-93.00	入力例	B列算出式で使用したK	0	入力例				
2	-96.48	-89.00	-89.00	0.60	-88.00	-90.00	入力例	B列算出式で使用したS	0	入力例				
3	-97.31	-92.00	-92.00	0.70	-91.00	-93.00	入力例	B列算出式で使用したR	0	入力例				
4	-100.56	-94.00	-94.00	0.50	-93.00	-94.00	入力例							
5	-97.22	-92.00	-92.00	0.60	-91.00	-93.00	入力例	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~						
6	-96.81	-86.00	-86.00	0.70	-85.00	-87.00	入力例	信雷力を計算した場合その値を記載						
7	-97.84	-90.00	-90.00	0.70	-89.00	-91.00	入力例		HO 1740					
8	-102.88	-95.00	-95.00	0.30	-95.00	-96.00	入力例	算出式による受信電力と実測値の	)帯域を合ね	わせる。				
9	-100.98	-89.00	-89.00	0.40	-88.00	-89.00	入力例	・C-G列の実測値にSS-RSRPの測定	値をそのま	ミま使用する	る場合、			
10	-99.82	-90.00	-90.00	0.40	-90.00	-91.00	入力例	B列の算出式はSS-RSRPの帯域に変換した受信電力値						
11								<ul> <li>• C-G列の実測値を使用するシス・</li> </ul>	テムの受信	帯域値とす	る場合。			
12														
13								Dジョの昇山丸もシステム帯域の	又后电力恒	1				
14														

補足情報として、以下のデータや写真等の情報の提供を依頼した。

- 実証の目的・概要
- 実証フィールドや測定点の選定に関する説明(根拠)
- 精緻化対象パラメータに関する情報(パラメータごとに指定)
- 複数の測定点において、エリア算出法で計算された受信電力と、実際に測定された受 信電力
- パラメータの推定結果
- パラメータの導出過程
- 地図上の測定点の図
- 測定点の基地局からの距離とそれぞれのアンテナ高、LOS/NLOSの情報
- アンテナの指向性パターン
- 基地局や端末の設置状況、測定の様子、周辺の様子(遮蔽物・反射物)がわかる写真等 (考察に必要な情報)受信電力として、SS-RSRPを測定する。

#### 2.2.3 パラメータ推定(最適値算出)方法

推定するパラメータ(例 R[dB]: 建物侵入損)を定め、推定するパラメータによる補正を 行わない場合(例 R=0)の測定点 i における受信電力 Prpred.(i) [dBm]を審査基準の算出式に より求める。 複数の測定点 i で受信電力 Prmes.(i) [dBm]を測定する。測定は、特異値を除くため、適切 な測定方法・測定サンプル数の測定を行いを結果を適切に統計的に処理する。統計値は基 本的には中央値を採用するが、必要に応じて、平均値、標準偏差、上位 10%、下位 10%値 も使用し、ばらつきに対するマージンについても検討する。

最小二乗法 3(※)により、以下、E が最小となる R を推定値として算出する。

$$E = \sum_{i} \left\{ P_{rpred.}(i) - R - P_{rmes.}(i) \right\}^{2}$$

本推定の有効性確認のため、E/Nの標準偏差 $\sigma_E$ の大きさについて評価する。

#### 2.3 測定結果と考察

「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」として実施された技術 実証テーマI(全25件)の精緻化対象パラメータを表2-4に示す。

de ≣r M	生証提訴	カテゴリー		技術実証I精緻化パラメータ					伝搬路環境		
夫訛NO.	夫証場所	周波数带	環境	K	S	R	hr	その他	区分	概況	
No01	ぶどう畑	4.7GHz	屋外		0				開放地	圃場	
No02	牛舎	4.7GHz	屋内,半屋内		0	0			郊外	牛舎内	
No03	苺ハウス	4.7GHz	半屋内			0			郊外	農地→ハウス内	
No04	林業	4.7GHz	屋外	0	0				森林地帯	山林	
No05	金属加工工場	4.7GHz (C5G)	屋内			0			郊外	工場屋内→屋外	
No06	都市ガス工場	4.7GHz	屋外		0				郊外	工場敷地内	
No07	工場	4.7GHz	屋内,屋外		0	0		0	都市部,郊外	地方都市/山間地の工場	
No08	火力発電所	4.7GHz	屋内			0			郊外	建屋屋内→屋外	
No09	空港エプロン	4.7GHz	屋外		0				郊外	空港内道路	
No10	港湾	4.7GHz	屋外	0					海上	湾内海上	
No11	コンテナヤード	4.7GHz	屋外,半屋内	0	0				郊外,開放地	アスファルト舗装/海面	
No12	地上駅ホーム	4.7GHz	半屋内		0	0			都市部	線路/ホーム上	
No13	地下駅ホーム	4.7GHz	屋内			0			郊外	線路/ホーム下	
No14	高速道路トンネル内	28GHz	屋内	0				0	郊外	トンネル内伝搬,トンネル外漏洩	
No15	高速道路地上	4.7GHz	屋外	0	0				その他	道路工事現場	
No16	市街地道路/試験路	4.7GHz	屋外	0	0				都市部,郊外	市街地道路/試験路	
No17	国際会議場	4.7GHz	屋内			0			都市部	大ホール,小会議室→屋外漏れ	
No18	スマートシティ	4.7GHz	屋外		0			0	郊外	大学キャンパス内	
No19	ドーム球場	4.7GHz	屋内			0			都市部	球場内→屋外漏れ	
No20	コンサートホール	4.7GHz	屋内			0			都市部	ホール内→屋外漏れ	
No21	体育館	4.7GHz	屋内			0			郊外	体育館内→屋外漏れ	
No22	市街地道路	28GHz	屋外				0		郊外	市街地道路	
No23	富士山六合目等	4.7GHz	屋外	0					山岳地帯	富士山登山道	
No24	市街地	4.7GHz	屋内,屋外	0	0	0			都市部	集合住宅密集地	
No25	救命救急センター	28GHz (C5G)	屋内			0			都市部	都市部の病院内	

表 2-4 精緻化対象パラメータ覧表

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> hrについては、単純な定数ではないが、とりうる値を限定(実際に存在する障害物の高さまでの範囲と する等)すれば、逐次近似等で最適化は可能と思われる。

#### 2.3.1 Rの精緻化

#### 2.3.1.1 パラメータRの精緻化の概要

審査基準では、基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損であるため、基地局を屋内に設置し、屋外で測定される電力と建物が無いものとして算出式により計算される電力の差を R として求める。このとき、通過する壁面の条件ごとに R を求める。

ただし、これ以外にも測定方法による影響や他の環境要因による影響が考えられるため、 ITU-R 勧告 P.2040-1 Annex 2 4.2 章にあるような情報についてもできる限り収集し考察に 利用する。

#### (1) ITU-R 勧告 P.2040-1

ITU-R 勧告 P.2040-1 Annex 2 4 章には、屋外基地局から屋内エリアへの侵入損が定義 されており、建物の外壁を挟んで同じ高さの電界強度の差分として求めている(図 2-1)。



出所) ITU-R 勧告 P.2040-1 に注記

建物侵入損の測定方法は以下のとおりである。

- 外側の参照点と内側の測定点の距離が、経路全体のかなりの部分を占める場合、追加の自由空間の損失を考慮する。
- ・ 屋外の参照点での測定ができない場合は予測値を使うことになるが、それは明記す べきである。
- ・ 屋外の参照点では、Near-field effect を避け、アンテナ特性に影響を与えない条件で、 できるだけ建物の近くで測定する。
- ・ 指向性あり/なしで特性が異なるため、使用するアンテナの特性の説明が必要。
- ・ 屋外送信アンテナと測定対象物の建物は LoS 環境となるべきである。
- ・ 屋内の測定点は空間平均をとるように選択する。
- ・ 各測定は多数のサンプルで構成され、結果は表形式の損失累積分布関数となる。

図 2-1 建物侵入損を測定するためのアンテナ位置

可能な限り詳細な情報を提供すること。特に、可能な限り内部および外部の写真を提供すること。

ITU-R P.2040-1 Annex 2 4 章に示す測定方法は、エリア算出式の定義とは逆方向であ る。基地局が屋内の場合と屋外の場合で、同じ壁面でも算出される R の結果が異なる場合 がある。建物の内部、特に電波到来方向外壁の近くでは、多くは、伝搬により減衰するも のの、透過、反射、または回折によってより多くの到来パス受信される可能性がある。そ のため、外部よりも内部の方がより強い信号を受信する場合がある。

## 2.3.1.2 対象となる実証事業

Rの精緻化を実行した実証事業を表 2-5 に示す。

実証 番号	実証場所	周波数带	伝搬路概況	備考		
No. 02	牛舎	4.7GHz 帯	牛舎→周辺農地			
No. 03	苺ハウス	4.7GHz 帯	農地→ハウス内			
No. 05	金属加工工場	4.7GHz 帯	工場建屋内→屋外			
		(キャリア				
		5G)				
No. 07	工場	4.7GHz 帯	屋外→工場建屋内			
No. 08	火力発電所	4.7GHz 帯	工場建屋内→屋外			
No. 12	地上駅ホーム	4.7GHz 帯	駅ホーム→周辺市街地			
No. 13	地下駅ホーム	4.7GHz 帯	駅ホーム下→ホーム上	コンクリート床の		
			→上層階	垂直方向透過損		
No. 17	国際会議場	4.7GHz 帯	ホール,会議室→屋外			
No. 19	ドーム球場	4.7GHz 帯	球場内→屋外			
No. 20	コンサートホール	4.7GHz 帯	ホール内→屋外			
No. 21	体育館	4.7GHz 帯	体育館内→屋外			
No. 24	市街地	4.7GHz 帯	屋外→集合住宅内			
No. 25	救命救急センター	28GHz 帯	病院屋内→屋外	28GHz 帯の透過損		

表 2-5 パラメータ R の精緻化をした実証事業

No.13 地下駅ホームは「駅ホーム下から上方向へのパラメータ R」を分析し、コンクリート床の透過損を扱う単独実証である。No.25 救命救急センターは、「28GHz 帯におけるパラメータ R」を分析する単独実証である。これらは実証の目的や環境の観点から、他の案件とのグループ化ができないことから、2.3.1.4 項でのグループ化は行わない。

#### 2.3.1.3 実証の概況

(1) No.02 牛舎

実証コンソーシアム No.02 の実証環境は、図 2-2(a)のように、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 2-2(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。



(a) 牛舎壁面



(b) 牛舎周辺環境

出所)実証コンソーシアム No2 提供資料

#### 図 2-2 牛舎風景

この実証環境においては、4.7GHz帯の屋内局を想定しているため精緻化の対象パラメー タは 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、牛舎のような 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る。

また、牛舎においては壁面が開放に近い半屋外環境であり、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値であり、この実証環境のよう 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 あると考える。

この実証環境では、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、S に基づ くカバーエリアおよび調整対象区域求め、仮説に基づくエリアと、実測値から推定される エリアの比較により、仮説、実測でカバーエリアおよ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まとめる、という評価を行っている。図 2-3 に仮説値エリ ア図と実測値推定エリア図との比較を示す。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 2-3 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

さらに、Rの精緻化に関しては、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を算出している。

R=建物外参照点の電界強度 - 建物内部測定点の電界強度

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。

建物内/外で実測した下り受信電力値から算出した建物侵入損を表 2-6 に示す。

周波数	建物	材質	厚さ	面積鹵	仮説値	精緻化值
/~1/22.35		Tri <b>K</b>	Ϋ́Υ,	ш'nдт	R(dB)	R [dB]
4.7GHz	代表値					16.2
帯	測定 No.01	コンクリート	200mm	15%	4.2	3.5
	プラスチック材、ビニール材、	トリカルネッ	50m	85%		
	コンクリートで構成された簡	Ъ				
	易的な壁面	透明糸入りビ				
		ニールシート				
	測定 No.02	コンクリート	200mm	10%	4.2	5.6
	扉の常時開放状態で開口部が	鉄板	50mm	50%		
	多い壁面	ポリカーボネ	0.7mm	40%	-	
		ート波板				
	測定 No.03	コンクリート	200mm	15%	4.2	3.6
	プラスチック材、ビニール材、	トリカルネッ	50m	85%		
	コンクリートで構成された簡	Ъ				
	易的な壁面	透明糸入りビ				
		ニールシート				
	測定 No.04	コンクリート	200mm	70%	4.2	8.4
	窓などの開口部が多い壁面方	ガラス	20mm	30%		
	向					

表 2-6 実測による建物侵入損

ここで、測定 No とは、この実証の中で同一の電波伝搬環境と推定される測定点をグループ化したものを 示しており、測定 No ごとの壁面を図 2-4 に示す。



No.01



No.02





No.03







#### (2) No.03 苺ハウス

No.03の実証では、ビニールハウスを有する農園というフィールドにおいて、4.7GHz帯における R(精緻化の方向性:壁面の材質・厚さ別の定量化)のパラメータの精緻化を実施した。この実証では、ビニールハウス近傍の屋外に基地局を設置し、ビニールハウス内部へ電波を発射した。図 2-5 に測定風景を示す。





(a)測定 No.01 いちご畑花園(b)測定 No.02 農研機構出所)実証コンソーシアム No.3 提供資料図 2-5 測定風景

ハウス内において受信電力を測定した。10m ごとの短区間中央値の実測値を求め、自由 空間伝搬式カーブと比較した結果、受信電力の値が自由空間伝搬式カーブから一定の割合 で低くなる傾向が確認できたため、10m 短区間中央値と理論値(自由空間伝搬損)との差 (偏差)がパラメータ R と推定でき、その距離特性により評価を行った(図 2-6)。



出所)実証コンソーシアム No.03 提供資料 図 2-6 いちご畑花園 距離特性のプロット図

最小二乗法による近似直線はいちご畑花園の結果では理論値との差分が近似直線式 R= 0.0235dxy-6.6679 となり、直線の傾きは 0.0235 とほとんど距離に依存していないとみなす ことが出来るため、R は定数として良い。いちご畑花園では、基地局からビニールハウスの 中心までの距離は約 38m であるため、その距離での R を考慮すると、値は 5.77dB となる。 この値は偏差の平均値 5.76dB とほぼ一致する。

今回得られたデータおよび R の妥当性を評価するために、受信電力の 10m ごと短区間中 央値から導出した R=5.77 を減算した値を推定誤差と定義できる。推定誤差[dB](=測定値 -推定 R)のばらつきを導出するために分布表の中央値を 0dBm として度数分布を図 2-7 に 示す。度数分布より、標準偏差  $\sigma$  = 3.76dB となる。



続いて推定誤差の累積数(累積確率)を図 2-8 に示す。横軸推定誤差 0dB が縦軸の累積 確率 0.5 の値をとっており、累積カーブと測定誤差がほぼ一致していることから正規分布し ていることが分かる。



図 2-8 いちご畑花園 累積密度

推定誤差は、ほぼ正規分布していることから測定結果と類似していることにより、いちご 畑花園のビニールハウス内(ビニール、鉄骨等も含む)における R は 5.8dB と推測できる (表 2-7)。

測定 No.	精緻化值 [dB]	精緻化対象パラメータに関する情報 (条件を示す定量的な情報)
01	5.8	建物パラメータ:壁面の面積率=ビニール 89%(厚さ:0.15mm)、鉄骨 11%
02	_	建物パラメータ:壁面の面積率=ビニール 95%(厚さ:0.1mm)、鉄骨 5% ビニールハウス内と外での受信電力に差分が見られなかったこと、また、自 由空間伝搬式の算出値より高い受信電力が得られたこと、から R の精緻化は 困難と判断。

表 2-7 パラメータ R 精緻化結果

出所)実証コンソーシアム No.03 提供資料

#### (3) No.05 金属加工工場

No.05 の実証環境は、施設が立ち並ぶ工場施設の屋内となり、騒音対策、防災対策とし て遮蔽効果が高くなることが想定された。また、工場施設内には多数の機材や、金属板等 が配置されている環境であり、建物侵入損としては壁面の損失以外にも考慮すべき損失が あると考えられた(図 2-9)。





(a) 工場内 出所)実証コンソーシアム No.5 提供資料

(b) 工場外

## 図 2-9 工場の風景

この実証環境では、仮説 R に基づくカバーエリアおよび調整対象区域求め、仮説に基づ くエリアと、実測値から推定されるエリアの比較により、仮説、実測でカバーエリア及び 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まとめる、という評価 を行っている。図 2-10に仮説値エリア図と実測値推定エリア図との比較を示す。



出所)実証コンソーシアム No5 提供資料 図 2-10 仮説値エリア図と実測値推定エリア図との比較

R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を算出した場合について述べる。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。

# 建物内/外で実測した下り受信電力値から算出した建物侵入損を表 2-8 に示す。

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			
帯	測定 No.01	コンクリート	200mm	70%	31.4	16.3
	窓などの開口部が多い壁面方	ガラス	20mm	30%		
	向					

## 表 2-8 実測による建物侵入損

出所)実証コンソーシアム No5 提供資料
(4) No.07 工場

No.07の実証では、三方を山斜面に囲まれている工場敷地内において、屋外の基地局から 複数工場建屋内に向けた場合の R の最適値を検討した(図 2-11)。



出所)実証コンソーシアム No.7 提供資料

図 2-11 実証環境

基地局からの電波が直接 B 棟へ透過してくるため、B 棟の壁面に対する R を精緻化の対象とした(図 2-12)。【測定 1】B 棟 1F と【測定 2】B 棟 2F の 2 つの測定を実施し、それぞれの測定について R の精緻化を実施することとした。B 棟 1F は工場内の大型機械の影響も受けるが、B 棟 2F はその影響は少なく、結果に違いが出ることが想定され、測定を分けることとした。



出所)実証コンソーシアム No.7 提供資料 図 2-12 測定点の位置

各測定点の測定結果を最小二乗法により R の推定を行った。

周波数	建物	材質	厚さ	面積率	<b>R</b> [dB]
4.7GHz 帯	測定 1	石膏ボード	200mm	76%	18.5
		鉄	2mm	14%	
		ガラス	3mm	10%	
	測定 2	石膏ボード	200mm	76%	17.5
		鉄	2mm	14%	
		ガラス	3mm	10%	

### 表 2-9 推定された R

出所) 実証コンソーシアム No.07 提供

(5) No.08 火力発電所

長崎県壱岐市芦辺町の九州電力送配電株式会社新壱岐発電所 4 号機内に置局される 4.7GHz帯(4.8~4.9GHz)のローカル 5G 基地局1局を用いて実証試験を行った。

図 2-13 に発電所内における技術実証試験フィールドおよび基地局設置状況を示す。 技術実証を行う建屋は、図 2-14(a)に示す様な外壁が厚い鉄筋コンクリート造の建物で あり、建屋内は、図 2-14(b)に示すような金属製の発電機、発電用エンジン、発電設備等 が多数配置されており、遮蔽または反射による電波伝搬特性への影響が大きい環境である。



出所)実証コンソーシアム No.8 提供資料







(a) 発電所建屋外観

(b) 発電機、発電エンジン、発電設備の状況

出所)実証コンソーシアム No.8 提供資料 図 2-14 発電所の状況

この実証環境では、仮説 R に基づくカバーエリアおよび調整対象区域求め、仮説に基づ くエリアと、実測値から推定されるエリアの比較を行っている。図 2-15 に仮説値エリア 図と実測値推定エリア図との比較を示す。



出所)実証コンソーシアム No.8 提供資料 図 2-15 仮説値エリア図と実測値推定エリア図との比較

R の精緻化として、建物内/外で実測した下り受信電力値から建物侵入損を算出した場合 について述べる。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。

建物内/外で実測した下り受信電力値から算出した建物侵入損を表 2-10 に示す。

丰	9-10	宝油にトス建物得入	뭠
衣	Z-10	夫側による建物侵入	11良

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 帯	代表値					40.4
	鉄筋コンクリート造で構成	コンクリート	350mm	99%	31.4	40.4
	された開口部が少ない壁面	金属開口扉	200m	1%		

出所)実証コンソーシアム No.8 提供資料

### (6) No.12 地上駅ホーム

No.12 の実証を行う自由が丘駅のホームは下記の特徴を持つ半屋外環境で、長手方向と 短手方向の開放度が異なる。

- 地上階を列車が走行する都市部の鉄道駅のプラットホームで、屋根を有する半屋外 環境である
- 案内板や看板、他者土地との境界に設置された目隠しフェンスや壁などが混在し、 水平方向に多様な電波伝搬が予想される
- 高架線と地上線が立体交差し、両線のホーム間で電波影響が予想される環境である
- 他者土地の建物が駅ホーム周辺に近接して多数存在する

しかしながら、現行のエリア算出法は屋外または屋内に基地局を設置する場合を想定したものであり、駅のような半屋外環境にローカル 5G のエリアを構築するケースに対応可能か十分に検証できていない。具体的には、カバーエリアならびに調整対象区域を見積もる際に、現行のエリア算出法で定義されている各種パラメータをどのように設定すれば半屋外環境の電波伝搬を近似できるのか、新たなパラメータの導入を含めた当該環境に適したエリア算出法の修正が必要なのか等が明確化されておらず、他者土地への干渉漏洩の過剰な見積もりにより、自己土地での最適な基地局配置が阻害されている恐れがあった。

そこで本実証では、都市部の駅に見られる構造的特徴を多数有する自由が丘駅を利用して、様々な遮蔽条件での電波伝搬を測定・評価することにより、横長・狭小な半屋外環境 である駅の電波伝搬の精緻化を目的とする。

この実証環境となる自由が丘駅は都市部の平地に立地し、植栽や水面等の地形影響は存 在しないと考えられるため、本実証ではSおよびRを精緻化の対象として選択する。以下 に当該パラメータを選択した理由を簡単に述べる。

S は基地局からの距離が 100m 以上の地点に対して定義されている。駅ホームは長手方向に東横線が約 205m、大井町線が約 130m の長さがあるため、自己土地の一部と他者土地が S による補正の対象となる。現行のエリア算出法では都市部の半屋外環境における S の値は明確化されておらず、本実証の対象として好適と言える。

自由が丘駅ホームは半屋外環境であるが、東横線で見られる腰高壁や目隠しフェンス、大

井町線で見られる屋根まで繋がった壁などの他者土地との境界に存在する障害物は、短手 方向の電波伝搬の観点では、屋内に基地局を設置した場合の建物と同様に伝搬損失(透過損) を与えるものとして作用する。従って、現行では屋内に基地局を設置した場合に限定されて いる R が半屋外環境でも適用できる可能性があり、遮蔽度合いが異なる東横線と大井町線 で比較検証する価値がある(図 2-16)。



出所)実証コンソーシアム No.12 提供資料

図 2-16 境界における遮蔽度の違い

R に関する仮説としては、他者土地との境界における遮蔽度合いが東横線と大井町線で 異なるため、短手方向の電波伝搬特性が両ホームで異なると予想される。更に、東横線では ホーム短手方向が見通せる(壁のない)開放箇所と部分的に遮蔽された箇所が混在するほか、 駅ホームに近接する他者土地の建物も壁と近い影響を与え得る。そこで、半屋外環境であっ ても短手方向の電波伝搬では透過損 R が適用でき、他者土地との境界における遮蔽度の違 いによって R の値が異なるという仮説を考える。具体的には、①遮蔽度の低い東横線にお ける R の値 R<sub>1</sub>と遮蔽度の高い大井町線における R の値 R<sub>2</sub>が、屋外(R=0)と屋内(R=16.2) の値に対して 0<R<sub>1</sub><R<sub>2</sub><16.2 の関係が成り立つこと、②東横線では境界付近の障害物に よる遮蔽度が大きいほど R の値が大きいことを仮説として設定する。

パラメータ R の仮説検証では、S の影響を避けるため、基地局からの距離が 100m 以内の測定点でのデータのみを使用した。

仮説①について、RU からの距離が 100m 以内の位置で測定した受信電力を算出式で伝 搬損に換算して基地局からの距離に対してプロットし、東横線については考察で述べる方 法で各エリアの R の見積値を求めたものをエリアごとの遮蔽度により平均化して遮蔽度ご との R を求めた。大井町線の推定はエリア算出式で計算した伝搬損が最もフィットする R の値を求めた。東横線で求めた R の推定値 R1 と、大井町線にフィットする R の推定値 R2 を比較し、0<R1<R2<16.2 の関係が成り立つかどうかを検証した。

仮説②の検証は、自己土地と他者土地との境界部分のバリエーションが多い東横線の基 地局についての測定データを用いて行った。

本実証によって得られたパラメータの値をエリア算出式で使用するにあたり、各エリア に対するパラメータ S の平均値を求めることにより、表 2-11 に整理した。ここで、パタ ーンとは停車列車のパターンを示し、列車の影響が全くないパターン 1、列車による反射 で他者土地への漏洩電波が増加する可能性のあるパターン 2、他者土地への漏洩電波を抑 制する効果が期待できるパターン 3 となっている。

	R (dB)				
	パターン1	パターン 2	パターン3		
遮蔽度小	0.0	0.0	0.0		
遮蔽度中	11.4	16.7	18.1		
遮蔽度大	20.4	22.5	18.9		

表 2-11 パラメータ R

出所)実証コンソーシアム No.12 提供資料

全体的にこの R に対して、実際には減衰の影響は小さくなっている。この要因の一つとして、自由が丘駅のような都市部の駅では狭小エリアの自己土地と他者土地との境界が近いことで、自己土地からの電波漏洩の影響が他者土地エリアにおよび易く、通常は基地局から 100m 以上離れたエリアで適用される S のような効果が自己土地から近いエリアでも 生じていることが考えられる。

### (7) No.17 国際会議場

No.17 の実証環境は、遠隔ロボット監視システムの検証を実施するパシフィコ横浜ノース 1F 多目的ホール、および 2 地点遠隔同期演奏システムの検証を実施する 2F ガーデンラウンジを使用した。

パシフィコ横浜ノース 1F 多目的ホールは、天井高 10m 面積約 6300 mの多目的ホール であり、イベント開催時に大小の展示ブースが設置されるのに加え、防音効果のある壁、 高い天井を備えた多数の来場者が動員される環境であり、このような環境でのユースケー スを想定し、電波伝搬モデルの精緻化を行った。

また、2F ガーデンラウンジは、細長い廊下にガラス、および壁で仕切られた小規模(110 m<sup>2</sup>、137 m<sup>2</sup>)スペースであり、異なる部屋での同期演奏の検証で使用し、このような環境条件でのユースケースも想定し、前述同様の検証を行った。

いずれの場合も基地局設置場所は、屋内会場であり、精緻化の対象パラメータは、R: 壁面の材質・厚さ別の定量化となった。



(a) 多目的ホール



(b) ガーデンラウンジ

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

図 2-17 実証風景

# 1) 測定 No.01: 1F 多目的ホール内壁

最小二乗法により精緻化 R の値、ならびに平均二乗偏差 RMSE を以下のとおり求めた。 精緻化後の R の値は、5.46 となり、仮説の 16.2 と比べ大幅に小さい値となった。仮説と しては、多目的ホールの外壁も考慮し、コンクリートを想定することで、電波伝搬シミュ レータのコンクリート[Light]の値を使用したが、内壁(LGS、グラスウール、石膏ボード)1 枚ではそこまでの損失はなく、5.5dB 程度の侵入損であることが分かった。また、精緻化 後の RMSE が小さくなっていることから、精緻化の有効性も確認できた。

精緻化前後	パラメータ R	RMSE
精緻化前	16.20	11.36
精緻化後	5.46	3.69

### 2) 測定 No.02: 1F 多目的ホール内壁 + 外壁

仮説としては、多目的ホールの外壁を考慮し、コンクリートを想定することで、電波伝搬シミュレータのコンクリート[Light]の値 16.2dB を使用したが、壁の材質、枚数を調べると想定していたコンクリート 1 枚壁ではなく、多目的ホール内壁の LGS(軽量鉄骨)、グラスウール、石膏ボードも含めた 2 枚の損失で 16.2 に近い値になることが分かった。前述の多目的ホール内壁の精緻化された R=5.46 より、外壁コンクリート 1 枚の R は 16.32 - 5.46 = 10.86 であることが導出できる。材質ごとに R を精緻化することで、複数枚の壁を

挟む環境において加算することで通過した壁トータルの精緻化された R を求めることができる。

精緻化前後	パラメータ R	RMSE
精緻化前	16.20	6.26
精緻化後	16.32	6.26

### 3) 測定 No.03: 2F ガーデンラウンジガラス壁

精緻化後の R の値は、11.36 となり、仮説の 4.4 に比べ 2 倍以上大きい値となった。仮 説としては、電波伝搬シミュレータのガラスの値を使用したが、実際のガラスは 2 枚構造 の Low-E 複層ガラスが使用されており、ガラスの表面に Low-E 膜といわれる特殊な金属 膜(酸化錫や銀)がコーティングされているため、さらに損失が大きくなったものと考える。 R の仮説を立てる際は、詳細な壁条件の調査が必要である。精緻化後の RMSE が小さくな っていることから、精緻化の有効性も確認できた。

精緻化前後	パラメータ R	RMSE	
精緻化前	4.40	11.41	
精緻化後	11.36	9.05	

### 4) 測定 No.04: 2F ガーデンラウンジ内ガラス壁

ガーデンラウンジ C の隅に設置した基地局との間にガーデンラウンジ B のガラス壁を挟 む測定点となる。最小二乗法により精緻化 R の値、ならびに平均二乗偏差 RMSE を以下の とおり求めた。精緻化後の R の値は、2.92 となり、仮説の 4.4 に近い値となった。

精緻化前後	パラメータ R	RMSE
精緻化前	4.40	2.08
精緻化後	2.92	1.60

表 2-12 に精緻化後の R をまとめた。

測定	R[dB]	RMSE	対象となる壁や環境、補足
No.	精緻化後	精緻化後	
01	5.46	3.69	多目的ホールの壁を越えた通路
			LGS(軽量鉄骨)・グラスウール・石膏ボード、厚さ 40.5cm
			開口部無し、面積比 100%
02	16.32	6.26	多目的ホール外壁を越えた屋外環境
			LGS(軽量鉄骨)・グラスウール・石膏ボードの外郭に鉄筋コンクリート
			壁、厚さ 40.5cm 面積比 80%
			Low-E 複層ガラス、厚さ 2.8cm、面積比 20%
			開口部無し
03	11.36	9.05	ガラス壁を挟む屋外環境
			Low-E 複層ガラスの壁、厚さ 3cm
			開口部無し、面積比 100%
04	2.92	1.60	ガーデンラウンジ内のガラス壁を挟む箇所
			合わせガラス、ガーデンラウンジB内 厚さ 1.2cm、面積比 100%
			ガーデンラウンジC入口開口、A、Bは閉めた状態
	-7.26	2.58	合わせガラス、ガーデンラウンジA内 厚さ 1.2cm、面積比 100%
			ガーデンラウンジC入口開口、A、Bは閉めた状態

表 2-12 精緻化

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

上記表において精緻化の有効性を確認できた No.01、02、03、04 ガーデンラウンジBに ついて、壁種別ごとでは表 2-13 のとおりまとめることができる。

遮蔽物	材質	面積率	R [dB]
内壁1枚	LGS(軽量鉄骨)・グラスウール・石膏ボード	100%	5.46
外壁1枚	鉄筋コンクリート	80%	10.86
	Low-E 複層ガラス	20%	
内壁1枚	LGS(軽量鉄骨)・グラスウール・石膏ボード	100%	16.32
外壁1枚	鉄筋コンクリート	80%	
	Low-E 複層ガラス	20%	
壁面	Low-E 複層ガラス	100%	11.36
壁面	合わせガラス	100%	2.92

表 2-13 壁種別ごとの R

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

### (8) No.19 ドーム球場

No.19 の実証環境においては、 図 2-18 実証環境(a)~(b)の様に、屋内構造として、座 席面および、スタジアム構造となるコンクリートで覆われた壁面構成であり、観客および、 スタジアム運営スタッフ等の人の出入りを行う部分が開口部となる環境となる。

スタジアム・アリーナにおけるユースケースを前提とした場合、スタジアム内に基地局を 設置する上では、高低差がある階層化された観客席による遮蔽や反射、観客やスタジアム運 営スタッフ等の人体遮蔽による影響、または建物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。または建物外に対する電波伝搬特性への影響が考えられる ため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。



(a) スタジアム屋内環境



(b) スタジアム屋外環境

出所)実証コンソーシアム No.19 提供資料

図 2-18 実証環境

この実証環境では、仮説 R に基づくカバーエリアおよび調整対象区域求め、仮説に基づ くエリアと、実測値から推定されるエリアの比較を行っている。図 2-19 に仮説値エリア図 と実測値推定エリア図との比較を示す。



出所)実証コンソーシアム No.19 提供資料

図 2-19 仮説値エリア図と実測値推定エリア図との比較

Rの精緻化のもう1つのアプローチとして、Rの精緻化として、建物内/外で実測した下 り受信電力値から建物侵入損を算出した場合について述べる。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。

建物内/外で実測した下り受信電力値から算出した建物侵入損を表 2-14 に示す。

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
帯	ゲートを含む壁面	鉄コンクリート	6m	4%	16.2	29.8
	鉄筋コンクリート、屋内店舗	1.5mの4層構造				
	等によって構成されたスタジ	屋内店舗、通路等	33.5m	96%		
	アム構造体	による空間構造				
	※遮蔽となる壁は、通路お					
	よび屋内店舗等によって中空					
	空間が存在					

表 2-14 実測による建物侵入損を致 2-14

(9) No.20 コンサートホール

No.20 の実証ではコンサートホール内外での電波測定を通じて、実際の電波の伝搬範囲の確認と、建物侵入損 R を操作することでエリア算出式の精度向上が行えるかの検証を行った。実証会場より、適切なポイントを3箇所(壁1,壁2,壁3)選定した(図 2-20、図 2-21)。



出所)実証コンソーシアム No.20 提供資料

図 2-20 R の予測における壁の分類



屋内ステージ側から撮影した 屋 壁1

屋外から撮影した壁1





屋外から撮影した壁2(外)



客席側から撮影した壁3(内)



音響調整室側から 撮影した壁3(内)



音響調整室側から 廊下側から撮影した壁3(中) 屋外から撮影した壁3(外) 撮影した壁3(中) 出所)実証コンソーシアム No.20 提供資料

#### 図 2-21 壁の状況

エリア算出式に基づくカバーエリア端および調整対象区域端は全て屋外に存在していた が、実測の結果、屋外においてカバーエリア端および調整対象区域端の閾値を上回ってい る箇所は1つも確認することができなかった。このことから、本実証会場に類似するコン サートホールなどでは、エリア算出式に基づく算出値よりも実測値の方が小さくなると予 想される。また、本実証で使用した基地局の電波出力では、屋外の測定点のほとんどで、 測定機が拾える最低レベルの電波強度(約-140~-150dBm)を下回ることが分かった。

R の検証をするにあたって、固定測定点での測定結果のうち、中央値を図面にプロット したものを図 2-22 に示す。





上記の結果を元に壁面の前後で測定値同士の差分を計算し、壁面減衰値の実測値とした。 そして、その実測値と推定値との比較を表 2-15 に示す。

周波数	建物	材質	厚さ	面積率	推定値 [dB] (①)	実測値 [dB] (②)	誤差[dB] (①-②)
4.7GHz 帯	壁面1	遮音材(石膏ボー ド)	15mm + 5mm + 15mm	100%	2	56.78	3.78 -11.03
		遮音材(グラスウ ール)	50mm	100%	0		
		コンクリート	250mm	100%	43.75		
	壁面 2	木材	7~10mm	100%	1	67.5	5.5
	([7])	遮音材(石膏ボー ド)	$12.5+9.5\sim$ 21+15mm	100%	2		
		遮音材(グラスウ ール)	50mm	100%	0		
		コンクリート	200mm + 200mm	100%	70		
	壁面 2 (外)	石膏ボード	12.5 + 9.5mm	90%	1.8	算出不 能	
		コンクリート	200mm	90%	31.5		
		ガラス	6 + 8mm	10%	0.3		
	壁面 3 (内)	木材	$\begin{array}{l} 12.5 + 9.5  \sim  21  + \\ 15 \mathrm{mm} \end{array}$	10%	0.1	5.63	0.84
		遮音材(石膏ボー ド)	$12.5+9.5\sim$ 21+15mm	10%	0.2		
		遮音材(グラスウ ール)	50mm	10%	0		
		コンクリート	200mm	10%	3.5		
		ガラス	6~10mm	90%	2.67		
	壁面 3 (中)	遮音材(石膏ボー ド)	12.5 + 9.5mm	100%	2	36.38	0.62
		遮音材(グラスウ ール)	50mm	100%	0		
		コンクリート	200mm	100%	35		
	壁面 3 (外)	ガラス	10~30mm	100%	2.97	算出不 能	

表 2-15 Rの推定値と実測値をもとにした減衰値の比較

出所)実証コンソーシアム No.20 提供資料

全体的に推定値よりも実測値の方が壁面による減衰量が多いという結果となった。不 確定要素として存在していた遮音材による電波減衰が予想より大きかったためだとも考 えられるものの、客席側と比較してそれほど徹底的な防音施工のされていないステージ 裏の壁(壁1)においても乖離が見られるため、コンクリート壁そのものの減衰量が ITU R M.2412 に定義されているコンクリートの減衰値より大きかったのではないかと考え られる。

(10) No.21 体育館

No.21 の実証環境である田川市総合体育館の大体育室は、競技エリア(1階)、観覧エリ ア(2階)の四方の壁面構造について、標準的な壁面、複数層の壁・空間を介した建屋構造 や、ガラス材を介す壁面など複数の条件が混在する建屋構造であり、水平方向への多様な電 波伝搬が推測されるような環境にある。したがって、実証環境としての田川市総合体育館の 屋外は自己土地ではあるものの、都心部などで体育館が他者土地に隣接しているケースを 考慮して、体育館の外を他者土地であると仮定した場合の屋内から屋外への電波伝搬損の 観点で確認できる環境にある。

大体育室の各壁面(構造)における遮蔽条件が異なることから、各壁面方向の電波伝搬特性 が異なると推測した。従って、体育館外の他者土地との境界における遮蔽条件の違いによっ てパラメータ R の値が異なるという仮説を考えた。

各壁面条件のRを以下のように定義した場合、

- ① 東側壁面は、1 階が内壁から外壁間隙が最大 6 層の壁・空間構造を有し、2 階が内壁から外壁間隙が最大 3 層の壁・空間構造を有し R を R1
- ② 西側壁面は、1階2階ともに内壁から外壁間隙が標準的な構造を有しRをR2
- ③ 南側壁面は、1 階が内壁から外壁間隙が最大 3 層の壁・空間構造を有し、2 階がガラス 材(窓、出入口)構造を有し R を R3 (窓開放時: R3-O 窓閉塞時: R3-C)
- ④ 北側壁面は、1 階が内壁から外壁間隙が最大3層の壁・空間構造を有し、2 階がガラス 材(窓、出入口)構造を有しRをR4(窓開放時: R4-O 窓閉塞時: R4-C)

R として屋外(R=0[dB])、屋内(R=16.2[dB])の値に対して、0<R4<R3<R2<R1<16.2(も しくは 0<R4<R3<R2<16.2<R1、0<R4<R3<16.2<R2<R1)の関係が成り立つこと を仮説として設定した。ただし、R3、R4の関係性については指向性ビームの水平放射角に よっては逆となる可能性がある。



# 出所)実証コンソーシアム No.21 提供資料 図 2-23 各壁面方面における R の定義

実測した受信電力から、各壁面の R を算出した結果を表 2-16、各壁面の標準偏差を表 2-17 に示す。また、2 階窓の R を算出した結果を表 2-18 に示す。

田子茶井	睦工	从时代	外壁材質 厚さ 面積率	工建委	内壁の有無	R[dB]	
向波剱帘	雪田	27壁的筤		<b>山</b> 俱平		窓開	窓閉
4.7GHz 帯	代表値	-				16.2	
	東壁	コンクリート	15cm	85%	5枚程度有	22.4	
		ガラス	0.4cm	15%			
	西壁	コンクリート	15cm	95%	無	15.6	
		ガラス	0.4cm	5%			
	南壁	コンクリート	15cm	40%	2枚程度有	5.5	8.2
		ガラス	0.4cm	60%			
	小陸	コンクリート	15cm	40%	2枚程度有	7.9	9.6
	北壁	ガラス	0.4cm	60%			

表 2-16 各壁面の R

出所)実証コンソーシアム No.21 提供資料

X 4 1 1	口里田小你十	- vm /	
藤云	標準偏差		
些国	窓開	窓閉	
東壁	4.0		
西壁	4.3		
南壁	7.7	6.9	

# 表 2-17 各壁面の標準偏差

睦云	標準偏差		
単田	窓開	密閉	
北壁	5.4	3.5	

出所)実証コンソーシアム No.21 提供資料

表 2-18 2階窓の R

窓オープン時の SS-RSRP	窓クローズ時の SS-RSRP	窓の R
-76.9dBm	-82.3dBm	5.4 dB

出所)実証コンソーシアム No.21 提供資料

本結果の各Rの関係を整理すると以下のようになり、仮説とおりの結果となった。 0<R<sub>3</sub>-c(8.2)<R<sub>4</sub>-c(9.6)<R<sub>2</sub>(15.6)<16.2<R<sub>1</sub>(22.4)

 $R_{3 \cdot O}$  (5.5)  $< R_{3 \cdot C}$  (8.2)

 $R_{4-0}$  (7.9) <  $R_{4-C}$  (9.6)

#### (11) No.24 市街地

No.24の実証では、集合住宅の2階以上のような高い場所に移動局が設置される条件で、 伝搬損失に対する移動局高の影響を定量的に把握し、電波伝搬モデルの精緻化の対象とな るパラメータとその条件に応じた適正な値を明らかにすることを第一の実証目標とした。

第一の実証目標に向けては、2つの仮説を立てて、これら2つの仮説の検証を行い、より 有効な一方の仮説または両方の仮説を組み合わせて採用する方針とした。精緻化対象とす るパラメータは、第一の仮説ではKとし、第二の仮説ではSとした。

また、現行の審査基準に記載の電波伝搬モデルに対して、端末(移動局)を集合住宅の住 戸内(屋内)に設置した場合の建物侵入損 R を精緻化することを第二の実証目標とした。



出所)実証コンソーシアム No.24 提供資料

図 2-24 測定風景

次に、R の精緻化に関する実証仮説を述べる。審査基準では、基地局を屋内に設置する場 合の建物侵入損 R が 16.2dB とされているが、集合住宅の窓際に移動局を設置することで、 建物侵入損の影響を抑えて、比較的良好な通信品質が期待できる。このように移動局を設置 するようにした場合、建物侵入損は、ガラス窓の透過損失の影響を大きく受けると考えられ る。また、「電波伝搬の実際」(MWE 2004 Microwave Workshop 講演資料 4) によれば、 5GHz での透過損失は、コンクリート(厚さ 7.5cm)で 12dB であるが、ガラス(厚さ 10mm) では種類によって差異があり 2dB 程度とされている。しかし、集合住宅の窓際に移動局を 設置しても、ベランダがあり、コンクリートで電波が遮蔽される部分も多い。これらの点を 総合的に考えて、移動局を集合住宅の住戸内(屋内)に設置した場合の建物侵入損 R は、 集合住宅による違いもあり、5dB~10dB 程度になると想定した。

測定結果としては、屋内における建物侵入損(パラメータR)は、精緻化仮説とした5~

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> https://www.apmc-mwe.org/mwe2005/src/TL/TL05-02.pdf

10dBとなる集合住宅も多いが、平均値は窓際で12dB、TV 台付近で13dB であり、エリア 算出法の16.2dBに比較的近い値となったため、この数値の精緻化は不要である。

測定 No.	精緻化値[dB]	精緻化対象パラメータに関する情報 (条件を示す定量的な情報)		
12	16.2	窓際、配電柱基地局、ガラス窓が存在		
13	16.2	TV 台付近、配電柱基地局、ガラス窓が存在		
25	16.2	窓際、ビル屋上基地局、ガラス窓が存在		
26	16.2	TV 台付近、ビル屋上基地局、ガラス窓が存在		

表 2-19 パラメータ R 精緻化結果

出所)実証コンソーシアム No.24 提供資料

### 2.3.1.4 パラメータ Rの測定結果まとめと考察

(1) グループ化

各実証環境における通過する壁面が構成される材質のうち、主たる比率を占める材質に 着目して、グループ化を行い、それぞれのグループに対して、各実証の測定結果をまとめて 評価することにより、Rの精緻化を行った。

表 2-20 にグループ化の結果を示す。

ID	グループの特徴	対象となる実証		
R-1	簡易な間仕切り	No.02:牛舎のカーテン仕切りから侵出		
		No.03:圃場にあるいちご栽培のビニールハウス内への侵入		
R-2	コンクリート壁	No.05:臨海部にある大型金属加工工場からの侵出		
		No.08:火力発電所の発電機が設置された建屋内からの侵出		
		No.12:地上駅の腰高壁、目隠しフェンス等		
		No.17:大型の国際会議場で複数のコンクリート壁		
		No.19:球場内基地局からドーム外への侵出		
		No.20:コンクリート外壁の他、音響対策された内壁を通した侵出		
		No.21:一般的な体育館内から建屋外		
R-3	ガラス/窓	No.17:大型の国際会議場の窓/ガラス間仕切り		
		No.24:鉄筋コンクリート集合住宅の居室内への侵入		
<b>R-</b> 4	石膏ボード	No.07:工場の石膏ボード外壁を通した侵入		
		No.17:大型の国際会議場の石膏ボード間仕切り		

表 2-20 R 精緻化のためのグループ

精緻化は、各実証より提供された審査基準の算出式による受信電力の計算値と対応する 受信電力の測定値の中央値から、最小二乗法によりRとして最適な推定値を求めた。

# (2) グループ R-1

4.7GHz 帯を利用する簡易な間仕切りに分類される R-1 実証の結果をまとめたものを図

2-25 に示す。この類の図は、測定が行われたポイントにおける精緻化するパラメータが 0 と仮定した場合のある測定ポイントにおける審査基準の算出式による計算値を横軸に、その測定ポイントにおける測定値を縦軸としてプロットしたものである。各プロットは、 No02-1 と記載されている場合は、No02 は実証を示す番号であり、ダッシュ番号は、その 実証の中で同一の電波伝搬環境と推定される測定ポイントをグループ化した測定 No を示 している。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成 図 2-25 グループ R-1 (簡易な間仕切り)の測定結果

このデータより以下が得られた。

グループ R-1	精緻化	
最適な推定値 [dB]	13.0	
標準偏差	6.0	

簡易な間仕切りという分類でとりまとめて評価した場合においては、推定値は 13.0dB と なった。この値は審査基準で設定されている 16.2dB に近い値であり、簡易な間仕切りとい う分類を設けることは不要と考えられるが、実証数が少ないため、更なる実証が必要である。

(3) グループ R-2

4.7GHz 帯を利用するコンクリート壁に分類される 7 実証を対象として、R-2 グループにおける R の精緻化を検討した。結果をまとめたものを図 2-26 に示す。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

### 図 2-26 グループ R-2 (コンクリート壁)の測定結果

このデータより以下が得られた。

グループ R-2	精緻化	
最適な推定値 [dB]	5.5	
標準偏差	19.9	

コンクリートを主とした壁面という分類でとりまとめて評価した場合においては、推定 値は5.5dBと、審査基準で設定されている16.2dBと比較して低い値となった。全体として ばらつきが多くなっているため、実証ごとに確認する。No.05は金属加工工場おける実証で あり、典型的なコンクリート壁の建物と考えられる。この実証から得られた受信電力の測定 値は算出式によって得られる値が低くなるにつれ 30~40dB 程度の高い受信電力が測定さ れている。この原因は明らかでないが、他のパラメータの影響などの可能性もあり、このよ うなデータを除去して検討することが必要と考えられる。No.08 は火力発電所であり、通常 の建物より減衰の大きい傾向が出ていると考えられる。No.12 は地上駅ホームであり、複雑 な電波伝搬環境であると推測され、他のパラメータの影響などの可能性もあり、このような データを除去して検討することが必要と考えられる。No.17 は国際会議場であり、16.2dB より若干低い傾向がある。No.19 はドーム球場であり、一部のデータが減衰の少ないところ に分布している。データからは理由は読み取れないが、複雑な構造物に起因していることも 考えられる。No.21 は体育館であり、4 つの壁面を有するが、壁面ごとに傾向がある(図 2-27)。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

図 2-27 No.21 の壁面ごとのデータ

この図から、西側の壁面の減衰が若干大きく、北側の壁面が若干低い減衰となる。南と北 では、窓を開けた場合と閉じた場合について測定をしているが、差異は無い。

これまで述べたように、建物、壁面の構造によって、詳細に見れば値に差異はあるものの、 コンクリートの壁面については、現在の算出式の16.2dBを使用するのが適切と考えられる。

更に R の推定値の大きい実証 3 件を見てみる。No08 火力発電所はコンクリート壁と金属扉による開口部がない密閉された空間であり、この壁 1 枚を透過する値として 40.4dB という大きな通過損になっている。No19 ドーム球場は、内壁 3 枚を含む 1.5m 厚コンクリー

ト壁 4 枚の構成で 29.8dB の通過損になっている。No21 体育館の東壁においても、15cm 厚のコンクリート壁 90%とガラス 10%の外壁と 15cm 厚のコンクリート壁 50~75%の内 壁 5 枚の合計 6 枚構成で 22.4dB の通過損になっている。No19 と No21 では、合計通過損 では大きな値になるが内壁単独の通過損は 16.2dB より遥かに少ないと見える。屋内に基地 局があることで、複雑な乱反射を繰り返して開口部を廻り込む電波が影響していると考え られる。建物内部の壁面配置と開口部および内部空間の構成が伝搬経路に大きく係ると思 われる。

なお、今回、壁の条件によって、異なる R を設定できる可能性があることがわかった。 しかしながら、その条件、値については今後の課題である。 (4) グループ R-3

4.7GHz 帯を利用するガラス/窓に分類される3 実証を対象として、R-3 グループにおける R の精緻化を検討した。結果をまとめたものを図 2-28 に示す。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成 図 2-28 グループ R-3 (ガラス/窓)の測定結果

このデータより以下が得られた。

グループ R-3	精緻化	
最適な推定値 [dB]	9.6	
標準偏差	9.7	

ガラスを主とした壁面という分類でとりまとめて評価した場合においては、推定値は 9.6dBと、審査基準で設定されている16.2dBと比較して低い値となった。ガラスとその他 の材料で構成される壁面の場合には、想定可能な値である。実証数が少ないため、更なる実 証が必要である。 (5) グループ R-4

4.7GHz 帯を利用する石膏ボードに分類される 2 実証を対象として、R-4 グループにおける R の精緻化を検討した。結果をまとめたものを図 2-29 に示す。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成 図 2-29 グループ R-4 (石膏ボード)の測定結果

このデータより以下が得られた。

グループ R-4	精緻化
最適な推定値 [dB]	5.5
標準偏差	5.4

石膏ボードという分類でとりまとめて評価した場合においては、推定値は 5.5dB と、審 査基準で設定されている 16.2dB と比較して低い値となった。想定可能な値であるが、実証 数が少ないため、更なる実証が必要である。

# 2.3.2 Kの精緻化

### 2.3.2.1 パラメータ K の精緻化の概要

審査基準では、地形情報データにより算入し難い地形の影響等の補正値であり、通常は0 とし、地形水面の反射、小規模の見通し外伝搬の影響等を特に考慮する必要のある場合に使 用することとなっている。算出式から、4.7GHz帯において基地局との距離が100m以上の 場合にKによる補正が適用される。

電波伝搬ハンドブック 5によれば、丘陵地、山岳地(孤立山岳)、傾斜地形、陸海混合通路 が特殊地形として補正することが記載されている(表 2-21)。

分類	条件に関する定量的な情報	説明図
丘陵地	地形起伏高 Δh Kh 丘陵地微細補正 Khf	· 基地局 アンテナ
山岳地 (孤立山岳)	山岳の高さ h 基地局から山頂までの水平距離d1 山頂から端末までの水平距離d2	
傾斜地形	地形平均傾斜角 θm=(hn <sup>~</sup> hm)/dn θm>0 上り勾配 θm<0 下り勾配	
陸海混合通路	水面の比率 β=(ds1+ds2)/d	$\beta = (d_{21} + d_{22})/d(\%)$ $\beta = (d_{21} + d_{22})/d(\%)$ $\beta = (d_{22} + d_{22})/d(\%)$ $\beta = (d_{21} + d_{22})/d(\%)$

表 2-21 特殊地形

出所)電波伝搬ハンドブック

<sup>5</sup> 電波伝搬ハンドブック、細矢良雄監修、リアライズ理工センター出版

# 2.3.2.2 対象となる実証事業

Kの精緻化を実行する実証事業を表 2-22 に示す。

実証 No	実証場所	伝搬路概況	着目点	備考
No. 04	林業	山間部で斜面や川があ	斜面の影響	
		る		
No. 15	高速道路工事現場	丘陵部「のトンネル入		
		口付近		
No. 23	富士山 4,6 合目	山岳斜面で植生なし		
No. 10	港湾	全面海水	伝搬経路中にある	
No. 11	コンテナヤード	海水面を挟む陸上	水面の影響	
No. 16	交通	経路中に川がある		
No. 24	ケーブルテレビ	市街地の集合住宅	市街地での UE 所在	他実証とのまとめ
			階数差	は困難

表 2-22 パラメータ K の実証事業

# 2.3.2.3 実証の概況

# (1) No.04 林業

No.04 の実証地域は傾斜のある地域であり、また林業を営む地域である。そのため K に おいては傾斜や川の影響が大きいことが想定され、S についてはルーラルエリアではある が、樹木の影響により郊外地と市街地の両側面がありそのどちらの特性に近いかを評価す る必要がある。この実証で得られた結果は他の森林地区にて応用できると考えられる。



(a) 実証エリア



(b) 測定点

出所)実証コンソーシアム No.4 提供資料

図 2-30 実証環境

精緻化は下記の手順で実施した。

- ア、 対象エリアから地形等のファクターを分析し、精緻化エリアを分割する
- イ、 対象の測定点において実測値と算出式の伝搬損失を比較する
- ウ、 最小二乗法により精緻化を行う

エ、 標準偏差により精緻化の有効性を確認する

算出された K、S を表 2-23 に示す。測定番号 01 は、平均傾斜角 11.14 度の急な上り勾 配の山中で、20~30m 級の樹木が多い林であり、測定番号 02 は、平均傾斜角 7.18 度の車道 に沿った緩やかな上りである。

番号	エリア	上り/下り	傾斜角	S	精緻化K	RMSE前	RMSE後
01	南側	上り勾配	11.14	12.3	-1.239	10.14	10.06
02	北東側	上り勾配	7.18	12.3	8.299	8.36	4.05

表 2-23 実証で算出された K、S

出所)実証コンソーシアム No.04 提供資料

双方のエリアとも 7.18 度から 11.14 度程度の斜面に位置した箇所の結果となる。樹木は 立山杉となり、常緑樹となり年間を通じ概ね結果は変わらないものと思われる。また、電 波伝搬に大きく影響すると考えられる葉の部分が比較的木の上部に集中しているため、実 際に作業を行う(今回計測した)場所においては影響が少ないことも考えられる。地点 01 と 02 においては樹木量が異なり、樹木が少ないエリア 02 よりも樹木が多いエリア 01 の方が K が低くなる傾向が確認できた。また、本地域においては降雪のファクターがあり降雪に より伝搬特性が変化する可能性があるが、林業現場においては降雪時期においては原則作 業を実施しないため影響がないと思われる。

(2) No.10 港湾

No.10 の実証では、遮蔽物が少ない海上で自由空間伝搬により電波が到達する範囲を明 らかにすると共に、海面における電波の反射の影響を定量的に把握し、電波伝搬モデルの精 緻化の対象となるパラメータとその条件に応じた適正な値を明らかにすることとした。審 査基準の電波伝搬モデルにおいては、パラメータ K を精緻化することになる。

海面における電波伝搬では、遮蔽物がほとんどなく、基地局から移動局に直接波と海面に おける反射波が到達するため、大地反射の2波モデルに近い伝搬損失の距離特性となるこ とが想定される。大地反射の2波モデルでは、ブレークポイントまでの距離 Db は、基地局 アンテナ高 hb、移動局高 hm、および波長λより、以下の式により計算できる。

 $Db = 4 hb \cdot hm / \lambda$ 

精緻化対象のパラメータ K においては、審査基準の伝搬距離 40m を超える範囲で、審査 基準と大地反射の 2 波モデルの伝搬損失の値の差を反映させることを想定した。この仮説 は、本実証環境に特有の条件に依存しておらず、基地局アンテナ高および移動局高に依存す るもので、他の港湾でも原理的に不変であるため、汎用的な精緻化ができる可能性がある。



出所)実証コンソーシアム No.10 提供資料 表 2-24 仮説に基づくカバーエリアおよび調整対象区域

実証の結果として、カバーエリアと調整対象区域のエリア端の前後において、受信電力の 測定値がエリア算出法による計算値よりも、精緻化仮説による計算値に近いことから、精緻 化仮説は有効であると考えられる。

表 2-25 にこの結論から導かれるパラメータ K に関する精緻化の案を示す。ここで、① の計算式は、審査基準において伝搬距離が 0.04km 以下の場合の伝搬損失として記載されている計算式であり、③の計算式は、伝搬距離が 0.1km 以上の場合の伝搬損失として記載されている計算式である。

影響要因	条件	K [dB]
水面	伝 搬 路 の 殆 ど が 水 面の場合	<ul> <li>K = L3(Db) · L1(Db)</li> <li>Db = 4 ht · hr/λ</li> <li>L1(d) : 2.1.1.1 章の式 1.1 による伝搬距離 dの伝搬損失の値</li> <li>L3(d) : 2.1.1.1 章の式 1.3 による伝搬距離 dの伝搬損失の値</li> <li>ただし、d &lt; 40km においてα=1とした</li> <li>ht : 基地局アンテナ高</li> <li>hr : 移動局高</li> <li>λ : 波長</li> </ul>

表 2-25 パラメータKに関する精緻化の案

出所)実証コンソーシアム No.10 提供資料

### (3) No.11 コンテナヤード

No.11 の実証地である夢洲コンテナターミナル埠頭用地は、電波伝搬に関する 2 つのパ

ラメータに関する環境条件を有している。

まず1つ目の対象パラメータは「補正値:K」である。特殊地形環境として、具体的には 丘陵地、山岳地、傾斜地形、陸海混合通路、水面が含まれると定められている。今回の実証 地である夢洲に関しては、ローカル 5G 基地局を設置している管理棟から北に約 650m 程度 陸地が続いており、その後ろが大阪湾(約 400m 海面が続き、以降は再び陸地)となってい る。管理棟から発出された電波が十分な距離を経て水面に到達するという点では、水面の反 射効果はある程度期待できると想定した。一方で、水面への入射角が深くなることでの反射 効果の減衰、測定地点ごとに陸地と水面の割合が変動するという点から実測を始めるにあ たっての基準値として「K=0」と設定した。

2 つ目の対象パラメータは「補正値:S」である。地物(妨害物)として、具体的には樹木、建物、植栽や、周辺の高さのある設備や建機等が当てはまると考えられている。コンテナターミナルの環境においては、コンテナが多数積み上がっているため、郊外地相当に当てはまると考えられる。また、積み上げられたコンテナに関しては地物(妨害物)となると想定できる。更に、基地局とRTG(Rubber Tired Gantry crane)が同程度の高さであることから、こちらも建機(妨害物)に当てはまると想定した。一方で、管理棟から西側の夢洲万博予定地については整地となっており、妨害物となる要素はなく、開放地相当であると考えられる。このように、夢洲コンテナターミナル周辺環境については「郊外地」と「開放地」の中間に当てはまるのではないかという仮説のもと、港湾エリアに関する地形、地物に関してのパラメータ精緻化を実施した。



測定グループ①



測定グループ②



測定グループ③

出所)実証コンソーシアム No.11 提供資料
図 2-31 測定実施地点

K の算出値としては、測定標本データのうち、DICT(Dream Island Container Terminal.) 管理棟奥設置基地局アンテナから海を挟んだ 3D 距離で 1101.79m 離れた測定ポイントか ら、同様に 3D 距離で 1439.05m 離れた調整対象端+10m の測定ポイントまで、かつ基地局 アンテナに対して見通しとなる 10 カ所測定ポイントにおける測定データより、K = 8.09 [dB]が求められた。

### (4) No.15 高速道路地上

No.15 の実証において、作業現場全体を俯瞰するカメラ設置個所を対象とする通信エリ アに関しては、カメラが実際に設置されるのは、作業現場から比較的離れた位置となり、そ の場所は、実際に重機などが動作している状況とは異なり、山間部相当の環境に近い状況と なる。そのため、電波伝搬に影響を与える事象としては、もちろん建築物や重機の影響も想 定されるが、通信エリア周辺の丘陵や、周辺の植生から受ける影響のほうが強いと考えられ る。特にトンネル出入り口付近は、複数方向が斜面に囲まれる状況となるため、周辺斜面か らの反射の影響を強く受ける可能性が高い。このような状況は、S、すなわち、現在の計算 式では市街地、郊外地および開放地に対してそれぞれ定義されている値に関して、本実証環 境では、それらには含まれないものと考えられ、郊外地と開放値の中間に値をとる補正項が 必要になることが予想される。また、K、すなわち、地形情報データ以外の影響に対して算 入する補正項に関しても、周辺斜面から反射波を受信できる一方で、植生の影響を受けるこ とを考慮すると、基準値となる0dBよりは小さな値、すなわち伝搬損失を大きくする補正 が必要となることが予想される。

作業現場近傍のカメラ設置個所を対象とする通信エリアに関しては、上記通信エリアと 異なり、実際に電波が工事作業現場を伝搬することになる。そのため、周辺の丘陵や植生の 影響は受けるものの、建築物や重機の形状等に、伝搬環境は大きく影響を受けるものと考え られる。このような状況は、S、すなわち、現在の計算式では市街地、郊外地および開放地 に対してそれぞれ定義されている値に関して、先と同様にそれらには含まれないものと考 えられ、実際に比較的大きな構造物が存在することを考えると、市街地の補正項に近い値が 必要となる可能性がある。なお、K、すなわち、地形情報データ以外の影響に対して算入す る補正項に関しては、周辺丘陵の影響を受ける一方で、建築物や重機などによる遮蔽が発生 することを考慮すると、基準値となる 0 dB より若干小さな値、すなわち伝搬損失を若干大 きくする補正が必要となることが予想される。



出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料 図 2-32 測定ポイント

本実証試験では、KとSという2つの精緻化を進める計画である。評価にあたっては、 はじめに、斜面の影響が大きいことが想定されるKの精緻化から進める。このとき、Sの 精緻化に影響を与える可能性が高い、エリア内の建築物および重機の占有率が同じ状況で 測定した電界強度などのデータから、Kの精緻化を行う。本実証試験では、作業現場全体を 俯瞰するカメラ設置個所を対象とする通信エリアと、作業現場近傍のカメラ設置個所を対 象とする通信エリアの2か所において、主にカバーエリア内の実測を行う。前者は、斜面近 傍となる一方で、後者は、比較的斜面の影響が小さいことが予想される。両者の測定結果を 用いることで、Kに影響を与えると考えられる斜面の影響を解析・検討を行うことが可能で ある。Kの値を算出したのち、Sの精緻化を行う。Sの精緻化にあたっては、すでに算出し たKの値を前提に検討を進める。

なお、Kの条件を特徴づけると考えられる、カバーエリア内トンネル入口上部の法面部分 および北西方向の山体斜面は、いずれも約45°の急勾配となっている。

### 1) K の精緻化

今回実証環境においては、Kの精緻化は以下に整理される。当初想定していた斜面の影響 は本実証試験環境では大きな影響を与えることはなく、重機や植生等による影響が支配的 となった。

影響要因	条件	K [dB]
重機・植生	測定点周辺に散在する状況	-8

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

#### 2) Sの精緻化

今回実証環境においては、Sの精緻化は以下に整理される。当初想定していたトンネル出入り口付近の斜面等の影響は、本試験環境では大きな影響を与えることはなく、開放地として設定された値でも十分に模擬できることがわかった。

影響要因	条件	S [dB]
開放地	周辺は郊外地と考えられる地方都市の環境であっても、 基地局アンテナ高や移動局位置が重機・植生等の遮蔽物	32.5
	よりも比較的高い位置に設置される場合	

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

#### 3) 本試験環境特有の条件

建設現場のような重機・建造物等の遮蔽物の影響が想定される環境であったとしても、基 地局アンテナ位置や移動局位置の標高が高く、見通し環境が担保されるような状況の場合、 100m 以上の伝搬距離においても、伝搬損失を小さくするような K の補正を行うことが想 定され、また自由伝搬損失の伝搬式によって、受信電界強度を見積もることも有効であると 考えられる。

影響要因	条件	K [dB]
標高	基地局アンテナ位置や移動局位置が、遮蔽物よりも十分 に高い位置にある場合	13

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

また、本実証試験環境のように、通信エリア外の周辺地域よりも、通信エリア自体の標高 が高い場合、特に 500m を超える遠方地域に対しては、標高差によって生ずるハイトゲイ ンを想定して S の補正を行うことが必要と考えられ、これは建設現場特有ではなく、屋外 でのローカル 5G 通信エリアの構築においては、常に考慮すべき項目になり得ると考えられ る。

影響要因	条件	S [dB]
標高	通信エリアと通信エリア外(離隔距離 500m 以上)にお いて、標高差が 30m 以上ある場合	57.1

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

#### (5) No.16 市街地道路/試験路

No.16 の実証のユースケースでは屋外に基地局を設置していることから、審査基準の電 波伝搬モデルにおいては、パラメータ K および S を精緻化することを実証目標とした。





(a) CRANTS 試験路出所)実証コンソーシアム No. 16 提供資料

(b) 上毛電鉄中央前橋駅周辺

### 図 2-33 実証風景

#### Kの実証仮説

水面において電波は大地に吸収されず反射をするため、路面に比べ伝搬距離が伸びるこ とが想定される。このため、水面に近接した場所と水面に近接していない場所において受信 電力を測定した結果では、水面に近接した場所の方が、伝搬距離が伸びることで想定される。

このため、カバーエリア内または調整対象区域に水面が存在する場合、カバーエリア内または調整対象区域のエリアを過少に算出してしまう可能性がある。この水面の影響による 受信電力の変動を検証する。

Kの具体的な値としては K=6 を仮説値とする。これは、下記 2 点直接波と水面を反射した反射波が同相で合成され受信した場合に受信電力が最大 6dB 向上するためである。

本実証環境での測定から導出した各補正値ついて報告を行う。

[補正値 K について]

・水路が位置する場合、その水路の幅が 10m 未満の場合(本実証環境)は水路による影響は 軽微であり、Kによる補正は不要(K=0)が妥当と考える。

### (6) No.23 富士山六合目等

富士山のような急峻な山岳地域においてはフレネルゾーンの確保が容易ではない。ロー カル 5G で使用する 4.8GHz 帯におけるフレネル半径は今回実証で想定される最大距離約 1000m の距離の場合で約 3.9m と決して大きくないものの、電波法関係審査基準に記載の 電波伝搬モデルでは考慮されない地形の傾きが大きいこと、山頂に近くなるにつれて特に 水平方向での見通しが利かなくなり山影となること、また強風などの環境への配慮から十 分にアンテナ高を上げられないことにより、フレネルゾーンをクリアに確保できないこと
から電波法関係審査基準に記載の電波伝搬モデルよりもカバーエリアおよび調整対象区域 が小さくなると推定され、今後実用化された際に実際の置局を行った際のエリアシミュレ ーション(机上設計)と実測値の差異が発生する可能性がある。同一のエリアで複数の主体が 免許を申請し運用を検討する場合などに実際よりも大きな調整対象区域となることで無駄 な干渉調整が必要となることや、予定したカバーエリアが実際にはカバーされていないこ とでシステム変更などの追加コストが発生し普及の妨げになることも想定されるため、エ リア設計の精緻化が求められる。



#### (a) 6 合目

(b) 4 合目

出所)実証コンソーシアム No. 23 提供資料

#### 図 2-34 測定対象箇所

精緻化は下記の手順で実施した。

- ア、 対象エリアから地形等のファクターを分析し、精緻化エリアを分割する
- イ、 対象の測定点において実測値と算出式の伝搬損失を比較する
- ウ、 最小二乗法により精緻化を行う
- エ、 標準偏差により精緻化の有効性を確認する

表 2-26 に実測値から求めた K をまとめた。6 合目の環境においては森林限界を超えてお り、ほぼ植生の影響がなく地形の影響により K が標準の値と異なると考えられる。また、 傾斜があるため測定点と基地局の間が NLOS になる、又はフレネルゾーンが確保できなか ったことも測定結果にばらつきが出た要因と考えられる。4 合目については森林限界よりも 標高が低いため、森林区域においては影響があると思われるが、今回の実証においては安全 上の理由により森林区域への侵入が不可であったため、主として傾斜角の影響が K にもた らす影響の要因となると考えられる。なお、斜面の上り下りに関わらず、K は 0 より大き くなることが実証の結果判明した。

番号	エリア	上り/下り	傾斜角	精緻化K	前)精績 RM	<b>致化(後</b> 1SE
01	6合目 傾斜上側	上り	16.94	9.404	11.21	9.87
02	6合目 傾斜下側	下り	-8.03	12.313	15.29	11.84
03	4合目 傾斜上側	上り	2.33	17.958	18.10	2.00
04	4合目 傾斜下側	下り	-9.01	10.205	9.42	5.50

表 2-26 精緻化の結果

出所)実証コンソーシアム No. 23 提供資料

# 2.3.2.4 パラメータ Kの測定結果まとめと考察

(1)グループ化

各実証環境における特徴的な地形に着目して、類似の地形環境によりグループ化を行い、 それぞれのグループに対して、各実証の測定結果をまとめて評価することにより、Kの精緻 化を行った。

表 2-27 にグループ化の結果を示す。

	グループの特徴	対象となる実証
K-1	斜面の影響	No.04:林業の山間部の斜面の影響
		No.15:高速道路地上の周辺斜面の影響
		No.23:富士山六合目等のような急峻な山岳地域の影響
K-2	水面の影響	No.10:港湾のような遮蔽物が少ない海上の影響
		No.11:コンテナヤードにおける隣接埠頭までの海上の影響
		No.16:市街地道路付近の水路の影響

表 2-27 K 精緻化のためのグループ

精緻化は、各実証より提供された審査基準の算出式による計算値と対応する測定値の中 央値から、最小二乗法により K として最適な推定値を求めた。 (2) グループ K-1

4.7GHz 帯を利用する斜面の影響に分類される3 実証を対象として、K-1 グループにおけるKの精緻化を検討した。結果をまとめたものを2-35 に示す。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

2-35 グループ K-1 (斜面の影響)の測定結果

このデータより以下が得られた。

グループ K-1	精緻化
最適な推定値 [dB]	9.8
標準偏差	9.9

No.04-1、No.15-1、No.23-1、No.23-3 が上り、No.23-4 が下り斜面での測定結果である。 下りと上りでは異なった補正値となることが予想されたが、2-35 に見られるように、異な った傾向は得られていない。

今回、上り勾配、下り勾配で補正の傾向に差がみられないことから、ローカル 5G におい て斜面の影響をパラメータ K で補正する可能性については確証が得られなかった。必要に 応じて、更なる研究が望まれる。 (3) グループ K-2

4.7GHz帯を利用する水面の影響に分類される3実証を対象として、K-2グループにおけるKの精緻化を検討した。結果をまとめたものを図2-36に示す。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

図 2-36 グループ K-2 (水面の影響)の測定結果

このデータより以下が得られた。

グループ K-2	精緻化
最適な推定値 [dB]	4.0
標準偏差	13.0

水面の影響という分類でとりまとめて評価した場合においては、推定値は 4.0dB となった。審査基準の算出式により計算された受信電力値が低いところで、この計算値より測定された受信電力が大きくなる傾向が見られた。

実証 No.16 は幅の狭い水路の影響の実証であったが、影響は見られない結果となった。 No.10 は海上で見通しの良い環境であり、ある距離からは、拡張秦式より自由空間伝搬によ る受信電力の推定が測定値とよく一致する結果となっている。 今回の実証からは、水面の影響を K によって補正することが適切という結果は得られな かった。しかし、対象とする環境において、自由空間伝搬が見込める場合には、伝搬損失を 自由空間伝搬の算出式を適用するか、カバーエリア端、調整対象区域端での推定精度を向上 するために K による補正が考えられる。

#### 2.3.3 Sの精緻化

## 2.3.3.1 パラメータSの精緻化の概要

審査基準では、パラメータ S は市街地、郊外地および開放地に対する補正値であり、そ れぞれ適用する値が定められている。算出式から、4.7GHz 帯において基地局との距離が 100m 以上の場合に S による補正が適用される。

電波伝搬ハンドブックによれば、パラメータSという地形、地物による分類が、市街地、 郊外地および開放地という非常に大雑把なものであり、分類の基準が明確ではないとされ ており、建物の密度(建物占有面積率)をパラメータとして、市街地から郊外地までを連続的 にカバーし得る補正値が求められたとある。

表 2-28 にアウトプットイメージを示す。分類の基準の不明確さに対応して、影響要因と Sの値は変更せず、追加すべき影響要因の条件記載や既存の説明を明確化する記載の充実を 主とし、その記述の環境における最適な S(例えば市街地と郊外地の中間的な値)についても 算出する。また、精緻化の方向性についても検討する。

影響要因	条件	K[dB]
古谷村	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
印油地	周辺は郊外地であるが、プラントやクレーンなどが林立する 工場地帯	0
	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)	
郊外地	樹木が面積比 xx%を占める場所	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
	周辺は郊外地であるが、エリア内に障害物がなく開けている 場所	

## 表 2-28 パラメータ Sのアウトプットイメージ

## 2.3.3.2 対象となる実証事業

Sの精緻化を実行する実証事業を表 2-29 に示す。

実証 No	実証場所	伝搬路概況	着目点	備考
No. 01	ぶどう畑	圃場で樹木あり	周辺樹木の影響	
No. 04	林業	山間部の杉林		
No. 15	高速道路工事現場	植生,建築物,重機あり		
No. 06	都市ガス工場	ガスタンク等による高	周辺の建物,建造	
		反射環境	物による遮蔽/反射	
No. 07	工場	住宅街で周辺建物あり		
No. 09	空港エプロン	道路周辺の建造物		
No. 11	コンテナヤード	コンテナ等による遮蔽		
		/反射		
No. 16	交通	道路周辺の建造物/		
		遮蔽物		
No. 18	スマートシティ	キャンパス内の建造物		
		/遮蔽物		
No. 02	牛舎	牛舎周辺の農地	半屋内環境	
No. 12	地上駅	都市部半屋内環境		
No. 24	ケーブルテレビ	市街地の集合住宅	市街地での UE 所在	他実証とのまとめ
			階数差	は困難

表 2-29 パラメータSの実証事業

#### (1) No.01 ぶどう畑

果樹の植生や周囲の密生した樹木による電波伝搬への影響を検討することとしていたが、 各パラメータの分類の整理の結果、植生や樹木の影響は「S」に含まれることとなったため、 パラメータSについて精緻化の検討を行った。

本実証エリアでは傾斜や果樹などの植生があるが、その中でも最も電波伝搬に影響を与 えるのは圃場周囲の樹木によるものと考えた。令和2年度地域課題解決型ローカル5G等 の実現に向けた開発実証における「自動トラクター等の農機の遠隔監視制御による自動運 転等の実現」では防風林による遮蔽影響を測定したが、防風林の有無によって25dB以上の 差分が生じた。令和2年度の実証は冬季期間に行っており、落葉している樹木も多かった 中でもこれだけの遮蔽影響があり、本実証においても影響の度合いは大きいと考えた。そ こで、仮説としてはITU-R P.833-3 「Attenuation in vegetation」を参考にして検討した。 ITU-R P.833-3 では樹木の茂る範囲、葉の有無によってパラメータを変えている。

本実証ではこの算出式を参考とし、圃場 2 の環境について以下の仮説を立てた。圃場 2 の中心にある樹木の範囲を 70m とし、樹木の葉がある状態で 42.3dB、葉がない状態で 37.1dB の電波減衰が発生すると仮定した。



(a) ローカル 5G 基地局 A



(b) ローカル 5G 基地局 B
 出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料
 図 2-37 測定ポイント

圃場1において、S=39.1の条件は、下記のとおりである。
条件1:植生等の妨害の有無に関係なく、基地局から170m以内であること
条件2:植生が無く、基地局が視認できる地域で100m~200m以内であること
上記の条件をまとめることにより、S=39.1を適用する場合の条件は下記を提案する。
「基地局が視認できる 200m 以内の畑地・田地・野原等、もしくは樹木等の妨害があり
基地局が視認できない170m以内の畑地・田地・野原等」

圃場2において、S=28.6の条件を確認すると、下記が条件であることが言える。条件1:NLOSであること

条件 2: 植生が 9m 以上あること

条件3:基地局と対象地点の間の樹木エリアの距離が10m以上あること

条件4: 有効範囲は基地局からの距離が 100m~400m であること

上記の条件をまとめることにより、S=28.6を適用する場合の条件は下記を提案する。

「基地局が樹木などで妨害され NLOS になるような地域で、目安として基地局からの距離が 100m~400m 以内で高さ 9m 以上の植生が距離 10m 以上ある畑地・田畑・野原等」

以上のことから、当該環境に適用するSを既存の審査基準(①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);S=0.0 ②郊外地(樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など陸上移動局近傍に障害物は あるが密集していない地域);S=12.3 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); S=32.5) より選出すると、開放地; S=32.5 とするべきである。しかし ながら、基地局 A、B において精緻化後の S を用いた算出値と実測値について、全体的な 差分は小さくなったものの、ポイントによっては 10dB 以上の差があった。また、同じ中 山間地域に設置した基地局 A、B の精緻化後のパラメータについても 10dB 以上の差があ った。これらのことから、中山間地域においては各ポイントの地形的条件や環境条件がそ れぞれ異なるため、1 つの基地局に一概に決められたパラメータ S を使用しても実測値と 乖離が生じてしまうということが考えられる。しかしながら、本項で示した方法により S を求めることで算出値と実測値の乖離が小さくなった箇所もあったことから、中山間地域 におけるローカル 5G システム導入前のシミュレーションを改善するためには、様々な中 山間地域において地形的条件や環境条件でより細かくエリアを分類し、条件にあったパラ メータSを求める必要があると考えられる。

測定 No.	測定 地点数	精緻化値 [dB]	精緻化対象パラメータに関する情報 (条件を示す定量的な情報)
01	24	39.1	基地局が視認できる 200m 以内の畑地・田地・野原等、もしくは樹木等の 妨害があり基地局が視認できない 170m 以内の畑地・田地・野原等
02	24	28.6	基地局が樹木などで妨害され NLOS になるような地域で、目安として基地局からの距離が 100m~400m 以内で高さ 9m 以上の植生が距離 10m 以上ある畑地・田畑・野原等

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

### (2) No.02 牛舎

No.02の実証については、2.3.1.3 (1)において説明した。

### 建物占有面積率の算出

S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、調整対 象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 2-38 に対象となる範囲及び建物、 樹木を示す。

図 2-38 に示す対象範囲を分母とした、建物占有面積率を表 2-30 に示す。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 2-38 S 精緻化範囲および対象建物等

表 2	2-30	実証環境における	る建物	占有面積率
-----	------	----------	-----	-------

対象範囲	建物占有面積 (m²)	樹木占有面積(m²)	対象範囲面積(m²)	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

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

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。

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%≦α: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 2-31)。

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	0
	い樹木の混合地域など(既存)	
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	12.3
	はあるが密集していない地域(既存)	
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	32.5
	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)	
	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%	

表 2-31 実証環境における S

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

#### (3) No.04 林業

No.04の実証については、2.3.2.3 (1) において説明した。

本実証の地域においては傾斜のある地域であり、また林業を営む地域である。そのため K においては傾斜や川の影響が大きいことが考えられる、S についてはルーラルエリアではあるが、樹木の影響により郊外地と市街地の両側面がありそのどちらの特性に近いかを評価する必要がある。

実証の結果として、Sは郊外地(12.3)が妥当と思われる。

表 2-23 実証で算出された K、S(再掲)

番号	エリア	上り/下り	傾斜角	S	精緻化K	RMSE前	RMSE後
01	南側	上り勾配	11.14	12.3	-1.239	10.14	10.06
02	北東側	上り勾配	7.18	12.3	8.299	8.36	4.05

出所)実証コンソーシアム No.04 提供資料

#### (4) No.06 都市ガス工場

No.06 の実証では、敷地内に金属構造物が多数存在する郊外環境に着目し、パラメータ S を精緻化の対象として選択した。S は基地局からの距離が 100m 以上の地点に対して定 義されている。廿日市工場の敷地は横 240m、縦 150m の広さであるため、自己土地の一 部と他者土地を S による補正の対象とした。自己土地と他者土地での電波伝搬が大きく異 なることが想定される本実証環境で、S の選択基準の妥当性の検証を行った。更に、パラ メータ S に加えて、自己土地内の大型の金属構造物による反射が他者土地に及ぼす干渉影 響を評価検証した。

精緻化の対象として選択したパラメータ S と、自己土地による反射が他者土地に及ぼす 干渉影響について、実証する仮説設定を以下に示す。

- 仮説①:「周辺環境ではなく、自己土地内の伝搬環境に基づいてパラメータSを選択 する方が実測との差分が小さい」
- ・ 仮説②: 「RU 近傍での反射による他者土地への干渉漏洩は、現行のエリア算出式で

は表現困難」

仮説①の検証結果

自己土地内に大型の金属構造物が多数存在する廿日市工場の伝搬は、巨視的には市街地 相当のSの値が妥当ではないかという仮説を基に検証を行った。

パラメータ S は当初、敷地内に存在する大型の金属構造物やパイプ群が遮へい方向に働き、伝搬損失が大きくなる市街地(S≒0[dB])と想定していたが、廿日市工場内ではトンネル効果など強い反射波が得られやすく、開放地(S=32.5[dB]以上の補正が必要な伝搬環境であることが分かった。

つまり、廿日市工場のように RU の近傍 100m 以内に大型の金属構造物といった高反射 物が多数存在する環境では、現行のエリア算出法が基づく拡張秦式のある程度一様な伝搬 環境ではなく、自己土地内の伝搬環境に基づいてパラメータ S を選択する方が実測との差 分が小さいという仮説とおりの結果となった。

仮説2の検証結果

仮説②の検証として、RU 近傍に大型金属構造物が存在しないエリア付近の他者土地で の受信電力を比較し、自己土地内の反射による他者土地への干渉影響の仮説妥当性の確認 を行った。

ただし、廿日市工場敷地内の各 RU の近傍には大型金属構造物が存在しているため、比 較対象とすべき「RU 近傍に大型金属構造物が存在しない他者土地」が存在しない。

RU1: 前方正面に LPG タンク(高さ 17m)が存在する

RU2:前方正面に多数の金属構造物が存在する

RU3:前方右側にLPG 貯槽(高さ13m)が存在する

測定点 A、B、C、D における受信電力の実測値、エリア算出式による算出値およびそれ らの差分、RU からの距離の比較を表 2-32 に示す。

各測定点におけるエリア算出式による値と実測値を比較すると、測定点 A がほぼ差分が 無いのに対し、測定点 B、C、D について、いずれも 10~17dB 程度実測値の方が高い結果 を測定した。

これは測定点 B、C、D において、各 RU 正面付近の大型構造物による反射の影響を受けているものと考えられる。

仮説のとおり、自己土地内の RU から自己土地中心方向に照射されて電波が RU 近傍の 大型構造物に反射され、隣接する他者土地においてエリア算出法で見積もった直接波より も高い受信電力が観測できた。

この結果により、仮説②の検証の結果として仮説で考えたとおりに敷地内の RU 近傍に 存在する大型金属構造物による反射の影響を受け、隣接する他者土地における調整対象区 域のエッジ位置が伸長することが確認できたものと考える。

	近傍RU	RU正面付近の大 型金属構造物	エリア算 出式値	実測値	差分	RUからの2次元 距離
測定点A	RU1	-	-93.6	-93.3	-0.3	4.9m
測定点B	RU3	LNG貯槽	-108.4	-93.6	-14.8	27.1m
測定点C	RU1	LNGタンク	-120.3	-103.3	-17.0	60.8m
測定点D	RU2	金属パイプ群	-121.4	-111.2	-10.2	56.5m

### 表 2-32 各測定点における値の比較

出所)実証コンソーシアム No.06 提供資料

### (5) No.07 工場

No.07の実証については、2.3.1.3 (4) において説明した。

【測定1】800m以内と【測定2】北東方向800m以上の2つの測定を実施し、それぞれの測定についてSの精緻化を実施することとした。伝搬特性の測定で北東方向にはかなりの距離まで電波が飛んでいるようだったので、北東方向の800m以上の地点とそれ以外の住宅地の地点では結果に違いが出るのではないかと考え、測定を分けることとした。 各測定における測定点の位置を図2-39に示す。



c\*: ●カバーエリア端(-119dBm±3dB) t\*: ●調整対象区域端(-126dBm ±3dB)

出所)実証コンソーシアム No.07 提供資料

## 図 2-39 測定点の位置

最小二乗法による精緻化の結果、推定されたSの値を表 2-33 に示す。

測定	影響要因	条件	S [dB]
1	市街地	基地局から 800m 以内で 2 階建て程度の家屋が密集するエリア たまに 5 階建て程度のマンション等が散在する地域	10.2
		建物占有面積率 22.7% 平均建物高 6.61m	
2	市街地	基地局から 800m 以内は 2 階建て程度の家屋が集中するが、それ以遠は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	16.5
		建物占有面積率 7.7% 平均建物高 6.55m	

表 2-33 推定された S

出所)実証コンソーシアム No.07 提供資料

精緻化の結果、推定される S は【測定 1】では S=10.2、【測定 2】では S=16.5 となった。

【測定1】のエリアは2階建て程度の家屋が集中するエリアだが、市街地の場合に選択する S=0 よりも大きな値となり、S=12.3 である郊外地の値に近くなった。市街地ではあるが、この程度の建物密集度合いでは郊外地に近い S を使用したほうが実測とよく合うようである。

【測定 2】のエリアは建物など電波を遮るものがほとんどないエリアで、推定された S の 値は郊外地の S よりもさらに大きな値であり、開放地に近づく値となった。途中までは住 宅が密集しているため完全な開放地の値までにはならなかったものと考えられる。

#### (6) No.09 空港エプロン

No.09 の実証では、4.7GHz 帯における空港内構造物(妨害物)や、周辺の設備の高さや面積を示すパラメータである S について精緻化を行った。本来、S については、屋外に設置した基地局より発射した電波が地物(建物、閉空間スペース、周辺の高さのある設備等)の影響を受け、どの程度減衰した状態で到達しているかを示すパラメータである。このため、本実証環境にてボーディングブリッジ柱へ各基地局を設置し、走行エリア周辺で測定を行うことを考慮すると、建物屋外と屋内や閉空間スペースの屋外と半屋外での測定点データの差分を求めた上で、郊外地「S」と導き出される「追加補正値」を考慮した結果になることも視野に入れ、考察を行った。



出所)実証コンソーシアム No.09 提供資料 2-40 エリア算出法によるカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント

### 1) 考察

エリア算出法での閾値と各測定ポイントでの実測値に乖離が生じた理由について、下記 観点において考察を行った。

## a)空港特有な伝搬環境に関する整理

空港特有な伝搬環境について次のような整理を行った。

- 地面は平面に整地されて、アスファルト等で整え凹凸を抑えている。高低差がない。
- 周囲の建物は、鉄筋コンクリート等による頑強な構造が中心。一部、荷物や乗客の 出入りのための半建物状な部分が多い。
- 空港内の飛行機、作業用車両、バス等が活動するエリアと、外側の空港外の道路等 との間に広い緩衝スペースがある。

### b) 審査基準のエリア算出式に基づくシミュレーションと実測データの差分分析

電波伝搬特性の測定結果に基づく伝搬特性の特徴を勘案し、次のような要因を考えた。 <u>見通し内伝搬について</u>

基地局が目視できるような環境であり、加えて、滑走路から続くエプロンエリア中心で

あり、平滑にアスファルトで整備された空間が続く。このため、電波は直接波を中心に、 地上からの反射波や一部周囲の建物や乗り物、構造物等での反射の合成波となる。見通し 内の直接波が中心であり、伝搬損失も自由空間損失の値に近くなったと想定できる。

## 【100m 以内の近傍環境(LOS 環境)】

100m 近傍までは、実証環境の関係から、周囲に鉄柱やボーディング用の移動階段など が多数あり、これらによる遮蔽や反射・散乱でデータが影響したと想定する。また、測定 ポイントよっては、基地局のサイドローブを使った測定となり、受信レベルのバラツキが 大きくなったと考えられる。

#### 【150m 以遠の環境(LOS 環境)】

150m 以遠の測定ポイントでは、直接波と反射波との経路差も小さくなると想定され、伝搬損失(パスロス)の計算値も安定して収束していると考えられる。

#### 見通し外伝搬について

【100m 以下の近傍域 (NLOS 環境)】

100m までの近傍域(NLOS 環境「半屋外」が中心)では、比較的近距離で、近辺の柱や アスファルトの反射波が想定され、直接波と反射波の経路差が大きいと想定できる。測定 誤差を含め結果的に 20dB 程度のバラツキが出たと考えられる。

【100m~150m 以下の中距離域(NLOS 環境)】

100m~150m 程度の中距離域(NLOS 環境「半屋外」、「建物遮蔽」)では建物の占有と その他の空間の割合を考慮して、中程度(2~10%)以下の障害物が存在するケースと考え られる。半屋外、建物遮蔽が伝搬特性を支配する割合は低く、また、反射波についても、 経路差の影響も近傍域よりは少なくなると想定し、「郊外地」よりも 20dB 程度減衰量が削 減し、自由空間損失の特性に近似していると考えられる。

【200m 以遠の長距離域 (NLOS 環境)】

200m 程度以遠の長距離域(NLOS「建物遮蔽」が中心)においては、「空港特有の整地 されたアスファルト面の空間」と、「空港と外部の緩衝エリアや様々な建物のある空間」そ れぞれの空間の割合が、全体の伝搬特性を左右すると考えられる。空港特有の伝搬特性の 区間(滑走路やエプロンエリアなど平坦な場所)が多い場合は、自由空間損失の特性に近似 する一方、緩衝エリアや一般市街地等の割合が多くなると、本実証のローカル 5G では、 アンテナが 4m 程度と低いため、建物等の遮蔽を受けやすくなり、「郊外地」などのエリア 算出式における当該地区の伝搬特性により近づくと考えられる。

#### c)精緻化に関する提案

•

本事象環境では、次の値の場合に RMSE が最小となることがわかった。

- LOS 環境 S=45.4(=自由空間損失)
- ・ NLOS 環境(半屋外) S=40
- ・ NLOS 環境(建物遮蔽) S=35

#### (7) No.11 コンテナヤード

No.11の実証については、2.3.2.3 (3)において説明した。

S の算出としては、全ての測定標本データのうち、DICT(Dream Island Container Terminal.)管理棟屋上設置の基地局アンテナから陸続きの 3D 距離で 495.25m 離れた測定 ポイントから、同様に 3D 距離で 1348.54m 離れたカバーエリア端の測定ポイントまで、 かつ基地局アンテナに対して見通しとなる 15 カ所の測定ポイントにおける測定データの統計処理により、S = 56.24 [dB]が求められた。

### (8) No.12 地上駅ホーム

No.12の実証については、2.3.1.3 (6) において説明した。

Sに関する仮説としては、次のように考えられる。図 2-41 は、東横線の上りホーム端に 設置した RU を例に、RU からの距離が 100m 以上の様子を示しており、自己土地(ホーム) の一部と他者土地が含まれる。自由が丘駅は都市部の平地に存在し、駅周辺は 2 階建て以 上の建物が密集しているため、現行のエリア算出法の定義によると S の値は市街地の 0 が 妥当と考えられる。しかしながら、自己土地であるホームの長手方向は線路に沿って障害 物が少ないため、準市街地~郊外地相当の伝搬特性を示す可能性がある。そこで、ホーム の長手方向とそれ以外では異なる S の値を取るという仮説を設定し、長手方向は 0<S≦ 12.5 [dB]、それ以外の方向は S≒0 [dB]で近似できるかを実測により検証することにする。



図 2-41 伝搬方向によるパラメータSの違い(東横線を例とした仮説)

出所)実証コンソーシアム No.12 提供資料

本実証によって得られた各パラメータの値をエリア算出式で使用するにあたり、各エリ

アに対するパラメータ S の平均値を求めることにより、表 2-34 に整理した。ここで、パ ターンとは停車列車のパターンを示し、列車の影響が全くないパターン 1、列車による反 射で他者土地への漏洩電波が増加する可能性のあるパターン 2、他者土地への漏洩電波を 抑制する効果が期待できるパターン3となっている。

	S			
	パターン1	パターン 2	パターン 3	
ホーム長手方向	36.9	25.6	34. 4	
それ以外	23.0	22.7	16.7	

表 2-34 パラメータS

出所)実証コンソーシアム No.12 提供資料

精緻化後のパラメータSを算出式に適用することにより実測値に近い値が得られた。

## (9) No.15 高速道路地上

No.15の実証については、2.3.2.3 (4) において説明した。

この実証環境においては、Sの精緻化は以下に整理される。当初想定していたトンネル出入り口付近の斜面等の影響は、本試験環境では大きな影響を与えることはなく、開放地として設定された値でも十分に模擬できることがわかった。

影響要因	条件	S [dB]
開放地	周辺は郊外地と考えられる地方都市の環境であっても、	32.5
	基地局アンテナ高や移動局位置が重機・植生等の遮蔽物	
	よりも比較的高い位置に設置される場合	

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

#### (10) No.16 市街地道路/試験路

No.16の実証については、2.3.2.3 (5)において説明した。

Sの実証仮説

ユースケースにおいては、基地局周辺は見通しの良いエリアであるものの、基地局から数 10m 離れると建造物など遮蔽が存在する場合がある。

・CRANTS 試験路

基地局近隣(100~200m)は遮蔽物が無く開放地と区分できるが、基地局から 100m~200m 程度離れた地点から樹木や家屋等があり郊外地と区分できる。

このように CRANTS 試験路では開放地(S=32.5)と郊外地(S=12.3)が混在するが、いずれの分類を行ってもエリア端近隣は郊外地となるため、郊外地(S=12.3)を仮説値とする。

·上毛電鉄中央前橋駅周辺

水路(基地局から北西方向)や幅の広い道路(概ね 20m 程度、基地局から南西および北東方

向)と、2 階建て以上の建造物が密集しているエリアが混在しており、一律のS では分類が できない実証環境となる。

このため、水路や幅の広い道路は郊外地(S=12.3)、その他の建造物が密集しているエリアは市街地(S=0.0)とエリアを分けた分類を仮説とする。

[補正値 S について]

- ・部分的に開放地相当の環境があるものの樹木や家屋が散在するエリアは、既存のエリア算 出法で規定されている補正値であれば「開放地」、新たにSを設けるとすると「開放と郊 外の中間補正値」の補正値を適用する。(CRANTS 試験路)
- ・従来「市街地」と分類していた2階以上の建物が密集するエリアにおいても、幅の広い道 路が直線状に存在する場合は「郊外」と区分し、補正値S=12.3を適用する。(上毛電鉄中 央前橋駅周辺)

なお、上記のようにSを補正した場合においても、全体的に伝搬損失が上振れしており、 補正しきれていなかったため、参考として当該内容について追加考察を行う。

エリア算出法では受信電力を下記式で定義されているが、式中の「-8」の項は人体損失 の項であると考えられる。本実証では受信アンテナは台車の上に固定しており、測定におけ る人体損失は生じていない。

このため、各考察で求めた伝搬損失値に対し、人体損失相当の 8dB の損失を除いた値を 求め直すと、近似曲線とエリア算出法の値が近くなっている。このため、ローカル 5G にお けるエリア算出法においては、人体損失の項は想定するシステムにより調整する必要があ ると考察する。具体的には柱等に固定された端末を使用する場合は、人体損失の項を 0 と しエリア算出することが必要と考える。

#### (11) No.18 スマートシティ

拡張秦式における S(dB)の値が本フィールドでは郊外地の値 (12.3dB) に近似するのかに ついて検証を実施した。

電波法関係審査基準の拡張秦式(郊外)で実施したエリアシミュレーションと測定値にて 補正したエリアシミュレーションでは、若干のエリアの違いはあるものの、概ね近似する 結果となった。よって、本実証フィールドでは、拡張秦式の郊外の補正値の S=12.3dB を 適用することが妥当であると考えられる。

拡張秦式(郊外)の伝搬損失算出式にて求められる RSRP の理論値と本項の実測にて求められた値との比較を次図に示す。



出所)実証コンソーシアム No.18 提供資料

# 図 2-42 RSRPの理論値と実測値との比較(精緻化)

拡張秦式(郊外)の伝搬損失算出式にて求められる理論値(人体吸収損を除く)と実測値 を比較した場合、75.0%が±4dB以内の差であった。理論値と比較し-4dB超となる地点は 基地局と移動局の間に大きな遮蔽物があったことを考慮した場合、今回のフィールドでの 受信電力は拡張秦式(郊外)での理論値と概ね相関が取れることが確認された。

## 2.3.3.3 パラメータ Sの測定結果まとめと考察

(1) グループ化

各実証環境における特徴的な地物に着目して、類似の地物の環境によりグループ化を行い、それぞれのグループに対して、各実証の測定結果をまとめて評価することにより、Sの 精緻化を行った。

表 2-35 にグループ化の結果を示す。

	グループの特徴	対象となる実証		
S-1	周辺樹木の影響	No.01:果樹の植生や周囲の密生した樹木による影響		
		No.04:林業の山間部の樹木の影響		
		No.15:高速道路地上の重機・植生等の影響		
S-2	周辺の建物/遮蔽	No.06:敷地内に多数存在する金属構造物の影響		
	物の影響	No.07:工場周辺の住宅建物の影響		
		No.09:空港内の構造物や周辺の設備の影響		
		No.11:コンテナヤードに積まれる数多のコンテナの影響		
		No.16: 樹木や家屋の影響		
		No.18: キャンパス内の建造物/遮蔽物の影響		
S-3	半屋内の影響	No.02:周辺の建物や樹木等の影響		
		No.12: 駅周辺に密集する建物の影響		

表 2-35 S 精緻化のためのグループ

精緻化は、各実証より提供された審査基準の算出式による計算値と対応する測定値の中 央値から、最小二乗法により S として最適な推定値を求めた。

# (2) グループ S-1

4.7GHz帯を利用する周辺樹木の影響に分類される3実証を対象として、S-1グループにおけるSの精緻化を検討した。結果をまとめたものを図2-43に示す。





このデータより以下が得られた。

グループ S-1	精緻化
最適な推定値 [dB]	21.6
標準偏差	15.9

周辺樹木の影響という分類でとりまとめて評価した場合においては、推定値は21.6dBとなった。市街地と開放地の中間であり、測定値のばらつきを考慮すると、審査基準の「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)」のS(12.3)によって受信電力を推定することが可能と思われる。

## (3) グループ S-2

4.7GHz帯を利用する周辺の建物/遮蔽物の影響に分類される6実証を対象として、S-2グループにおけるSの精緻化を検討した。結果をまとめたものを図2-44に示す。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成 図 2-44 グループ S-2(周辺の建物/遮蔽物の影響)の測定結果

このデータより以下が得られた。

グループ S-2	精緻化
最適な推定値 [dB]	22.9
標準偏差	14.0

周辺の建物/遮蔽物の影響という分類でとりまとめて評価した場合においては、推定値は 22.9dBとなった。周辺に建物/遮蔽物が存在する場合には概ね郊外地を適用した受信電力の 推定が可能と考えられる。ただし、都市ガス工場のような金属構造物が多数存在する場合や 空港エプロンのような環境では、遮蔽物の影響が見られず開放地に近い測定値となったた め、類似と想定される環境について更なる検証が必要である。

## (4) グループ S-3

4.7GHz帯を利用する半屋内の影響に分類される2実証を対象として、S-3グループにおけるSの精緻化を検討した。結果をまとめたものを図2-45に示す。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

# 図 2-45 グループ S-3(半屋内の影響)の測定結果

このデータより以下が得られた。

グループ S-3	精緻化
最適な推定値 [dB]	24.3
標準偏差	12.3

半屋内の影響という分類でとりまとめて評価した場合においては、推定値は 24.3dB と

なった。概ね開放地で推定されると考えられる。ただし、地上駅ホームにおける一部のデ ータ群は郊外地で推定することが適切であると思われ、地上駅ホームのような環境におい ては、電波伝搬環境をどのように分類するかは、更なる調査が必要である。

## (5) グループ化以外のアプローチ

各実証における電波伝搬環境と実証結果の評価から、電波伝搬に影響を与え補正が必要 となる市街地、郊外地、開放地という影響要因とその条件、対応するSを検討した。表 2-36 に結果を示す。この表において赤字で示したものが追加したものである。この追加された影 響要因は、一つの実証から導出されたものであり、追加することの妥当性に関しては、今後 の網羅性を有する研究が必要である。また、条件のみの追加に関しては、算出式を利用する 場合の影響要因の選択のガイドとなることが期待される。

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	0.0
	た高い樹木の混合地域など	
	隣接する建物よりも高いビル屋上に基地局アンテナを設置する場	
	合、建物の2階~5階であって、階ごとの建物占有面積率が10%以	
	上の場所	
市街地 a	基地局から800m以内で2階建て程度の家屋が密集し、たまに5階建	10.2
	て程度のマンション等が散在する地域	
	(建物占有面積率 23%、平均建物高 6.6m)	
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	12.3
	障害物はあるが密集していない地域	
	隣接する建物よりも高いビル屋上に基地局アンテナを設置する場	
	合、建物の2階~5階であって、階ごとの建物占有面積率が2%以	
	上、10%未満の場所	
市街地 b	基地局から800m以内は2階建て程度の家屋が集中するが、それ以遠	16.5
	は高い樹木、建物などの遮蔽物がない開けた地域域	
	(建物占有面積率 8%、平均建物高 6.5m)	
未定 a	部分的に開放地相当の環境であるが樹木や家屋が散在するエリア	22.4
未定 b	基地局が樹木などで妨害され NLOS になるような地域で、目安とし	28.6
	て基地局からの距離が 100m~400m 以内で高さ 9m 以上の植生が距	
	離 10m 以上ある畑地・田畑・野原等	
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	32.5
	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	
	周辺は郊外地と考えられる地方都市の環境であっても、基地局アン	
	テナ高や移動局位置が重機・植生等の遮蔽物よりも比較的高い位置	
	に設置される場合	
	隣接する建物よりも高いビル屋上に基地局アンテナを設置する場	
	合、建物の2階~5階であって、階ごとの建物占有面積率が2%未満	
	の場所	
未定 c	基地局が視認できる 200m 以内の畑地・田地・野原等、もしくは樹	39.1
	木等の妨害があり基地局が視認できない 170m 以内の畑地・田地・	
	野原等	

表 2-36 影響要因、条件と対応する S

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

また、電波伝搬ハンドブック 第2部15章の図15-14から、建物占有面積率と影響要因の関係が以下のとおり読み取れる。

10%≦α :市街地

 $2\% \leq \alpha < 10\%$ :郊外地

*α* < 2% :開放地

ここで、αは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(%)

いくつかの実証において、この基準で影響要因を選択することが妥当との結果が得られ

ているが、建物占有面積率をパラメータとした今後の研究が必要と考えられる。

#### 2.4 まとめ

電波法関係審査基準の算出式によって計算されるカバーエリア、調整対象区域について、 現在の算出法の簡便さは維持しつつ、現実の利用環境に近いモデルとすることを目的とし て、算出式の精緻化を行った。

本報告では、4.7GHz帯の算出式には、R、K、Sという補正項が含まれており、現実の利 用環境を数種類の環境にグループ化し、グループ化された利用環境を代表する値を検討し た。その結果、各パラメータについて以下のことが言える。

パラメータR

- 今回の実証では、同等の材質でも測定のばらつきが多く、材質とその比率で R を推定することはできなかった。
- 0dB または 16.2dB という 2 値以外にも、壁の条件によって、値を設定できる可能性 があることがわかった。
- Rによる補正のための条件、値については、更なる実証が望まれる。

<u>パラメータ K</u>

- 自由空間が想定される場合、カバーエリア端、調整対象区域端は K で補正できる可能性がある。
- 今回の実証では、その他の有効な K が推定される環境はなく、今後、K による補正 が必要な実証環境を特定することは困難と考えられる。

パラメータS

- 今回の実証では、市街地、郊外地、開放地といった影響要因について、新たな要因を 追加できる可能性がある。
- 建物占有率によるSの選択に関しても可能性を示すことができた。
- 上記を実現するには、今後、影響要因とその条件に網羅性を持った研究が必要である。

# 3. 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

### 3.1 概要

電波反射板によるエリア構築の柔軟化に8つの実証が取り組んだ。各実証において、エ リア構築の課題として不感地帯の改善(解消)を挙げ、不感地帯の把握およびその改善効 果をリンクバジェット算出等のシミュレーションで算出し、実測定により算出値との親和 性を含めて改善効果を確認した。また、実証を通じて実施した電波反射板を活用したエリ ア設計の手順をモデル化する他、実証結果を踏まえて電波反射板が有効な条件および有効 でない条件をまとめた。

各実証の伝搬路環境、使用した電波反射板等を表 3-1 に、電波反射板の素材、使用する 周波数帯によるグループ分けを図 3-1 に示す。

4.7GHz 帯の実証の電波反射板は金属板(アルミ)製が使用された。28GHz 帯の電波反射 板は金属板製、メタマテリアル製およびアクティブリフレクタが使用された。このアクテ ィブリフレクタは、唯一反射角が可変(1°単位)できるものであった。(実証 No.14)

宝証		カテ	ゴリー	電波反射板仕様		伝搬路環境	
No.	実証場所	周波数 帯	環境	素材	大きさ	区分	不感地带概況
No.01	ぶどう畑	4.7GHz	屋外	金属板 (アルミ)	2m x 2m	開放 地	森林の影
No.03	苺ハウス	4.7GHz	半屋内	金属板 (アルミ)	1.5m x 1.0m	郊外	指向性アンテナ のサイドにて弱 電界
No.04	林業	4.7GHz	屋外	金属板 (アルミ)	1m x 1m	森林 地帯	森林の影
No.07	工場	4.7GHz	屋内 屋外	金属板 (アルミ)	1m x 1m	都市 部, 郊外	工場の建物の影
No.11	コンテナヤード	4.7GHz	屋外 半屋内	金属板 (アルミ)	2m x 4m	郊外 開放 地	コンテナの影
No.14	高速道路トンネ ル内	28GHz	屋内	アクティブリ フレクタ	0.33mx 0.27m	郊外	トンネル内非常 通路
No.22	市街地道路	$28 \mathrm{GHz}$	屋外	メタマテリア ル	0.4m x 0.4m	郊外	道路上
No.25	救命救急センタ ー	28GHz	屋内	メタマテリア ル 金属板 (アルミ)	0.4m x 0.4m 0.455m x 0.455m	都市 部	屋内の遮蔽物に よる弱電界

表 3-1 実証に使用した電波反射板仕様および伝搬路環境

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成



## 図 3-1 電波反射板の種類と実証とのグループ分け

各実証で使用した無線設備のリソースブロック(RB)数、変調方式及び実証環境周辺の干 渉局の有無につき表 3-2 に示す。

実証 No.	リソースブロック (RB)	変調方式	実証環境周辺の干渉局の有無
No.01	UL:260, DL:200	UL: QPSK、DMCS 未実装	キャリア 5G 局あるも干渉は なし
No.03	UL:260, DL:200	UL: 16QAM, DL: QPSK	干渉局なし
No.04	UL:273, DL:273	最大 256QAM	干渉局なし
No.07	UL:273, DL:273	最大 256QAM	干渉局なし
No.11	DL:273	適応変調方式にて動的に変動	干渉局なし
No.14	UL:66, DL:66	QPSK,16QAM,64QAM (適応変調方式) 64QAM の出現頻度が高かっ た。	干渉局なし
No.22	動的に変動	最大 64QAM	干渉局なし、"IN"に影響を与 える要因は環境雑音が支配的
No.25	動的に変動	最大 64QAM	干渉局なし、"IN"に影響を与 える要因は環境雑音が支配的

表 3-2 無線設備のリソースブロック(RB)数、変調方式及び実証環境周辺の干渉局の有無

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

# 3.2 電波反射板活用事例

# 3.2.1 エリア構築の課題/電波反射板による課題解決方策

各実証の実証環境、技術課題、課題解決方策および実証目標につきその概要を表 3-3 に まとめた。

実証 No.	実証環境	技術的課題	課題解決方策	実証目標
No.01	中山間地域にて密集した樹木がある圃場の作業エリア	密集した樹木等自然の地形によ って圃場等の作業エリアが分断 されている場合は、電波が遮蔽 される可能性がある。	基地局をむやみに増設せず電波 反射板によりエリアの構築を図 る。 RU について指向性のあるセク ターアンテナと組み合わせた場 合に最も受信電力が改善される と考え、これを実証する。	基地局からの直接波よりも電波 反射板を利用したほうが不感地 帯での受信電力(RSRP値)が 改善する。 電波反射板の効率的な活用方法 としてセクターアンテナ(外部 アンテナ)と組み合わせた検証 を行い、本仮説を立証する。
No.03	ビニールハウスを有する農園	ビニールハウス内には複数の栽 培レーンが存在するため、その 影響で電波伝搬損失が大きくな り、不感地帯が発生する可能性 がある。	電波反射板(可搬性、位置変更可 変)により不感地帯を解消する。	実証目標は、電波反射板利用時 の不感地帯での受信電力 (RSRP値)が基地局からの直 接波を上回り、なおかつユース ケースの所要性能を達成するた めの受信電力を上回ること。 ビニールハウスへのエリアカバ ー手法の柔軟化を実現すること を目的とする。
No.04	山岳地帯において、カバーエリ アが散在する。 樹木により直接波が妨げられ る。	4.7GHz 帯の電波は回り込みが 少ない。樹木により直接波が妨 げられる。 バックホール回線が引けない場 所や電源が確保できない場所が ある。	電波反射板を用いて散在するカ バーエリアを少ない基地局でカ バーする。 上空の気球に電波反射板を搭載 し、上空の直接波を活かす伝搬 路を作る。	電波反射板を用い伝搬範囲を拡 大することを目標とする。基地 局無線装置の数を減らし、シス テムの低廉化を図るとともに、 バックホール回線が引けない場 所や電源が確保できない場所に

# 表 3-3 技術的課題と課題解決方策

実証 No.	実証環境	技術的課題	課題解決方策	実証目標
				おいてもローカル 5G のエリア を確保する。
No.07	<ol> <li>①三方を山斜面に囲まれた中の 複数の工場建屋</li> <li>②市街地(住宅地)に囲まれた7</li> <li>つの工場建屋</li> </ol>	建物の遮蔽による弱電スポット や建物の反射が原因となる干渉 によるデータスループットの低 下。	3 次元レイトレース法を活用し 電波反射板の設置位置や角度な どを自由に変えながら柔軟にシ ミュレーションを行い、最適解 を求める。	特定の場所に向けて 5G の電波 を効率的に届けるために必要と なる電波反射板の設置位置、角 度、サイズなどを導出する。 3 次元レイトレース法が、電波 反射板の設置位置の決定にも有 効なツールであることを検証す る。
No.11	コンテナターミナル埠頭用地。 基地局設置高とコンテナの積み 上げ高(最大 12.5m)高との高 低差が少ない。	コンテナ裏は見通しが効かない 「死角」が数多く生まれてしま う。コンテナの積み上げ高は 日々変動するため、死角の大き さも日常的に変わる。 エリア内を隈なく電波カバーす るために基地局の増設や電波出 力の調整をおこなう場合は、設 置コストや隣接エリアとの干渉 調整が必要になる。	事前にラボ検証を実施し電波反 射板に期待する効果の想定値を 定める。 コンテナターミナル内 24 バリ エーション (測定ポイント、角 度、電波反射板有無等)にて、電 波反射板の効果を測定する。	左記の課題(基地局増設等)を生 まない電波拡充の方法として電 波反射板が適応可能か検討す る。
No.14	高速道路のトンネル内。 の反射によって導波管のように 電波が伝わる。	28GHz 帯の電波は直進性が高 くカーブエリア、避難通路等で は不感地帯となりやすい。基地 局の数を増やすとコストが高く なる。	基地局に比べて安価な電波反射 板を活用してカバーエリアを柔 軟に構築する。	不感地帯となる避難連絡坑にお いて、電波反射板を活用して 5G で通信可能なエリアとする

実証 No.	実証環境	技術的課題	課題解決方策	実証目標
No.22	道路の中央分離帯上に置局す る。ミリ波の電波伝搬特性から 基地局アンテナを高い位置に設	アンテナ設置高を高くするエリ ア形成では、他者土地への漏洩 雪力が課題となる	対象エリアを狙う形で電波反射 板を設置し、基地局背面のエリ アカバーを行う	周辺環境により置局条件が制限 される場合、またはアンテナ指 向性外において狙ったエルアを
	置した吹き降ろしによるエリア 形成が有効である。	電力が味らてなる。 信号機付近のエリアは、基地局 放射方向背面のエリア形成が困 難である	7 /3/ 1 / 2 1 ] / 6	向住外において狙りたエッティを カバーする場合においての解決 方策として、電波反射板を活用 するエリア設計の柔軟化につい て示す
No.25	救命救急センター(屋内)に基 地局を設置する。	ミリ波は電波伝搬特性上直進性 が高く、壁面を隔てた端末設置 位置によっては、電波が到達し ないエリアが想定される。 診察室等の壁面、医療機器や什 器等による遮蔽損失、電波反射 板の影響および建物外への電波 漏洩等の把握が課題となる。	対象エリアを狙う形で電波反射 板を設置することで、基地局背 面のエリアカバーを行う。 シミュレーション、机上検討に て不感地帯を確認し電波反射板 の設置位置を決定する。	屋内において複数の壁面構造と なる環境、もしくは医療環境に おける医療機器等の遮蔽物が配 置される環境においてのエリア 構築課題の解決方策として、電 波反射板を活用するエリア設計 の柔軟化について示す。

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

代表的な実証環境を以下に示す。





楽カバーエリアはイメージ団であり、桃田なものではありません

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料 図 3-2 実証環境 実証 No.01(中山間地域)



出所)実証コンソーシアム No.07 提供資料 図 3-3 実証環境 実証 No.07(市街地に囲われた工場建屋)



出所)実証コンソーシアム No.11 提供資料 図 3-4 実証環境 実証 No.11 (コンテナヤード)



出所)実証コンソーシアム No.22 提供資料 図 3-5 実証環境 実証 No.22(道路上)

各実証の改善目標を表 3-4 に示す。改善目標は、各実証のユースケースにおける所要性 能である。

実証 No.	受信電力(RSSI)	スループット	遅延	
No.01	-73.3dBm	UL:63.5Mbps DL:24Mbps	400msec	
No.03	-98.9dBm	UL:100Mbps	30msec	
No.04	-64.8dBm	UL:20Mbps	100msec	
No.07	- (設定無し)	UL:30Mbps $DL:150{\sim}200Mbps$	- (設定無し)	
No.11	- (設定無し)	UL:10Mbps	900msec	
No.14	5dB以上の改善	UL:25Mbps DL:25Mbps	50msec	
No.22	-81.2dBm	UL:50Mbps DL:15Mbps	ー(設定無し)	
No.25	-81.2dBm	UL:195Mbps DL:50Mbps	500msec	

# 表 3-4 改善目標

# 3.2.2 不感地帯の把握

各実証における不感地帯の確認方法としてリンクバジェット算出による方法とシミュレーションによる方法がありその内容を表 3-5 にまとめた。

実証 No.	不感地带確認方法				
	リンクバジェットによる	シミュレーションによる			
No.01	樹木による影響(伝搬損)(ITU-RP.833-3)を37.1dBとし、自由空間伝搬損にてリンクバジェットを算出、通常RU(アンテナ5dBi)で-135.5dBm、RU(セクタアンテナ10dBi)で-127.5dBmの想定受信電力値を算出	電波反射板なしでのシミュレーション(EEM-RTM ツール) に て不感地帯の受信電力値を算出:-92dBm~-128dBm			
No.03	基地局からの直接波を自由空間伝播損にてリンクバジェットを算出、送信アンテナ利得を水平面および垂直面指向性利得減衰とビニールハウス内の栽培レーンによる減衰(-12dB)を折り込み、約-128dBmの想定受信電力値を算出	_			
No.04		【実証環境2:地上設置】電波反射板なしでのシミュレーションにて測定点毎の受信電力値を算出:-85dBm~-166.5dBm カバーエリア閾値は-84.6dBm、調整対象区域閾値は-91dBm			
No.07	_	レイトレースシミュレーションにて不感地帯の受信電力値 (RSRP)を算出したが-80dBm~-100dBm にて不感地帯に該当 せず			

# 表 3-5 不感地帯の確認方法

実証	不感地带確認方法			
No.	リンクバジェットによる	シミュレーションによる		
No.11	コンテナ側面での反射による損失(Lr)を想定し隣接するコンテナ列 間の側面での反射を3回とし反射による減衰の総和を入れて基地局 とコンテナ背面の不感地までの距離による自由空間伝搬損失による リンクバジェット算出を行い不感地帯の想定される受信電力値を算 出	_		
No.14		レイトレースシミュレーションにて避難連絡坑(基地局からの 距離 60m~80m)の受信電力を算出。受信電力想定値が- 100dBm、カバーエリア閾値-81.2dBm より低く、不感地帯と予 測。		
No.22	_	レイトレースシミュレーション(WirelessInSite を使用)にて 弱電界エリア(カバーエリア閾値-81.2dBm 以下)を不感地帯 と予測。		
No.25	_	レイトレースシミュレーション(WirelessInSite を使用)にて 弱電界エリアをカバーエリア閾値-75.2dBm と調整対象区域閾 値-84dBm にて評価。		

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

#### 3.2.3 リンクバジェット算出例/シミュレーション実施例

## (1) リンクバジェット算出例

電波反射板の設置により不感地帯のエリアの受信電力値がどのように改善されるかを確認するために、リンクバジェットの算出は有効である。

リンクバジェットの算出式は下記にて行った。

受信電力値(dBm)=基地局送信電力(dBm)+送信アンテナ利得(dBi)-送信局フィーダー損 失(dB)-電波伝搬損失(基地局-電波反射板間)+電波反射板利得(dBi)-電波伝搬損失(電 波反射板-受信機間)+受信アンテナ利得(dBi)

電波伝搬損失計算は、基地局と電波反射板と受信機間は見通しとなるため、自由空間伝播 損失式にて算出した。

電波反射板利得算出に関しては、3.3.2 章を参照のこと。

実証 No.01,No03 での算出値を表 3-6 と表 3-7 に示す。

表 3-6	リンクバジェッ	ト算出値	(実証 No.01)

測定点 D	RT 項 送信 目 力 (dB	RU	基地局 アンテ ナ利得 (dBi)	自由空間 伝搬損(dB)		電波反射	UE	受信電力(dBm)	
		运信电 力 (dBm)		RU⇔ 電波反 射板	電波反 射板 ⇔UE	板利得 (dBi)	アンデナ 利得 (dBi)	算出値	実測値
18	電波反射板無し	23.00	9.26	9 +(樹木損	1.49 失 37.1*)	ー (無し)	0.4	-95.93 (RSSI) -131.08 (SS- RSRP)	-79.05 (RSSI) -114.95 (SS- RSRP)
	電波反射板あり		9.26	92.43	81.51	68.68		-73.59 (RSSI) -108.74 (SS- RSRP)	-70.58 (RSSI) -105.73 (SS- RSRP)

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料より作成

\*樹木損失 37.1dB は、ITURP.833-3 を参考とし葉がない状態は葉がある状態の 20%減 とし 37.1dB の損失とした。
測	項目	RU 送信電 力 (dBm)	RU */会示 基地局 アンテ		自由空間 伝搬損(dB)		UE アンテ	受信電力(dBm)	
定 点 ID			ナ 利得 (dBi)	RU⇔ 電波反 射板	電波反 射板 ⇔UE	新校 利得 (dBi)	ナ 利得 (dBi)	算出値	実測値
01	電波反射板無し	電波 反射 板 し 5.00 電波 反射 14.6 14.6 14.6 14.6 14.6	14.6	80. (栽培 l 失 11.	.4+ ノーン損 95*)	_ (無し)		-72.35 (RSSI) -107.5 (SS- RSRP)	-87.16 (RSSI) -122.31 (SS- RSRP)
21	電波反射板あり		81.26	64.13	73.70	0.4	-51.69 (RSSI) -86.84 (SS- RSRP)	-79.28 (RSSI) -114.43 (SS- RSRP)	

表 3-7 リンクバジェット算出値(実証 No.03)

出所)実証コンソーシアム No.03 提供資料より作成

\*栽培レーン損失 11.95dB は、事前測定した栽培レーンの上側、下側の電力差の平均値から求めた。

実証 No.01 では冬季期間での実証となったこともあり、樹木による遮蔽影響が想定より 小さく電波反射板による改善エリアに基地局からの電波が到来しており不感地帯とはなっ ていない状況であった。このため、電波反射板設置無しでの受信電力実測値は算出値より 約 15dB 高い値となっていたと考えられる。

実証 No.03 のリンクバジェット算出値と実測値は、電波反射板無しで 15dB 程度、電波 反射板ありで 28dB 程度乖離した。これは、自由空間伝搬損失式により受信電力を算出して いるため、伝送経路上に存在するビニールハウスの被覆材や鋼材、農園設備等により発生 した遮蔽損失が乖離した要因と推測される。

実証 No.03 は、レーダー方程式からも受信電力を算出した。この手法においても上記リン クバジェットによる算出結果と同様の結果が得られることがわかった。

(2) シミュレーション実施

1) シミュレーションツール EEM-RTM によるシミュレーション(実証 No.01)

シミュレーションツールは EEM-RTM を使用し下記パラメータを入力した。

電波反射板の大きさ(0.98m x 0.98m)、電波反射板利得(68.7dBi)、電波反射板効率(0.85 倍)、電波反射板高(5m) 山間部の樹木の影にある不感地帯の想定を下図に示す。想定される不感地帯は樹木の影にて ITU-R P.833-3 を参考に損失値(37.1dB)を算出した。



出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料 図 3-6 不感地帯想定

不感地帯の受信電力のシミュレーションを図 3-7 に示す。

受信電力の青色はカバーエリアのレベル、赤色は調整対象区域のレベルを示す。また濃い 灰色は樹木のエリアを示す。青色で示されるカバーエリアの受信電力(RSSI)は-84.6dBm 以 上で、赤色で示される調整対象区域の受信電力(RSSI)は-84.6dBm から-91.0dBm である。 また図中の黄色の点は右側が基地局の位置、左側は電波反射板設置予定位置を示す。





出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料 図 3-8 不感地帯の改善予測(電波反射板あり)

図 3-9 は電波反射板による不感地帯の改善予測のシミュレーションを示す。樹木の影に カバーエリアが広がっていることがわかる。青色で示されるカバーエリアの受信電力 (RSSI)は-84.6dBm 以上で、赤色で示される調整対象区域の受信電力(RSSI)は-84.6dBm か ら-91.0dBm である。また図中の黄色の点は右側が基地局の位置、左側は電波反射板の位置 を示す。



## 2) 実証 No.14 のシミュレーション

トンネル内避難通路坑での不感地帯を改善するための電波反射板位置を図 3-10 に示す。



図 3-10 不感地帯の改善予測(電波反射板あり)

不感地帯の受信電力予測のシミュレーションを図 3-11 に、電波反射板により不感地帯の 改善予測のシミュレーションを図 3-12 に示す。



図 3-11 不感地带予測



出所)実証コンソーシアム No.14 提供資料



3) 電波伝搬シミュレーションツール(WirelessInSite)を用いたシミュレーション(No.25)

救命救急センター内での不感地帯予測(図 3-13)と不感地帯改善予測(図 3-14)を電波 伝搬シミュレーションツール(WirelessInSite)にて実施した結果を示す。赤色で示されるカ バーエリアの受信電力(RSSI)は-75.2dBm以上で、青色で示される調整対象区域の受信電力 (RSSI)は-75.2dBmから-84.0dBmである。

電波反射板を疑似 RU と見立て、電波反射板利得とビーム幅を入力し不感地帯改善予測 を行った。詳細の手順に関しては 3.5.4 章にエリア設計手法のモデル化として記載した。



出所)実証コンソーシアム No.25 提供資料

図 3-13 不感地带予測



出所)実証コンソーシアム No.25 提供資料

図 3-14 電波反射板による不感地帯改善予測

#### 3.2.4 カバーエリア/調整対象区域への影響評価

カバーエリアおよび調整対象区域について、電波反射板設置の影響を確認した。電波反射 板設置によりカバーエリア、調整対象区域が広くなっている場合について、その要因と方策 案をまとめた。

実証 No.01 の電波反射板設置後のカバーエリアおよび調整対象区域図を図 3-15 に示す。



出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

図 3-15 電波反射板設置前後のカバーエリアおよび調整対象区域図

測定点 ID1~7 及び 9~15 は電波反射板設置前に測定を行い、測定点 ID29~34 は電波 反射板設置後に測定を行った。測定点が足りず電波反射板の影響がわかり難いが、測定点 ID7 及び 30 を見るとカバーエリアが広がっているように見える。

電波反射板設置後カバーエリアおよび調整対象区域が広くなった場合の方策案としては 下記が提案された。

方策	内容			
①電波反射板の設置角 度の調整	<ul> <li>・エリアが縦方向に広がっている場合、電波反射板の垂直角</li> <li>度を深くする。</li> </ul>			
	<ul> <li>・エリアが横方向に広がっている場合、マルチシート型の電波反射板であれば各サブ電波反射板毎に方向調整を行いビーム幅(エリア幅)を狭くする。</li> </ul>			
	・マルチシート型電波反射板での設置角度の調整方法として は、電波レベルを測定しながら、各サブ電波反射板1枚毎に 角度調整を行い希望するエリアとなっているか確認すること が重要。			

表 3-8 カバーエリア、調整対象区域が広くなった場合の方策

方策	内容
②電波反射板のサイズ 変更	・電波反射板のサイズを大きくすることによりビーム幅が狭 くなりエリアの広がりを抑えることができるが、不感地帯へ の必要な電波強度が確保されるように電波反射板サイズの検 討を行う必要がある。
③基地局の送信出力の 低下	・基地局の送信出力を下げることにより、電波反射板でカバ ーするエリア以外の本来のエリアも変わるため、本来のエリ アも含めた再設計が必要となる。
④基地局アンテナ角 度・方向の調整	・基地局アンテナが指向性アンテナの場合は、基地局アンテ ナのチルト角、方向を調整し電波反射板方向への入射電力を 下げることによりエリアの広がりを抑える。 ・本来のエリアが変更されるため、本来のエリアも含めた再 設計が必要となる。

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

上記③、④の方策は、エリアの再設計となりエリア設計全体への影響が大きくなる。 ①、②の方策が現実的である。

# 3.2.5 電波反射板による受信電力等の改善効果

電波反射板の技術実証を行った 8 つの実証の代表測定点における電波反射板による受信 電力、SIR/SINR、UL および DL のスループットの改善効果を表 3-9 に示す。

各実証での改善目標値をクリアした項目は薄い青色にてセルを色付けしてある。 受信電力は実証 No.07 および No.14 は RSSI 値 (\*付き) で他は SS-RSRP 値である。SINR に関しては測定器により異なり SIR に関しては (\*\*付き) とした。

実証 No.	測定占	電波	受信電	電力	SIR/S	INR	UL スルー	ープット	DL スルー	-プット
周波数		反射板		改善量		改善量		改善量		改善量
No.01	ID10	なし	-114.95dBm	+9.22	$8.15 \mathrm{dB}$	+7.73	16.75 Mbps	+1.85	31.07Mbps	0
4.7GHz 帯	ID18	あり	-105.73dBm	dB	$15.88 \mathrm{dB}$	dB	$18.60 \mathrm{Mbps}$	Mbps	31.07 Mbps	0
No.03	ID91	なし	-122.31dBm	+7.91	2.23dB**	+7.59	22.84 Mbps	+17.76	測定不可	NTA
4.7GHz 帯	ID21	あり	-114.4dBm	dB	9.82dB**	dB	40.60Mbps	Mbps	37.45 Mbps	NA
No.04	TD 10	なし	-104.98dBm	+21.4	17.28dB**	+3.0	測定不可		測定不可	
4.7GHz 帯	4.7GHz 帯 ID13	あり	-83.58dBm	dB	20.28dB**	dB	0.83Mbps	NA	33.4Mbps	NA
No.07	ID56	なし	-49.5dBm*	+3.7	18.12dB**	+1.36	28.0Mbps	+4.9	423Mbps	+61
4.7GHz 帯	ユタカ	あり	-45.8dBm*	dB	19.48dB**	dB	32.9Mbps	Mbps	484Mbps	Mbps
No.11	ID 1	なし	-83.82dBm	+1.61	$2.54 \mathrm{dB}$	+2.25	9.78Mbps	+0.04	9.82Mbps	-0.1
4.7GHz 帯	ID(1)-1	あり	-82.81dBm	dBm	4.79dB	dB	9.82Mbps	Mbps	9.72Mbps	Mbps
No.14	ID1	なし	-82.18dBm*	+22.59	7.48dB	+6.97	8.74Mbps	+10.52	166.7Mbps	+856.3
28GHz 帯	ID2	あり	-59.59dBm*	dB	14.45dB	dB	19.26Mbps	Mbps	1,023 Mbps	Mbps
No.22	メタ No.1	なし	-109.38dBm	+14.42	-2.38dB	+5.88	7.10Mbps	+27.72	40.34Mbps	+45.65
28GHz 帯	ID130,31	あり	-94.96dBm	dB	3.50dB	dB	34.82Mbps	Mbps	85.99Mbps	Mbps
No.25	メタ	なし	-95.77dBm	+7.28	-0.99dB	+4.03	0.39Mbps	+16.73	22.72Mbps	+125.22
28GHz 帯	ID60,101	あり	-88.49dBm	dB	3.04dB	dB	17.12Mbps	Mbps	147.94Mbps	Mbps

# 表 3-9 電波反射板による改善効果

\*は RSSI

\*\*は SIR

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

各実証における電波反射板の効果を確認できた測定点の数を表 3-10 に示す。効果測定 点は、電波反射板の効果を同位置にて電波反射板あり、なしの状態で確認できる測定点と した。

宝証 No		電波反射板改善効果確認測定点				
灵融 No. 周波数	効果測定点	受信電力	SIR/SINR	UL スループット	DL スループット	
No.01 4.7GHz	11	11	11	4	1	
No.03 4.7GHz	2	1	2	1	2	
No.04 4.7GHz	20	9	7	2	3	
No.07 4.7GHz	14*	9*	4*	8*	8*	
No.11 4.7GHz	12	5	6	3	0	
No.14 28GHz	2**	2**	2**	2**	2**	
No.22 28GHz メタ No.1	19	8	8	13	18	
No.22 28GHz メタ No.2	24	6	7	13	16	
No.25 28GHz メタ	6	4	4	5	5	
No.25 28GHz 金属	6	4	4	5	5	

表 3-10 電波反射板改善効果確認測定点

\*ツウテックおよびユタカ両方での合算(各々7点での測定)

\*\*ローカル 5G として動作した測定点を記載。LTE として動作した測定点は除いた。

# (1) 実証 No.01 の電波反射板による受信電力等の改善効果

電波反射板の改善効果を確認したターゲットエリアを図 3-16 に示す。 電波反射板からの距離に対する受信電力(SS-RSRP)を図 3-17 に示す。



出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料





出所)実証コンソーシアム No.01 提供データより作成 図 3-17 電波反射板からの距離対 SS-RSRP

ターゲットエリアにおいて 1.8dB から 11.6dB の受信電力の増加が確認された。電波反 射板有りの算出値と実測値の差分は、以下3つに分けて要因を推察した。

測定点 ID	電波反射板からの 距離	算出-実測値差分	要因推察
18,19,21,26,27	49.7~63.6m	$\pm 3 dB$	電波反射板の垂直方向
20,22-25	68.3m 超	+3dB 以上	の放射特性および大地からの反射波の影響と
28	37.4m	-4.78dB	思われる。

表 3-11 算出値と実測値の差分

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

通信品質評価結果を図 3-18 および図 3-19 に示す。

UL スループットは、受信電力(SS-RSRP) および SINR 増により増加するが一定の値 で飽和した。飽和した値(約 18Mbps)は、見通しがあり受信電力値が良好な測定点 ID3,4 と同等である。スループットは所要性能より低い値となった。本実証で使用した機器は DMCS(適応変調)機能がサポートされておらず、電波反射板により受信電力、SINR が改 善したにも関わらずスループットは改善しなかった。改善のためには設備へ DMCS(適応 変調)機能の折り込みが必要となる。

DL スループットは、受信電力および SINR が改善したにもかかわらず、低下した地点が 確認されている。この要因として直接波、電波反射板からの反射波および電波反射板からの 反射波が大地に反射したもの、これらの干渉影響(マルチパス)の可能性が考えられる。本 実証で使用した機器は、受信信号からデータを復調する動作においてノイズへの耐性が弱 くエラーレートが劣化してしまうという特性を持ち\*、これはスループットが低下した要因 と考えられる。(\*実証コンソーシアム No.1 の報告書による。)

電波反射板により受信電力、SINR が向上したことから、不感地帯の改善手段として一定の効果が得られたと考える。



出所)実証コンソーシアム No.01 提供データより作成
 図 3-18 UL/DL スループット対 SS-RSRP



出所)実証コンソーシアム No.01 提供データより作成 図 3-19 UL/DL スループット対 SINR

#### (2) 実証 No.03 での電波反射板の改善効果

ビニールハウス内に電波反射板を設置し、不感地帯(2つの測定点:測定点 ID20 及び 21) にて改善効果を確認したが測定点 ID21 のみの改善となった。受信電力および伝送性能の改 善が見られ,下記に結果を示す。

受信電力: -122.31dBm → -114.43dBm (7.9dB の改善)

UL スループット: 22.84Mbps → 40.60Mbps (17.8Mbps の改善)

DL スループット: 測定不可 → 37.45Mbps

狭いエリアではあるが、電波反射板によるエリア改善効果が見られる結果となった。な お測定点 ID20 については、電波反射板設置後の受信電力が-120.77dBm となり、設置前の 受信電力-121.55dBm からほとんど改善しない結果となった。これは、測定点 ID20 が測定 点 ID21 に比べ、電波反射板に近い距離であったため、基地局・電波反射板および電波反射 板・測定点での角度を考慮すると、反射波を十分に受信出来なかったものと推測される。

要因としては電波反射板のビーム幅が約3°と狭く極小エリアでの改善となった。より広 いエリアでの改善のためには、よりビーム幅が大きい(10°や20°)メタマテリアル素材の 電波反射板の活用が有効である。



#### (3) 実証 No.14 での電波反射板の改善効果

反射板設置場所および測定箇所図 3-21 に、電波反射板からの距離に対する受信電力 (SS-RSRP)等測定結果を図 3-22 に示す。電波反射板がある場合は、避難連絡坑で 5G 接続した際の SS-RSRP は -100dBm 近辺の値を示しており、電波反射板がない場合に比べて 14.8~22.6dB 受信電力が改善した。

また電波反射板からの距離 12.9m において約 15dB の高い SINR で通信できた。今回の 技術実証では、基地局 1 台と端末 1 台の通信でスループットを測定している。このため、 隣接セル等からの干渉成分はない。1 つの基地局で複数台の端末をスケジューリングした場 合であっても外部からの干渉成分はないため、実質的には SNR を測定していることに相当 する。電波反射板がある場合は、避難連絡坑で 5G 通信可能なところでは、UL スループッ ト 4Mbps~19 Mbps と DL スループット 109Mbps~1.3Gbps が得られた。



出所)実証コンソーシアム No.14 提供資料

# 図 3-21 反射板設置場所および測定箇所

今回実証は、避難通路坑の 5G エリア化を目指したができなかった。トンネル内の避 難通路坑での不感地帯を 5G のエリアにする実証試験であったが、5G セルのシステムで の組み込みレベルの閾値により電波反射板より 22.9m までしか 5G エリアにならず、そ れより奥は LTE エリアとなり改善エリアは限定的であった。改善エリアを確保するため に、5G セルのシステムでの組み込みレベルの閾値を再調整し、避難通路坑の奥行方向も 5G エリア化する必要がある。



出所)実証コンソーシアム No.14 提供データより作成 図 3-22 SS-RSRP、SINR、UL/DL スループット対電波反射板からの距離

#### (4) 実証 No.22 での電波反射板の改善効果

実証 No.22 では 2 種類のメタマテリアル電波反射板(No.1,No2)を使用した。 電波反射板 No.1 はビーム幅(半値角 10°) No.2 はビーム幅(半値角 20°)である。

電波反射板の改善効果を確認したターゲットエリアを図 3-23 と図 3-24 に示す。

図 3-25 および図 3-26 にメタマテリアル No.1 および No.2 における受信電力(SS-RSRP)と電波反射板からの距離における電波反射板あり・なしでの測定結果を示す。結果から、下り受信電力においては、ビーム幅 10 度では最大 14.4dB の改善、ビーム幅 20 度の電波反射板において最大 8.3dB の改善が見られた。これはビーム幅の狭い方が、電波反射効率が高いためである。

図 3-27 および図 3-28 には通信品質(SINR)と電波反射板との距離における電波反射板 あり・なしでの測定結果を示す。通信品質(SINR)に関しては、メタマテリアル No.1,No2 と もに電波反射板ありでの改善が見られた。

図 3-29 および図 3-30 には UL スループットと電波反射板との距離における電波反射板 あり・なしでの測定結果を示す。図 3-31 および図 3-32 には DL スループットと電波反射 板との距離における電波反射板あり・なしでの測定結果を示す。UL スループットにおいて はビーム幅 10 度では最大 27.7Mbps の改善、ビーム幅 20 度では最大 14.6Mbps の改善が 見られた。一方、DL スループットにおいてはビーム幅 10°では最大 60.1Mbps の改善、ビ ーム幅 20 度では最大 52.6Mbps の改善が見られた。これは、電波反射板を基地局近傍に配 置していることにより、下り送信電力における反射効率が良いためと考えられる。



出所)実証コンソーシアム No.22 提供資料

図 3-23 ターゲットエリア(メタマテリアル電波反射板 No.01 ビーム幅(半値角 10°))

出所)実証コンソーシアム No.22 提供データより作成 図 3-26 受信電力改善(メタマテリアル電波反射板 No.2 ビーム幅(半値角 20°))



出所)実証コンソーシアム No.22 提供データより作成 図 3-25 受信電力改善(メタマテリアル電波反射板 No.01 ビーム幅(半値角 10°))



出所)実証コンソーシアム No.22 提供資料 図 3-24 ターゲットエリア(メタマテリアル電波反射板 No.2 ビーム幅(半値角 20°))



出所)実証コンソーシアム No.22 提供データより作成 図 3-29 UL 伝送性能改善(メタマテリアル電波反射板 No.1 ビーム幅(半値角 10°))



出所)実証コンソーシアム No.22 提供データより作成 図 3-28 通信品質改善(メタマテリアル電波反射板 No.2 ビーム幅(半値角 20°))



出所)実証コンソーシアム No.22 提供データより作成 図 3-27 通信品質改善(メタマテリアル電波反射板 No.01 ビーム幅(半値角 10°))



出所)実証コンソーシアム No.22 提供データより作成 図 3-32 DL 伝送性能改善(メタマテリアル電波反射板 No.2 ビーム幅(半値角 20°))



出所)実証コンソーシアム No.22 提供データより作成 図 3-31 DL 伝送性能改善(メタマテリアル電波反射板 No.1 ビーム幅(半値角 10°))



出所)実証コンソーシアム No.22 提供データより作成 図 3-30 UL 伝送性能改善(メタマテリアル電波反射板 No.2 ビーム幅(半値角 20°))



#### (5) 実証 No.25 での電波反射板の改善効果

本実証においては表に赤字で示すとおりガラスエポキシ+銅メッキで構成されるメタマテ リアル電波反射板と、アルミニウムで構成される金属電波反射板の2種類を用意しターゲ ットエリアにおけるカバレッジにおいてどちらが望ましいか比較検討を行った。

図 3-34 および図 3-35 に受信電力(SS-RSRP)と電波反射板からの距離における電波反射 板あり・なしでの測定結果を示す。図 3-36 および図 3-37 に 通信品質(SS-SINR)と電波反 射板からの距離における電波反射板あり・なしでの測定結果を示す。図 3-38 および図 3-39 に UL スループットと電波反射板からの距離における電波反射板あり・なしでの測定結果 を示す。図 3-40 および図 3-41 に DL スループットと電波反射板からの距離における電波 反射板あり・なしでの測定結果を示す。

結果から、UL スループットにおいてはメタマテリアル電波反射板、金属電波反射板とも に 17Mbps 程度の改善値が見られた。また、DL スループットにおいてはメタマテリアル電 波反射板、金属電波反射板ともに 150Mbps 程度の改善が見られた。これは、電波反射板を基 地局近傍に配置していることにより、下り送信電力における反射効率が良いためと考えら れる。



図 3-33 電波反射板設置後のターゲットエリア



出所)実証コンソーシアム No.25 提供資料 図 3-34 受信電力改善(メタマテリアル電波反射板)



出所)実証コンソーシアム No.25 提供資料 図 3-35 受信電力改善(金属電波反射板)





図 3-36 通信品質改善(メタマテリアル電波反射板)



反射板あり/なしにおける実測値の通信品質比較(距離特性)

出所)実証コンソーシアム No.25 提供資料 図 3-37 通信品質改善(金属電波反射板)







出所)実証コンソーシアム No.25 提供資料 図 3-39 UL 伝送性能改善(金属電波反射板)







出所)実証コンソーシアム No.25 提供資料 図 3-41 DL 伝送性能改善(金属電波反射板)

# 3.3 電波反射板の諸元・特性

電波反射板の諸元・特性をその材質・大きさと電波反射板利得、ビーム幅(半値角)につき計算値と実測値の比較を行った。

# 3.3.1 電波反射板の材質/大きさ/重量

各実証にて使用した電波反射板の材質、大きさ、重量(電波反射板本体のみ)につき表

3-12 に示す。代表的な電波反射板を図 3-42,図 3-43 および図 3-44 に示す。

実証 No.	電波反射板 (材質: )	大きさ	重量
No.01	金属板(アルミ)	2m x 2m	$64 \mathrm{Kg}$
No.03	金属板(アルミ)	1.5m x 1.0m	25.3Kg
No.04	金属板(アルミ)	1m x 1m	10Kg
No.07	金属板(アルミ)	1.5m x 1.5m	4.8Kg
No.11	金属板(アルミ)	2m x 4m	$21 { m Kg}$
No.14	アクティブリフレクタ	0.33m x 0.27m	2Kg
No.22	メタマテリアル	0.4m x 0.4m	NA
N- 95	メタマテリアル	0.4m x 0.4m	NA
No.25	金属板 (アルミ)	0.455m x 0.455m	数百 g

表 3-12 電波反射板の材質/大きさ/重量

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成





出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料 図 3-42 実証 No.01 で使用した電波反射板(金属製)



出所)実証コンソーシアム No.14 提供資料 図 3-43 実証 No.14 で使用した電波反射板(アクティブリフレクタ)





出所)実証コンソーシアム No.22 提供資料 図 3-44 実証 No.22 で使用した電波反射板(メタマテリアル)

## 3.3.2 電波反射板利得の算出値及び実測値

各実証にて使用した電波反射板の利得算出値および実測値を表 3-13 に示す。

実証 No.	電波反射板 (材質: )	大きさ	利得(算出値)	利得(実測値)
No.01	金属板(アルミ)	2m x 2m	69dBi	$64.7 \sim 75 \mathrm{dBi}$
No.03	金属板(アルミ)	1.5m x 1.0m	73.7dBi	62.2dBi
No.04	金属板(アルミ)	1m x 1m	70.2dBi	69.5dBi
No.11	金属板(アルミ)	2m x 4m	89dBi	76.1dBi
No.14	アクティブリフレクタ	0.33m x 0.27m	67.1dBi	67.08dBi
No 99	メタマテリアル No.1	0.4m x 0.4m	63dBi	9.8dBi
N0.22	メタマテリアル No.2	0.4m x 0.4m	56dBi	11.8dBi
No.25	メタマテリアル	0.4m x0.4m	59.5dBi	13.51dBi
	金属板(アルミ)	0.455mx 0.455m	63.3dBi	8.65dBi

表 3-13 電波反射板利得

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

電波反射板(金属板)の利得算出に関しては、下記が参考となる。

 電波法関係審査基準(平成13年総務省訓令第67号別紙1,別図第29号、第30号、 第30号の2)より算出する。



出所) 電波法関係審査基準平成 13 年総務省訓令第 67 号別紙 1、別図第 29 号、第 30 号 図 3-45 電波法関係審査基準別図第 29 号、第 30 号

別図第29号からは電波反射板面積による利得と周波数帯による利得補正が求められ、別 図第30号は入射角の利得補正である。

別図第30号の2は、電波反射板の設置場所が送信アンテナからD2/A (Dはアンテナの

直径、λは電波の波長で各々単位はm)未満の距離にある場合の算出方法である。 電波反射板利得(G)=20\*Log(4\*π\*η\*Ae\* cos θ/λ<sup>2</sup>)+ δ<sup>6</sup>

 $\eta$ :電波反射板効率、Ae: 4\*a\*b\*cos  $\theta$ 、a: 電波反射板長辺/2、b: 電波反射板短辺/2、 $\theta$ : 入射角、

**λ**:電波の波長(m)、**δ**:電波反射板と送信又は受信空中線との距離が近接する場合両者の開口面積間の位相差を考慮した理論補正値

② 電波反射板利得算出式により算出

```
電波反射板利得(G)=20*Log(4* π *Area* cos α / λ<sup>2</sup>)<sup>7</sup>
Area: 電波反射板面積(m<sup>2</sup>), cos α :入射角, λ:波長(m)
```

図 3-46 は、金属電波反射板の 4.7GHz 帯での電波反射板面積と利得の計算値を示す。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

## 図 3-46 電波反射板利得算出值

下記に各実証にて測定した電波反射板の実測値を示す。

電波反射板利得実測に関しては、電波反射板の近傍において測定器にて計測することは 困難であったため、下記方法にて電波反射板の利得を導出した。

①電波反射板の入射波の受信電力値の測定は、電波反射板設置位置において設置前に受 信電力値を測定。

②不感地帯で電波反射板の効果を確認するエリアでの測定点において受信端末の受信電力値を計測する。この値は上記①に電波反射板利得(Gr)を加え、電波反射板から受信端末(測

<sup>6</sup> 電波法関係審査基準平成 13 年総務省訓令第 67 号別紙 1、別図第 30 号の 2 より引用

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> PASSIVE REPEATER ENGINEERING (CATALOG161A) P.35 Microflect 社より引用 Field Factor(1/k)が 2.5 以上の Far Field の場合の算出式

定点)までの距離に対する自由空間伝播損失を引き、受信端末のアンテナ利得を足し受信端 末のケーブル損失を引いた値となることから下記から導出した。

電波反射板利得(Gr) = 測定点での受信端末の受信電力実測値(dBm) - 電波反射板入射 波の受信電力実測値(dBm) + 電波反射板と受信端末(測定点)間の自由空間伝播損失値(dB) - 受信端末アンテナ利得(dBi) + 受信端末のケーブル損失(dB)

実証 No.22 および No.25 に関しては、上記導出ではなく入射波と反射波の受信電力を実 測し差分より求めた。反射波の測定において電波反射板から測定器の間の距離の自由空間 伝搬損失の補正を行っていないため差分が大きい。

実証No.25においては、加えて実証環境において基地局が天井裏に隠蔽設置されており、 基地局と電波反射板を正確に正対させることが困難であることや天井裏内での乱反射影響 により自由空間で基地局からの入射波を受けることが出来ないために、理論値との差分が 発生していると考えられる。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

図 3-47 電波反射板利得実測值(4.7GHz 帯)



図 3-48 電波反射板利得実測値(28GHz 帯)

# 3.3.3 電波反射板ビーム幅(半値角)の算出値および実測値

各実証にて使用した電波反射板のビーム幅(半値角)の算出値と実測値を表 3-14 に示す。

実証 No.	電波反射板 (材質)	大きさ	ビーム幅(算出値)	ビーム幅(実測値)
No.01	金属板(アルミ)	2m x 2m	水平:12.7°、垂直:3.2°	水平:12.1°
No.03	金属板(アルミ)	1.5m x 1.5m	水平:2.5°~2.9°	水平:2°
No.04	金属板(アルミ)	1m x 1m	水平:3°	水平: 3.3°
No.07	金属板(アルミ)	1.5m x 1.5m	水平:2.1°	水平:4.7°
No.11	金属板(アルミ)	2m x 4m	水平:2°	水平:8°
No.14	アクティブリフレクタ	0.33m x 0.27m	水平:4.3°、垂直:3°	水平:3°
N- 99	メタマテリアル No.1	0.4m x 0.4m	水平 10°、垂直:12°	水平:20°
No.22	メタマテリアル No.2	0.4m x 0.4m	水平:20°、垂直12°	水平:15°
No.25	メタマテリアル	0.4m x 0.4m	水平:4°垂直:18°	水平:10°
	金属板(アルミ)	0.455m x 0.455m	NA	水平:10°

表 3-14 電波反射板ビーム幅(半値角)

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

電波反射板(金属板)のビーム幅(半値角)の算出値に関して下記に参考を示す。

ビーム幅(半値角)  $\Rightarrow 0.886 \times \lambda/D \times 180/\pi^8$ D はアンテナの直径、 $\lambda$  は電波の波長で各々単位は m





出所)実証コンソーシアム提供資料より作成 図 3-49 電波反射板ビーム幅(半値角)算出値

図 3-50 は、4.7GHz帯での電波反射板ビーム幅の算出値と実測値を示す。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

# 図 3-50 電波反射板ビーム幅実測値(4.7GHz帯)

図 3-51 は、28GHz 帯での電波反射板ビーム幅の算出値と実測値を示す。実証 No.25 にお

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> C.A.Balanis," ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN FOURTH EDITION" WILEY pp.655-656 eq.12-29a」から引用

いて差分が大きい要因として、本実証では電波反射板からのターゲットエリアにおいて什 器等による測定不可ポイントがあったため、より正確な分析は行えなかった。



出所)実証コンソーシアム提供資料より作成 図 3-51 電波反射板ビーム幅実測値(28GHz帯)

図 3-52 および図 3-53 は実証 No.01 における電波反射板のビーム幅シミュレーション結 果とビーム幅実測を示す図である。電波反射板は図 3-42 の写真にあるようサブ電波反射板 4 枚を組み合わせたものを使用した。各サブ電波反射板のビーム幅は約 3°にて 4 枚のサブ 電波反射板により約 12°のビーム幅が得られる実証を行った。4 枚のサブ電波反射板各々 の設置方法については、水平面の角度を上側 2 つのサブ電波反射板が 1°内側向きに下側 2 つのサブ電波反射板を 3°内側向きに垂直面は全てのサブ電波反射板を 3°下向きに設置し た。



出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料 図 3-52 電波反射板ビーム幅シミュレーション(実証 No.01)





#### 3.4 設置の容易性・コスト比較

電波反射板と他のソリューション(簡易基地局、中継器、アンテナ張出設備)とに関し設 置の容易性ならびにコスト比較を行った。

#### 3.4.1 設置の容易性比較

電波反射板はその設備の大きさ、重量から設置場所の確保は他のソリューションに比較 し容易である。また関連する付帯設備(電源、バッテリー等)が不要であり且つ伝送設備(バ ックホール)も不要であり施工量も少なくよって導入リードタイムが短くなる。

下記に各ソリューションの比較をレーダーチャートにて比較した。

目盛の数値が大きいほど容易であり、小さいほど設置の難易度が高くなる。



出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料より作成 図 3-54 設置の容易性

# 3.4.2 コスト比較

電波反射板はその設備の簡易性、付帯設備(電源、バッテリー等)ならびに伝送設備(バ ックホール)が不要なことから設備コストを下げることが可能である。また関連設備が少な いことから施工費用が少ない。運用・保守も簡易であることから費用も少なくて良い。ただ し他のソリューションと比較し不感地帯を改善するエリアの面積は他のソリューションに 比較し少ないこと、簡易基地局の場合カバーする面積が大きいことに加え通信リソースも 増量できることからこれらのファクターも加味しコスト比較を行うことが重要である。 下記に各ソリューションの比較をレーダーチャートにて比較した。目盛の数値が大きい ほど経済性が高く、小さいほど経済性が低くなる。



金額	グラフ目盛
数十万以下	5
100万円以下	4
数百万円以下	3
500万円以下	2
500-1000万円	1

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料より作成

図 3-55 コスト比較

## 3.5 エリア設計手法のモデル化

電波反射板を活用したエリア設計手法の流れを以下に示す。

各ステップにつき概略を説明する。

①不感地帯の把握および位置図作成:カバーエリアの設計を行う際、地形、植栽、建物等 により不感地帯のエリアを特定し基地局と受信希望地点の位置図を作成する。

②電波反射板設置仕様の検討:上記①の位置図より有効と思われる電波反射板の設置位 置を検討する。

③リンクバジェット算出・シミュレーション実施:上記①、②の検討結果から不感地帯の 改善効果につきリンクバジェット算出にて大まかな把握を行い、シミュレーションツール にて実際の地形・環境を入力し改善されるエリアの大きさ、受信電力値を確認する。

④電波反射板仕様の検討:上記③にて電波反射板に求められる利得、ビーム幅(半値角) を割り出し、必要となる電波反射板の諸元(材質、大きさ、入射角、反射角等)を決定する。

⑤不感地帯改善確認:実環境にて電波反射板を設置し不感地帯の改善(受信電力値、 SIR/SINR、スループット値)を測定し確認する。また予測値に届かない場合その要因を分 析する。 ⑥設計へのフィードバック:上記⑤より改善期待値に届かない場合の要因分析より設計 のパラメータ(基地局送信電力、送信アンテナ利得、電波反射板利得、電波反射板ビーム幅、 受信アンテナ利得、電波反射板設置仕様、電波反射板への電波入射角、反射角等)を見直す。

以上の設計の段取りにおいて、どの過程をどのようにモデル化できるかを検討・実証し その有効性を提案する。



## 図 2.5-1 エリア設計手法の流れ

#### 表 2.5-1 モデル化の概要

エリア設計手法のモデル化	モデル化の概要	提案 実証No.
・リンクバジェット算出でのモデル化	<ul> <li>・不感地帯をリンクバジェット算出にて把握する。</li> <li>・反射板利得を算出式から算出する。</li> <li>・電波伝搬区間を①送信基地局ー電波反射板②電波反射板-受信端末の2つの区間に分け、リンクバジェット算出式から受信端末での受信電力を算出(各々の区間の自由空間伝播損失の算出を含む)し、カバーエリア内の値となるか確認する。</li> </ul>	実証No.01,No.03
	・カバーエリア決定→反射板の設置位置(仮決定)→弱電界エリア を算出→リンクバジェットにて受信電力算出→見直しは必要となる場 合、パラメータ見直しと「所要品質を満たす受信電力」を得られるまで 反射板・基地局の位置を見直す。	実証No.14
・シミュレーション実施でのモデル化	・シミュレーションツールに以下を入力して、反射板あり/なしでの受信 電力値をシミュレーションする。電波反射板を疑似RUに見立て、反 射板利得、ピーム幅に相当するパラメータを入力する。	実証No.22,No.25
	・上記同様に、疑似RUの代わりに <u>電波反射板の3D反射パターンを 算出し</u> 、シミュレーションする。	実証No.04

### 3.5.1 実証 No.01 と実証 No.03 のモデル化

#### (1) エリア設計の条件

「基地局から電波反射板まで」および「電波反射板から電波反射板でカバーするエリアまで」は完全な見通しがある状態を条件とする。フレネル半径内に障害物がないものとする。

マルチパスは考慮しない。電波反射板においては基地局からの直接波が支配的とする。電 波反射板でカバーするエリアにおいては電波反射板からの反射波が支配的とする。

## (2) エリア設計モデルの概要

①「基地局から電波反射板まで」および「電波反射板から電波反射板でカバーするエリア まで」の2区間に分けて設計する。

②区間内での伝搬損失は自由空間伝播損失によって算出する。
③「基地局から電波反射板まで」の区間では電波反射板を受信アンテナとして扱い、電波 反射板に到達する電力を受信電力として算出する。

④「電波反射板から電波反射板までカバーするエリアまで」の区間は、電波反射板を送信 アンテナとして扱う。電波反射板に到達する電力を送信電力として、電波反射板でカバーす るエリアにおける受信電力を算出する。

#### (3) エリア設計モデルに用いるパラメータ

エリア設計モデルに用いるパラメータを表 3-15 に示す

表	3-15	エリア	設計モラ	シルに用	いろご	ペラメ	ータ
11	0 10				v · J /	· / /	

基地局(RU)	端末(UE)	電波反射板	距離
使用周波数[MHz]	受信アンテ ナ利得 [dBi]	横の寸法[m]	基地局から電波反射板ま で[m]
送信電力[dBm]		縦の寸法[m]	電波反射板から電波反射
送信アンテナ利得 [dBi]		設置 Azimuth 角 [度]	板でカバーするエリアま で[m]
送信指向性にかかる 減衰[dB]		設置 Elevation 角[度]	
給電線損失[dB]		反射効率[%]	

出所)実証コンソーシアム No.01、03 提供資料より作成

#### 表 3-16 2区間におけるリンクバジェット算出

基地局から反射板の区間	反射板からカバーするエリアの区間	数式
・ <u>反射板での受信電力(Pr1)の算出:</u> Pr1=Pt + Gt - Ld- Lf -L1 + GR/2 -LR	・ <u>カバーするエリアでの受信電力(Pr2)の算出:</u> Pr2=Pr1 + GR/2 - L2 + Gr	<ul> <li>・反射板利得(GR)=20log(4пA/λ<sup>2</sup>)</li> <li>A:反射板面積、λ:波長(m)</li> <li>・自由空間伝搬損失(L1,L2)=20log(4пd/λ)</li> </ul>
Pt:送信局出力(dBm) Gt:送信アンテナ利得(dBi) Ld:指向性アンテナ利得損失 Lf:給電線損失(dB) L1:自由空間伝搬損失_基地局と反射板間(dB) GR:反射板利得(dBi) LR:反射板損失(dB)	Pr1:反射板での受信電力(dBm) GR:反射板利得(dBi) L2:自由空間伝搬損失_反射板とカバーエリア間 (dB) Gr:受信アンテナ利得(dBi)	d:距離(m), 1:波長(m) •反射板損失(LR)=20log(反射板効率) 反射板効率:0.85

出所)実証コンソーシアム No.01、03 提供資料より作成



出所)実証コンソーシアム No.01、03 提供資料より作成 図 3-56 2 区間におけるリンクバジェット算出

#### 3.5.2 実証 No.04 のモデル化

電波反射板を空中線に見立て、エリアシミュレーションを実施する。

Step1:電波反射板の 3D 反射パターンのように電波反射板の反射パターンを計算で求める。

Step2:電波反射板の反射パターンのように反射パターンを算出する。

Step3:その反射パターンを電波伝搬シミュレーションソフトウェアに入力しシミュレーション図を作成する。



出所)実証コンソーシアム No.04 提供資料 図 3-57 電波反射板の 3D 反射パターン



出所)実証コンソーシアム No.04 提供資料 図 **3-58 反射パターン** 



図 3-59 電波伝搬シミュレーション図

- 3.5.3 実証 No.14 のモデル化
  - 電波反射板を設置する際のエリア設計手法に関する考え方としては、下記のようなパラ メータを考慮して、電波反射板を経由した基地局と端末間のパスロスを計算し、所用 品質を満たすように設計を行うものとする。
  - ・基地局から電波反射板までの距離
  - ・電波反射板からカバーしたいエリアまでの距離
  - ・電波反射板への入射角度、出射角度

電波反射板を活用したエリア設計として、カバーエリアを満たすための電波反射板の設置 場所、設置高さ、角度などを決定するための手順についてまとめる。

- 下記手順に基づきリンクバジェット算出にてエリア設計を行う。
- Step1:電波反射板を活用したカバーエリアを決定
- Step2:電波反射板の設置場所、設置個数を仮決定

電波反射板の設置個数は1つの電波反射板の半値角もしくはビーム制御による角度 の上限を考える。

- Step3:カバーエリアの中で、電波反射板を活用した電波反射板の受信電力が最も弱くなる 場所を計算で求める。
- Step4:最も受信電力が小さくなる端末の場所において所要品質を満たすかどうかをチェッ クする。所要品質を満たしていれば Step5 へ、満たしていない場合は Step6 へ。
- Step5:端末から基地局に報告する端末での受信電力値が、システムとして 5G 接続を許容可能なパラメータになっているかどうかを検証する。許容値であれば Step7 へ。そうでない場合はパラメータを変更し Step7 へ。もしパラメータの変更が不可能な場合 Step6 へ。
- Step6:端末での受信電力が高くなるために下記の検討を行う。

①電波反射板と端末の位置が極力近くなるように電波反射板の位置を再度検討し

Step2 へ戻る。

②上記①で電波反射板の設置場所を変えても所要品質を満たす解が導出できない場合には基地局を動かすことが可能であれば、所要品質を満たす受信電力が電波反射板の位置で得られるよう基地局設置場所を電波反射板の近くに設置する。

Step7:エリア設計終了



出所)実証コンソーシアム No.14 提供資料 図 3-60 電波反射板を活用したカバーエリア検討

#### 3.5.4 実証 No.22 と実証 No.25 のモデル化

電波伝搬シミュレーション「WirelessInSite」を用いたモデリングで特徴は電波反射板を 疑似した RU 配置によるレイトレースシミュレーションである。手順を、下記 Step1~Step5 に示す。

Step1:屋内図面から 3DCAD でモデル化を行う。

Step2: 3DCAD 上に RU を配置し、レイトレーシングシミュレーションを実施する。

イメージとしては弱電界エリアが想定しやすいよう、反射・回折・等価は見込まず 直接波のみで計算を実施する。

Step3:弱電界が想定されるエリアを狙う形で電波反射板設置位置を策定

Step4:電波反射板設置の諸元を用いて下記の考え方から電波反射板を疑似したRUを設置。

・電波反射板を疑似した RUの送信電力=電波板設置位置の受信電力+電波反射板利得

・電波反射板を疑似した RUの反射方向:電波反射板の入射/反射特性を考慮した指向 性を適用

・電波反射板を疑似した RU のビーム幅:電波反射板の反射特性を考慮した、疑似ア ンテナパターンを作成し適用。 ステップ5:実測値との比較から、モデリング手法をブラッシュアップ ステップ1~4の手法を基に導き出されるカバーエリアおよび調整対象区域端におい て測定を実施し計算値と実測値において比較を行い、モデリング化の手法を検討。



出所)実証コンソーシアム No.22 提供資料より作成 図 3-61 シミュレーションによるモデリング

## 3.6 電波反射板の有効な条件、有効でない条件

電波反射板の有効な条件、有効でない条件に関して、その仮説を下表にまとめた。

有効な条件/有効でない条件	有効でない推定要因	改善方策
・ <u>目標エリアでの受信電力</u> が エリア端での規定受信電力値より高い(有効) /低い(有効でない)	<ul> <li>・基地局と電波反射板との距離、電波反射板と 端末の距離が長い(電波伝搬損失が大きい)</li> <li>・電波反射板の利得が小さい(電波反射板の サイズが小さい)</li> <li>・電波反射板への入射角・反射角が大きい。</li> </ul>	・リンクバジェット・シミュレーションにて下記パラメータを 見直す。 【パラメータ】 基地局送信電力、送信アンテナ利得、電波反射板 の設置位置(電波反射板との距離、端未との距 離)、電波反射板の大きさ(利得)、電波反射板 への入射角・反射角、端末の受信アンテナ利得等
・ <u>目標エリアの広さ</u> が改善される(有効) /限られたエリアしか改善されない(有効でない)	・電波反射板のビーム幅が小さい。 (電波反射板が大きい、使用周波数帯が高い)	・シミュレーションにて下記パラメータを見直す。 【パラメータ】 電波反射板の設置位置(電波反射板との距離、端 末との距離)、電波反射板の大きさ(ビーム幅)
・目標エリアでの伝送スループット目標値を 達成(有効)/目標値を未達(有効でない)	・通信環境にて干渉が大きい。	・シミュレーションにて通信品質(SIR/SINR)の改善 策を検討。自局と他基地局からの干渉調整を行う。 (送信出力、送信アンテナの高さ・方向等の調整)

表 2.6-1 電波反射板の有効な条件/有効でない条件(仮説)

各実証での電波反射板あり/なしでの効果についてその測定結果につきまとめた。評価方 法については下記視点で行った。

- 不感地帯での改善目標エリアでの受信電力値がどれだけ改善したか。その値は当初 計画した改善目標値と比較してどのような結果となったか。未達の場合の要因分析 と改善方策について記述する。
- ② 不感地帯での改善目標エリアの広さはどれだけ改善したか。電波反射板もビーム幅 (半値角)と対比し評価する。改善目標値と比較して未達の場合はその要因分析と改 善方策につき記載する。
- ③ 不感地帯での改善目標エリアでのスループット(UL/DL)はどれだけ改善したか。その 値は当初計画した改善目標値と比較してどのような結果となったか。未達の場合は その要因分析と改善方策につき記述する。

有効な条件	条件の内容	条件の確認方法
・電波反射板を設置する位置で基地局からの強電 界の電波が届く位置にある	・基地局との距離の再調整 ・基地局と電波反射板の間の見通しが十分とれる ・基地局で指向性アンテナを使用できる	・自由空間伝搬損失(基地局-電波反射板間) を算出 ・基地局の送信電力、送信アンテナ利得(電波反 射板方向)を決定する ・リンクバジェット算出にて電波反射板での受信電力 を確認
・改善したいエリア(不感地帯)で電波反射板から の強電界の電波が届く位置にある	<ul> <li>・電波反射板との距離の再調整</li> <li>・電波反射板と改善したいエリア(不感地帯)間の</li> <li>見通しが十分とれる</li> <li>・電波反射板の利得が十分とれる</li> </ul>	・自由空間伝搬損失(電波反射板-改善したいエリ ア(不感地帯)間)を算出 ・電波反射板利得を算出 ・リンクバジェット算出にて受信電力を確認
・基地局からの直接波と反射板からの反射波等に よるマルチパス干渉の影響がない 環境事例:直角に曲がった通路等のエリア	・改善したいエリア(不感地帯)は、基地局からの 直接波が遮蔽される電波環境である	
・改善したいエリア(不感地帯)が比較的狭い面 積である	・電波反射板のビーム幅(水平・垂直)が3°程度 と小さいため、ピンポイントターゲットを狙う場合有効 である	・電波反射板のビーム幅(水平・垂直)を確認

## 表 2.6-2 電波反射板が有効な条件

1 2.0	及2.03 电波区别极为不用为 てない未干										
有効でない条件	改善方策	備考									
・電波反射板を設置する位置で基地局からの電波 が弱電界である	・基地局との距離の再調整 ・基地局と電波反射板の間の見通しが十分とれる位 置を再検討 ・基地局で指向性アンテナを検討する										
・伝送路上に障害物が存在	・伝送路上の障害物による遮蔽を避けるように反射 板の位置を再調整	・基地局-電波反射板、電波反射板-端末間の フレネルゾーンの確認									
・基地局からの直接波と反射板からの反射波等の マルチパス干渉の影響が発生	<ul> <li>・電波反射板のElevation角度の調整</li> <li>・電波反射板からの距離の再調整</li> <li>・基地局の送信アンテナの方向(水平、垂直)の 調整</li> <li>・不要な直接波、反射波の低減</li> </ul>	・基地局アンテナのサイドローブ、バックローブ電波放射 の影響も考慮 ・伝搬経路を特定し、伝搬経路に電波吸収体を活									
		用等									
・改善したいエリア(不感地帯)が比較的広い	・ビーム幅が10°、20°と大きなメタマテリアル反射板 を検討するか、他のソリューション(中継器、簡易基 地局等)を検討する。										
・季節(植生、降雪等)による電波伝搬環境の 影響が発生	・季節等の環境変化を見込んだエリア設計を行う	・樹木による損失はITU-R P.833-3を参考に算出									

## 表 2.6-3 電波反射板が有効でない条件

#### 3.7 まとめ

#### 3.7.1 電波反射板が有効となるユースケース

- (1) 指向性アンテナと電波反射板の活用によって、カバーすべきエリアが限定的かつ局 所的なフィールドでのユースケース
  - ▶ 山岳地や近隣設備がない等の理由から基地局増設によるエリアカバーが困難な場 所で、設置のみでエリアカバーが可能な電波反射板を活用するケース
  - 工場等の施設で設備を理由に電波遮断されるために、エリアカバーが困難な場所 での反射特性を利用することでエリアカバーを可能にするケース
- (2) 基地局から電波が届く通路に電波反射板を設置することにより、直角に曲がった通路をエリア化するユースケース

- 類似の環境としてショッピングモール、デパート等の通路、大規模な物流倉庫の通路等をカバーするケース
- (3) 屋内において複数の壁面構造となる環境、もしくは医療環境における医療機器等の 遮蔽物が配置される環境におけるユースケース
- (4) 工場において取り扱う化学物質や、発生する粉塵、使用する化学溶剤等により基地 局の設置が困難な環境において電波反射板を活用するユースケース
- これらのユースケースにおいて、下記を事前調査することが重要である。
  - 不感地帯改善エリアには基地局からの直接波が受からない、遮蔽された空間であること。
  - ▶ 周りの環境に電波反射物がありマルチパス干渉を起こさないエリアであること。

#### 3.7.2 エリア設計手法のモデル化

電波反射板を活用したエリア設計手法のモデル化として今回の実証にて下記が提案された。

- ①現在の電波伝搬シミュレーションツールでは、電波反射板のように利得があり、ビーム 幅が限定されるケースでのシミュレーションが困難である。電波反射板を疑似 RU と して電波反射板の利得と反射波の方向とビーム幅のデータを持たすことで疑似的にシ ミュレーションが可能となる。
- ②電波反射板の反射パターンを計算し、シミュレーションツールに入力しシミュレーションを実施する。
- ③電波反射板(金属板)においては、電波反射板利得を算出し、基地局と電波反射板の無線伝搬区間、電波反射板と不感地帯での改善希望エリアでの受信端末との無線伝搬区間に分け両区間とも見通しがとれることを条件として自由空間伝播損失を計算しリンクバジェット計算により電波反射板の効果を確認する。

#### 3.7.3 電波反射板有効性比較

電波反射板と他のソリューションとの設置容易性ならびにコスト比較に関しては 3.4 章 にて記載したが、一方 3.6 章の電波反射板の有効な条件、有効でない条件より電波反射板 活用での課題があることがわかった。

以下にこれらの観点から不感地帯での受信電力値の改善、不感地帯改善エリアの広さ、マ ルチパス干渉対応ならびにシステム全体での通信容量拡大にて電波反射板と他のソリュー ションとの比較を行った。結果を図 3-62 に示す。

また 3.4 章の設置容易性ならびコスト比較も織り込んだ総合評価のレーダーチャートを 図 3-63 に示す。







出所)実証コンソーシアム提供資料より作成 図 3-63 電波反射板とその他のソリューション総合評価

図 3-62 ならびに図 3-63 ともレーダーチャートの目盛は大きいほど優位性が高く小さい ほど優位性が低い評価となる。図 3-63 により総合評価を行ったが、電波反射板は設置容易 性、コストの優位性があるが不感地帯改善エリアは狭く且つ通信容量拡大にもつながらず、 その特色を良く理解し適合した環境で使用することが重要である。

電波反射板において、従来の金属板に加えビーム幅が広く反射角度を設計できるメタマ テリアル電波反射板、反射波の角度を1°単位で変更できるアクティブリフレクタはさらに エリア設計に柔軟性を与えることができ今後の活用が期待される。

#### 3.7.4 電波反射板の活用によるエリア構築の課題解決

今回の技術実証を通して、電波反射板を活用してエリア構築の課題の不感地帯の解消に 取り組み、期待できる効果および実行上の課題を確認することができた。電波反射板はその 構造の簡易性、無電源、伝送路不要から設置が容易であり導入コストも少なく有意義なソリ ューションの一つである。一方、有効な活用のためには、強電界の受電と反射やビーム幅に よる不感地帯エリア改善面積が小さいことを踏まえ、電波反射板の設置位置や仕様を机上 でシミュレーションを実施し決定することが重要である。また、改善対象の不感地帯の特定 も重要である。

## 4. 準同期 TDD の追加パターンの開発

#### 4.1 概要

ローカル 5G に用いられる時分割複信(TDD)パターンについては、利用シーンに合わせた 通信性能の実現のため、これまでに(令和2年12月)、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 UL/DL のスロットのみを一部変更したパターン(準同期 TDD) が UL スロットの比率が高い形で 4.5GHz 帯および 28GHz 帯に一つずつ追加された。しか しながら、多様なアプリケーションの要求条件に応じるため、更に多くの UL スロットを必 要とするユースケースの需要への対応が必要となっており、既存のいずれの運用パターン とも準同期の関係となる準同期運用パターンの追加が考えられている。

そこで、本年度の技術実証テーマⅢでは、準同期 TDD パターンにてローカル 5G の UL および DL の運用比率を可変とする場合における、同期局や既存の準同期局との干渉評価 による離隔距離の算出その他の共用検討のための実用的パラメータの策定を通じた、準同 期 TDD パターンの追加の検討を取りまとめた。

※1「同期」とは、送信バースト繰り返し周期、基地局および陸上移動局の送信バースト 長の最大値並びに送受信のタイミングを同一とし、平成 31 年総務省告示第 23 号別図第 1 号および第 2 号に規定する同期方式の運用方法をいう。

※2「準同期運用」とは、送信バースト繰り返し周期、基地局および陸上移動局の送信バースト長の最大値並びに送受信のタイミングを同一とし、平成 31 年総務省告示第 23 号別 図第1号および第2号に規定する準同期方式の運用方法をいう。

(具体的な同期・準同期パターンは後述)

## 4.1.1 実証目標

図 4-1 に本実証にて追加検討する準同期 TDD の運用パターンとして準同期 2 および 3 を示す。既存(制度化済み)の準同期 TDD1 に対して、追加する準同期 TDD2、TDD3 では、フレーム全体に占める U:UL スロットの比率が増加されている。

回期TDD     D     D     D     V     V     D <thd< th=""> <thd< th=""> <thd< th=""><th>スロット番号</th><th>0</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>17</th><th>18</th><th>19</th><th></th></thd<></thd<></thd<>	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	
準同期TDD1 D D D S U U D S U U D S U D D D D D D D	同期TDD	D	D	D	s	U	U	D	D	D	D	D	D	D	s	U	U	D	D	D	D	en te
準同期TDD 2 D D S U U U D S U U D D S U U D D S U U U D S U U D A S U U A A A A A A A A A A A A A A A A	準同期TDD 1	D	D	D	s	U	U	D	s	U	U	D	D	D	s	U	U	D	s	U	U	- 既招
	準同期TDD 2	D	D	s	υ	U	U	D	s	U	υ	D	D	s	U	U	U	D	s	U	U	>++=/(a)
	準同期TDD 3	D	s	U	υ	U	U	D	s	U	U	D	s	U	U	U	U	D	s	U	U	5 15/11191

※D:下りスロット、U:上りスロット、S: DからUへの切替期間を含む特別スロット

出所)課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証令和3年度実施方針(総務省;令和3年4月)<sup>9</sup> 図 4-1 追加する準同期 TDDの運用パターン

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> https://www.soumu.go.jp/main\_content/000745726.pdf

#### 4.2 干渉シナリオの整理

#### 4.2.1 周波数隣接条件

現在、日本におけるローカル 5G の周波数割り当てのうち 4.7GHz 帯については、4.6~ 4.9GHz 帯となっており、ローカル 5G の最大システム帯域 100MHz がこの周波数範囲に 配置され運用される。図 4-2 にローカル 5G およびその近傍の周波数割り当て状況を示 す。



出所) 情報通信審議会 情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月新世 代モバイル通信システム委員会)



また、情報通信審議会 情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月新世代モバイル通信システム委員会)では、移動通信システム相互間における 干渉検討に関連して、与干渉システムと被干渉システムとの周波数隣接条件が、隣接周波数 の場合と同一周波数の場合について解説されている。図4-3に隣接周波数の干渉計算のイ メージ、図4-4に同一周波数の干渉計算のイメージを示す。



出所) 情報通信審議会 情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月新世 代モバイル通信システム委員会)

図 4-3 隣接周波数の干渉計算のイメージ



出所) 情報通信審議会 情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月新世 代モバイル通信システム委員会)

図 4-4 同一周波数の干渉計算のイメージ

一般に、隣接周波数では、被干渉帯域に直接干渉する成分は与干渉波の隣接 CH 漏洩な ど不要発射であり送信マスク減衰が期待できることと、与干渉はそのものに対しては被干 渉側の許容感度抑圧を上回る値でなければ干渉影響は少ないが、同一周波数の場合は、被干 渉帯域の周波数=与干渉波の周波数であり、より多くの離隔距離が必要になるなど共用に 向けての難易度は高い。

#### 4.2.2 基地局間干渉と移動局間干渉

情報通信審議会 情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月新世代モバイル通信システム委員会) にて、準同期 TDD 運用について、「基地局間干渉はパターン1(同期運用)を用いる事業者からパターン2(準同期運用)を用いる事業者 に、そして移動局間干渉はパターン2(準同期運用)を用いる事業者からパターン1(同期 運用)を用いる事業者にしか発生しない。」と記載されている。

したがって、今回の技術実証テーマIIIにおいても、(制度化済み準同期パターンに比べて 非同期区間が増加した)追加準同期パターンの適用における準同期運用側上り回線への基 地局間干渉影響および同期運用側下り回線への移動局間干渉影響について、共有条件の導 出および所用性能の達成・対処を確認することについて、取りまとめを行う。



(同一周波数においても同様)

出所) 情報通信審議会 情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月 より抜粋

図 4-5 4.7GHz 帯の準同期 TDD

#### 4.2.3 実証コンソーシアムの干渉シナリオー覧

表 4-1 に令和3年度課題実証コンソーシアムのうち、技術実証テーマⅢについて作業実施したコンソーシアムの干渉シナリオー覧を示す。干渉影響が大きい同一周波数が多く検討されており、また、非同期区間が課題となる基地局間干渉、移動局間干渉が検討されている

No	産業テーマ	実証環 境	周波数带	周波数 隣接	追加準同 期バターン	干渉相手 TDD	与干渉システム	被干渉システム	与被干涉 基地局/移劲局組合	屋内/屋外組合せ	実機検 証
01	農業(ぶどう 畑)	屋外	4.7GHz	隣接	TDD2	同期TDD	同期システム 準同期システム	準同期システム 同期システム	基地局→基地局 <mark>移動局→移動局</mark>	屋外→屋外	0
02	農業(牛舎)	<mark>屋内</mark> / 半屋内	4.7GHz	<mark>同—</mark>	TDD2	同期TDD <mark>準TDD1</mark>	同期システム 準同期システム	準同期システム 同期システム	基地局→基地局 <mark>移動局→移動局</mark>	屋外→屋外 屋外→ <mark>屋内</mark> <mark>屋内→屋外 <mark>屋内</mark>→<mark>屋内</mark>(壁有/無)</mark>	- (追加 提案)
03	震業(苺ハウ ス)	半屋内	4.7GHz	同一	TDD2	同期TDD	同期システム 準同期システム	準同期システム 同期システム	基地局→基地局 <mark>移動局→移動局</mark>	屋外→屋外	0
04	林業	屋外	4.7GHz	<mark>o-</mark>	TDD2 TDD3	同期TDD	同期システム 同期システム 準同期システム	準同期システム 準同期システム 同期システム	基地局→基地局 移動局→基地局 移動局→移動局	屋外⇒屋外	0
11	コンテナヤ ド	屋外	4.7GHz	<mark>同一</mark>	TDD2 TDD3	同期TDD	準同期システム	同期システム	移動局→移動局	屋外→屋外	0
15	高速道路地 上	屋外	4.7GHz	<mark>同一</mark> 隣接	TDD2 TDD3	同期TDD <mark>準TDD1</mark>	準同期システム 準同期システム	同期システム 準同期システム	<mark>移動局→移動局</mark> 基地局→移動局	屋外→ <mark>屋内</mark> 屋外→屋外	-
17	国際会議場	<mark>屋内</mark>	4.7GHz	隣接	TDD3	同期TDD	同期システム 準同期システム	準同期システム 同期システム	基地局→基地局 <mark>移動局→移動局</mark>	屋内→屋内	0
18	スマートシティ	屋外	4.7GHz	<mark>同一</mark>	TDD2 TDD3	同期TDD	準同期システム	同期システム	移動局→移動局	屋外→屋外	-
23	富士山五合 日	屋外	4.7GHz	<mark>o-</mark>	TDD2 TDD3	同期TDD	同期システム 同期システム 進同期システム	準同期システム 準同期システム 同期システム	基地局⇒基地局 移動局⇒基地局 移動局→移動局	屋外⇒屋外	0

表 4-1 課題実証コンソーシアムの干渉シナリオ一覧

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

#### 4.2.4 干渉シナリオの組み合わせ

干渉シナリオの組み合わせは、隣接周波数における基地局間干渉と移動局間干渉および 同一周波数における基地局間干渉と移動局間干渉に大別することができ、それぞれの組み 合わせにおいて、各実証コンソーシアムが検証する追加準同期 TDD パターンにどのパタ ーンを用いたか整理することで技術実証テーマIII全体の実証の網羅性を確認した。

表 4-2 に隣接周波数における干渉シナリオ組合せ、表 4-3 に同一周波数における干渉シ ナリオ組合せを示す。周波数隣接条件と基地局間干渉/移動局間干渉の各組み合わせにおい て、追加準同期 TDD パターン(TDD2,TDD3)の実証がいずれかの実証コンソーシアムに て実施されており、技術実証テーマII全体の実証の網羅性は確保されている。次項以降に干 渉シナリオの組み合わせ毎の検証結果をまとめる。なお、同一の干渉シナリオと追加準同期 TDD パターンの組み合わせについて、複数の実証コンソーシアムが実証を行っているケー スも存在するが、それぞれの検証結果に大きな食い違いはなかったことから、代表して一つ の実証コンソーシアムの実証結果を用いて取りまとめる。

基地	」局⇒基地局		被干涉	システム		
	干涉	同期(TDD)	制度化済準同 期1(TDD1)	追加準同期2 (TDD2)	追加準同期 3 (TDD3)	
	同期(TDD)		無し	<b>01</b> ,17	17	
シ与	制度化済準同期1 (TDD1)			無し	無し	
テ渉ム	追加準同期2 (TDD2)				無し	
	追加準同期 3 (TDD3)					
<mark>移動</mark>	<mark>]局⇒移動局</mark>		被干涉	システム		
	<mark>干涉</mark>	同期(TDD)	制度化済準同 期1(TDD1)	追加準同期2 (TDD2)	追加準同期 3 (TDD3)	
	同期(TDD)					
<u> </u>	制度化済準同期1 (TDD1)	無し				
デ渉	追加準同期2 <mark>(</mark> TDD2)	<b>01</b> ,17	15			
	追加準同期 3 (TDD3)	17	15	15		

表 4-2 隣接周波数における干渉シナリオ組合せ

隣接周波数 (数字はコンソーシアムNo.)

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

## 表 4-3 同一周波数における干渉シナリオ組合せ

# 同一周波数 (

# (数字は実証 No.)

基地	局⇒基地局		被干涉	システム	
	干涉	同期(TDD)	制度化済準同 期1(TDD1)	追加準同期2 (TDD2)	追加準同期 3 (TDD3)
	同期(TDD)		23,	<mark>02</mark> , 03, 04, 23	04, <mark>23</mark>
シラ	制度化済準同期1 (TDD1)			<mark>02</mark> , 23,	23
デ渉	追加準同期2 (TDD2)				23
	追加準同期 3 (TDD3)				
移動	<mark> 局⇒移動局</mark>		被干涉	システム	
	干涉	同期(TDD)	制度化済準同 期1(TDD1)	追加準同期2 (TDD2)	追加準同期 3 (TDD3)
	同期(TDD)				
ミ与	制度化済準同期1 (TDD1)	23,			
ステン	追加準同期2 (TDD2)	<mark>02</mark> , 03, 04, 11, 18,	<mark>02</mark> , 15, 23		

04, 11, 18,

23

出所)実証コンソーシアム提供資料より作成

追加準同期 3

(TDD3)

15, <mark>23</mark>

15, <mark>23</mark>

#### 4.3 隣接周波数における干渉(共用検討シミュレーション・実機検証・分析/考察)

#### 4.3.1 実証 No.01 の共用検討

この実証は、屋外環境の果樹園において、キャリア 5G 基地局(C 局)を挟んでローカル 5G 基地局(A 局,無指向性アンテナ)とローカル 5G 基地局(B 局,指向性アンテナ)を設置 し、C 局~A 局間の距離 200m、C 局~B 局間の距離 340m の条件にて実施された。周波数 は、キャリア 5G が 4.5-4.6GHz、ローカル 5G は屋外使用が可能な 4.8-4.9GHz である。

ローカル 5G の UL 偏重パターンが必要な理由としては、課題実証で UL130Mbps 程度のスループットが必要になるためである。

#### 4.3.1.1 実証目標

本実証の目標として追加準同期パターン「準同期 TDD2」を開発し、実証フィールドで実際に電波を送信することとした。準同期 TDD2 を実証フィールドにて測定し、同期運用と 比較した上りスループットの改善量を測定するとともに、キャリア 5G との干渉検討を複数のパターンで測定した。

#### 4.3.1.2 実証仮説

情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月)では基地局間及び移動局間の干渉検討が行われているものの、算出式が明示されていないことから、同資料の参考資料として掲載されている計算の過程を参考に以下の方法で 机上検討を行った。

こちらについてもあくまで「計算過程」であり、具体的な算出式は明示されていないため、 本実証としては以下の算出式を仮説的に導出した。基地局間干渉の帯域内干渉については、

「空中線電力+アンテナ利得一給電線損失一送信マスク減衰+受信アンテナ利得一受信給 電線損失一許容干渉レベル一離隔距離に応じた自由空間伝搬ロス一アンテナ指向減衰一付 加損失」の算出式によって所要改善量を算出した。本実証ではキャリア 5G 基地局とローカ ル 5G 基地局の設置位置が決まっており、離隔距離が 200m 及び 350m となっているため、 この算出式で 200m 及び 350m の干渉量を算出し検討した。また、送信干渉方向について は想定ローカル 5G 基地局設置位置からキャリア 5G 基地局までの角度を算出し、200m 離 隔距離基地局については 43 度、350m 離隔距離基地局については 8 度とした。

計算した結果、離隔距離 200m の無指向アンテナの場合は所要改善量が-30.32dB となり、 干渉影響はないものと考えられる。一方、離隔距離 350m の指向性アンテナの場合は所要 改善量が 2.54dB となり、干渉が発生する可能性がある。指向性アンテナはアンテナ利得 が強く、また、送信方向から 8 度しかずれていないため、離隔距離に反して干渉影響が強 く出たものと考えられる。送信電力等を変更せず、このままのパラメータで利用する場合 は、所要離隔距離は 460m ほどと考えられる。

基地局間干渉の帯域外干渉については、「空中線電力+アンテナ利得―給電線損失―送 信マスク減衰+受信アンテナ利得―受信給電線損失―許容感度抑圧電力-離隔距離に応じ た自由空間伝搬ロスーアンテナ指向減衰―付加損失」の算出式を用いて算出した。許容干 渉レベルに代わって許容感度抑圧電力を利用し算出した。それぞれ机上検討した結果が表 4-4 のとおりである。帯域外干渉については、離隔距離 200m のほうで所要改善量-41.32dB、離隔距離 350m のほうで-8.46dB とどちらもマイナスの値になった。そのため、 基地局間干渉については帯域外干渉については問題なく、帯域内干渉に関して離隔距離 350m の基地局の影響を実測し確認する必要があると考えた。なお、帯域内干渉、帯域外 干渉ともに算出条件としては審議会資料の算出条件を引用し、与干渉・被干渉の基地局は ともに 40m 高で設置し、高度の差分はないものとした。審議会の「屋外⇒屋外設置モデル」 の数値を引用した。ローカル 5G 基地局のアンテナチルト角度は指向性アンテナで 10 度、 無指向性アンテナで 3 度とした。

検討パ ターン	アンテ ナ パター ン	有	诗域内干涉		帯域外干渉			
		与干涉量 [dBm/MHz]	所要改 善量 [dB]	所要離 隔距離 [m]	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改 善量 [dB]	所要離 隔距離 [m]	
① (離隔距 離 200m)	無 性 ア ナ	-145.3	-30. 32	-	-93. 3	-41. 32	Ι	
② (離隔距 離 350m)	指向性 アンテ ナ	-112.5	2.54	460	-60. 5	-8.46	_	

表 4-4 基地局間干渉検討による机上検討結果(1対1対向モデル)

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

移動局間干渉については、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信シス テム委員会報告(令和2年7月)では離隔距離については触れられていないものの、参考 資料としては「伝搬距離1m」のパラメータが利用されており、移動局間の離隔距離を1m としたものとして読み取れる。

本実証では移動局間の離隔距離参考資料では伝搬距離が 1m と 0m として検討予定のた め、この伝搬距離の値を変更し算出した。帯域内干渉については「空中線電力+アンテナ 利得一給電線損失一送信マスク減衰+受信アンテナ利得一受信給電線損失一許容干渉レベ ルー離隔距離に応じた自由空間伝搬ロスーアンテナ指向減衰一付加損失」の算出式によっ て所要改善量を算出した。また、付加損失については、審議会資料にて送信側、受信側と もに 8dB の人体吸収損失を付加し、計 16dB の損失を計上した。計算した結果、帯域内干 渉については離隔距離 1m の場合で 19.8dB、離隔距離 0m の場合で 59.8dB となり、干渉 が起きる可能性があることがわかった。審議会資料でも帯域内干渉について 22dB 程度の 所要改善量が算出されているが、モンテカルロシミュレーションの確立的な評価を行うこ とで、所要改善量がマイナスに転じていることから、離隔距離 1m については干渉影響な しと判断した。離隔距離 0m については所要改善量が大きいため、モンテカルロシミュレ ーションを実施してもマイナスに転じるかは不明である。審議会資料ではモンテカルロシ ミュレーションの係数についても明示されていないため、本実証ではモンテカルロシミュ レーションは実施せず、実測において影響を確認した。

帯域外干渉については、許容干渉レベルに代わって許容感度抑圧電力を利用し算出した。 算出式は「空中線電力+アンテナ利得一給電線損失一送信マスク減衰+受信アンテナ利得 一受信給電線損失一許容感度抑圧電力一離隔距離に応じた自由空間伝搬ロスーアンテナ指 向減衰一付加損失」として算出した。机上検討した結果が表 4-5 のとおりである。離隔距 離 1m の場合、所要改善量は-39.2dB とマイナスの値になっており、干渉の影響はないと 考えられる。また、離隔距離 0m の場合も所要改善量は 0.8dB となり、ほとんど干渉影響 はないものとして判断した。

検 討 パ タ ーン		帯域内干渉		带域外干涉				
	与干涉量 [dBm/MHz]	所要改善 量 [dB]	所要離隔 距離 [m]	与干涉量 [dBm/MHz]	所要改善 量 [dB]	所要離隔 距離 [m]		
① (離隔距離 1m)	-91.2	19.8	9.8	-39.2	0.8	1.1		
② (離隔距離 Om)	-51.2	59.8	9.8	-0.8	40.8	1.1		

表 4-5 移動局間干渉検討による机上検討結果(1対1対向モデル)

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

上記検討結果より離隔 1m 及び 0m 時は移動局間での干渉が想定されるので、実測時に 0m から各々の所要離隔距離まで離した状態での通信時の端末間干渉の実証を行った。

干渉検討については、送信出力といった基地局・端末の設定パラメータや与干渉局・被 干渉局の離隔距離によって検討されるものであるが、干渉影響の結果、無線性能にどのよ うな影響が出ているのかも測定し検証を行った。特に、TDD 追加パターンでの運用により、 キャリア 5G の DL 性能及びローカル 5G の UL 性能に影響が表れると考えられるため、そ れぞれのスループット及び遅延値を測定し、検証を行った。

キャリア 5G、ローカル 5G ともに単体運用の測定結果を基準値とするため、1a、2a、 1b、2b の各測定ポイントにて 1 台のみの場合と 5 台全て通信状態にした場合の測定を行 い、3a、3bの各測定ポイントにて 1 台のみ通信状態にした場合の測定を行った。キャリア 5G、ローカル 5G ともに電波送信しており、各干渉パターンの運用の際は、キャリア 5G が最もローカル 5G 基地局に近い 1a 及び 1b のポイントでキャリア 5G 端末 1 台に対し、 ローカル 5G 端末 1 台の場合とローカル 5G 端末 5 台の場合でキャリア 5G の DL 性能を測 定した。

なお、準同期 TDD2 で運用したローカル 5G では上りスループット 130Mbps 程度と期 待した。本数値は干渉影響を除外した開発上の目標値である。情報通信審議会情報通信技 術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月)の干渉検討結果まとめ では基地局間干渉、端末間干渉ともにガードバンドに限らず共用可能の整理となっており、 さらに干渉影響を低減する方法として準同期TDDによる運用もあげられていることから、 キャリア5Gからの影響を受けることなく目標数値の達成が可能であると考えた。

#### 4.3.1.3 評価·検証項目

本実証としては前項に記載した各机上検討結果を検証するために、ローカル 5G、キャリ ア 5G それぞれで受信電力(RSRP 値)、通信品質(SIR または SINR)、および伝送性能 (UL/DL 別のスループット、伝送遅延 等)を測定した。実証仮説にて記載した干渉検討の 机上検討の評価として、受信電力(RSRP 値)を与干渉量とし、机上検討との差分を比較し た。通信品質および伝送性能については干渉影響による性能評価のパラメータとし、測定パ ターンとしては次項に記載の表 4-6 干渉検討パターン一覧のとおりである。

#### 4.3.1.4 評価・検証方法

本実証としては以下の干渉パターンにて受信電力(RSRP 値)、通信品質(SIR または SINR)、及び伝送性能(UL/DL 別のスループット、伝送遅延 等)を測定した。キャリア 5G、ローカル 5G それぞれ単体運用の環境も準備し、単体運用の場合の測定データを基準 値とした。

なお、ローカル 5G 導入ガイドラインでは同期運用優先のルールが定められているため、 本実証ではキャリア 5G を被干渉、ローカル 5G を与干渉と想定した。ただし、準同期の場 合は UL スロットと DL スロットのタイミングが不一致のため、ローカル 5G の UL 性能に も影響が出る可能性がある。ローカル 5G の UL 性能への影響についても合わせて測定す ることで基地局との距離及び端末間離隔距離ごとのデータを比較し検証した。

各パターンにおける測定は基地局との距離を変えて行った。下図のとおり、ローカル5G に近いポイント、中間地点、キャリア 5G に近いポイント 1a~3a、1b~3b の 3 か所ずつ 行った。



出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料
図 4-6 干洗

図 4-6 干渉検討測定ポイント

なお、端末間の離隔距離について、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル 通信システム委員会報告(令和2年7月)の干渉検討まとめでは端末間を接触・近接距離 に置いた際の影響が注意喚起されている。令和2年度地域課題解決型ローカル5G等の実 現に向けた開発実証における「自動トラクター等の農機の遠隔監視制御による自動運転等 の実現」ではローカル5Gを制度化済準同期パターンTDD1で運用した際のキャリア5Gと の干渉検討を行っており、端末間の離隔距離を1m/10m/30mのパターンで変えて比較を行 ったが、1m距離でも影響は見られなかった。情報通信審議会情報通信技術分科会新世代 モバイル通信システム委員会報告及び令和2年度実証の結果を踏まえ、本実証では端末間 の離隔距離を0m(隣接して設置)と1mとし、接触・近接距離の端末間干渉の検証を行っ た。

キャリア 5G の伝送性能の測定にあたっては、測定ツール Sigma-ML を搭載したキャリ ア 5G 対応スマートフォンを用いて、以下の図の区間で測定を行った。



出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料 図 4-7 キャリア 5G 伝送性能測定区間 模式図

		キャリア5G	ローカル5G	キャリア5G	ローカル5G端末	キャリア5G端末	ローカル5G端末					
項番	干渉パターン	TDDパターン	TDDパターン	設置ポイント	隔離距離	台数	台数					
1						1台	-					
2				1a		5台	_					
3						1台	_					
4				2a		5台	-					
5						1台	-					
6				За		5台	-					
7	キャリア5G単体	同期	停波		_	1台	_					
8				1b		5台	-					
9						 1台	_					
10				2b		5台	_					
11						1台						
12				3b		5台						
13					Οm		5台					
14				1a	1m		5日 5台					
15	キャリア5G被干渉				0m		54					
16	(ローカル5G基地局	同期		2a	1m		5日 5台					
17	隔離距離200m)				0m	5日 54	50					
18				За	0111 1 m		5 <u>1</u> 5 <u>4</u>					
19					0m	5台	5日 5台					
20				1b	1m	5日 5七	50					
20	キャリア5G被干渉				0m		5 <u>1</u> 5 <u>4</u>					
21	(ローカル5G基地局	同期		2b	1m		58					
22	隔離距離350m)				0m		5 <u>0</u>					
24				3b	0111 1 m		5 <u>1</u> 5 <u>4</u>					
24			準同期TDD 2		0m		58					
25				1a	1m		5 <u>0</u>					
20										0m	50	5 <u>0</u>
21				2a	1m		5 <u>0</u>					
20					0m		5 <u>0</u>					
20	キャリア5G被干渉			3a	1m	50	5 <u>0</u>					
21	(ローカル5G両基地局	同期			0m		5 <u>0</u>					
22	送信)			1b	1	5日 Eム	50					
22					0m		5 <u>0</u>					
34				2b	1m	5日 5七	50					
34					0m	5日 5日	り口 5日					
30				3b	1m	<u>5日</u> 5日	5日 5台					
30					±111	-	り口 1台					
28					1a		- ロ 5 会					
30							1 <u>4</u>					
10					2a	-	т <u>п</u> 54					
40 //1						-	リロ 1上					
41			<b>淮田</b> 田700 0		За	-	10 54					
42	ローカル5G里体	停波	平回期 I D D 2	—		-	り日 1台					
44					1b	_	5台					
45					0	-	1台					
46					2b	-	5台					
47					3h	-	1台					
48					50	-	5台					

## 表 4-6 干渉検討パターン一覧

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

以下に各干渉パターンイメージを示す。下図はローカル 5G を停波し、キャリア 5G を単 体運用した場合のイメージである。上表の項番 1~12 に該当する。本パターンにて取得で きたデータを基準値とするため、1a~3c まで全ポイントで測定した。



※図中 L5G はローカル 5G、C5G はキャリア 5G の略。以下同様。
 出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料
 図 4-8 キャリア 5G 単体運用イメージ(干渉検討一覧表項番 1~12 に該当)

下図はローカル 5G を準同期 TDD2 で、キャリア 5G を同期で運用し、基地局との距離 及び端末間の離隔距離を変えることによる干渉影響を把握するイメージである。キャリア 5G の設置位置は 1a~3b とし、各ポイントのキャリア 5G と 0m もしくは 1m の距離にロ ーカル 5G 端末を設置する。各パターンでキャリア 5G の DL 性能及びローカル 5G の UL 性能を測定し、両端末の影響を検証した。



(干渉検討一覧表項番13~36に該当)

各端末の設置パターンは以下のとおりである。キャリア 5G 端末、ローカル 5G 端末とも に 5 台ずつ準備するため隣接で設置した場合と、離隔距離 1m で設置した場合で測定し、 干渉影響を比較した。



出所) 実証コンソーシアム No.01 提供資料 図 4-10 キャリア 5G 端末、ローカル 5G 端末の設置イメージ

下図はキャリア 5G を停波し、ローカル 5G を単体運用した場合のイメージである。本実 証ではローカル 5G 基地局が通常の RU と外部アンテナ付き RU があるため、1a~3c まで 全ポイントで測定し、外部アンテナの有無による差分の検証も行った。



出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料 図 4-11 ローカル 5G 単体運用イメージ(干渉検討一覧表項番 37~48 に該当)

4.3.1.5 実証結果および考察

準同期運用時のローカル 5G の UL スループット、同期運用時のローカル 5G の UL スル ープットを比較した。同期運用時の値は基地局 C の値を用い、準同期運用時の値は基地局 C と同様の無指向性アンテナを使い MSC の値も同じである基地局 A の値を用いた。

	受信電力 SS-RSRP(dBm)	UL スループット (Mbps)
基地局 A (準同期)	-110.86	40.99
基地局 C (同期)	-106.91	15.72

表 4-7 準同期運用時と同期運用時の UL スループットと受信電力の平均

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

上表から、同期運用時と比較して準同期運用時の方がULスループットは2倍以上大きな 値となり、準同期によるULスループットの改善が見られた。測定ポイント毎に周辺環境は 異なるが、基地局A、Cともに測定ポイントの違いによる伝送性能の差分は確認されなかっ たため、平均値で評価した。

各干渉パターンの測定データを元に、与干渉については、情報通信審議会情報通信技術 分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月)の干渉検討を参考に、与 干渉量、所要改善量、所要離隔距離を取りまとめ、共用条件を以下の表に示す。干渉あり と想定されるものを赤字、干渉無しと想定されるものを青字とした。

基地	アンテ	パラメー	帯域内干渉	;		帯域外干渉	:	
局間 離隔 距離	ナ パター ン	4	与干渉電 力 [dBm/MHz ]	所要改善 量 [dB]	所要離隔 (水平)距 離 [m]	与干渉電 力 [dBm/MHz ]	所要改善 量 [dB]	所要離隔 (水平)距 離 [m]
350m	指向性 アンテ ナ	旧仮説シ ミュレー ション	-112.50	2.54	470	-60.50	-8.46	_
		新仮説シ ミュレー ション	-105.53	4. 47	590	-73.53	-26.53	_
		実測値シ ミュレー ション	-100.38	9.62	1, 100	-68.68	-30.68	_
200m	無指向 性アン テナ	旧仮説シ ミュレー ション	-145.30	-30.32	_	-93. 30	-41.32	_
		新仮説シ ミュレー ション	-114.18	-4.18	—	-82.18	-35.18	_
		実測値シ ミュレー ション	-120.40	-10.40	_	-88.70	-50.70	_

# 表 4-8 基地局間干涉検討 与干涉量、所要改善量、所要離隔距離

表 4-9	移動局間干渉検討	<b><u><u></u></u></b> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u>	<b>所</b> 西改盖骨	<b>所更離隔距離</b>
1 4 5	1夕野川川川1少1火川	ナー沙里、	川女以晋里、	) 女性  常児性

移動	移動局	パラメー	帯域内干渉			带域外干涉		
局間		タ	与干涉電	所要改善	所要(水	与干涉電	所要改善	所要(水
離隔			力	量	平)離隔	力	量	平)離隔
距離			[dBm/MHz	[dB]	距離	[dBm/MHz	[dB]	距離
			]		[m]	]		[m]
1m	同一機	旧仮説シ	-91.20	19.80	10	-39.20	0.80	1.5
	種	ミュレー						
		ション						
		新仮説シ	-91.50	19. 5 <b>0</b>	10	-59.16	-19.16	1
		ミュレー						
		ション						
		実測値シ	-89.30	20.70	11	-36.86	1.14	1.5
		ミュレー						
		ション						
Om	同一機	旧仮説シ	-51.20	59. 8 <b>0</b>	10	0.80	40.80	1.5
	種	ミュレー						
		ション						
		新仮説シ	-51.50	59. 5 <b>0</b>	10	0.84	40.84	1.5
		ミュレー						
		ション						
		実測値シ	-49.30	60.70	11	3.14	41.14	1.5
		ミュレー						

ション			

上記新仮説シミュレーション、実測値シミュレーションは、実証を進めるなかで、内容 を再検討し、参照するパラメータを増やして詳細化、実態にあうように修正をしたもの で、仮説に記載のシミュレーション(旧仮説シミュレーション)とは、算出方法を変えた ものとなる。なお、変更後の算出方法も4.3.1.2 章に記載のとおり、情報通信審議会情報 通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月)を参照している 点は変わらない。旧仮説シミュレーションにおいて、送信・受信パラメータ両方に自局 (ローカル5G)の想定数値を代入しシミュレーションを実施したが、新仮説シミュレーシ ョンとの変更箇所については、以下のとおり定義した。

パラメータ変更内容送信パラメータ数値・与干渉(キャリア 5G)の送信パラメータの想定数値・与干渉(キャリア 5G)の送信アンテナ指向減衰の想定数値受信パラメータ数値・被干渉(ローカル 5G)の受信パラメータの想定数値・被干渉(ローカル 5G)の受信アンテナ指向減衰の想定数値

【新仮説シミュレーション定義】

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

また、当初、4.3.1.4 章に記載のとおり、ローカル5G 導入ガイドラインでは同期運用 優先のルールが定められているため、本実証ではキャリア5Gを被干渉、ローカル5Gを与 干渉と考えていたが、以下の図のとおり、基地局間干渉については同期局が与干渉局、準 同期局が被干渉局となることから、本実証の基地局間干渉での与干渉局はキャリア5G、被 干渉局はローカル5Gと変更した。



出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料 図 4-12 基地局間干渉及び移動局間干渉イメージ

上記定義に基づき、ローカル 5G およびキャリア 5G それぞれに該当するパラメータ値を 代入しシミュレーションを実施した。

基地局間干渉における新旧シミュレーションの結果を比較すると、新仮説シミュレーションの結果の方が、所要改善量のマイナス値の値が大きくなり、改善量が改善された。この差分要因については、アンテナ指向減衰量が以下の要因から変わったことによる所要改善量が改善されている

シミュレーションパターン	差分要因と考えられる変更項目
旧シミュレーションのアンテ	自局(ローカル 5G)の水平・垂直による干渉方向の指向減
ナ指向減衰	衰量のアンテナパターンデータにて検討
新シミュレーションのアンテ	送信アンテナは与干渉局(ローカル 5G)、受信アンテナは
ナ指向減衰	被干渉局(キャリア 5G)による各アンテナの水平・垂直に
	よる干渉方向の指向減衰量と与・被干渉局の高低差による
	指向減衰量のアンテナパターンデータにて検討

表 4-10 シミュレーションパターンと差分要因について

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

また、新仮説シミュレーションと実測値シミュレーション結果を比較すると、所要改善量が増えている要因は、仮説時のキャリア 5G の空中線電力をスモールセル局での値と想 定していたが、実際の空中線電力がマクロセル局であったことから、所要改善量が増加した。

また、シミュレーションの結果より、指向性アンテナと無指向性アンテナの所要改善量 が大きく変化していることが見受けられ、キャリア 5G との離隔距離を比較検討した場合、 遠方の指向性アンテナ基地局より近傍の無指向性アンテナ基地局の所要改善量の方が小さ い結果となっている。

こちらの要因として、指向性アンテナの場合は指向減衰量が小さく、無指向性アンテナ の場合は指向減衰量が大きいことより、干渉対向基地局に対し電波のアンテナ指向減衰量 (水平・垂直、高低差)が大きく影響していることが考えられる。

移動局間干渉については、仮説記載のシミュレーション、新仮説シミュレーション、実 測値シミュレーションの全てで結果にほぼ差分は生じなかった。それぞれの項目に入れた 値が同程度であったため、結果的に所要改善量にも差分が生じなかったと考えられる。

被干渉については、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、遅延等)を取りまとめ、共用条件下でユースケースの所用性能が達成可能か以下 評価し、伝送性能が干渉影響を受けていた場合には、改善策について考察する。また、実 測データから干渉検討シミュレーションの妥当性を確認する。なお、所要性能については、 同期運用のキャリア 5GDL 性能及び TDD 追加パターン 2 運用のローカル 5GUL 性能について取りまとめる。

項番	測定 ポイ ント	ローカル 5G 端 末との 離隔距離	受信電力 SS-RSRP (dBm)	DL スルー プット (Mbps)	伝 送 遅 延 (ms)
1	1a	—	-74.50	554.00	530.67
2	1a	—	-74.98	477.13	454.67
3	2a	_	-78.26	477.13	484.67
4	2a	_	-77.63	491.27	582.33
5	3a	—	-76.73	513.96	510.00
6	3a	_	_	_	_
7	1b	_	-71.74	559.80	262.00
8	1b	—	-71.74	595.79	249.00
9	2b	—	-67.69	450.87	323.33
10	2b	—	-67.17	484.98	313.33
11	3b	—	-60.61	511.27	323.33
12	3b	—	_	—	_
13	1a	Om	-78.83	424.90	456.67
14	1a	1m	-77.96	441.54	441.33
15	2a	Om	-80.21	499.59	499.00
16	2a	1m	-81.20	521.09	515.67
17	3a	Om	-75.77	472.14	543.33
18	3a	1m	-75.73	479.03	535.33
19	1b	Om	-71.59	485.17	305.33
20	1b	1m	-74.76	532.08	340.33
21	2b	Om	-67.70	539.45	389.67
22	2b	1m	-68.95	516.48	415.67
23	3b	Om	-62.36	386.82	335.00
24	3b	1m	-63.16	375.54	365.33
25	1a	Om	-77.18	411.70	465.00
26	1a	1m	-77.44	410.78	465.67
27	2a	Om	-73.90	475.52	515.00
28	2a	1m	-75.91	515.45	514.67
29	3a	Om	-76.19	494.93	562.00
30	3a	1m	-75.64	439.19	584.67
31	1b	Om	-76.12	540.40	312.00
32	1b	1m	-76.44	480.44	336.67
33	2b	Om	-69.34	508.41	383.67
34	2b	1m	-69.92	504.37	394.00
35	3b	Om	-62.80	428.96	346.33
36	3b	1m	-63.17	470.35	381.00

# 表 4-11 同期運用した際のキャリア 5GDL 性能測定結果

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

項番	測定 ポイ ント	キャリア 5G 基 地局との 離隔距離	受信電力 SS-RSRP (dBm)	上りスル ープット (Mbps)	上りスル ープット (Mbps) [所要性能	伝送遅延 (ms)	伝送遅延 (ms) [所要性能
10	1	0	20.01	40.90	<u>との</u> 走分」	49.00	<u>との走分」</u>
13	18	Um 1.	-89.81	40.80	-22. 7	42.00	-358
14	1a	Im	-90.89	40.80	-22.7	41.00	-359
15	Za	Um	-102.95	41.00	-22. 5	42.00	-358
16	Za	Im	-101.94	41.00	-22. 5	43.00	-357
17	3a	Om	-106.64	40.80	-22. 7	41.00	-359
18	3a	1m	-108.87	41.00	-22.5	41.00	-359
19	1b	Om	-90.94	18.40	-45.1	40.00	-360
20	1b	1m	-86.87	18.40	-45.1	39.00	-361
21	2b	Om	-90.80	18.40	-45.1	45.00	-355
22	2b	1m	-93.18	18.40	-45.1	47.00	-353
23	3b	Om	-90.90	18.10	-45.4	41.00	-359
24	3b	1m	-98.13	18.10	-45.4	42.00	-358
25	1a	Om	-91.13	41.00	-22.5	41.00	-359
26	1a	1m	-92.33	40.90	-22.6	41.00	-359
27	2a	Om	-106.45	40.30	-23.2	40.00	-360
28	2a	1m	-107.35	40.20	-23.3	40.00	-360
29	3a	Om	-107.33	41.10	-22.4	41.00	-359
30	3a	1m	-107.93	41.00	-22.5	40.00	-360
31	1b	Om	-81.24	18.40	-45.1	41.00	-359
32	1b	1m	-86.65	18.40	-45.1	41.00	-359
33	2b	Om	-90.18	18.40	-45.1	41.00	-359
34	2b	1m	-91.06	18.40	-45.1	40.00	-360
35	3b	Om	-89.50	18.10	-45.4	41.00	-359
36	3b	1m	-91.30	18.20	-45.3	40.00	-360
37	1a	_	-92.32	41.10	-22.4	41.00	-359
38	1a	_	-90.69	27.20	-36.3	43.00	-357
39	2a	_	-112.70	41.10	-22.4	41.00	-359
40	2a	_	-113.00	37.60	-25.9	40.00	-360
41	3a	_	-111.53	40.90	-22.6	41.00	-359

表 4-12 準同期運用した際のローカル 5G 上り測定結果

42	3a	—	—	-	—	-	—
43	1b	—	-84.13	18.10	-45.4	41.00	-359
44	1b	_	-86.00	18.30	-45.2	41.00	-359
45	2b	—	-101.31	17.20	-46.3	42.00	-358
46	2b	_	-99.87	18.10	-45.4	48.00	-352
47	3b	—	-97.08	18.10	-45.4	40.00	-360
48	3b	_	_	_	_	_	_

上記の測定結果から、基地局間干渉および移動局間干渉について考察を行う。各干渉に関 するイメージは図 4-12 のとおりである。

まず、移動局間干渉による影響について考察を行う。移動局間干渉では、ローカル 5G(準 同期局)上り通信が与干渉、キャリア 5G(同期局)下り通信が被干渉となるため、キャリア 5GDL 性能に着目し評価を行う。

キャリア 5G 単体での測定の場合と比較して、ローカル 5G と同時測定の場合のスループ ットの値が小さい傾向がある。ただし、同期局の測定に関しては、図 4-7 のとおり、測定 区間にインターネット網が含まれるため、伝送性能には揺らぎが発生するものと考えられ る。

表 4-13 キャリア 5G 単体測定時とローカル 5G 同時測定時の受信電力、伝送性能の比較

	受信電力	下りスループット	遅延値
	SS-RSRP(dB)	(Mbps)	(ms)
項番 1-11 の平均値	-72.11	511.62	424.07
(キャリブ 5G 単体測定)			
項番 13-36 の平均値	-73 01	473-10	433 47
(キャリア 5G・ローカル 5G 同時測定)	75.01	475.10	100.47

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

項番 1-11 の項番 13-36 に対するスループット値の割合としては、92%であった。遅延値の 平均については項番 1-11 の項番 13-36 に対するスループット値の割合は 93%程の増加なの で、どちらもインターネット網による揺らぎの範囲内と考えられる。また、受信電力の値を 見ても、項番 1-11 と項番 13-36 で同程度である。

加えて、その時の基地局と移動局間での電波品質・干渉確認も行った。項番 1-11 (キャ リア 5G 単体測定)の平均値と、項番 13-36 (キャリア 5G・ローカル 5G 同時測定)の平均値 を確認したところ、同程度の値であり、どちらも通信を行うのに問題無いと評価できる。こ れらのことから、同期局の下り通信は、準同期局からの干渉影響を受けていないと考えられ る。

表 4-14 キャリア 5G 単体測定時とローカル 5G 同時測定時の電波品質の比較

	RSRQ (dB)	SINR (dB)
項番 1-11 の平均値		
(キャリア 5G 単体測定)	-10.36	28.56
項番 13-36 の平均値		
(キャリア 5G・ローカル 5G 同時測定)	-10.38	26.06

次にキャリア 5G 端末との離隔距離に着目して考察する。

ローカル 5G 端末との離隔距離 0m、1m での RSRQ、SINR 及び上りスループット、伝 送遅延の比較を下に示す。RSRQ、SINR については測定端末での測定データである。端 末の離隔距離を 1m に離した場合に数値が良くなった箇所は黄色で塗りつぶし、反対に数 値が悪くなった箇所は橙色で塗りつぶす。

	ローカ ル 5G 端末と の離 距離	RSRQ	(dB)	SINR	(dB)	下りス/ ト(M	レープッ bps)	遅延値(ms)		
測定 ポイ ント		キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 片側	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 両方							
	Om	-10.47	-10.40	22.28	23.89	424.90	411.70	456.67	465.00	
1	1m	-10.37	-10.39	25.27	24.66	441.54	410.78	441.33	465.67	
la	0m と 1m での 差分	0. 10	0.00	2.98	0. 77	16.64	-0.92	-15.33	0.67	
	Om	-10.31	-10.38	28.70	25.02	499.59	475.52	499.00	515.00	
9.0	1m	-10.42	-10.33	25.53	26.64	521.09	515.45	515.67	514.67	
Za	0m と 1m での 差分	-0.11	0.06	-3.17	1.63	21. 5 <b>0</b>	39. 93	16.67	-0.33	
	Om	-10.46	-10.63	20.59	18.72	472.14	494.93	543.33	562.00	
20	1m	-10.49	-10.45	18.69	18.80	479.03	439.19	535.33	584.67	
38	0m と 1m での 差分	-0.04	0. 18	-1.91	0. 08	6. 90	-55.74	-8.00	22. 6 <b>7</b>	
	Om	-10.40	-10.31	24.95	28.90	485.17	540.40	305.33	312.00	
1h	1m	-10.38	-10.37	26.07	25.56	532.08	480.44	340.33	336.67	
10	0m と 1m での 差分	0. 02	-0.05	1.12	-3.33	46. 91	-59.96	35.00	24.67	
	Om	-10.31	-10.32	28.61	27.16	539.45	508.41	389.67	383.67	
21	1m	-10.34	-10.35	32.38	32.14	516.48	504.37	415.67	394.00	
26	0m と 1m での 差分	-0.03	-0.03	3. 77	4. 99	-22. 97	-4.04	26.00	10.33	
	Om	-10.35	-10.32	30.20	27.42	386.82	428.96	335.00	346.33	
21	1m	-10.31	-10.34	33.47	29.82	375.54	470.35	365.33	381.00	
3b	0m と 1m での 差分	0. 04	-0.02	3. 26	2.40	-11. 28	41. 40	30.33	34.67	

表 4-15 ローカル 5G 端末との離隔距離 0m と 1m の電波品質と伝送性能の比較

上表を確認すると、ローカル 5G 端末を 0m から 1m に離した場合に、数値が良くなる場合と、反対に数値が下がるといった両方の結果が得られている。この結果については数値

の変動も小さく、測定ポイント及び基地局の発射パターンに依らないため、電波干渉による影響とは考えにくい。以上のことから、ローカル 5G 電波の干渉によるキャリア 5G システムへの電波品質・通信品質影響はない、と考えられる。

次に、基地局間干渉による影響について考察を行う。基地局間干渉では、キャリア 5G 下り通信が与干渉、ローカル 5G 上り通信が被干渉となるため、ローカル 5GUL 性能に着 目し評価を行う。下記はキャリア 5G 停波時(=ローカル 5G 基地局 A/B 発射時)を基準に し、各パターンでの受信電力について表にしたものである。

		受信電力(dBm)								
測定 ポイント	キャリア 5G 端末との離 隔距離	ローカル 5G 単体 (キャリア 5G 停波)	キャリア 5G+ ローカル 5G 片側	ローカル 5G 単体との差分	キャリア 5G+ ローカル 5G 両方	ローカル 5G 単体との差分				
10	Om	-00 60	-89.81	0.8 <mark>8</mark>	-91.13	-0.44				
Ta	1m	-90.09	-90.89	-0.20	-92.33	-1.64				
2a	Om	-112 00	-102.95	10.05	-106.45	6. 5 <b>5</b>				
	1m	115.00	-101.94	11.06	-107.35	5.6 <mark>5</mark>				
20	Om	_111 52	-106.64	4.89	-107.33	4.20				
Ja	1m	-111.00	-108.87	2.6 <mark>6</mark>	-107.93	3.60				
16	Om	-96 00	-90.94	-4.94	-81.24	4.76				
10	1m	-80.00	-86.87	-0.87	-86.65	-0.65				
01	Om	00.97	-90.80	9.0 <b>7</b>	-90.18	9.6 <mark>9</mark>				
26	1m	-99.07	-93.18	6.6 <del>9</del>	-91.06	8.81				
3b	Om	-07.08	-90.90	6.18	-89.50	7.58				
	1m	-97.08	-98.13	-1.05	-91.30	5.78				

表 4-16 各測定ポイントでのローカル 5G 受信電力

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

黄色で塗りつぶした箇所は、キャリア 5G 停波時よりも数値が大きくなっている箇所を示 している。上記の表を確認すると、受信電力ではキャリア発射時の方が高い受信電力を得て いる場合が散見される。これらの測定ポイントに着目すると、いずれもキャリア基地局によ り近い場所で測定しているポイントであることがわかる。このことから、キャリア電波によ る干渉とは関係なく受信電力の差分が発生しているということが考えられ、キャリア電波 の干渉による影響として受信電力は考慮する値にはならないと考えられる。

次に RSRQ と SIR/SINR についてまとめた表が下記である。黄色で塗りつぶした箇所は、キャリア 5G 停波時よりも値が大きくなっている箇所を示している。

測定 ポイ ント	<sup>キャリア</sup> 5G 末 と 離 距 離		SIR/SINR(dB)								
		ローカル 56 単体 (キャリ ア 56 停 波)	キャリア 5G+ロー カル 5G 片側	ロカ56体の分	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 両 方	ロカ 5G体の分	ローカ ル 5G 単体 (キャ 万 6 波)	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 片 側	ローカ ル 5G 単体と の差分	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 両 方	ロカ 56 体の 分
1 -	Om	-10.39	-10.41	-0.02	-10.46	-0.07	21. 21	21.47	0. 2 <b>6</b>	21.06	-0.15
Ia	1m		-10.37	0.02	-10.29	0. 1 <b>0</b>		21.16	-0.05	21.10	-0.11
9-	Om	10.00	-10.45	1. 78	-11.10	1.13	4.11	18.20	14.09	11.68	7. 5 <b>7</b>
2a	1m	-12.23	-10.49	1.74	-12.14	0.09		18.79	14.68	4.45	0.34
11.	Om	10.02	-10.36	0. 47	-10.55	0.28	20. 10	20.46	0. 3 <b>6</b>	20.54	0.44
01	1m	-10.83	-10.72	0.11	-10.51	0.32		15.25	-4.85	20.12	0.02
01	Om	11.05	-10.35	1.00	-10.50	0.85	18.63	20.45	1.82	20.18	1. 5 <b>5</b>
2b	1 m	-11.35	-10.32	1.03	-10.68	0.67		20.04	1. 41	20.06	1. 43

表 4-17 各測定ポイントでのローカル 5G 電波品質

仮にキャリア電波による干渉がある場合、RSRQ はキャリア停波時よりも低い値が確認される可能性がある。その観点を以て上記の表を確認すると、測定ポイント1a(キャリア端末との離隔 0m)を除き、値が高くなっていることがわかる。

次に SIR/SINR について確認する。SIR/SINR についても RSRQ と同様にキャリア停波時よ りもキャリアの電波が発射されているパターンで高い値になっていることが多く散見され る。

もし仮にキャリア基地局側の電波発射における干渉影響があるのであれば、RSRQ はキャリア停波時より値が低く、SIR/SINR も同様に低い値を得る結果となったと考えられる。

このことを踏まえて測定結果から考察すると、逆説的にキャリア基地局の電波発射にお ける干渉影響はローカル 5G システムの受信品質には影響しないと考えられる。

次にキャリア基地局に一番近い測定ポイントのRSRQ、SIR/SINRを確認する。

測 ポイ ント	<sup>キャリア</sup> 5G 端 の 隔 離	RSRQ (dB)					SIR/SINR(dB)					
		ローカ レ 5G 単 (キャリ ア 5G 波)	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 片側	ロカ 5G体の分	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 両方	ロカ 5G体の分	ロー カ 5G 体 (キャ ア 5 G 波)	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 片側	ロー カル 5G単 の 差 分	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 両方	ロ カ 5G 体 を 差 の 分	
2-	Om	-11.08	-10.06	1.02	-10.10	0.98	5.89	16.01	10.12	12.36	6. 4 <b>7</b>	
3a	1m		-10.65	0.43	-10.21	0.87		14.38	8. 4 <b>9</b>	13.26	7.3 <b>7</b>	
3b	Om	-10 56	-10.39	0.17	-10.44	0.12	19.17	20.39	1.22	20. 52	1. 35	
	1m	-10.56	-10.47	0. 09	-10. 48	0.08		19. 52	0.35	20. 37	1.20	

表 4-18 3a/3b でのローカル 5G 電波品質

RSRQ について各測定ポイントで確認する。仮にキャリア電波による影響が強いのであ れば、前述までのデータと違い、極端に RSRQ が低くなることも考えられる。しかしなが ら、上記の測定結果からキャリア 5G 電波停波時と電波発射時のそれぞれで比較してもキ ャリア 5G 電波発射時の方が値が高いことが確認される。従って、キャリア 5G 基地局から の電波は RSRQ には影響しない、と考えられる。

またキャリア 5G 基地局に近づくにあたっても、キャリア 5G 電波停波時とキャリア 5G 電波発射時でそれぞれの値で 2dB 以上の差分が出ないことから、この結果は測定誤差と考えた。

また SIR/SINR についても同様に確認する。キャリア電波が影響を及ぼすのであれば、 これまでのデータと違い、SIR/SINR もキャリア基地局に近い 3a/3b で低い値が低くなる 可能性が考えられる。しかしながら、上記の測定結果からキャリア基地局が近くともキャ リア電波停波時より数値が高いことが確認される。したがってキャリア基地局からの電波 は SIR/SINR に影響しない、と考えられる。

上記より、電波品質が影響しないのであれば、通信品質(スループット・伝送遅延)にも 影響しないのではないか、と考えられる。

次にスループット・伝送遅延について測定結果を確認する。

キ 別定 ポイ ント 降	キャリア	上りスループット(Mbps)					伝送遅延(ms)					
	5G端 末と の隔距 離	ローカ ル5G 単体 (キャ リア5G 停波)	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 片 側	ローカ ル 5G 単体と の差分	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 両 方	ローカ ル 5G 単体と の差分	ローカ ル 5G 単体 (キャ リア 5G 停波)	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 片 側	ロカ 5G体の分	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 両方	ロー カル 5G単 の 分	
19	Om	27 20	40.80	13.60	41.00	13.80	43 00	42.00	1.00	41.00	2.00	
14	1m	21.20	40.80	13. 6 <mark>0</mark>	40.90	13. 70	10.00	41.00	2. 0 <b>0</b>	41.00	2.00	
_	Om	27 60	41.00	3. 40	40.30	2. 70	40,00	42.00	- 2. 00	40.00	0.00	
28	1m	57.00	41.00	3. 40	40.20	2.60	40.00	43.00	- 3. 00	40.00	0.00	
1h	Om	18 20	18.40	0.10	18.40	0.10	41 00	40.00	1. 0 <b>0</b>	41.00	0.00	
10	1m	10. 30	18.40	0.10	18.40	0.10	41.00	39.00	2. 0 <b>0</b>	41.00	0.00	
26	Om	18 10	18.40	0. 30	18.40	0.30	48 00	45.00	3. 0 <b>0</b>	41.00	7.00	
2b	1m	18.10	18.40	0. 30	18.40	0. 30	48.00	47.00	1.00	40.00	8.00	

表 4-19 1a/2a/1b/2b でのローカル 5G 伝送性能

測定結果より、キャリア 5G 電波発射およびキャリア 5G 基地局に近づくことによる影響 によって、スループット低下及び伝送遅延の増加は確認できなかった。逆にキャリア電波 発射時のほうが良い結果になるケースも散見されることから、スループット・伝送遅延も 同様にキャリア電波発射およびキャリア基地局が近い場合においても影響がないと考えら れる。

これらのことから、キャリア 5G 電波の発射および、キャリア 5G 基地局に対する離隔は 電波品質と同じく、通信環境に影響を及ぼさないと考えられ、このことを念頭に最もキャ リア基地局に近い 3a/3b の測定結果を確認する。
		上りスループット(Mbps)				s)	伝送遅延(ms)				
測定 ポイン ト	<sup>キャリア</sup> 5G 端 末との 離隔距 離	ローカ ル 5G 単体 リア 5G 停 波)	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 片側	ロー カル 5G単 の 差 分	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 両方	ロー カル 5G単 の 差 分	ローカ ル 5G 単体 (キャ リア 5G 停 波)	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 片側	ロー カル 5G単 の 差 分	キャリ ア 5G+ ローカ ル 5G 両方	ロー カル 5G単 の 分
3a	Om	40.90	40.80	- 0. 10	41.10	0.20	41.00	41.00	0.00	41.00	0.00
	1m		41.00	0. 10	41.00	0.10		41.00	0.00	40.00	1.00
21	Om	19 10	18.10	0. 00	18.10	0.00	40,00	41.00	- 1. 00	41.00	-1.00
30	1m	10.10	18.10	0.00	18.20	0.10	40.00	42.00	- 2.00	40.00	0.00

表 4-20 3a/3b でのローカル 5G 伝送性能

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

上記の結果を確認するとキャリア停波・キャリア基地局に近くなることによるスループ ットおよび伝送遅延に影響がないことが確認できる。

次にキャリア 5G 端末との離隔距離に着目して考察する。キャリア 5G 端末との離隔距離 0m、1m での RSRQ、SNR 及び上りスループット、伝送遅延の比較を下記に示す。RSRQ、 SNR については UE での測定データである。また、黄色で塗りつぶした箇所は端末の離隔 距離を 1m に離した場合に数値が大きくなった箇所を示している。

測定	キャリア 50 世	RSR	Q(dB)	SNR	(dB)	上りス/ ト(M	レープッ bps)	伝送遅	延(ms)
阅 ポイ ント	末との離隔 距離	キャリア 5G+ロー カル 5G 片側	キャリア 5G+ローカ ル 5G 両方	キャリ ア 5G+ロ ーカル 5G 片側	キャリ ア 5G+ロ ーカル 5G 両方	キャリ ア 5G+ロ ーカル 5G 片側	キャリ ア 5G+ロ ーカル 5G 両方	キャリ ア 5G+ロ ーカル 5G 片側	キャリ ア 5G+ロ ーカル 5G 両方
	Om	-10.36	-10.36	34.27	32.48	40.80	41.00	42.00	41.00
1a	1m	-10.36	-10.36	35.34	35.46	40.80	40.90	41.00	41.00
14	Om と 1m での差分	0.00	0.00	1. 0 <b>7</b>	2. 98	0.00	-0.10	1.00	0.00
	Om	-10.57	-10.39	12.11	20.95	41.00	40.30	42.00	40.00
2a	1m	-10.51	-10.40	12.58	20.26	41.00	40.20	43.00	40.00
Za	Om と 1m での差分	0.06	-0.01	0. 47	-0.69	0.00	-0.10	-1.00	0.00
3a	Om	-10.64	-10.65	10.90	9.72	40.80	41.10	41.00	41.00
	1m	-10.61	-10.84	11.29	8.03	41.00	41.00	41.00	40.00
	Om と 1m での差分	0. 03	-0.19	0.39	-1.69	0.20	-0.10	0.00	1.00
	Om	-10.36	-10.37	27.73	27.79	18.40	18.40	40.00	41.00
1b	1m	-10.35	-10.38	27.69	27.55	18.40	18.40	39.00	41.00
	0m と 1m での差分	0.01	-0.01	-0.04	-0.24	0.00	0.00	1.00	0.00
	Om	-10.50	-10.38	14.63	22.85	18.40	18.40	45.00	41.00
2b	1m	-10.51	-10.38	16.88	23.07	18.40	18.40	47.00	40.00
20	Om と 1m での差分	-0.01	0.00	2 <b>.</b> 2 <b>5</b>	0. 2 <b>2</b>	0.00	0.00	-2.00	1.00
	Om	-10.41	-10.37	18.99	25.22	18.10	18.10	41.00	41.00
3b	1m	-10.50	-10.37	15.31	24.90	18.10	18.20	42.00	40.00
Зb	0m と 1m での差分	-0.09	0.00	-3.68	-0.32	0.00	0.10	-1.00	1.00

表 4-21 キャリア 5G 端末との離隔距離 0m と 1m の電波品質、伝送性能の比較

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

上表を確認すると、キャリア 5G 端末を 0m から 1m に離した場合に、数値が上がった場合と、反対に数値が下がるといった両方の結果が得られている。この結果については数値の変動も小さく、測定ポイント及び基地局の発射パターンに依らないため、電波干渉による影響とは考えにくい。以上のことから、キャリア 5G 電波の干渉によるローカル 5G システムの電波品質・通信品質はない、と考える。

ローカル 5G によるキャリア 5G の下り通信への干渉影響、キャリア 5G によるローカル 5G の上り通信への干渉影響は、ともに見られなかったことから、移動局間干渉、基地局間 干渉はともになかったと考えられる。この結果は、基地局間干渉については、指向性アン テナの帯域内干渉以外のパターンにおいては実測値シミュレーション結果と一致するもの となった。一方で、移動局間干渉については、全てのパターンで実測値シミュレーション 結果と異なる結果となった。このことから、シミュレーションは今後も更に精査を行う必 要があると考えられる。

#### 4.3.2 実証 No.15 の共用検討

この実証は、高速道路の土木建設現場の環境において、4.7~4.8GHzのローカル5G基地 局を屋内に、4.8~4.9GHzのローカル5G基地局を屋外に配置し実施された。2つのシステ ムの共用検討はシミュレーションにより実施されている。現在の制度に基づき、2つのシス テムは互いに調整対象区域の離隔が確保されている条件で行われており、その意味で基地 局間干渉は検討せず、移動局間干渉について検討している。超高精細映像の通信に必要とな るアプリレイヤでの最大120MbpsのULスループットが達成可能であることを示すととも に、計算機シミュレーションによって、本実証試験環境(山間部周辺かつ作業進行中の土木 建設現場)を想定し、与干渉/被干渉電力を算出した上で、共用条件を見極めている。

#### 4.3.2.1 実証目標

図 4-13 に、本実証試験で検討する準同期 TDD 追加パターンを示す。本実証試験では、 既に制度化された準同期パターン①に加えて、準同期 TDD 追加パターン②および③を検討 する。UL の最大スループットは、同期パターンにおいておよそ 127 Mbps に対して、準同 期追加パターン③によれば、383 Mbps となり、およそ 3 倍の効果が見込める。本実証試験 では、追加設定パターンにより、超高精細映像の通信に必要となるアプリレイヤでの最大 120 Mbps が達成可能であることを実証することを目的とする。

共用検討は電波伝搬シミュレーションおよび伝搬モデルの精緻化の取り組みで新たに算 出する計算式の両方に基づいて行う。共用検討にあたっては、干渉相手の周波数や屋内/屋 外の状況や、TDD スロット構成を想定し、それぞれ評価・検討を行い、所要性能を満たす ための離隔距離等の共用条件を明らかとすることを目標とする。評価パラメータについて は、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年 7月)に記載された内容に従うものとする。





#### 4.3.2.2 実証仮説

図 4-14 は、本実証試験で想定する周波数帯域および与干渉/被干渉の様子を示す概要図 である。本実証試験では、準同期 TDD 追加パターンの共用検討においては、シミュレーシ ョンによる評価を実施する。カバーエリアおよび干渉調整対象区域においては、本実証試験 で使用する 4.8~4.9GHz 帯に対しては、は現時点では、隣接 CH にキャリア 5G は設定され ていない。しかし、今後、4.9~5GHz 帯でのキャリア 5G の展開、および 4.6~4.8GHz 帯で のローカル 5G ソリューションの展開を想定し、シミュレーション評価を実施する。

共用条件の検討においては、与干渉/被干渉の双方において、基地局アンテナと重機や建築物との距離、および周辺の丘陵の大きさが、与干渉電力および被干渉電力に対して影響を与える可能性が高い。特にトンネル出入り口付近は、複数方向が斜面に囲まれる状況となるため、周辺斜面からの反射の影響を強く受ける可能性が高い一方で、アンテナ高によっては周辺への与干渉電力および周辺からの被干渉電力は低減される可能性があり、周辺ローカル 5G 基地局やキャリア 5G 基地局との間の離隔距離を小さくできる可能性がある。



本実証試験においては、本実証試験環境を想定し、電波遮蔽物の配置状況をパラメータとして、与干渉電力を算出した上で、共用条件を見極める。

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

図 4-14 干渉検討パターン

現在制度化されている準同期パターンは準同期 TDD パターン①のみであり、今回検討す る追加準同期 TDD パターン②および③については、制度上は非同期運用に分類される。し かし、本実証試験では、追加準同期 TDD パターン②および③が新たに準同期パターンとし て追加されることを想定し、ローカル 5G 基地局同士、およびローカル 5G とキャリア 5G 基地局同士はスロット同期が取られていることを想定する。すなわち、共用検討先のキャリ ア 5G/ローカル 5G が DL 運用されているスロットにおいて、自ローカル 5G が UL 運用さ れる可能性がある場合を想定する。以下では、本実証試験で対象とする超高精細映像伝送が 自ローカル 5G で運用可能となる所要離隔距離および改善量を求める場合、すなわち被干渉 の検討に必要となるシミュレーション方法の概要を記載する。 はじめに、所定の離隔距離で設置した基地局同士、基地局端末同士、および端末同士の被 干渉電力を算出する。被干渉電力の算出にあたっては、既にモデル化された電波伝搬損失の モデル式ではなく、今回実証試験を想定し、別途実証試験により検討した精緻化後のモデル 式に基づいて計算を行う。なお、離隔距離は、あらかじめ予干渉の評価によって求める所要 離隔距離を基準とする。

算出した被干渉電力と、自ローカル 5G と共用検討先のキャリア 5G/ローカル 5G のスロ ット構成に基づいて、スロット番号毎に、DL および UL の受信 SINR を算出する。3GPP で規定された MCS テーブルと別途シミュレーションによって得た MCS 対ブロック誤り率 (BLER)特性データ(図 4-17)より、パケット誤り率 10%を所要品質として、達成可能なスル ープットをスロット番号毎に算出し、スループットを算出する。以上の処理を、移動局のド ロップを繰り返し、十分な回数を繰り返すことで、平均スループットおよび最大スループッ トを算出する。

算出した平均スループットと最大スループットが、本実証試験で想定する目標値に達し ているか否かを、設定した離隔距離に対して判定する。なお、本実証試験で想定するソリュ ーションシステムは基本的には UL 伝送に大容量化が求められているため、所要離隔距離 および改善量は主に UL 伝送において、品質を担保できるか否かに焦点を当てて検討を進 める。

想定されるのは、当然ながら、自ローカル 5G での UL スロットと、共用検討先の DL ス ロットが衝突した場合、自ローカル 5G 基地局の UL 品質は、特に共用検討先が同一周波数 を用いている場合、大きく劣化してしまうことが予想される。この場合、当該スロットにお いて、自ローカル 5G が利用可能な MCS は低いものとなってしまうため、準同期②および ③が準同期①に対して得られる UL スループットの利得は低下してしまう可能性があるが、 制度化済みの離隔距離によって、十分な干渉抑圧がなされることが期待され、本実証試験で 構築するソリューション実現には十分な UL スループットが得られる結果になるのではな いかと考える。

表 4-22 は上記方法において、主に参照する無線パラメータを示す。ここに記載のないパ ラメータについては、基本的には情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信 システム委員会報告(令和2年7月)に準ずる。また、実機での測定後においては、送信電 力分布の実測値(図 4-15)およびスペクトラムマスクの実測値(図 4-16)を用いて計算機シミ ュレーションを実施するものとする。

なお、伝搬損失については、無線局免許審査基準において定義されている伝搬損失式に対して、別途実証試験により検討した精緻化パラメータを用いて計算している。

(i 直線距離で dxy(km) < 0.04km の場合

 $L = L0 + 32.4 + 20log_{10}(f) + 10log_{10} \left\{ \left( d_{xy}^2 \right) + \frac{(H_b - H_m)^2}{10^6} \right\} + R$ (ii 0.04km ≤ dxy(km) かっ dxy(km) < 0.1km の場合  $L = L0 + \{2.51log_{10}(d_{xy}) + 3.51\} \times (L_H - L0)$ (iii 0.1km ≤ dxy(km)の場合  $L = L_H = 46.3 + 33.9log_{10}(2000) + 10log_{10} \left( \frac{f}{2000} \right) - 13.82log_{10}(\max(30, H_b))$  $+ \{44.9 - 6.55log_{10}(\max(30, H_b))\}(\left(log_{10}(d_{xy})\right)^a$ 

$$-a(H_m) - b(H_m) + R - K - S$$

ここで、f(MHz)は中心周波数、 $H_b(m)$ は基地局の空中線地上高、 $H_m(m)$ は移動局の空中線 地上高、R は建物侵入損(16.2dB)である。また今回検討では $\alpha$ は1とし、 $a(H_m)$ は、0.057 とした。また、Hb<30mのため、 $b(H_b)$ =20log10( $H_b$ /30))とした。

K は、伝搬路モデルの精緻化検討において、重機などの影響を考慮した K=-8dB を設定 した。S については、本節検討においては、基地局と移動局の間には大きな標高差は生じて いないことを仮定し、S=32.5 を設定した。

1, 3
ランダム配置
ラウンドロビン
3GPP Release 15(64QAM テーブル)
10%
4 symbol per slot
Full buffer モデル※最悪ケースを想定

表 4-22 主なパラメータ



出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

図 4-15 移動局の送信電力分布



図 4-17 参照する MCS 対 BLER カーブ



(b)水平面 図 4-18 想定するスモール基地局アンテナパターン

## 表 4-23 各システム諸元

(a) スモール基地局

送信側		
項目	設定値	備考
空中線電力	24dBm	帯域幅 100MH:
空中線利得	最大11dBi	and the second second second
	素子数8	
送信系各種損失	2dB	
等価等方輻射電力(EIRP)	最大44dB	
空中線指向特性(水平、垂直)	図3.3.3-4	
機械チルト	0°	
空中線高	2m	
送信带域幅	100MHz (4.8~4.9GHz)	
隣接チャネル漏洩電力	下記または-4dBm/MHz の高い値	
	-44.2dBc	
	(チャネル帯域幅MHz 離調)	注3
	-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発射の強度	-4dBm/100kHz (30MHz-1GHz)	
	-4dBm/MHz(1GHz 以上)	注3
	※周波数帯の端から40MHz 以上の範囲に適用	
受信側		
項目	設定値	備考
許容干涉電力(帯域内干渉)	-110dBm/MHz	注1
	(I/N=-6dB、NF=10dB)	
許容干涉電力(帯域外干渉)	-47dBm(隣接20MHz 幅)	注3
	-38dBm(上記以外)	
空中線利得	最大11dBi	
	素子数8	
受信系各種損失	2dB	注1
空中線指向特性(水平、垂直)	勧告TU-R M.2101	注1
機械チルト	0°	注1
空中線高	2m	注2

注 1 ITU-R における共用検討に基づく (ITU-R TG5/1 Contribution 36, 2017-02-28)

注2LTE-Advanced システムに対して実施された過去の共用検討に基づく

注33GPP の標準仕様に基づく

注4 同一周波数の干渉検討で考慮。隣接周波数の干渉検討においては、不要発射の強度の値が総合放射 電力(空間に放射される電力の合計値)で規定されているため考慮しない

項目         設定値         備考           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(水平、垂直)         無指向性	
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(水平、垂直)     無指向性	
空中線利得     OdBi       給電線損失     OdB       空中線指向特性(水平、垂直)     毎指向性	
給電線損失     OdB       空中線指向特性(水平、垂直)     毎指向性	
空中線指向特性(水平,垂直) 毎指向性	
送信空中線高 1.5m	
送信带域幅 100MHz(4.8~4.9GHz)	
隣接チャネル漏洩電力 下記または-50dBm/3.84MHz の高い値	
-33dBc	
(チャネル帯域幅/2+2.5MHz 離調) 注3	
-33dBc	
(チャネル帯域幅/2+7.5MHz 離調)	
下記または-50dBm/チャネル帯域幅MHz の	
スプリアス領域における不要発射の強度 -36dBm/1kHz(9kHz-150kHz)	
-36dBm/10kHz(150kHz-30MHz) 注3	
-36dBm/100kHz (30MHz-1GHz)	
-30dBm/MHz(1GHz 以上)	
その他損失         8dB(人体吸収損)         注1	
受信側	
項目 設定値 備考	
許容干涉電力(帯域内干渉) -110dBm/MHz 注1	
(I/N=-6dB、NF=10dB)	
許容干涉電力(帯域外干渉) -47dBm(隣接20MHz 幅) 注3	
-38dBm(上記以外)	
空中線利得 OdBi	
給電線損失 OdB	
空中線指向特性(水平、垂直) 無指向性	
空中線高 1.5m	
その他損失         8dB(人体吸収損)         注1	

(b) 移動局

注 1 ITU-R における共用検討に基づく (ITU-R TG5/1 Contribution 36, 2017-02-28)

注33GPP の標準仕様に基づく

#### 4.3.2.3 評価・検証項目

表 4-24 に評価・検証項目をまとめる。評価項目としては、同一 CH で運用されるローカ ル 5G 基地局との共用検討と、隣接 CH で運用されるキャリア 5G 基地局との共用検討を行 う。なお、本実証試験で実際に技術試験を実施する 4.8~4.9GHz の隣接 CH には現在の所、 キャリア 5G は設定されていないが、今後、様々な環境でのローカル 5G の活用を想定し、 200MHz 離れた 4.5~4.6GHz のキャリア 5G との共用検討や、4.9~5GHz でのキャリア 5G 運用を想定しての共用検討、また 4.7~4.8GHz でのローカル 5G の屋外開放を想定した共用 検討も併せて行う計画である。なお、評価にあたっては、基地局間の干渉だけではなく、移 動局間の干渉に関しても考慮する。

共用検討先	周波数の関係	TDD スロット構成	評価項目				
ローカル 5G	同一 CH/隣接 CH	同期/準同期①~③	所要改善量 所要離隔距離				
キャリア 5G	4.5~4.6GHz および隣接 CH	同期	所要改善量 所要離隔距離				

表 4-24 評価·檢討項目

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

#### 4.3.2.4 評価・検証方法

表 4-25 に示した各項目に対する、評価・検証方法を以下に記載する。

評価項目1

ローカル 5G 同士の共用検討においては、同一 CH で運用されている場合と隣接 CH で 運用されている場合を想定する。評価パラメータとしては、主に、離隔距離と、基地局設置 環境(屋内/屋外)および TDD スロット構成を想定する。

評価項目2

キャリア 5G との共用検討においては、運用 CH の差をパラメータとする。併せて、評価 項目 1 と同様に、離隔距離と基地局設置環境(屋内/屋外)および TDD スロット構成を想定す る。

共用検討シミュレーションにおける干渉パターンについては、少なくとも以下の干渉パ ターンを検討する。

ス 4-20 応定 〒伊バク 一 ノ								
	対象	周波数	TDD					
パターン1	ローカル 5G	隣接 CH	同期					
パターン2	ローカル 5G	隣接 CH	準同期①					
パターン 3	ローカル 5G	隣接 CH	準同期②					
パターン 4	ローカル 5G	隣接 CH	準同期③					
パターン 5	ローカル 5G	同一CH	同期					
パターン6	ローカル 5G	同一CH	準同期①					
パターン7	ローカル 5G	同一CH	準同期②					
パターン 8	ローカル 5G	同一CH	準同期③					

表	4 - 25	想定-	F渉ノ	ペタ	-  u
~					-

	対象	周波数	TDD
パターン 9	キャリア 5G	4.5~4.6GHz	同期
パターン 10	キャリア 5G	隣接 CH	同期

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

分析・考察にあたっては、与干渉については、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代 モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月)の干渉検討を参考に、与干渉量、所要改 善量、所要離隔距離をとりまとめ、所要改善量および所要離隔距離について共用条件を整理 する。

一方、被干渉については、先に示した計算機シミュレーション手法に基づいて、上記与干 渉検討による共用条件において、自ローカル 5G における超高精細映像伝送を実現できるか 否かを判定する。万が一、達成できない場合は達成するために必要な方策について考察を行 う。

#### 4.3.2.5 実証結果及び考察

表 4-25 に示した想定干渉パターンに基づいて、共用検討シミュレーション結果を示す。 共用検討シミュレーション結果に基づき、与干渉システムである追加準同期パターンを用 いるローカル 5G システムの他通信システムとの共存について、与干渉電力の観点から考察 を行う。

(1)隣接周波数で運用されるローカル 5G システムに対して

想定干渉パターンのうち、パターン1からパターン4については、与干渉システムが中 心周波数4.85GHzで屋外運用されているローカル5Gシステムであり、被干渉システムは 隣接周波数である中心周波数4.75GHzで屋内運用されているローカル5Gシステムである。



基地局→移動局の評価は最悪値ケースとして、基地局のアンテナ指向性利得が最大(本検 討システムでは 11dBi が最大)となる方向に移動局が存在するものとし、基地局と移動局の 離隔距離を 10m と設定したものを正対モデルと想定した。また、移動局→移動局の評価は 最悪値ケースとして、移動局同士の離隔距離を 1m とした正対モデルを想定した。

また、本実証試験で用いる基地局は指向性アンテナを備えているため、被干渉システムの 移動局の位置に応じて、与干渉電力が大きく変化してしまう。また、移動局同士の位置関係 が変わった場合でも、与干渉電力は大きく変化してしまう。そのため、情報通信審議会情報 通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月)の干渉検討を参 考に、モンテカルロシミュレーションによっても干渉電力の評価を行った。

なお、モンテカルロシミュレーションの手法は、当該委員会報告の方法に準ずるが、基地 局→移動局への与干渉評価においては、与干渉装置は1局として評価を行っている。

計算ソフトウェア	MATLAB
試行回数	20000 ドロップ
検討エリア半径	被干渉移動局を中心に半径 100m
移動局台数	1, 3
送信電力分布	図 4-15
干涉確率	3%以下(累積確率 97%の値で評価)

表 4-26 モンテカルロシミュレーション諸元

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

帯域内干渉 带域外干涉 所要 所要改善 所要 与干涉量 所要改善量 与干涉量 離隔距離 離隔距離 量 (dBm/MHz) (dB)(dBm) (m)(dB)(m)基地局 -110.320.6712-57.3-17.32→移動局 1.37移動局 -108.312.68-15.31--55.3→移動局

表 4-27 共用検討結果(最悪値ケース)

※許容干渉量は、帯域内干渉は-111dBm/MHz,帯域外は-40dBm で計算 出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

表 4-27 に最悪値での評価結果、表 4-28 にモンテカルロシミュレーションによる評価結 果をそれぞれ示す。評価結果からは、特に基地局と移動局が 12m 以内に近接してしまうと 干渉影響が発生してしまう可能性があることがわかる。そのため、与干渉の観点に立てば、 与干渉システムと被干渉システムは見通し外での運用が好適である。一方で、見通し環境で の運用が必要となれば、基地局の指向性アンテナのメインビーム方向を、被干渉システムの 方向には向けない等の対策が必要となる可能性がある。

所要改善量の観点に立てば、移動局から移動局に与える干渉の影響が大きいことがわかる。このことは、与干渉システムが UL 伝送を行っているときに、被干渉システムが DL 送信を行っているときに影響が大きいことを示唆している。そのため、想定干渉パターンのうち、パターン4 である被干渉システムが準同期追加パターン3 であった場合、隣接ローカル 5G システムにおいて、お互いのスロット構成は同期しているから、移動局→移動局の干渉影響はあまり大きくならないことを示唆している。

一方で、被干渉システムであるローカル 5G システムにおいて準同期追加パターン2 が設定される場合(パターン3のケース)、被干渉システムが DL 送信を行っている場合に、与干

渉システムが UL 送信がスペシャルサブフレーム内で発生してしまう。そのため、移動局→ 移動局において、移動局同士が近接してしまうと、被干渉システムの DL 伝送に影響を及ぼ してしまう可能性があることを意味しており、隣接システムへの対応を考える場合に、基地 局側の対策に加えて、与干渉システム内における移動局の移動範囲を制限させるような、移 動局同士の近接を防ぐ対応が必要になると考えられる。この傾向は、被干渉システムが、準 同期パターン1や同期運用を行っている場合には、さらに強くなるものと考えられる。

	構	城内干涉	带域外干涉		
モデル	与干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)	与干渉量 (dBm)	所要改善量 (dB)	
基地局 →移動局	-112.3	-1.3	-59.3	-19.3	
移動局 →移動局	-118.3	-7.3	-55.3	-15.31	

表 4-28 共用検討結果(モンテカルロシミュレーション)

※許容干渉量は、帯域内干渉は-111dBm/MHz,帯域外は-40dBm で計算 出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

一方で、より実運用状態に近いといえるモンテカルロシミュレーション結果においては、 帯域内干渉および帯域外干渉ともに、許容干渉量内にとどまっていることがわかる。このこ とから、与干渉システムと被干渉システムの間で、遮蔽物がほとんどない見通し環境のよう な極端な環境を除けば、両者は共用できる可能性があると考えられる。

(2)同一周波数で運用されるローカル 5G システムに対して

想定干渉パターンのうち、パターン 5 からパターン 8 については、与干渉システムが中 心周波数 4.85GHz で屋外運用されているローカル 5G システムであり、被干渉システムに ついても中心周波数 4.85GHz で屋外運用されているローカル 5G システムとなる。



図 4-20評価シナリオ5 から8について

		帯城内干渉	帯域外干渉			
モデル	与干涉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)	所要 離隔距離 (m)	与干涉量 (dBm)	所要改善 量 (dB)	所要 離隔距離 (m)
基地局 →移動局	-52.12	56.8	361	0.87	40.87	111
移動局 →移動局	-59.11	51.8	77	-6.1	33.88	43

表 4-29 共用検討結果(最悪値ケース)

※許容干渉量は、帯域内干渉は-111dBm/MHz,帯域外は-40dBm で計算 出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

表 4-29 に最悪値での評価結果、表 4-30 にモンテカルロシミュレーションによる評価結 果をそれぞれ示す。最悪値ケースの評価結果からは、基地局と移動局が 360m 程度に近接 してしまうと、干渉影響が発生してしまう可能性があることがわかり、この離隔距離は、隣 接周波数で運用されるローカル 5G システムの場合と比較してかなり大きい。

	帯域	內干涉	帯域外干渉				
モデル	与干涉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)	与干涉量 (dBm)	所要改善量 (dB)			
基地局 →移動局	-54.2	56.8	-1.2	38.8			
移動局 →移動局	-68.5	42.5	-15.5	24.5			

表 4-30 共用検討結果(モンテカルロシミュレーション)

※許容干渉量は帯域内干渉は-111dBm/MHz,帯域外は-40dBm で計算 出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

また、モンテカルロシミュレーション結果においても、所要改善量は、比較的大きいこと がわかる。このことから、同一周波数で運用されるローカル 5G システムの場合、与干渉シ ステムとなるローカル 5G システムでは、基地局においては、指向性アンテナを用いること に加えて、意図的に遮蔽物を併設するような対応が必要となる可能性がある。

# (3)隣接周波数で運用されるキャリア 5G システムに対して

また、想定干渉パターンのうち、パターン9およびパターン10については、与干渉シス テムが中心周波数4.85GHz で屋外運用されているローカル5Gシステムである一方で、被 干渉システムは、隣接周波数である中心周波数4.95GHz で屋外運用されているキャリア5G システムおよび4.55GHz で屋外運用されているキャリア5Gシステムとなる。なお、与干 渉電力の観点においては、隣接周波数である中心周波数4.95GHz で屋外運用されているキ ャリア5Gシステムに与える影響が大きいため、共用検討シミュレーションは、被干渉シス テムとして中心周波数4.95GHz で屋外運用されているキャリア5Gシステムを想定する。



図 4-21 評価シナリオ 9 から 10 について

		帯域内干渉		帯域外干渉				
モデル	与干涉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)	所要 離隔距離 (m)	与干涉量 (dBm)	所要改善 量 (dB)	所要 離隔距離 (m)		
基地局 →移動局	-94.12	16.87	48.5	-41.12	-1.12	-		
移動局 →移動局	-92.11	18.88	9	-39.11	0.88	1.11		

表 4-31 共用検討結果(最悪値ケース)

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

※許容干渉量は、帯域内干渉は-111dBm/MHz,帯域外は-40dBmで計算

表 4-31 に最悪値での評価結果、表 4-32 にモンテカルロシミュレーションによる評価結 果をそれぞれ示す。最悪値ケースの評価結果からは、基地局と移動局が 48.5m 程度に近接 してしまうと、干渉影響が発生してしまう可能性があることがわかる。一方で、移動局同士 の所要離隔距離は 9m 程度であることがわかる。表 4-32 に示すモンテカルロシミュレーシ ョン結果においても、同様の傾向を示していることがわかる。

	帯域	內干涉	帯域外干渉				
モデル	与干涉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)	与干涉量 (dBm)	所要改善量 (dB)			
基地局 →移動局	-96.9	14.1	-43.9	3.9			
移動局 →移動局	-101.8	9.2	-48.8	8.8			

表 4-32 共用検討結果(モンテカルロシミュレーション)

出所)実証コンソーシアム No.15 提供資料

※許容干渉量は、帯域内干渉は-111dBm/MHz,帯域外は-40dBmで計算

そのため、隣接周波数で運用されるキャリア 5G システムに対して、干渉影響の可能性を

排除するには、基地局の指向性アンテナのメインビーム方向を、キャリア 5G システムの運 用エリアには向けない等の対策が必要であり、また見通し外での運用が好適であるといえ る。

#### 4.3.3 実証 No.17 の共用検討

この実証は国際会議場の屋内環境にて、4.7~4.8GHz 準同期基地局と 4.8~4.9GHz 同期基 地局との間で共用検討を行っている。

### 4.3.3.1 実証目標

本実証で使用する準同期対応装置のスロットパターンを以下に示す。課題実証で検証を 実施する混雑検知システムの所要 UL スループット 25Mbps に対応すべく、準同期 TDD2、 準同期 TDD3 に対応する装置を導入し、実証仮説に記載する共用条件において、シミュレ ーションによる干渉検討、算出された離隔距離を使用し、実測定、および算出による伝送 性能評価を行う。

表 4-33 準同期対応装置のスロットパターン

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	
問題TDO	D	D	D	s	U	U	D	D	D	D	D	D	D	5	U	U	D	D	D	D	-
準同期TDO 1	D	D	D	s	U	U	D	5	U	U	D	D	D	\$	U	U	D	5	U	U	- 既仔
準同期TDO 2	D	D	s	υ	U	U	D	5	U	U	D	D	5	U	U	U	D	5	U	U	10.60
季問期TDO 3	D	5	U	U	U	U	D	5	U	U	D	5	U	U	U	U	D	5	U	U	

※D:下りスロット、U:上りスロット、S: DからUへの切替期間を含む特別スロット 出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

# 4.3.3.2 実証仮説

評価で使用する機器の共用条件を以下に示す。

× 101	
項目	条件
干渉相手との周波数隣接状況	隣接 CH
干渉相手の運用パターン	同期パターン
■基地局間干渉	
与干涉側	4.8-4.9GHz ローカル 5G 同期基地局
被干涉側	4.7-4.8GHz ローカル 5G 準同期基地局
■移動局間干渉	
与干涉側	4.7-4.8GHz ローカル 5G 準同期移動局

表 4-34 共用条件

項目	条件
被干涉側	4.8-4.9GHz ローカル 5G 同期移動局

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

準同期 TDD2 と TDD3 において実機測定前共用検討シミュレーションにより求まる同期 局、準同期局の離隔距離を以下表の帯域内干渉、帯域外干渉における所要離隔距離に示す。 なお、共用検討シミュレーションについては、算出式にスロット比率条件は含まれてなく、 与干渉量から離隔距離を算出しているため準同期 TDD2 と TDD3 の結果は、同一となる。

(1) 基地局相当装置間の干渉(正対)

表 4-35 基地局間十涉(	止对)常	城内十涉条件							
基地局相当装置間の干渉(正対)帯域内干渉条件									
与干涉局送信電力	-36	dBm/MHz							
送信空中線利得	9	dBi							
送信諸損失	3	dB							

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

衣 4-50								
基地局相当装置間の干渉(正対)帯域外干渉条件								
与干涉局送信電力	13.6	dBm/MHz						
送信空中線利得	9	dBi						
送信諸損失	3	dB						

• 甘业已明工业(工业) 世纪从工业条件

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

上記基地局相当装置間の干渉(正対)条件、および同期局と準同期局の離隔距離から干渉 相手である準同期局における受信機入力レベルを求める。求めた受信機入力レベルが帯域 内干渉における許容干渉電力-110dBm/MHz、帯域外干渉における許容干渉電力・ 60dBm/MHz となる離隔距離が以下に示す所要離隔距離となる。

表 4-37 基地局間干渉(正対)実機測定前共用検討シミュレーション結果

パラ		帯域内干渉		带域外干涉				
メータ	メータ メータ [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要離隔 距離[m]	与干涉量 所要改善 所要離隔 [dBm/MHz] 量[dB] 距離[m]				
設定値	-110.0	-	390	-60.0	-	187		

(2) 基地局相当装置間の干渉(併設)

基地局相当装置間の干渉(併設)条件								
与干涉局送信電力	-36	dBm/MHz						
送信空中線利得	-14.8	dBi						
送信諸損失	3	dB						

# 表 4-38 基地局間干涉(併設)帯域内干涉条件

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

# 表 4-39 基地局間干涉(併設)带域外干涉条件

基地局相当装置間の干渉(併設)条件									
与干涉局送信電力	13.6	dBm/MHz							
送信空中線利得	-14.8	dBi							
送信諸損失	3	dB							

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

所要離隔距離の算出方法については上記基地局相当装置間の干渉(併設)条件を使用し、 (1)基地局相当装置間の干渉(正対)と同様の方法で以下を算出する。

表 4-40 基地局間干渉(併設)実機測定前共用検討シミュレーション結果

~~~~		帯域内干渉		帯域外干渉					
л), —	与 干 渉 量	所要改善	所要離隔距	与 干 渉 量	所要改善	所要離隔			
2	[dBm/MHz]	量[dB]	離[n]	[dBm/MHz]	量[dB]	距離[m]			
設定値	-110.0	_	0.23	-60.0	-	0.11			

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

#### (3) 移動局相当装置間の干渉

表	<b>1-41</b>	移動局間干涉条	倂
---	-------------	---------	---

移動局相当装置間の干渉(正対)条件			
与干涉局送信電力	3	dBm/MHz	
送信空中線利得	2.97	dBi	
送信諸損失	8	dB	

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

所要離隔距離の算出方法については上記移動局相当装置間の干渉(正対)条件を使用し、

(1) 基地局相当装置間の干渉(正対)と同様の方法で以下を算出する。

~~~		帯域内干渉		構	持城外干涉	
<u></u>	与干涉量	所要改善	所要離隔距	与干涉量	所要改善	所要離隔
2	[dBm/MHz]	量[dB]	離[m]	[dBm/MHz]	量[dB]	距離[m]
設定値	-110.1	-	700	-60.0	-	2.19

# 表 4-42 移動局間干渉実機測定前共用検討シミュレーション結果

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

# 4.3.3.3 評価・検証項目

評価・検証項目を以下に示す。

# 表 4-43 評価・検証項目

評価・検証内容	Output
<共用検討シミュレーション>	準同期 TDD2、準同期 TDD3
- 実機測定前シミュレーションを実施する (*1)参照	・実機測定前シミュレーシ
- 基地局、移動局の実力値を利用し、実機測定後シミュレー	ョン結果
ションを実施する	・実機測定後シミュレーシ
	ョン結果
<測定>	・準同期 TDD2
- 被干渉側準同期 TDD3 の干渉量を測定する	準同期 TDD3 スループット測
- 単独運用、同時運用における与干渉側、被干渉側双方の下	定結果から準同期 TDD2 スル
記性能を測定する	ープットを算出した結果、
同時運用時は、実力値による実機測定後シミュレーション	干渉量測定結果
結果から得られる離隔距離を使用する	・準同期 TDD3
その後、離隔距離による影響確認のため、離隔距離を変更	各種条件における干渉量、
した時の伝送性能を確認する	伝送性能測定結果
・伝送性能(スループット、遅延)	
なお、準同期 TDD2 については、準同期 TDD3 のスループット測	
定結果からスロット比率の違いを換算し、準同期 TDD2 のスル	
ープットを算出した	
<分析・考察>	・干渉検討取りまとめイメ
- 干渉検討取りまとめイメージ(*2)表 3-64 を作成し、共用条	ージ(*2)作成と共用条件出
件を示す	L
- 共用検討シミュレーションでは、実伝送性能への影響把握	・与干渉からの距離と伝送
が難しく、算出した離隔距離を用いて伝送性能への影響を確	性能の確認結果
認する	
- 被干渉について、与干渉からの距離を変数として伝送性能	
(スループット、遅延)の取りまとめを実施する	

(\*1) 情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(総務

(\*2) 干渉検討取りまとめイメージは以下

省;令和2年7月):<u>https://www.soumu.go.jp/main\_content/000697525.pdf</u>

パラメータ	带城内干涉		帯域内干渉帯域外干渉		i	
	与干涉量 [dBm/MHz]	所 要 改 善 量[dB]	所 要 離 隔 距離[m]	与干涉量 [dBm/MHz]	所 要 改 善 量[dB]	所 要 離 隔 距離[m]
設定値						
実測値						

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

## 4.3.3.4 評価・検証方法

評価方法を以下に示す。与干渉側は、UE と N6 のサーバ間で iperf による最大負荷を掛けるために最大リソースブロックを使用した状態で、以下評価を実施する。

測定項目	使用測定器/ツール	測定方法
与干涉量(RSSI)	・エリアテスタ Anritsu ML8780A ・スペクトラムアナラ イザ VIAVI CA5000	<ul> <li>・基地局間干渉:被干渉側に設置したエリ アテスタを使用し、RSSI [dBm/100MHz]を測 定し、dBm/MHz 単位に帯域換算する</li> <li>・移動局間干渉:被干渉側に設置したスペ クトラムアナライザを使用し、RSSI [dBm/100MHz]を測定し、dBm/MHz 単位に帯 域換算する</li> <li>・1回の測定あたり 1000 サンプルの中央値 とし、3回の平均値を使用</li> <li>・ラボ内の物理的な広さが限られていたた め、定在波の影響を避けるための 10 λ の範 囲の移動測定なし</li> </ul>
DL/UL スループット	Speedtest	<ul> <li>・LibreSpeedを使用し、端末にてDL/ULス ループットを測定する</li> <li>・1回の測定あたり10~20秒の平均とし、</li> <li>3回の平均値を使用</li> <li>・スループット測定時のMCSは、適応変調 とする</li> </ul>
DL/UL 遅延	Speedtest	LibreSpeed を使用し、端末にて遅延を測定 する

表	4-44	評価	•	検証方法
---	------	----	---	------

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

それぞれの評価系について、以下に示す。

# (1) 基地局間与干涉量測定

被干渉側準同期基地局のアンテナ RX ポートにエリアテスタ ML8780A を接続し、干渉 量を測定する。評価系統図を以下に示す。同期基地局(与干渉側)、準同期基地局(被干渉側) を正対させたとき、併設させたときの 2 パターンで離隔距離を変更し、与干渉量の測定を





### (2) 移動局間与干涉量測定

被干渉側同期移動局側として VIAVI スペクトラムアナライザ CA5000 を使用し、干渉量 を 4700~4800MHz の Channel Power にて測定する。評価系統図を以下に示す。与干渉 側の準同期移動局と被干渉側の同期局移動局の位置に設置したスペアナの離隔距離を変更 することで与干渉量を測定する。



図 4-23 移動局間与干涉量評価系

(3) スループット、遅延測定

スループット、遅延は、端末を使用し、LibreSpeed で測定を行う。



(4) 基地局間干渉(正対)(併設) スループット、遅延測定

スループット、遅延測定時の測定系統図を以下に示す。ラボ内における物理的離隔距離の限界である 6m までは以下図の同期与干渉 NEC 基地局出力に ATT 挿入なしで試験を行い、離隔距離 6m 以上については ATT30dB を挿入し、ATT 量、ならびにラボにおける損失を距離に換算し、試験を行う。



#### (5) 基地局間干渉(正対) 移動局の位置

基地局間干渉(正対)における被干渉側準同期局のスループット、遅延測定時の移動局位置 は、以下4ポイントで試験実施した。

- ポイント 1: 与干渉側同期局アンテナと被干渉側準同期局アンテナの中央(どちらの局から も 3m の位置) 与干渉基地局と被干渉基地局の中間に端末を配置することで両基地局からも受 信レベルが強い場所での計測
- ポイント 2: 被干渉側準同期局アンテナから斜め 45 度方向に 3m の位置 被干渉側基地局のアンテナ指向方向から 45°の位置に端末を配置することで被 干渉基地局からの受信レベルが少し弱い場所での計測
- ポイント3: 与干渉側同期局アンテナに対して並行に移動した被干渉側準同期局アンテナか ら3mの位置 被干渉基地局のアンテナ指向方向から90°の位置に端末を配置することで被干 渉基地局からの受信レベルがより弱い場所での計測
- ポイント 4: 与干渉側同期局アンテナから 0.5m 後方、非干渉側準同期局アンテナからは 6.5m の位置 与干渉基地局のアンテナ指向方向の裏(180°)の位置に端末を配置することで 与干渉基地局からの受信レベルが弱い場所での計測



図 4-26 基地局間干渉(正対) 移動局の位置

#### (6) 基地局間干渉(併設) 移動局の位置

基地局間干渉(併設)における被干渉側準同期局のスループット、遅延測定時の移動局位置 は、以下4ポイントで試験実施した。

- ポイント1: 被干渉側準同期局アンテナから前方に4.5mの位置 被干渉基地局のアンテナ指向方向の正面に端末を配置することで被干渉基地局 が強、与干渉基地局が弱の受信レベルで計測
- ポイント 2: 与干渉側同期局アンテナと被干渉側準同期局アンテナの中央(どちらの局から も 3m の位置) 与干渉基地局と被干渉基地局の中間に端末を配置することでどちらの基地局か らも受信レベルが強い場所での計測
- ポイント3: 与干渉側同期局アンテナから前方に4.5mの位置 与干渉基地局のアンテナ指向方向の正面に端末を配置することで被干渉基地局 が弱、与干渉基地局が強の受信レベルで計測
- ポイント 4: 与干渉側同期局アンテナから 0.5m 横、非干渉側準同期局アンテナからは 6.5m の位置 どちらの基地局からもアンテナ指向方向の 90°の位置、被干渉基地局側に端末

とちらの基地局からもアンアナ指向方向の 90°の位置、被十渉基地局側に端木 を配置することで差分を確認



#### (7) 移動局間干渉 スループット、遅延測定

移動局間干渉におけるスループット、遅延測定時の測定系統図を以下に示す。与干渉側 準同期移動局はIperfによりUL通信を行い、与干渉側準同期移動局と被干渉側同期移動局 の離隔距離は赤字の6mの距離を変更し、試験実施した。

与干渉準同期移動局 ⇒ 被干渉同期移動局の干渉検証するにあたり、移動局のアンテナ は無指向性であり、端末位置に影響がないため、1 ポイント固定とする。被干渉同期基地 局~被干渉同期移動局の位置については最良なスループットが発揮できる位置で測定する。 この時、与干渉準同期基地局~被干渉同期基地局の干渉を極力防ぐために、指向方向を 90°ずらした。



出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料 図 4-28 移動局間干渉 スループット、遅延評価系

実機測定後共用検討シミュレーション条件を以下に示す。

■シミュレーション条件

項目+A2:D25C13A2:D26A2:E25		種別	基地局-基 地局間干渉	移動局-移動 局間干渉
国波物迷按猜则		同一周波数		
/可//又交(約4)女(主力)		隣接周波数	0	0
		自由空間伝搬損失式		
		ITU-R P.1411 over roof-topモデル		
電波伝搬損失モデル		拡張秦式	0	0
		ITU-R P.1411 below roof-top(Terminal 間)モデル		
		その他(名称を記載)		
	与干渉システム	同期システム	0	
		準同期システム(準同期TDD2、TDD3)		0
	被干渉システム	同期システム		0
		準同期システム(準同期TDD2、TDD3)	0	
	被干涉上下回線	上り回線	0	
		下り回線		0
	基地局/移動局組み合わせ	基地局⇒移動局		
干渉パターン		移動局⇒基地局		
119119-2		基地局⇒基地局	0	
		移動局⇒移動局		0
		屋外(与干渉)→屋外(被干渉)		
	屋内外組み合わせ	屋外(与干渉)→屋内(被干渉)		
		屋内(与干渉)→屋内(被干渉)	0	0
		正対モデル	0	
	主ビーム方向モデル	併設モデル	0	
		その他(名称を記載)	移動局	のため指向性

# 表 4-45 実機測定後共用検討シミュレーション条件

■NEC 基地局(同期局)

# 表 4-46 NEC 基地局(同期局) 実機測定後共用検討シミュレーション条件 (送信側)

項目	設定値
空中線電力	16.6dBm/MHz
送信系各種損失	9.0dBi
送信系各種損失	1.675dB
等価等方輻射電力 (EIRP)	23.925dBm/MHz
空中線指向特性(水平、垂直)	実アンテナ値を採用
機械チルト	0度
空中線高	12m
送信带域幅	100MHz(4.8GHz 帯)
隣接 CH 漏洩電力	下記または-16dBm/MHz の高い値
	-44. 2dBc
	(CH 帯域幅 MHz 離調)
	-44. 2dBc
	(2 ×CH 帯域幅 MHz 離調)
	※参照帯域幅は当該 CH 帯域幅の最大実効帯域幅
スプリアス領域における不要	-4dBm/100kHz (30MHz-1GHz)
発射の強度	-4dBm/MHz (1GHz 以上)
	※周波数帯の端から 40MHz 以上の範囲に適用

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

# 表 4-47 NEC 基地局(同期局) 実機測定後共用検討シミュレーション条件 (受信側)

項目	設定値
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/20MHz(隣接 20MHz 幅)=> -60dBm/MHz
	-38dBm (上記以外)
空中線利得	9dBi
受信系各種損失	3dB
空中線指向性(水平、垂直)	実アンテナ値を採用
機械チルト	0度
空中線高	12m







出所) 実証コンソーシアム No.17 提供資料 図 4-29 NEC 基地局(同期局)アンテナパターン図

■FLARE SYSTEMS 基地局準同期 TDD2、TDD3 に対応

### 表 4-48 FALRE SYSTEMS 基地局(準同期局) 実機測定後共用検討シミュレーション条件(送 信側)

項目	設定値
空中線電力	1dBm/MHz
送信系各種損失	12.0dBi
送信系各種損失	0dB
等価等方輻射電力(EIRP)	13dBm/MHz
空中線指向特性(水平、垂直)	実アンテナ値を採用
機械チルト	0度
空中線高	1.5m
送信帯域幅	100MHz(4.7GHz 帯)
隣接 CH 漏洩電力	下記または-16dBm/MHz の高い値
	(UI (〒坝幅 MHZ ) 雁 祠)
	-44.20DC (9 ×CH 共振幅 MHz 解調)
	2 × Ch 带域幅 加2 福岡/ ※参照帯域幅は当該 CH 帯域幅の最大実効帯域幅
スプリアス領域における不要	-4dBm/100kHz (30MHz-1GHz)
発射の強度	-4dBm/MHz (1GHz 以上)
	※周波数帯の端から 40MHz 以上の範囲に適用

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

# 表 4-49 FLARE SYSTEMS 基地局(準同期局)実機測定後共用検討シミュレーション条件(受信

側)			
項目	設定値		
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/20MHz(隣接 20MHz 幅)=> -60dBm/MHz		
	-38dBm (上記以外)		
空中線利得	12.0dBi		
受信系各種損失	3dB		
空中線指向性(水平、垂直)	実アンテナ値を採用		
機械チルト	0度		
空中線高	1.5m		





出所) 実証コンソーシアム No.17 提供資料 図 4-30 FLARE SYSTEMS 基地局(準同期局)アンテナパターン図

■移動局(IDY)

ā	表 4-50	移動局(IDY)実機測定後共用検討シミュレーション条件(設	送信側)
---	--------	-------------------------------	------

項目	設定値
空中線電力	23dBm
空中線利得	2.97dBi
給電線損失	0dB
空中線指向特性(水平、垂直)	無指向性
空中線高	1.5m
送信帯域幅	100MHz(4.7GHz 帯)
隣接 CH 漏洩電力	下記または-50dBm/3.84MHz の高い値
	-33dBc
	(CH 帯域幅/2+2.5MHz 離調)
	-33dBc
	(CH 帯域幅/2+7.5MHz 離調)
スプリアス領域における不要	-36dBm/1kHz (9kHz-150kHz)
発射の強度	-36dBm/10kHz (150kHz-30MHz)
	-36dBm/100kHz (30MHz-1GHz)
	-30dBm/MHz (1GHz 以上)
その他損失	8dB(人体吸収損)

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

# 表 4-51 移動局(IDY)実機測定後共用検討シミュレーション条件(受信側)

項目	設定値
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/20MHz(隣接 20MHz 幅)=> -60dBm/MHz
	-38dBm (上記以外)
空中線利得	2.97dBi
受信系各種損失	0dB
空中線指向性(水平、垂直)	無指向性
空中線高	1.5m
その他損失	8dB(人体吸収損)

■検証手順

共用検討シミュレーションについては、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバ イル通信システム委員会報告(総務省;令和2年7月)に従い、基地局間の干渉シナリオ は、1対1対向モデル、移動局間の干渉シナリオは、1対1対向モデルによる計算を実施し た。

本シミュレーションは、スロットパターンが異なる同期、準同期の基地局間、移動局間 の干渉評価ではあるが、算出式に同期、準同期間の異なるスロットフォーマット数のパラ メータがなく、3GPP ACS(Adjacent channel selectivity)仕様に規定のある妨害波レベルの 規定となっており、準同期における UL スロット数増加の影響が考慮されているものでは ない。そのため、今回検討を行う準同期 TDD2、準同期 TDD3 においても、UL スロット がさらに拡張されたことによる離隔距離への影響は、現在の共用検討シミュレーション上 には現れず、これまでの共用検討シミュレーション(準同期 TDD1)と同等の結果になると 考えられるが、実力値に基づく共用シミュレーションにより算出される所要離隔距離を確 保した状態で準同期 TDD3 システム (主に被干渉側)の伝送性能(スループット、遅延)を測 定し、実特性への影響を確認する。なお、準同期 TDD2 については準同期 TDD3 スループ ット測定結果から算出することで検証を実施した。

### 4.3.3.5 実証結果及び考察

本実証における評価項目とアウトプットを以下に示す。

項目	アウトプット
共用検討シミュレー	・実機測定前シミュレーション結果(設定値)
ション	・実機測定後シミュレーション結果(実測値)
測定	準同期 TDD3 について以下の測定結果を示す
	・与干渉、被干渉 単独運用、同時運用の各条件における干渉量、伝
	送性能(スループット、遅延)測定結果
	・実力値に基づく共用検討シミュレーションで得られる離隔距離で
	の伝送性能への影響確認結果
	=> シミュレーションで算出される離隔距離で十分なのか検証
	・離隔距離を変更したときの伝送性能への影響評価結果
	=> 実測定でわかる離隔距離の導出
	・準同期 TDD3 スループット測定結果から算出される共用条件下にお
	ける準同期 TDD2 スループット算出結果
分析・考察	・干渉検討取りまとめイメージ(*1)と共用条件出し
	・与干渉からの距離と伝送性能の確認結果

表 4-52 評価項目とアウトプット

### (\*1) 干渉検討取りまとめイメージは以下

パラメータ	帯城内千渉		帯城外干渉			
	与干涉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所 要 離 隔 距離[m]	与干涉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所 要 離 隔 距離[m]
設定値						
実測値						

実機測定後共用検討シミュレーションにより求まる同期局、準同期局の離隔距離を以下 表の帯域内干渉、帯域外干渉における所要離隔距離に示す。前述の実機測定前共用検討シ ミュレーション結果においても記載したが、共用検討シミュレーションについては、算出 式にスロット比率条件は含まれてなく、与干渉量から離隔距離を算出しているため準同期 TDD2 と TDD3 において同一の結果となる。

#### (1) 基地局相当装置間の干渉(正対)

基地局相当装置間の干渉(正対)帯域内干渉条件								
与干涉局送信電力	-33	dBm/MHz						
送信空中線利得	9	dBi						
送信諸損失	1.675	dB						

# 表 4-53 基地局間干涉(正対)帯域内干涉条件

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

表 4-54 基地局間十涉(止对)帶域外十涉条件							
基地局相当装置間の干渉(正対)帯域外干渉条件							
与干涉局送信電力	16.6	dBm/MHz					
送信空中線利得	9	dBi					
送信諸損失	1.675	dB					

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

上記基地局相当装置間の干渉(正対)条件、および同期局と準同期局の離隔距離から干渉 相手である準同期局における受信機入力レベルを求める。求めた受信機入力レベルが帯域 内干渉における許容干渉電力-110dBm/MHz、帯域外干渉における許容干渉電力-60dBm/MHz となる離隔距離が以下に示す帯域内干渉、帯域外干渉における所要離隔距離 となる。共用検討シミュレーション上はこの離隔距離を確保する必要がある。

表 4	4-55	基地局間干涉	(正対)実機測定後共用検討:	シミ	ュレー	ショ	ン結果
-----	------	--------	----------------	----	-----	----	-----

		帯城内干渉		帯域外干渉		
パラメー タ	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[n]	与干涉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離 隔距離 [m]
設定値	-110.0	-	196	-60.0	_	187
実測値	-110.0	-	322	-60.0	-	308

(2) 基地局相当装置間の干渉(併設)

基地局相当装置間の干額	步(併設)	带域内干涉条件
与干涉局送信電力	-33	dBm/MHz
送信空中線利得	-14.8	dBi
送信諸損失	1.675	dB

# 表 4-56 基地局間干涉(併設)帯域内干涉条件

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

	表	4-57	基地局間干涉	(併設)条件
--	---	------	--------	--------

基地局相当装置間の干渉(併設)帯域外干渉条件							
与干涉局送信電力	16.6	dBm/MHz					
送信空中線利得	-14.8	dBi					
送信諸損失	1.675	dB					

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

所要離隔距離の算出方法については上記基地局相当装置間の干渉(併設)条件を使用し、 (1)基地局相当装置間の干渉(正対)と同様の方法で以下を算出する。

公													
パラメー タ		帯域内干渉		带城外干涉									
	与干涉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔距 離[m]	与干涉量 [dBm/MHz]	所要改善 量[dB]	所要離隔 距離[m]							
設定値	-110.0	-	0.11	-60.0	_	0.11							
実測値	-110.0	-	0.18	-60.0	-	0.18							

表 4-58 基地局間干渉(併設)実機測定後共用検討シミュレーション結果

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

(3) 移動局相当装置間の干渉

表 4-59 移動局間干	<b>陟条件</b>
--------------	------------

移動局相当装置間の干渉(正対)条件									
与干涉局送信電力	3	dBm/MHz							
送信空中線利得	2.97	dBi							
送信諸損失	8	dB							

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

所要離隔距離の算出方法については上記移動局相当装置間の干渉(正対)条件を使用し、(1)

基地局相当装置間の干渉(正対)と同様の方法で以下を算出する。

パラメー	帯域内干渉			带域外干涉					
	与 干 渉 量	所要改善	所要離隔距	与 干 渉 量	所要改善	所要離隔			
	[dBm/MHz]	量[dB]	離[m]	[dBm/MHz]	量[dB]	距離[m]			
設定値	-110.1	_	700	-60.0	-	2.2			
実測値	-110.1	_	700	-60.0	_	2.2			

表 4-60 移動局間干渉実機測定後共用検討シミュレーション結果

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

シミュレーションによる離隔距離の算出を行うとともに、上記で求めた離隔距離、及び離 隔距離を変更した場合の伝送性能の実機評価により、伝送性能への影響を確認する。

#### ■実機検証結果

準同期 TDD3 についてラボ環境において被干渉側許容干渉電力-60dBm/MHz を満足する離隔 距離の測定を行った。また、測定した離隔距離を確保した時のスループット、遅延への影響 評価を行い、スループット、遅延特性への影響がない離隔距離の導出を行った。

①基地局間干涉(正対)

[ラボでの実証結果]

与干渉側同期局と被干渉側準同期局のアンテナ間距離を変更し、その時のラボ環境にお ける伝搬損失から求めた離隔距離、被干渉側準同期局の干渉量測定結果を以下に示す。同期 局、準同期局の離隔距離を284.7m確保することで許容干渉電力-60dBm/MHzを満足すること がわかった。実機測定後共用検討シミュレーションでの離隔距離は、308m であり、近い値 となっている。

30dB固定 ATTの有無		有り						無し						単位			
アンテナ間距離	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	m
離隔距離 ※ラボ環境損失 からの換算値	2511.4	1715.6	1116.7	899.3	755.0	453.9	284.7	157.0	75.5	57.5	44.5	32.1	19.2	12.6	10.9	4.1	m
干渉量	-78.2	-74.9	-71.2	-69.3	-67.8	-63.4	-59.3	-54.2	-47.8	-45.4	-43.2	-40.4	-35.9	-32.3	-31.0	-22.4	dBm/MHz

表 4-61 基地局間干渉(正対) 離隔距離による与干渉量

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

上記許容干渉電力-60dBm/MHz を満足する離隔距離 284.7m、ならびに離隔距離をさらに確保した時の被干渉側準同期局のスループット、遅延量の評価を行った。なお、移動局の位置については、4.3.3.4 章で述べた以下図に示す 4 パターンで確認を行った。


出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料 図 4-31 基地局間干渉(正対)移動局の位置

以下に被干渉側準同期局のスループット、遅延量測定結果を示す。以下表における最大 離隔距離 2511.4m でのスループット、遅延量測定結果は、準同期局を単独運用した場合の 特性と同特性となるが、離隔距離を小さくするとスループット、遅延量共に劣化していく 様子がわかる。共用干渉量-60dBm/MHz を満足した離隔距離 284.7m においては、単独運 用時と比較して半分以下の特性となっている。同期局、準同期局間干渉において劣化が想 定される準同期局の UL スループットを見ると離隔距離 755m、干渉量 -67.8dBm/MHz) => 離隔距離 453.9m、干渉量-63.4dBm/MHz の変化で移動局位置 4 パターンすべてにおい て半分以下の特性になっていることがわかる。被干渉側準同期局の UL スループット観点 で半減以上の劣化がない干渉量は-67.8dBm/MHz となり、その時のスループットは、 DL=240Mbps 程度、UL=120Mbps 程度となる。

	ATTの有無			30	dBの固定	ATTあり							AT1	「なし				単位
移動局	アンテナ間距離[m]	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	m
位置	干涉量[dBm/MHz]	-78.2	-74.9	-71.2	-69.3	-67.8	-63.4	-59.3	-54.2	-47.8	-45.4	-43.2	-40.4	-35.9	-32.3	-31.0	-22.4	dBm/MHz
	離隔距離[m]	2511.4	1715.6	1116.7	899.3	755.0	453.9	284.7	157.0	75.5	57.5	44.5	32.1	19.2	12.6	10.9	4.1	m
	往復遅延量	22.8	27.7	23.2	20.6	22.7	25.0	23.8	32.2	46.8	63.1	50.0	49.8	50.0	49.1	33.8	44.0	ms
ポイント1	DLスループット	268.0	217.3	247.0	220.0	281.0	253.0	230.0	248.7	99.3	62.0	64.8	70.1	45.6	63.2	38.6	15.9	Mbps
	ULスループット	244.0	203.7	198.0	198.0	164.0	83.3	68.6	66.1	10.9	40.8	0.6	26.7	32.7	13.8	6.2	4.0	Mbps
	往復遅延量	27.7	21.8	21.2	22.9	27.9	30.5	30.2	31.1	51.4	51.9	61.3	51.8	26.8	50.5	43.8	45.1	ms
ポイント2	DLスループット	265.0	271.0	260.0	255.0	273.0	256.0	259.0	245.0	94.2	66.8	51.1	39.1	55.5	57.4	37.2	44.7	Mbps
	ULスループット	185.0	190.0	178.0	144.0	171.0	94.0	74.0	75.0	16.3	1.8	14.4	3.8	32.2	6.6	36.0	2.7	Mbps
	往復遅延量	27.1	20.6	22.4	23.6	21.5	23.2	21.2	22.2	52.7	73.5	51.6	30.2	52.0	40.4	31.6	79.6	ms
ポイント3	DLスループット	192.0	220.0	263.0	278.0	251.0	254.0	220.0	260.0	97.6	64.5	62.4	48.0	61.4	66.0	25.8	24.0	Mbps
	ULスループット	192.0	198.0	205.0	185.0	169.0	72.6	70.0	69.0	33.4	9.7	12.0	14.5	3.1	1.3	14.2	5.7	Mbps
	往復遅延量	29.8	27.9	30.3	22.3	24.0	25.4	22.4	51.9	48.9	26.0	29.1	45.8	73.0	30.7	57.9	44.5	ms
ポイント4	DLスループット	283.0	273.0	261.0	277.0	271.0	252.0	167.0	66.8	73.2	55.0	36.2	62.5	30.2	61.4	22.6	57.7	Mbps
	ULスループット	178.0	171.0	192.0	192.0	178.0	62.1	51.3	1.8	47.3	36.4	7.4	29.5	9.6	36.0	6.3	5.6	Mbps

表 4-62 基地局間干渉(正対) 被干渉側準同期局のスループット、遅延量測定結果

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

準同期 TDD2 においては、上記準同期 TDD3 で測定したスループットからスロット数の 差分を換算し、算出した準同期 TDD2 におけるスループットを以下に示す。準同期 TDD3 と同様でスループット観点で半減以上の劣化がない干渉量としては-67.8dBm/MHz となり、 その時のスループットは、DL=400Mbps 程度、UL=140Mbps 程度となる。

	AIIの有無			3	80dBの固	定AIIあ「	J						ALL	なし				単位
移動局	アンテナ間距離[m]	6	5	4		2	1	0.5	0.25	6	5		3	2		0.5	0.25	m
位置	干涉量[dBm/MHz]	-78.2	-74.9	-71.2	-69.3	-67.8	-63.4	-59.3	-54.2	-47.8	-45.4	-43.2	-40.4	-35.9	-32.3	-31.0	-22.4	dBm/MHz
	離隔距離[m]	2511.4	1715.6	1116.7	899.3	755.0	453.9	284.7	157.0	75.5	57.5	44.5	32.1	19.2	12.6	10.9	4.1	m
ポイント1	DLスループット	402.0	326.0	370.5	330.0	421.5	379.5	345.0	373.0	149.0	93.0	97.2	105.2	68.4	94.8	57.9	23.9	Mbps
2012111	ULスループット	203.3	169.7	165.0	165.0	136.7	69.4	57.2	55.1	9.1	34.0	0.5	22.3	27.3	11.5	5.1	3.3	Mbps
ポイント2	DLスループット	397.5	406.5	390.0	382.5	409.5	384.0	388.5	367.5	141.3	100.2	76.7	58.7	83.3	86.1	55.8	67.1	Mbps
3-121-2	ULスループット	154.2	158.3	148.3	120.0	142.5	78.3	61.7	62.5	13.6	1.5	12.0	3.1	26.8	5.5	30.0	2.2	Mbps
ポイント3	DLスループット	288.0	330.0	394.5	417.0	376.5	381.0	330.0	390.0	146.4	96.8	93.6	72.0	92.1	99.0	38.7	36.0	Mbps
304 × 1-3	ULスループット	160.0	165.0	170.8	154.2	140.8	60.5	58.3	57.5	27.8	8.1	10.0	12.1	2.6	1.0	11.8	4.8	Mbps
ポイントル	DLスループット	424.5	409.5	391.5	415.5	406.5	378.0	250.5	100.2	109.8	82.5	54.3	93.8	45.3	92.1	33.9	86.6	Mbps
5 T Z F 4	スループット	148.3	142.5	160.0	160.0	148.3	51.8	42.8	15	39.4	30.3	62	24.6	8.0	30.0	53	47	Mbns

表 4-63 基地局間干渉(正対) 被干渉側準同期局の準同期 TDD2 スループット算出結果

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

②基地局間干渉(併設)

[ラボでの実証結果]

ラボでの実証を行ったが、本実証の基地局間干渉(併設)における測定については、ラボ 特有の環境要因により発生した反射による干渉量が大きいことが判明し、ラボで予定して いた離隔距離を変更しつつ干渉量実測値から離隔距離を導出する方法では適切な結果は得 られなかった。なお、アンテナチルト角については、情通審報告書に沿ってアンテナチル ト角 90°で実施するところ、ラボ内天井への設置が物理的に困難であったため、アンテナ 間距離を近づけることで干渉量を増加させる方針で実証を行うこととし、結果、アンテナ チルト角は 0°(水平方向)で実施した。

与干渉側同期局と被干渉側準同期局のアンテナ間距離を変更し、その時のラボ環境にお ける伝搬損失から求めた離隔距離、被干渉側準同期局の干渉量測定結果を以下に示す。同 期局、準同期局の離隔距離を 525.9m 確保することで許容干渉電力-60dBm/MHz 以下を満 足することがわかった。実機測定後共用検討シミュレーションでの離隔距離は、0.18m で あり、大きな乖離がある結果となった。今回の検証で使用した 2 基地局のアンテナは、メ インビームが前方に向いており、併設した場合の干渉量は大きくならない。しかしながら 検証を行ったラボのシールドルーム環境下においては、ラボ特有の壁による反射が発生し、 干渉波として被干渉基地局に入力されているものと考える。共用検討シミュレーションに おいては、反射波の考慮はされていないため、比較する実測においても多目的ホールのよ うな十分に広い空間、もしくは電波暗室で試験を実施する必要がある。

30dB固定 ATTの有無				有	īD							魚	ŧĿ				単位
アンテナ間距離	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	m
離隔距離 ※ラボ環境損失 からの換算値	4314.4	3257.8	2065.0	1940.5	1545.0	1018.4	665.2	525.9	115.9	102.5	78.6	68.8	50.1	36.7	24.7	13.6	m
干涉量	-82.9	-80.5	-76.5	-76.0	-74.0	-70.4	-66.7	-64.7	-51.5	-50.5	-48.1	-47.0	-44.2	-41.5	-38.1	-32.9	dBm/MHz

表 4-64 基地局間干渉(併設) 離隔距離による与干渉量

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

上記許容干渉電力-60dBm/MHz 以下を満足する離隔距離 525.9m、ならびに離隔距離を さらに確保した時の被干渉側準同期局のスループット、遅延量の評価を行った。なお、移



動局の位置については、4.3.3.4 章で述べた以下図に示す4パターンで確認を行った。

以下に被干渉側準同期局のスループット、遅延量測定結果を示す。以下表における最大 離隔距離 4314.4m でのスループット、遅延量測定結果は、準同期局を単独運用した場合の 特性と同特性となるが、離隔距離を小さくするとスループット、遅延量共に劣化していく 様子がわかる。共用干渉量-60dBm/MHz 以下を満足した離隔距離 525.9m においては、単 独運用時と比較して半分以下の特性となっている。同期局、準同期局間干渉において劣化 が想定される準同期局の UL スループットを見ると離隔距離 665.2m(干渉量 -66.7dBm/MHz) => 離隔距離 525.9m(干渉量-64.7dBm/MHz)の変更で、移動局位置 4 パタ ーンすべてにおいて半分以下の特性になっていることがわかる。被干渉側準同期局の UL スループット観点で半減以上の劣化のない必要離隔距離は 665.2m、干渉量-66.7dBm/MHz となり、その時のスループットは、DL=270Mbps 程度、UL=170Mbps 程 度となる。

	ATTの有無				30dBの固	定ATTあ	b						ATT	Γなし				単位
移動局	アンテナ間距離[m]	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	m
位置	干涉量[dBm/MHz]	-82.9	-80.5	-76.5	-76.0	-74.0	-70.4	-66.7	-64.7	-51.5	-50.5	-48.1	-47.0	-44.2	-41.5	-38.1	-32.9	Bm/MH
	離隔距離[m]	4314.4	3257.8	2065.0	1940.5	1545.0	1018.4	665.2	525.9	115.9	102.5	78.6	68.8	50.1	36.7	24.7	13.6	m
	往復遅延量	23.1	27.3	26.3	28.1	24.4	21.7	26.0	27.1	35.3	29.9	50.4	52.0	27.2	25.1	31.1	42.6	ms
ポイント1	DLスループット	264.0	259.0	266.0	283.0	279.0	276.0	251.0	249.0	99.1	60.5	73.5	81.0	79.6	65.8	43.0	65.1	Mbps
	ULスループット	253.0	222.0	182.0	205.0	191.0	178.0	86.5	66.4	47.5	54.3	44.6	56.0	15.3	34.8	38.6	43.3	Mbps
	往復遅延量	24.0	27.9	25.3	22.8	29.2	28.3	27.1	21.1	35.1	30.3	32.3	30.9	54.6	47.7	44.4	44.4	ms
ポイント2	DLスループット	280.0	273.0	268.0	269.0	269.0	264.0	281.0	266.0	115.0	41.2	103.0	41.7	72.8	76.0	67.0	69.4	Mbps
	ULスループット	171.0	171.0	185.0	152.0	212.0	133.0	184.0	92.3	6.2	23.8	13.1	28.5	38.4	40.5	41.9	31.3	Mbps
	往復遅延量	24.0	23.1	25.8	23.6	25.6	25.0	25.5	29.7	53.0	56.6	31.7	30.3	39.1	22.9	30.7	87.1	ms
ポイント3	DLスループット	267.0	255.0	261.0	276.0	249.0	272.0	154.0	165.0	73.2	66.0	80.5	83.6	72.8	68.7	71.2	66.0	Mbps
	ULスループット	205.0	189.0	157.0	144.0	178.0	166.0	121.0	79.2	30.6	21.9	36.0	40.8	19.9	40.3	36.6	39.4	Mbps
	往復遅延量	24.2	26.3	25.4	24.5	27.9	24.4	29.6	29.1	39.4	31.9	33.4	47.4	44.8	46.8	31.5	51.6	ms
ポイント4	DLスループット	265.0	269.0	270.0	276.0	277.0	260.0	257.0	249.0	81.8	58.6	89.4	83.8	82.9	76.8	36.4	64.7	Mbps
	ULスループット	164.0	170.0	164.0	150.0	154.0	95.5	89.4	68.4	26.5	5.2	28.6	31.4	30.8	28.8	31.1	41.6	Mbps

表 4-65 基地局間干渉(併設) 被干渉側準同期局のスループット、遅延量測定結果

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

今回の基地局間干渉(正対)(併設)の実証で干渉量-68[dBm/MHz]以下の条件においては、

<sup>[</sup>干渉量-68[dBm/MHz]での許容離隔距離の導出]

スループットの劣化が発生しない(被干渉側準同期局の単独運用時と同じ特性が得られる) ことが実測から得られた。

反射波の影響がラボより少ないと考え、反射波が無い条件で、使用するアンテナ利得 と自由空間損失モデルから干渉量-68[dBm/MHz]となる離隔距離を算出することにした。 [離隔距離算出結果]

1.69m ※アンテナチルト角 90° を使用

現地パシフィコ横浜においても共用可能な距離となる。

準同期 TDD2 においては、上記準同期 TDD3 で測定したスループットからスロット数の 差分を換算し、算出した準同期 TDD2 におけるスループットを以下に示す。準同期 TDD3 と同様でスループット観点で半減以上の劣化がない干渉量としては-66.7dBm/MHz となり、 その時のスループットは、DL=350Mbps 程度、UL=100Mbps 程度となる。

表	4-66	基地局間干渉(併設	)被干渉側淮同期局の淮同期 TDD	2スループット質出結果
sx.	400		/ 饭   咿 阅 中间为   间 ~ 中间为   100	ロイバ ノント テロ加入

	ATTの有無			3	i0dBの固	定ATTあり	J						ATT	なし				単位
移動局	アンテナ間距離[m]	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	m
位置	干涉量[dBm/MHz]	-82.9	-80.5	-76.5	-76.0	-74.0	-70.4	-66.7	-64.7	-51.5	-50.5	-48.1	-47.0	-44.2	-41.5	-38.1	-32.9	dBm/MHz
	離隔距離[m]	4314.4	3257.8	2065.0	1940.5	1545.0	1018.4	665.2	525.9	115.9	102.5	78.6	68.8	50.1	36.7	24.7	13.6	m
#4261	DLスループット	396.0	388.5	399.0	424.5	418.5	414.0	376.5	373.5	148.7	90.8	110.3	121.5	119.4	98.7	64.5	97.7	Mbps
24211	ULスループット	210.8	185.0	151.7	170.8	159.2	148.3	72.1	55.3	39.6	45.3	37.2	46.7	12.8	29.0	32.2	36.1	Mbps
ポイント2	DLスループット	420.0	409.5	402.0	403.5	403.5	396.0	421.5	399.0	172.5	61.8	154.5	62.6	109.2	114.0	100.5	104.1	Mbps
3-1 × 1-2	ULスループット	142.5	142.5	154.2	126.7	176.7	110.8	153.3	76.9	5.2	19.8	10.9	23.8	32.0	33.8	34.9	26.1	Mbps
ポイント3	DLスループット	400.5	382.5	391.5	414.0	373.5	408.0	231.0	247.5	109.8	99.0	120.8	125.4	109.2	103.1	106.8	99.0	Mbps
W-1 > 1-3	ULスループット	170.8	157.5	130.8	120.0	148.3	138.3	100.8	66.0	25.5	18.3	30.0	34.0	16.6	33.6	30.5	32.8	Mbps
ポイントル	DLスループット	397.5	403.5	405.0	414.0	415.5	390.0	385.5	373.5	122.7	87.9	134.1	125.7	124.4	115.2	54.6	97.1	Mbps
3/12/14	ULスループット	136.7	141.7	136.7	125.0	128.3	79.6	74.5	57.0	22.1	4.3	23.8	26.2	25.7	24.0	25.9	34.7	Mbps

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

[基地局間干渉(正対)(併設)における離隔距離の算出方法]

 (1) ラボ構成 1(30dB 固定 ATT あり)、ラボ構成 2(30dB 固定 ATT なし)における基地局送 信出力端からアンテナ入力端までの損失を測定する。 ラボ構成 1 の場合、port1、port2 の平均で 36.99dB

ラボ構成 2 の場合、port1、port2 の平均で 56.99dB



出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料 図 4-33 ラボ構成 1、2 における基地局、アンテナ間損失

(2) 与干渉側アンテナ、被干渉側アンテナ間距離を変化させたときの被干渉側アンテナで測定される干渉量(RSSI)を測定する。



図 4-34 被干渉側アンテナで測定される干渉量(RSSI)

(3) ラボ構成1(30dB 固定 ATT あり)、アンテナ間距離 6m の場合、(1)で測定した基地局、ア ンテナ間損失、(2)で測定した干渉量(RSSI)を用いて実際の空間損失は以下の算出式より 81.84dB となる。この空間損失に(1)で測定した基地局、アンテナ間損失を加え、現地パシ フィコ横浜設置環境における諸損失を引いた値がトータル損失117.2dB となる。このトー タル損失を自由空間損失モデルを使用し、距離に換算することで離隔距離3547m を求める。

(与干渉基地局の) - (伝送諸損失) + (与干渉基地局の) - (空間損失) + (被干渉基地局の) = (干渉量)

36.6[dBm/100MHz]-(ラボ構成の諸損失)+9[dBi]-(空間損失)+12[dBi] = RSSI[dBm/100MHz]

ラボ構成1(30dBの固定ATTあり)、アンテナ間距離6mの場合;

36.6[dBm/100MHz] - 36.99[dB] + 9[dBi] - (空間損失) + 12[dBi] = -61.23[dBm/100MHz]

(空間損失) = 81.84[dB]

※自由空間損失で6mの損失は61.72[dB]だが、ラボ環境での試験では81.84[dB]損失している。 ※他の構成においても20[dB]前後の差分がある。

離隔距離の算出; (損失の合計) = (空間損失) + (現地構成とラボ構成の諸損失の差分) (損失の合計) = (空間損失) + {(ラボ構成の諸損失) - (現地構成の諸損失)} (損失の合計) = 81.84[dB] + (36.99[dB] - 1.675[dB]) (損失の合計) = 117.2[dB]

⇒自由空間損失で117.2[dB]の損失を距離に換算すると、3547[m]

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

図 4-35 離隔距離算出方法

③移動局間干渉

[ラボでの実証結果]

与干渉側準同期移動局と被干渉側同期移動局のアンテナ間距離を変更したときの干渉量 測定結果を以下に示す。移動局間離隔距離を 0.5m 確保することで許容干渉電力-60dBm/MHz 以下を満足することがわかった。実機測定後共用検討シミュレーションでの 離隔距離は、2.19m であり、少し差分がある結果となった。

				看	多動局間干流	歩				単位
アンテナ間距離	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	0.01	m
干涉量	-76.7	-75.3	-75.0	-76.2	-74.4	-73.0	-65.8	-56.3	-49.6	dBm/MHz

表 4-67 移動局間干渉 離隔距離による与干渉量

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

上記許容干渉電力-60dBm/MHz 以下を満足する離隔距離 0.5m、スループット測定が可 能な物理的制限から最近接離隔距離 0.25m(干渉量-56.33dBm)、ならびに離隔距離を大き くした場合の被干渉側同期移動局のスループット、遅延量の評価を行った。測定が可能な 最近接距離 0.25m においてもスループット、遅延量共に劣化がないことがわかる。また、 この特性は同期局単独運用の時と比較しても劣化はなく、その時のスループットは、 DL=196Mbps、UL=65Mbps となる。被干渉側同期移動局スループット観点では、離隔距 離の考慮は必要ないと言える。

モンテカルロシミュレーションについては実施していないが、移動局を有線で接続した 環境において干渉量-40dBm/MHz においてもスループットに劣化がないことを確認してお り、共用検討シミュレーションにおける干渉量-60dBm/MHzと比較し、+20dBのマージン がある。これを移動局台数に換算すると 100 倍、100 台の悪条件下においてもスループッ トに劣化がない状態で使用可能となる。確率的な検証は未実施だが、100 台という多数の 移動局が動作する環境下でも共用可能と考える。

また、準同期 TDD2 においても準同期 TDD3 と同様に影響は軽微と考えられ、被干渉側同期 移動局のスループットに対する影響はないものと思われる。

				移動局	間干渉				単位
アンテナ間距離	6	5	4	3	2	1	0.5	0.25	m
干涉量	-76.7	-75.3	-75.0	-76.2	-74.4	-73.0	-65.8	-56.3	dBm/MHz
往復遅延量	31.2	30.9	32.2	32.8	24.4	32.6	33.7	31.5	ms
DLスループット	225.0	210.0	201.0	239.0	194.0	206.0	229.0	196.0	Mbps
ULスループット	66.8	64.5	66.0	66.9	65.9	67.2	68.0	65.1	Mbps

表 4-68 移動局間干渉 被干渉側同期局のスループット、遅延量測定結果

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

■実機検証結果まとめ

以下に共用検討シミュレーション、準同期 TDD2、TDD3 において実際の測定で得た必要離隔距離、干渉量の比較結果を示す。

基地局間干渉(正対)においては、許容干渉量観点において共用検討シミュレーション離 隔距離と実測値で近い値を得ることができた。基地局間干渉(併設)については、ラボ内反射 波の影響と思われる干渉が発生し、共用検討シミュレーションと比較できる実測値を得る ことができなかった。移動局間干渉における離隔距離については実測値の方が少し小さい 値となったが、共用シミュレーションにおける離隔距離を満足していれば問題ないと言え る。

スループット観点での許容干渉量としては、基地局間干渉(正対)(併設)共に-68dBm 付近 にあることが実測定より明らかとなった。ラボ内の反射波の影響により適切な離隔距離の 測定結果を得ることができなかった基地局間干渉(併設)については、反射波の影響がラボ より少ないと考え、反射波が無い条件で、使用するアンテナ利得と自由空間損失モデルか ら干渉量-68[dBm/MHz]となる離隔距離 1.69m を導出した。これは現地パシフィコ横浜に おいても共用可能な距離となる。基地局間干渉における測定系の損失から導出する離隔距 離については、自由空間損失モデルを使用したため、非常に大きな離隔距離となった。移 動局間干渉については、最近接距離においてもスループットの劣化はなく、考慮の必要が ないと言える。

		許容干涉	量観点	スルーン	プット観点
項目	∃	共用シミュ ンーション	実測定結果	測定系の損 失から導出し た算出値	実測定結果
基地局間干涉	離隔距離 [m]	308	284. 7	755.0	_
基地向间十渉 (正対)	干渉量 [dBm/MHz]	-60	-59.3	-	-67.8
基地局間干涉	離隔距離 [m」	0.18	525.9	665.2	l
基地局間干渉 (併設)	干渉量 [dBm/MHz]	-60	-64.7	_	-66.7
我動戶間工法	離隔距離 [m」	2.2	0.5	最近接距離で	劣化がないため
移動局間干渉	干涉量 [dBm/MHz]	-60	-65.8	考慮必	要なし

衣 4-09 共用 (検討) ンミユレーンヨン、 軍回期 IDD2、 IDD3 夫側 個(	の比較
---	-----

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

以下に共用条件下における準同期TDD3スループット測定結果、ならびに準同期TDD2 スループット算出結果を示す。この結果は離隔距離を近付けた際に半減以上の劣化がない ことを確認した結果となっている。

<b>17</b> 5 L	-	スループ	プット
	1	準同期 TDD3 測定結果	準同期 TDD2 算出結果
基地局間干涉	DL[Mbps]	240	400
基地局間干渉 (正対) 基地局間干渉	UL[Mbps]	120	140
基地局間干涉	DL[Mbps]	270	350
(併設)	UL[Mbps]	170	100
较新已間工述	DL[Mbps]	200	200
移動向间干砂	UL[Mbps]	65	65

表 4-70 共用条件下におけるスループット結果

出所)実証コンソーシアム No.17 提供資料

### 4.4 同一周波数における干渉(共用検討シミュレーション・実機検証/分析考察)

### 4.4.1 実証 No.02 の共用検討

この実証は、牛舎における実証であるが、同期システムと準同期システムとの干渉影響に ついては、屋内外の条件を含めて検討している。周波数隣接条件は、同期システムと準同期 システムが同一周波数における検討としている。また、干渉下における所要離隔距離及び当 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 いて検討を実施している。

### 4.4.1.1 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。 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 4·36 に示す準同期 TDD2 パターン)を実証対象とした。

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	20100
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	追加节

※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

出所) 実証コンソーシアム No.02 提供資料

## 図 4-36 準同期 TDD 追加パターンの例

### 4.4.1.2 実証仮説

農業を含め様々な分野においては、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 とスループット性能について机上検討で確認する。





(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 4-39 参照)

従って、準同期移動局は、移動局間干渉が発生しない充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 UL スループットについて机上にて検討することとする。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

図 4-39 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 4-71 に示す。なお、基地局諸元は本技術実証で使用 する装置を想定して記載している。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。

入 411 巫地内の加上候的ハウノア・クラ					
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			
			I/N=-6dB 時の		
雑音レベル(dBm/MHz)	-104		帯域内許容干渉電力=-110dBm/MHz		
			から算出		

表	4-71	基地局の	)机上検討	オパラ	メー	·夕挐	箺
-					/		

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

表 4-72 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。

F • -			4/16/14
基地局間距離(m)	SINR(dB)	所要改善量(dB)	備考
20			
40			
60			
80			
100			
120			
140			⇒所要離隔 141m
160			
180			
200			

表 4-72 基地局間干渉における共用検討結果

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

● 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ULスループットである。

準同期システムのUL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<sup>13</sup>。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 UL 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。

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

表 4-73 Parameters describing baseline Link Level performance for 5G

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

	0	for SINR< SINR <sub>MIN</sub>	
Throughput (SINR), bp	$s/Hz = \alpha \cdot S(SINR)$	for $SINR_{MIN} \leq SINR < SINR_{MAX}$	
	$\alpha \cdot S(SINR_{MAX})$	for $SINR \ge SINR_{MAX}$	
ここで、			
S(SINR)	Shannon bound, S(SINF	R) =log2(1+10^(SINR/10)) [bps/Hz];	
α	Attenuation factor, repr	esenting implementation losses;	
$\mathrm{SINR}_{\mathrm{MIN}}$	Minimum SINR of the code set, dB;		
$\mathrm{SINR}_{\mathrm{MAX}}$	Maximum SINR of the code set, dB.		

シャノンの定理から算出した UL スループットと SINR の関係を表 4-73 に示す。なお、帯域幅は 100MHz 幅における追加準同期パターン(TDD3)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、UL スループットのターゲットを 100Mbps 程度とすると、図 4-40 と上述し た共用検討結果(表 4-72)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。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-40 基地局間距離とスループットの関係

### 4.4.1.3 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 制度化済準同期パターン)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。

## 4.4.1.4 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 制度化済準同期パターン)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、生じうる干渉は、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 4-41 参照)。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

図 4-41 同期/非同期区間における干渉影響パターン

表 4-74 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 4-74 同期/非同期区間における干渉評価パターン

			与干涉					
		同期 (TDD)		制度化済準同期 (TDD1)		追加進同期 (TDD2)		
			基地局 移動局		基地局 移動局		基地局	移動局
	同期			1+90.01	検討対象外 1000000000000000000000000000000000000			
	(TDD)	移動局	1761718071					2
201 T 36	制度化済準同期	基地局	10011110N					
180.77.69	(TDD1) 移動局 快码对称		el lak21	19(6)(2)(9)(2)			4	
	追加準同期	基地局	0		3		19943	+40-01
	(TDD2)	移動局					19632	3 8K7 F

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

## (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)

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 4-75 及び図 4-42 に検討する干渉シナリオを示す。

なお、図 4-42~図 4-43 では、表 4-75 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。

#	干渉シナリオ	検討手法	共用検討パラメータ概要	
	①同期基地局(TDD) ⇒ 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	<ul> <li>無線局バラメータ:情通審</li> <li>伝謝モデル:自由空間</li> </ul>	
	②追加準同期移動局(TDD2) → 同期移動局(TDD)	1対1&確率計算	<ul> <li>1対1計算時の離隔距離:基地局間3m、移動局間1m</li> <li>確率計算モデル:半径100m、保護エリア無し、移動局</li> </ul>	
1	③制度化済準同期基地局(TDD1) → 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	数を可変として計算。干渉確率3%以下で評価	
	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		
	①同期基地局(TDD) ⇒ 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	<ul> <li>無線局バラメータ:情通審、ただし、基地局送信電力、 動局送信電力累積分布を実測値に置き換える</li> </ul>	
2	②追加準同期移動局(TDD2) ⇒ 同期移動局(TDD)	1対1&確率計算	<ul> <li>伝搬モデル:自由空間</li> <li>1対1計算時の離隔距離:基地局間3m、移動局間1m</li> </ul>	
2	③制度化済準同期基地局(TDD1) ⇒ 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	・ 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	
	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		
	①同期基地局(TDD) ⇒ 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	<ul> <li>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)</li> </ul>	
2	②追加準同期移動局(TDD2) ⇒ 同期移動局(TDD)	1対1&確率計算	<ul> <li>伝搬モデル:自由空間</li> <li>1対1計算時の離隔距離:基地局間3m、移動局間1m</li> </ul>	
3	③制度化済準同期基地局(TDD1) → 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	• 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	
	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		

表 4-75 1対1対向モデルの干渉シナリオ

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

図 4-43 1対1対向モデルの移動局間干渉シナリオ

表 4-76~表 4-77 及び図 4-44 に各手法における設定を、表 4-78~表 4-79 及び図 4-45~図 4-46 にパラメータを示す。

衣 4-76 1 対 1 対向モデルの設定				
項目	基地局間干涉	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 4-76 1対1対向モデルの設定

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

## 表 4-77 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
干涉確立	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)

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-44 モンテカルロシミュレーションの計算モデル

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	28	5	0		
(dBm/MHz)					
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	48	25	-20		
EIRP (dBm/MHz)					
空中線指向特性	図 4-45 (a)	図 4-45 (b)	図 4-45 (c)		
(水平、垂直)					
機械チルト(度)	6	10	90		
空中線高(m)	40	10	5		
隣接 CH 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 (CH 帯域幅 MHz 離調)				
	-44.2dBc (2×CH 帯域幅 MHz 離調)				
	※参照帯域幅は当該 CH 帯域幅の最大実効帯域幅				
スプリアス領域におけ	-4dBm/100kHz (30	)MHz-1GHz)			
る不要輻射の強度	-4dBm/MHz (1GH	z 以上)			
	※周波数帯の端から	<b>40MHz</b> 以上の範囲に	適用		
許容干渉電力	-115dBm/MHz	-110dBm/MHz			
帯域内干渉	(I/N=-6dB)	(I/N=-6dB、NF=10dB	3)		
(dBm/MHz)	NF=5dB)				
許容干涉電力	-52dBm(隣接	-47dBm(隣接 20MH	z 幅)		
帯域外干渉(dBm)	20MHz 幅)	-38dBm(上記以外)			
	-43DBm(上記以				
	外)				

# 表 4-78 基地局の共用検討パラメータ等

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料







(c) 基地局の空中線指向性特性(屋内)

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

図 4-45 基地局の空中線指向性特性

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 CH 漏洩電力	下記または-50dBm/3.84MHz の高い値	
	-33DBc (CH 帯域幅/2+2.5MHz 離調)	
	-33DBc (CH 帯域幅/2+7.5MHz 離調)	
	下記または-50dBm/CH 帯域幅 MHz の 高い値	
	-30dBc(CH 帯域幅 MHz 離調)	
スプリアス領域における	-36dBm/1kHz (9kHz-150kHz)	
不要輻射の強度	-36dBm/10kHz (150kHz-30MHz)	
	-36dBm/100kHz (30MHz-1GHz)	
	-30dBm/MHz(1GHz 以上)	
その他損失	8dB(人体吸収損)	
許容干涉電力	-110dBm/MHz	
(帯域内干渉)	(I/N=-6dB、NF=10dB)	
許容干渉電力	-47dBm(隣接 20MHz 幅)	
(帯域外干渉)	-38dBm(上記以外)	
移動局の送信電力分布	図 4-46	

表 4-79 移動局の共用検討パラメータ等

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料



図 4-46 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)

(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 4.4.1-12 に実測値での移動局の送信電力分布を示す。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

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、別に報告する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

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

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、4.4.1.2 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

図 4-47 移動局の送信電力分布(実力値)

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 4-48 参照)。

具体的には、机上検討に用いる基地局諸元は4.4.1.2 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。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-48 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

## 4.4.1.5 実証結果及び考察

本章では与干渉の分析・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。

#	干渉シナリオ	検討手法	共用検討パラメータ概要
	①同期基地局(TDD) ⇒ 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	<ul> <li>無線局バラメータ: 情通審</li> <li>伝搬モデル: 自由空間</li> </ul>
1	②追加準同期移動局(TDD2) → 同期移動局(TDD)	1対1&確率計算	<ul> <li>1対1計算時の離隔距離:基地局間3m、移動局間1m</li> <li>確率計算モデル:半径100m、保護エリア無し、移動局</li> </ul>
1	③制度化済準同期基地局(TDD1) → 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	数を可変として計算。干渉確率3%以下で評価
	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	
	①同期基地局(TDD) ⇒ 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	<ul> <li>無線局バラメータ: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</li> </ul>
2	②追加準同期移動局(TDD2) → 同期移動局(TDD)	1対1&確率計算	<ul> <li>伝搬モデル:自由空間</li> <li>1対1計算時の離隔距離:基地局間3m、移動局間1m</li> </ul>
2	③制度化済準同期基地局(TDD1) → 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	<ul> <li>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</li> </ul>
	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	
	①同期基地局(TDD) ⇒ 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	<ul> <li>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)</li> </ul>
2	②追加準同期移動局(TDD2) → 同期移動局(TDD)	1対1&確率計算	<ul> <li>伝搬モデル:自由空間</li> <li>1対1計算時の離隔距離:基地局間3m、移動局間1m</li> </ul>
3	③制度化済準同期基地局(TDD1) → 追加準同期基地局(TDD2)	1対1	<ul> <li>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</li> </ul>
	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	

表 4-75 1対1対向モデルの干渉シナリオ(再掲)

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料



(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 4.4.1.4 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を 用いている。

表 4-80 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

			パラメータ		帯域内干渉	
項番	与干涉局	被干涉局	(送信電力	与干涉量	所要改善量	所要(水平)
			密度)	[dBm/MHz]	[dB]	離隔距離[m]
	屋外マクロセル	屋外マクロセル	情通審	9.9	194.0	1756 295
1-①-a /	(TDD)/(TDD1)	(TDD2)	(28dBm/MHz)	5.5	124.0	1750,255
1-③-a 屋外⇒屋外	屋外スモールセル	屋外スモールセ ル	情通審	-12.6	97.4	74,229
	(TDD)/(TDD1)	(TDD2)	(5dBm/MHz)			
101	屋外マクロセル	居由去社(TDDa)	情通審	00.0	100	9,499
1-①-b	(TDD)/(TDD1)	座内でル(IDD2)	(28dBm/MHz)	-92.3	17.7	3,432
1-3-0 层外→层内	屋外スモールセル	屋内セル(TDD9)	情通審	-02.5	175	999
连/F / 连门	(TDD)/(TDD1)	座r 1 C/2 (1002)	(5dBm/MHz)	92.0	17.0	222
	屋内セル	屋外マクロセル	情通審	-120.1	-5.1	_
1-①-c /	(TDD)/(TDD1)	(TDD2)	(0dBm/MHz)	120.1	0.1	
1-③-c	屋内セル	屋外スモールセ	情通審			
屋内⇒屋外	(TDD)/(TDD1)	N	(0dBm/MHz)	-97.3	12.7	144
_		(TDD2)				
1-(1)-d /	日本认为					
1-3-d	産内セル	屋内セル <b>(TDD2)</b>	(a) D AVII )	-106.3	3.7	2
问一建物	(TDD)/(TDD1)		(0dBm/MHz)			
壁なし						
1	屋中され		库诺索			
1-3-e 同一建物	座内セル (TDD)/(TDD1)	屋内セル <b>(TDD2)</b>	旧迪奋 (0dBm/MHa)	-122.5	-12.5	—
回 建物 膵あり	(100)/(1001)		(Oubiii/MHZ)			
1-0-f /						
1.(3)-f	屋内セル		信诵案			
・ジ・ 異なる	(TDD)/(TDD1)	屋内セル(TDD2)	(0dBm/MHz)	-138.5	-28.5	—
建物内			(oubii/will2)			
2 (A 1 (A						

# 表 4-80 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)

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

表 4-81 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。

- 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

			パラメータ		帯城内干渉	
項番	与干涉局	被干涉局	(送信電力	与干涉量	所要改善量	所要(水平)
			密度)	[dBm/MHz]	[dB]	離隔距離[m]
2-①-a /	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
2-③-a 屋外⇒屋外	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	屋外マクロセル (TDD)/(TDD1)	屋内セル <b>(TDD2)</b>	実測値 (- 20dBm/MHz)	-140.3	-30.3	_
2-③-b 屋外⇒屋内	屋外スモールセル (TDD)/(TDD1)	屋内セル <b>(TDD2)</b>	実測値 (- 20dBm/MHz	-117.5	-7,5	_
2-①-c /	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⇒屋外	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 <b>(TDD2)</b>	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 <b>(TDD2)</b>	実測値 (- 20dBm/MHz	-142.5	-32.5	_
2-①-f / 2-③-f 異なる	屋内セル (TDD)/(TDD1)	屋内セル <b>(TDD2)</b>	実測値 (- 20dBm/MHz	-158.5	-48.5	_

表 4-81 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)

			パラメータ		帯城内干渉	
項番	与干涉局	被干涉局	(送信電力	与干涉量	所要改善量	所要(水平)
			密度)	[dBm/MHz]	[dB]	離隔距離[m]
建物内						

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

表 4-82 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(TDD1)/準同期(TDD2)の基地局から準同期(TDD3)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(TDD2)の基地局から準同期(TDD3)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(TDD1)/準同期(TDD2)の基地局から準同期(TDD3)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(TDD1)/準同期(TDD2)の基地局から準同期(TDD3)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(TDD1)/準 同期(TDD2)の基地局から準同期(TDD3)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。

			ポーション ア 構		或内干涉	
百采	七十米日	林王光同	ハノノーク	与干涉量	所要改善	所要(水平)
快雷	- <b>丁</b> -119-10	102   104/19/	(之旧电))	[dBm/MHz]	量	離隔距離
			400		[dB]	[m]
3-①-а /						
3-③-a	屋外基地局	屋外基地局	実測値	-67 1	49.0	141
屋外⇒屋	(TDD)/(TDD1)	(TDD2)	(-20dBm/MHz)	-07.1	42.9	141
外						
3-①-b /						
3-③-b	屋外基地局	屋内基地局	実測値	- 65 5	26.7	<b>9</b> 9
屋外⇒屋	(TDD)/(TDD1)	(TDD2)	(-20dBm/MHz)	00.0	20.7	22
内						
3-①-с /						
3-③-с	屋内基地局	屋外基地局	実測値	-09.1	90.0	ດາ
屋内⇒屋	(TDD)/(TDD1)	(TDD2)	(-20dBm/MHz)	-99.1	26.9	23
外						
3-①-d /	屋内基地局	屋内基地局	実測値	-67 1	49.0	1.4.1
3-3-d	(TDD)/(TDD1)	(TDD2)	(-20dBm/MHz)	-67.1	42.9	141

表 4-82 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)

同一建物						
壁なし						
3-①-е /						
3-③-е	屋内基地局	屋内基地局	実測値	00.0	00 7	20
同一建物	(TDD)/(TDD1)	(TDD2)	(-20dBm/MHz	-83.3	26.7	22
壁あり						
3-①-f /						
3-3-f	屋内基地局	屋内基地局	実測値	00.0	10 7	4
異なる	(TDD)/(TDD1)	(TDD2)	(-20dBm/MHz	-99.3	10.7	4
建物内						

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

## (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 4.4.1.4 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 4-71)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 4-46に示す情通審における移動局送信電力分と、図 4-47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 4-83 に示す。

- 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

			パラメータ		帯域内干渉	
項番	与干涉局	被干涉局	(送信電力	与干涉量	所要改善量	所要(水平)
			密度)	[dBm/MHz]	[dB]	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
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

# 表 4-83 移動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)

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

表 4-84 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。

- 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

			パラメータ	帯域内干渉		
項番	与干涉局	被干涉局	 (送信電力	与干涉量	所要改善量	所要(水平)
			密度)	[dBm/MHz]	[dB]	離隔距離[m]
2-@-a /	昆刘政禹已	昆刘政禹已	库运家			
2-④-a	座外移動向 (TEDDe)	座2F修動同		-59.2	51.8	390.8
屋外⇒屋外	(TDD2)	(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)			
2-@-b /	尼刘孜勳巳	昆山孜動巳	桂沼宝			
2-④-b	座外移動向 (TEDDe)	座內移動向 (TDD)((TDD1)		-75.4	35.6	60.5
屋外⇒屋内	(TDD2)	(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHZ)			
2-@-c /	巴山放到口	已过少到口	桂泽水			
2-④-c	座内移動向 (TED Do)	座外移動向 (TTDD)((TTDD))	(1) <b>正</b> 4 (1)	-75.4	35.6	60.5
屋内⇒屋外	(TDD2)	(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)			
2-@-d /						
2-④-d	屋内移動局	屋内移動局	情通審	<b>F</b> 0.0	<b>*1</b> 0	
同一建物	(TDD2)	(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)	-59.2	51.8	390.8
壁なし						
2-@-e /						
2-④-е	屋内移動局	屋内移動局	情通審		05.0	<u> </u>
同一建物	(TDD2)	(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)	-75.4	35.6	60.5
壁あり						
2-@-f /						
2-④-f	屋内移動局	屋内移動局	情通審	01.4	10.0	0.0
異なる	(TDD2)	(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)	-91.4	19.6	9.6
建物内						

表 4-84 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)

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

表 4-85 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。

- 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

			パラメータ	帯城内干渉		
項番	与干涉局	被干涉局	(送信電力	与干涉量	所要改善量	所要(水平)
			密度)	[dBm/MHz]	[dB]	離隔距離[m]
3-@-а /	层外移動局	层外移動局	宇測値			
3-④-a	(TDD9)	(TDD)/(TDD1)	天闲画 (2dBm/MHz)	-59.9	50.1	320
屋外⇒屋外	(1002)		(Jubin/MIIZ)			
3-@-b /	层外移動局	层内移動局	実測値			
3-④-b		(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)	-76.1	33.9	50
屋外⇒屋内	(1002)		(Subin/WIIIZ)			
3-@-с /	层内移動局	层外移動局	実測値			
3-④-с		(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)	-75.9	34.1	51
屋内⇒屋外	(1002)		(Subin/WIIIZ)			
3-@-d /						
3-④-d	屋内移動局	屋内移動局	実測値	-50.0	50.1	220
同一建物	(TDD2)	(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)	59.9	50.1	520
壁なし						
3-@-е /						
3-④-е	屋内移動局	屋内移動局	実測値	-76 1	22.0	50
同一建物	(TDD2)	(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)	70.1	JJ.9	50
壁あり						
3-@-f /						
3-④-f	屋内移動局	屋内移動局	実測値	-09.2	177	0
異なる	(TDD2)	(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)	-94.3	11.1	0
建物内						

表 4-85 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)

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

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 4-49 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 4-50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。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料







図 4-50 移動局の送信電力分布(実力値)(再掲)

表 4-86 と図 4-51 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

			1953. H	帯域内干渉		
項番	与干涉局	被干涉局	ハウメータ (送信電力 密度)	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	

表 4-86 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

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-51 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 4-87 と図 4-52 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 4-87 移動局間干渉シナリオにおける実測値パラメータ

項番	与干涉局	被干涉局	パラメータ (送信電力 密度)	帯 移動局1台の時の 所要改善量 [dB](97%値)	域内干渉 所要改善量がプラスにな る(影響が出る) 移動局台数
3-@-а /	屋外移動局	屋外移動局	実測値	9.7	_

モンテカルロシミュレーション結果

			3°= 2 7	帯域内千渉		
項番	与干涉局	被干涉局	ハフメーダ (送信電力 密度)	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	
3-④-a 屋外⇒屋外	(TDD2)	(TDD)/(TDD1)	(3dBm/MHz)			
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	

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-52 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をある程度見込んだ閾値となっている。従っ て、4.4.1.5 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、 4.4.1.2 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 4-48 参照)。

具体的には、机上検討に用いる基地局諸元は 4.4.1.2 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。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-48 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 UL 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。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 UL 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。
Parameter	$\mathrm{DL}$	UL	Notes
α	0.6	0.4	Represents implementation losses
SINR <sub>MIN</sub> , dB	-10	-10	Based on QPSK, 1/8 rate (DL) & 1/5 rate (UL)
SINR <sub>MAX</sub> , dB	30	22	Based on 256QAM 0.93(DL) & 64QAM 0.93 (UL)

## 表 4-73 Parameters describing baseline Link Level performance for 5G (再掲)

Throughput (SINR),  $bps | Hz = \alpha \cdot S(SINR)$  $\alpha \cdot S(SINR_{MAX})$ 

Ω

for SINR< SINR<sub>MIN</sub> for SINR<sub>MIN</sub> $\leq$ SINR<SINR<sub>MAX</sub> for SINR $\geq$ SINR<sub>MAX</sub>

ここで、

s(sinr) a sinr<sub>min</sub> sinr<sub>max</sub> Shannon bound, S(SINR) =log2(1+10^(SINR/10)) [bps/Hz]; Attenuation factor, representing implementation losses; Minimum SINR of the code set, dB; Maximum SINR of the code set, dB.

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

シャノンの定理から算出した UL スループットと SINR の関係を図 4-40 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。

課題実証における UL 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 4-53 と上述した共用検討結果(表 4-88)より、基地局間距離は表 3.4.1-2 表 4-72 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、4.4.1.5 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 4-88)。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 4-72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。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-53 基地局間距離とスループットの関係

表	4-88	上りスルーフ	゚゚ツ	トの所要値を	65Mbps	とり	した場合の	サー	ビスエリ	ア
---	------	--------	-----	--------	--------	----	-------	----	------	---

同期基地局との	準同期システムで所要のパフォーマンス					
基地局間距離	(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 との間で生じう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 4-54 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。



図 4-54 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 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。

#### 4.4.2 実証 No.23 の共用検討

この実証は、富士山五合目の屋外環境において、4.8~4.9GHzの同一周波数にて同期シス テムと準同期システムの間の共用検討を実施している。複数の4Kカメラを用いて断続的に 大容量の録画データをコアネットワーク側にアップロードする必要があり、ULスループッ トは最大 225Mbps が必要であるが、制度化された準同期パターンでは実現が難しいことか ら実証を開始するに至った。

#### 4.4.2.1 実証目標

準同期パターンの開発はアップロード通信の高速化の検証と、ダウンロードとのバラン スを取った3パターンで実証を行いULスループット 225Mbpsの実現を検証する。パタ ーンは下記に記載する。

						1	τU	0		.1 XX1.	· /	~								
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
準同期 TDD1	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U
準同期 TDD2	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U
準同期 TDD3	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U
									-											

表 4-89 準同期パターン

D:DL スロット U:UL スロット S:D から U への切り替えスロット 出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料

## 4.4.2.2 実証仮説

#### (1) 同期タイミングパターンと干渉の可能性

実証環境においては同期 TDD パターンの基地局と準同期 TDD パターンを個別に運用す る場合と同時に運用する場合の運用方法を実施する。同期 TDD パターンと準同期 TDD パ ターンの違いは UL スロットの違いであり、準同期 TDD パターンにおける UL スロットの 送信中には同期 TDD パターンの基地局からの DL スロット信号が準同期 TDD パターンの 基地局に干渉し、また、準同期 TDD パターンの移動局の UL スロット信号が同期 TDD パ ターンの移動局に干渉する可能性がある。これらの干渉は双方のシステムにおいてスルー プットの低下などの悪影響を及ぼす可能性があるが、十分な離隔距離を取ることにより実 質的な影響を与えることなく双方が運用できると推定される。今回の実証ではこの必要な 離隔距離を確認するとともに、相互のアンテナ方向の関係によるカバーエリアの制約や、 準同期システム側のみに悪影響が発生する場合にそれを許容するなどの運用上の制約の必 要性も検証する。

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
準同期TDD1	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U
準同期TDD2	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U
準同期TDD3	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U



<sup>※</sup>セルAとセルBは同一周波数または隣接周波数 ※スロット番号8の時点での状態を想定

干渉発生のパターンとしては、前述のとおり基地局相当装置間での干渉、基地局相当装置 と移動局相当装置間の干渉、および移動局相当装置相互間の干渉をそれぞれ考慮して計算 する必要があり、次節以降で計算を実施する。なお、基地局相当装置間の干渉については空 中線を正対させた場合と空中線を併設した場合において机上計算を行う。

実際の置局において隣接する他システムと基地局の空中線がアンテナパターンのピーク 同士で正対してしまう可能性は非常に低いが、ここでは最悪値として把握したうえで、隣接 局に対して設置可能なアンテナ方位及びチルト角条件の考察に活用する。

出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料 図 4-55 準同期パターンと干渉の発生



出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料 図 4-56 基地局相当装置間の干渉(空中線を正対させた場合)



図 4-57 基地局相当装置間の干渉(空中線を併設、主ビームを平行にした場合)

移動局相当装置-移動局相当装置間干涉



ロ所)実証コンクーシアム No.23 提供資料 図 4-58 移動局相当装置間の干渉

# 移動局相当装置-基地局相当装置間干涉



図 4-59 移動局相当装置・基地局相当装置間の干渉

## (2) 予想される干渉の計算

前項で述べたように、同期 TDD(被干渉システム)のスロットが ULかつ準同期 TDD1,2,3 (与干渉システム)のスロットが ULとなる際に干渉が発生する。この際の前項で示した基 地局及び移動局の配置の組み合わせ毎に必要な干渉離隔距離を算出する。基地局同士が正 対する場合の計算結果を以下の表に示す。

項番	パラメータ	帯域内干渉離隔 距離(m)
基地局·基地局	計算値	8800
(正対)	実測値	
基地局·基地局	計算値	1.38
(併設)	実測値	
移動局·移動局	計算値	700
(正対)	実測値	
移動局·基地局	計算値	975
(正対)	実測値	

表 4-90 域内干渉の計算結果

出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料

基地局	相当装置間の	干渉(正対)							
与干涉局送信電力	-2	dBm/MHz	18dBm/100MHz						
送信空中線利得	12	dBi	FS 12dBi ANT						
送信諸損失	0	dB							
EIRP	10	dBm/MHz	28dBm/100MHz						
離隔距離	19500	m							
受信空中線での入力電力	-121.9573	dBm/MHz							
受信機入力電力	-109.9573	dBm/MHz							
許容干渉電力	-110	dBm/MHz							
受信空中線利得	12	dBi	FS 12dBi ANT						
受信諸損失	0	dB							
干涉量	0.042701	dB							
周波数	4850	MHz							
波長	0.061856	m							
伝搬損失	131.9573	dB							

表 4-91 机上計算の根拠(基地局相当装置間の干渉(正対))

基地局相当装置間の干渉(併設)										
与干涉局送信電力	-2	dBm/MHz	18dBm/100MHz							
送信空中線利得	-29	dBi	FS 12dBi ANT							
送信諸損失	0	dB								
EIRP	-31	dBm/MHz								
離隔距離	1.5	m								
受信空中線での入力電力	-80.67843	dBm/MHz								
受信機入力電力	-109.6784	dBm/MHz								
許容干渉電力	-110	dBm/MHz								
受信空中線利得	-29	dBi	FS 12dBi ANT							
受信諸損失	0	dB								
干涉量	0.321568	dB								
周波数	4850	MHz								
波長	0.061856	m								
伝搬損失	49.67843	dB								

表 4-92 机上計算の根拠(基地局相当装置間の干渉(併設))

## 表 4-93 机上計算の根拠(移動局相当装置間の干渉(正対))

移動局相当装置間の干渉(正対)										
与干涉局送信電力	1.5	dBm/MHz	$21.5 \mathrm{dBm}/100 \mathrm{MHz}$							
送信空中線利得	2.97	dBi								
送信諸損失	8	dB	人体損失							
EIRP	-3.53	dBm/MHz								
離隔距離	580	m								
受信空中線での入力電力	-104.9552	dBm/MHz								
受信機入力電力	-109.9852	dBm/MHz								
許容干涉電力	-110	dBm/MHz								
受信空中線利得	2.97	dBi								
受信諸損失	8	dB	人体損失							
干涉量	0.014833	dB								
周波数	4850	MHz								
波長	0.061856	m								
伝搬損失	101.4252	dB								

移動局相当装置・基地局相当装置間の干渉(正対)										
与干涉局送信電力	1.5	dBm/MHz	21.5dBm/100MHz							
送信空中線利得	2.97	dBi								
送信諸損失	8	dB	人体損失							
EIRP	-3.53	dBm/MHz								
離隔距離	4000	m								
受信空中線での入力電力	-121.7278	dBm/MHz								
受信機入力電力	-109.7278	dBm/MHz								
許容干渉電力	-110	dBm/MHz								
受信空中線利得	12	dBi								
受信諸損失	0	dB								
干涉量	0.272193	dB								
周波数	4850	MHz								
波長	0.061856	m								
伝搬損失	118.1978	dB								

表 4-94	机上計算の根拠	(移動局相当装置-基地局相当装置間の干渉	(正対))
--------	---------	----------------------	-------

移動局相当装置・基地局相当装置間の干渉(併設)									
与干涉局送信電力	1.5	dBm/MHz	21.5dBm/100MHz						
送信空中線利得	2.97	dBi							
送信諸損失	8	dB	人体損失						
EIRP	-3.53	dBm/MHz							
離隔距離	35	m							
受信空中線での入力電力	-80.56797	dBm/MHz							
受信機入力電力	-109.568	dBm/MHz							
許容干渉電力	-110	dBm/MHz							
受信空中線利得	-29	dBi							
受信諸損失	0	dB							
干涉量	0.432032	dB							
周波数	4850	MHz							
波長	0.061856	m							
伝搬損失	77.03797	dB							

## 表 4-95 机上計算の根拠(移動局相当装置・基地局相当装置間の干渉(併設))

#### 4.4.2.3 評価·検証項目

同期TDDシステムと各準同期TDDパターンを採用したシステム間での干渉を評価する。 評価にあたっては双方のシステムを独立して運用した状態と並行して運用した状態にてデ ータの取得を行う。

#### (1) システムの条件

本章の準同期 TDD 追加パターンの開発に係る測定、データ取得においては、2 台の基地 局相当設備を使用して、それぞれを被干渉側、与干渉側として運用する。

被干渉側、与干渉側の基地局相当設備のシステム諸元を以下に示す。これらの諸元は本章 で実施する全ての測定に共通である。

メーカー	FLARE SYSTEMS
型番	FW-ローカル 5G-1
空中線電力	18.0dBm
給電線損失	0.0dB
アンテナゲイン	12.0dBi
EIRP	30.0dBm
TDD パターン	同期・準同期 1、2、3
	time first Sides 1.1

表 4-96 与・被干渉側の基地局相当設備

出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料

## (2) 測定する項目

エリア設計で作図したシミュレーション図におけるカバーエリア、調整対象区域内において 20 地点の測定を行う。測定項目は RSRP、RSSI、SIR、電波品質(遅延プロファイル)、通信品質(スループット、遅延時間)とする。

測定項目	測定指標	測定手法	測定する値 (単位)	測定機器
受信電力	RSRP	Anritsu エリアテスタ	dBm	ML8780A
受信電力	RSSI	Anritsu エリアテスタ	dBm	ML8780A
電波干渉	SIR	Anritsu エリアテスタ	dB	ML8780A
電波品質	遅延プロファイ ル	Anritsu エリアテスタ	usec	ML8780A
通信品質	スループット	SpeedTest ツール	Mbps	CPE
遅延	遅延時間	Ping	msec	WindowsPC(Ping)

表 4-97 測定項目



- 測定器で使用するアンテナはオムニタイプを使用し、影響を最小限に抑える。また、
   実際に使用するアンテナのパターン仕様を事前に確認し、アンテナ方向によって影響がある場合には測定場所ごとに測定器のアンテナ方向を調整する。
- RSRP, RSSI, SIR の測定についてはエリアテスタの測定間隔を最小に設定して3項目同時に測定し、ポイント当たり1,000 サンプル以上を記録する。また、測定中は各測定ポイントを中心に半径30cm程度(5)の円の範囲をできるだけ均等にゆっくりと動かしながら測定する。
- ・ RSRP, RSSI, SIR の測定については、全データの平均値を測定値とする。また参考 のため標本自体の標準偏差 sd(σ)を下記式にて算出し記録する。



- ・ スループット測定は、5G コアの DN 点に直結で配置した専用の SpeedTest ツール を用いてインターネット等の外部ネットワークの影響を排除した測定を実施する。
- 遅延時間の測定は、5G コアの DN 点に直結で配置したサーバに対して 5G 端末 (CPE)に接続した Windows PC より Ping コマンドにより ICMP パケットを送出し 応答が返るまでの往復の時間を記録する。

本実証で使用する 5G システムはコア内蔵の一体型であるため有線伝送区間に起因する スループットや遅延への影響は発生しない。

#### 4.4.2.4 評価・検証方法

- 基本性能確認試験: 電波暗室等の外部環境の影響を受けない環境において、各 TDD 方式における使用 機器の基本性能を確認することを目的に RSRP、SIR、スループットの関係を測定 し確認する。
- フィールド実証試験:

下記評価項目について被干渉システムを停止し与干渉システム単独、及び与干渉シ ステムを停止し被干渉システム単独でそれぞれ測定を行う。測定終了後、同時にシス テムを運用し、再度被干渉システム側の測定を実施する。単独で測定を行った結果と 同時稼働で測定を行った結果を比較し、同期システムと準同期システムを共用した 場合の影響度について評価を行う。

尚、基地局間干渉及び移動局から基地局への干渉を評価する場合で、与干渉システム側単独で測定する際には被干渉側の基地局アンテナにスキャナーを接続し、以下の(1)、(3)項を測定する。

(1) 受信電力

受信電力(RSRP)を 20 地点にて測定し、記録する。同時に RSSI も記録を行う。RSRP は 基地局相当装置ごとの受信電力を識別することができるが、RSSI は送受信電力であり、他 局からの干渉も含め記録が可能であり、双方のデータを取得する。

(2) スループット、伝送遅延力

通信品質であるスループット、遅延時間を測定し、伝送状況を記録する。外部からの干渉

による通信品質の劣化の度合いを記録する。

#### (3) 通信品質(SIR)

無線通信区間における信号対干渉波比を記録する。SIR の低下による通信品質の劣化の 度合いを記録する。

#### (4) スペクトラム

同一周波数での実施のため片方ずつスペクトラムを測定し十分な信号対干渉波比が確保 できていることを確認する。

#### (5) 相関

記録された受信電力、通信品質から相関関係を見出し、異なる TDD パターンの影響による通信への干渉度合いを見出す。また、以下のとおりその際に必要な離隔距離を算出する。

フィールド測定において与干渉システムと被干渉システムを単独で測定を行った結果と 同時に運用して測定を行った結果から、SIR を算出(直接の SIR 測定値または単独測定時 の RSRP 比から算出)し同時測定時における単独測定時からの SIR の劣化の度合いを導出 し、その値(=干渉波の抑制必要量)の干渉を低減するために必要な追加離隔距離を電波法 関係審査基準に記載の電波伝搬モデルの伝搬損失Lを用いて算出する。

#### 4.4.2.5 実証結果及び考察

#### (1) 離隔距離導出のアプローチ方法

- (a) 単体特性の取得(ラボ)
   基地局無線装置・移動局間において最大スループットを維持できる移動局端末装置
   入力レベルを導出する。
- (b) 所要 D/U 比の取得(ラボ)各干渉試験を実施し、所要 D/U 比を導出する。
- (c) 干渉波の影響を受けない最大距離の導出(ラボ)
   (b)で導出した D/U 比から干渉波の影響を受けない距離を導出する。
- (d) ラボ結果の現地実証(現地)現地での離隔距離を導出する。

## (2) ラボでの実証

ラボにおいて現地評価を実施する前に事前評価を実施した。事前評価は外部要因を排除 するためにケーブルでの接続で試験を行い、今回使用する基地局の特性をつかみスムーズ に現地で評価を実施するための基礎データとして活用した。また、ラボにおいて離隔距離の 算出を行った。 (ア) ラボでの系統図



ラボにおいて有線接続試験を実施した際の系統図を記載する。

出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料

図 4-62 基地局-基地局間干渉の系統図







図 4-64 移動局・基地局間干渉の系統図

- (イ) ラボでの評価結果データ
- (a) 単体特性の取得

基地局無線装置と移動局無線装置を同軸ケーブルで直結し、可変アッテネータでレベル を調整することによりスループットを維持できる最低レベル(RSRP)の取得を行った。結 果は下表および下図のとおりとなった。



パターン	スループットを維持できる限界レベル(RSRP,dBm)
同期	-74.3
準同期1	-74.2
準同期2	-78.8
準同期3	-79.2

表 4-98 測定結果





図 4-66 単体特性結果(同期)



図 4-67 単体特性結果(準同期1)



出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料

図 4-68 単体特性結果(準同期 2)





## (b) 所用 D/U 比の取得

所用 D/U 比を取得するために希望波と干渉波を同時に被干渉設備に入力し、可変アッテ ネータでレベルを調整し、スループットや MCS の変化を確認しながら所用 D/U 比の算出 を行う。なお、干渉波は iperf にて高負荷状態を維持し全リソースブロックを活用した状態 での干渉波の送出が行えるように設定を行った上で実験を行っている。



出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料

図 4-70 D/U 比の導出方法概念図(基地局間干渉の場合)



表 4-99 所用 D/U 比

与干涉局	被干涉局	与干渉パターン	被干渉パターン	所用D/U比
基地局	基地局	同期	準同期1	42.68
基地局	基地局	同期	準同期2	47.68
基地局	基地局	同期	準同期3	47.68
移動局	移動局	準同期1	同期	19.10
移動局	移動局	準同期2	同期	19.10
移動局	移動局	準同期3	同期	16.88
移動局	基地局	同期	準同期1	25.89
移動局	基地局	同期	準同期2	25.89
移動局	基地局	同期	準同期3	25.89

(c) 干渉波の影響を受けない最大距離の導出

(a)、(b)で求めた最低受信レベルと所用 D/U 比を用い下概念図に従い最大離隔距離を算出 する。なお、この場合の最大離隔距離は被干渉システムが最大スループットを維持できる場 合の距離と定義する。



出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料

図 4-72 最大距離の導出方法概念図(基地局間干渉の場合)



図 4-73 最大距離の導出方法概念図(移動局間干渉の場合)

エキ / 分言ル	トエントロ	抽工計口			空山ナマ 正対1(…)	答山+7 匹敵2(…)
正刈・併設	与十迹向	放十渉向	与十渉ハターノ	被干渉ハターノ	昇出 9 る此離1(m)	昇出 9 る此碓Z(M)
正対	基地局	基地局	同期	準同期1	36.83	13964.16
正対	基地局	基地局	同期	準同期2	62.78	42333.24
正対	基地局	基地局	同期	準同期3	65.49	44158.55
併設	基地局	基地局	同期	準同期1	36.83	1.11
併設	基地局	基地局	同期	準同期2	62.78	3.36
併設	基地局	基地局	同期	準同期3	65.49	3.51
正対	移動局	移動局	準同期1	同期	11.85	38.34
正対	移動局	移動局	準同期2	同期	12.03	38.94
正対	移動局	移動局	準同期3	同期	23.02	57.70
正対	移動局	基地局	同期	準同期1	36.83	725.29
正対	移動局	基地局	同期	準同期2	62.78	1236.45
正対	移動局	基地局	同期	準同期3	65.49	1289.76
併設	移動局	基地局	同期	準同期1	36.83	6.46
併設	移動局	基地局	同期	準同期2	62.78	11.02
併設	移動局	基地局	同期	準同期3	65.49	11.50

表 4-100 最大距離の導出結果

			離隔距離(n	n)	
干渉方向	正対・併設	シミュレーション値	ラボ実機評価		
		共通	同期-TDD1	同期-TDD2	同期-TDD3
基地局->基地局	正対	19500	13964.16	42333.24	44158.55
基地局->基地局	併設	1.5	1.11	3.36	3.51
移動局->移動局	正対	580	38.34	38.94	57.70
移動局->基地局	正対	4000	725.29	1236.45	1289.76
移動局->基地局	併設	3.5	6.46	11.02	11.50

表 4-101 シミュレーション値とラボでの離隔距離の比較

出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料

上記の手順をふまえラボでの離隔距離の算出を行った。導出した距離から検討すると基

地局間干渉は相当量の距離を離す必要があるが、今回のような高利得空中線においてはビ ームパターンの関係上、現実的に見通し通信において空中線同士が正対することを避ける ことは比較的容易なため、大きな問題とならないと考えられる。また、干渉量が少ない併 設においては離隔距離が短いため他のシステムとの共存が比較的容易と考えられる。しか し、移動局間干渉を考慮する必要があるため異なる同期パターン同士の近隣システム構築 には十分な検討が必要であると考えられる。

#### (3) フィールドでの実証結果

フィールドでの評価においては被干渉側のシステムを事前に単独にて測定し、干渉があ る場合と干渉がない場合の比較を行い同一周波数下の干渉における影響を検証した。

(ア)フィールドと測定点

実証フィールドの状況を下図に記載する。1~11 までの番号が移動局相当装置を移動する 箇所となる。



出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料 図 4-74 基地局および測定点位置

基地局間の距離は80mとし、4合目の設置可能である箇所に設置した。測定点は10m刻 みで設定をしている。 (イ)フィールドでの試験結果

下図に示したような、両局の位置関係と実測地点が分かる図を作成した。また干渉の発生 状況を図示するため、SIRの差分(劣化の度合い)を色で識別して表示する。



出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料 図 4-75 与干渉システムと被干渉システムの並行運用 基地局間干渉(正対)

与干涉 SIR							
	同期						
ポイント番号 干渉時測定 単体測定 差分 備考							
1		19.49		干渉量が大きく測定不可			
2		17.87		干渉量が大きく測定不可			
3		16.69		干渉量が大きく測定不可			
4	20.02	20.52	0.50				
5	20.34	17.41	2.93				
6	20.69	18.78	1.91				
7	20.30	20.82	0.52				
8	21.17	21.08	0.10				

表 4-102 与干渉システムの SIR	基地局間干涉	(正対)
----------------------	--------	------

被干涉 SIR							
	準同期3						
ポイント番号	干渉時測定	単体測定	差分	備考			
1	16.26	16.47	0.20				
2	6.68	6.39	0.28				
3	16.58	7.93	8.65				
4	0.40	10.30	9.89				
5	1.03	15.15	14.12				
6	-4.01	16.20	20.22				
7	-5.42	14.10	19.52				
8		12.49		干渉量が大きく測定不可			

	表	4-103	被干渉システムの SIR	基地局間干涉	(正え
--	---	-------	--------------	--------	-----

	凡例	
	21~25	
	16~20	
	10~15	
SIR	5~9	
	0~-4	
	-5~-1	
	-10~-6	



出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料 図 4-76 与干渉システムと被干渉システムの並行運用 基地局間干渉(併設)シミュレ ーション図

8か所の測定ポイントの詳細を下記に記載する。

ポイン ト番号	RSRP(dBm)/RS SI(dBm)	SIR (dB)	スループット (Mbps,DL/UL)	伝送遅延 (msec)	標準偏差
1	-79.50/-55.67	16.47	196.00/62.3	21.2	6.81
2	-91.23/64.87	6.39	205.00/41.67	23.27	3.78
3	-93.00/-66.91	7.93	181.67/34.33	23.6	4.32
4	-96.40/-71.76	10.30	122.00/7.4	25.6	3.26
5	-89.06/-65.43	15.15	105.33/2.26	19.07	3.01
6	-95.49/-71.91	16.20	98.00/1.6	26.9	4.41
7	-96.57/-72.73	14.10	24.10/0.0	36.9	3.51
8	-93.91/-69.41	12.49	116.00/0.0	19.2	3.72

表 4-104 被干渉システムのみの測定結果 基地局間干渉(正対)

表	4-105	与干渉システムのみの測定結果
~	T T O O	

ポイン	RSRP(dBm)	SIR	スループット	伝送遅延	標準
卜番号	/RSSI(dBm)	(dB)	(Mbps,DL/UL)	(msec)	偏差
1	-100.26/-55.67	19.49	1.79/2.21	36.25	2.40
2	-103.39/-64.87	17.87	1.05/2.25	34.83	3.89
3	-105.01/-66.91	16.69	3.02/0	34.1	4.47
4	-92.71/-71.76	20.52	154.20/16.3	31.2	4.09
5	-100.94/-65.43	17.41	55.02/2.18	30.33	6.60
6	-98.69/-71.61	18.78	153.33/24.5	23.4	7.05

ポイン ト番号	RSRP(dBm) /RSSI(dBm)	SIR (dB)	スループット (Mbps,DL/UL)	伝送遅延 (msec)	標準 偏差
7	-87.65/-72.73	20.82	162.00/7.61	24.4	5.51
8	-72.56/-69.41	21.08	175.00/185.67	25.23	4.09

#### 表 4-106 同時にシステムを動かした場合の被干渉システムの測定結果 基地局間干渉(正対)

ポイン ト番号	RSRP(dBm) /RSSI(dBm)	SIR (dB)	スループット (Mbps,DL/UL)	伝送遅延 (msec)	標準 偏差
1	-74.99/-51.23	16.26	131.57/20.44	30.17	2.98
2	-87.42/-62.23	6.68	117.77/8.45	26.67	3.43
3	-82.76/-58.99	16.58	103/5.02	29.6	2.70
4	-91.21/-63.69	0.40	61.35/3.07	20.55	4.99
5	-93.95/-67.29	1.03	36.2/3.02	30.9	3.65
6	-97.87/-67.80	-4.01	37.8/0.07	36.7	3.62
7	-98.61/-67.34	-5.42	33.0/0.04	37.8	4.15
8					

(基地局相当装置間の距離 80.0[m])

出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料

#### 表 4-107 同時にシステムを動かした場合の被干渉システムの測定結果 其地局間干洗(併設)

ポイン	RSRP(dBm)	SIR	スループット	伝送遅延	標準
卜番号	/RSSI(dBm)	(dB)	(Mbps,DL/UL)	(msec)	偏差
9	-83.89/-55.80	8.24	184.34/55.55	21.74	2.52
10	-86.96/-59.62	12.45	165.96/63.06	22.11	1.89
11	-89.10/-64.94	6.52	161.77/38.61	23.04	4.51

(基地局相当装置間の距離 80.0[m])

出所)実証コンソーシアム No.23 提供資料

干渉計算結果に加え実際の干渉試験を行った結果を下図のような表にまとめた。

								•	
正対 併設	与 <del>下</del> 渉局	被 干 渉局	与干渉パターン	被 干 渉 ン	算出する 距離 1(m)	算出する距 離 2(m)	現地実 施有無	現地での評 価結果	備考
正対	基 地 局	基 地 局	同期	準同期 1	36.83	13964.16			離隔距離が大きく不適と考え られる
正対	基 地 局	基 地 局	同期	準同期 2	62.78	42333.24			離隔距離が大きく不適と考え られる
正対	基 地 局	基 地 局	同期	準同期 3	65.49	44158.55	実施	スループッ トの低下が 大きく実運 用には不適	80m 離隔での試験時スループ ットが低下するものの通信は 可能

#### 表 4-108 干涉試驗結果

正対 併設	与 干 渉局	被 千 渉局	与干渉パターン	被干渉 パター ン	算出する 距離 1(m)	算出する距 離 2(m)	現地実 施有無	現 地 で の 評 価結果	備考
併設	基 地 局	基 地 局	同期	準同期 1	36.83	1.11			準同期 3 での離隔距離とほぼ 同等と考えられるため、運用可 能と考えられる
併設	基 地 局	基 地 局	同期	準同期 2	62.78	3.36			準同期 3 での離隔距離とほぼ 同等と考えられるため、運用可 能と考えられる
併設	基 地 局	基地局	同期	準同期 3	65.49	3.51	実施	干渉量が小 さいため実 運用に適す る	運用可能
正対	移 動 局	移動局	準 同 期 1	同期	11.85	38.34			離隔距離が 40m 程度でありシ ステム配置を適切に行うこと で運用可能と考えられる
正対	移 動 局	移 動 局	準 同 期 2	同期	12.03	38.94			離隔距離が 40m 程度でありシ ステム配置を適切に行うこと で運用可能と考えられる
正対	移 動 局	移 動 局	準 同 期 3	同期	23.02	57.70			離隔距離が 60m 程度でありシ ステム配置を適切に行うこと で運用可能と考えられる
正対	移 動 局	基 地 局	同期	準同期 1	36.83	725.29			離隔距離が大きく不適と考え られる
正対	移動局	基 地 局	同期	準同期 2	62.78	1236.45			離隔距離が大きく不適と考え られる
正対	移 動 局	基 地 局	同期	準同期 3	65.49	1289.76			離隔距離が大きく不適と考え られる
併設	移動局	基地局	同 期	準同期 1	36.83	6.46			離隔距離が 10m 程度でありシ ステム配置を適切に行うこと で運用可能と考えられる
併設	移 動 局	基 地 局	同期	準同期 2	62.78	11.02			離隔距離が 10m 程度でありシ ステム配置を適切に行うこと で運用可能と考えられる
併設	移 動 局	基 地 局	同期	準同期 3	65.49	11.50			離隔距離が 10m 程度でありシ ステム配置を適切に行うこと で運用可能と考えられる

以上のように干渉システムの共用可能性について検討を行った。同一周波数での準同期 TDDパターンでの運用条件をまとめることにより今後準同期パターンと同期パターンの共 存可能性について検討することができた。全般的に同一周波数帯での干渉となるため、空 中線が正対する場合は離隔条件が厳しく運用に適さない場合が多いが、現実的には高利得 空中線同士が正対するケースは少ないと考えられるため大きな問題とならないと考えられ る。エリア設計の差異にセクタアンテナを使用し、ダウンチルトなど基地局無線装置同士 が正対しないようにシステム設計を行うことが重要となると考えられる。移動局間干渉に おいては移動局は一般的に無指向性アンテナを使用するため見通し環境において空中線角 度の変更による干渉回避は困難である。しかしながら実証においては事前計算値よりも短 い距離での運用が可能であった。これは移動局の送信電力制御により基地局からの距離が 近い場合は送信出力を低減する仕組みを具備しているため干渉が少なかったことも影響し ていると考えられる。

#### 4.5 一次請負者による実機を用いた検証(技術実証の追加提案)

ー次請負者において、UL 比率を変更させた検証を実施できる実機を用意の上、実証コ ンソーシアムと連携して1カ所程度ローカル5Gの性能評価(スループットの評価等)を行 い、実証コンソーシアムによる理論値との差分や課題等を検証した。

連携する実証コンソーシアムの選定に当たっては、公募要領において「技術実証の追加提案」という提案の枠を設け、一次請負者の実証に対する実証コンソーシアムの協力提案を募った。審査の結果、実証 No.02「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」を実施するコンソーシアム(以下、協力コンソーシアム)を連携相手に選定し、検証を行った。

#### 4.5.1 実証概要

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 て検証した。検証した準同期 TDD 追加パターンは、図 4-77 に示す追加準同期パターン (TDD2) を対象とした。

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
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	

※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 4-77 検討対象とする追加準同期パターン

#### 4.5.2 作業日程・作業体制

ー次請負者で実機を用意するにあたっては、協力コンソーシアムとの調整及び協議も踏 まえ、以下の体制で実証環境の構築・運用を行った。

全体設計・全体管理	株式会社三菱総合研究所
環境構築 PJ 管理及び技術支援	株式会社 NTT ドコモ
機器提供	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
機器キッティング	CTC システムマネジメント株式会社
運用保守	CTC テクノロジー株式会社
ライセンス提供	APRESIASystems 株式会社
機器撤去	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

また、以下日程にて必要な実証環境の構築・運用を行った。



#### 表 4-109 現地構築・作業実績

## 4.5.3 実証環境・システム

## 4.5.3.1 実証フィールド

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、協力コンソーシアムの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4-78に示すとおり、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。



出所) 実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-78 訓子府実証農場の基地局間離隔可能距離

そのため、本実証は、図 4-79 に示す、神奈川県横須賀市光の丘にある NTT ドコモ R& D センタ内屋外駐車場で実施した。

図 4-79 に示すとおり、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、事前の机上検討で は1対1 正対モデルかつ自由空間伝搬式で実施したため、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。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-79 実証フィールド



出所)NTT ドコモ提供資料

図 4-80 準同期基地局側からの実証環境



出所)NTT ドコモ提供資料

図 4-81 同期基地局側からの実証環境



出所) NTT ドコモ提供資料

図 4-82 コア装置設置状況

#### 4.5.3.2 基地局設備

## (1) 準同期運用基地局

本実証で利用した準同期運用基地局のシステム諸元を以下に示す。

製造ベンダ	APRESIASystems 株式会社
台数	1台
設置場所(屋内/屋外)	屋外
同期/準同期	同期:準同期(TDD1):準同期(TDD2)の全てに対応
	以下のパターン全てに対応
	<ul> <li>・ 同期パターン 2:1:7</li> </ul>
$OL \cdot DL \vdash_{L^{\frac{n+1}{2}}}$	<ul> <li>制度化済みパターン 4:2:4</li> </ul>
	・ 追加準同期パターン 10:4:5
周波数带	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA
周波数	4.8~4.9GHz
帯域幅	100MHz
中心周波数	4.85GHz
UL変調方式	QPSK,16QAM,64QAM
DL 変調方式	QPSK,16QAM,64QAM,256QAM
MIMO	$1 \times 4$ MIMO
同時接続数	7UE

#### 表 4-110 準同期運用システム諸元

出所) NTT ドコモ提供資料

協力実証コンソーシアムが行うローカル 5G TDD 同期/準同期運用局を用いた実証試験を 実施するために必要なパラメータについて、協力実証コンソーシアムと連携しつつ現地に て調整を行い、必要な実証環境は以下のとおりの設定とした。

設定項目	設定値							
Тх	0dBm							
Rx	3dBm							
MCS_UL	9							
MCS_DL	9							
TPC_L1_REF_RSSI	40							
TPC_L2_BASE_VALUE	100							

## 表 4-111 準同期運用パラメータ設定値

出所) NTT ドコモ提供資料

## (2) 同期運用基地局

本実証において用いた同期運用基地局システムは、Central/DistributeUnit(CDU)、 RadioUnit(RU)の二種類の装置で構成されるローカル 5G 基地局システムである。装置 の外観等を表 4-112 に示す。なお RU はアンテナー体型となっており筐体全面より電波を

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								

表 4-112 同期運用基地局システム構成

項目	基地局	
製造ベンダ	APRESIASystems 株式会社	
台数	1台	
設置場所(屋内/屋外)	屋内	
同期/準同期	同期/準同期	
UL : DL 比率	1:2:7/4:2:4	
周波数带	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	4.95011-	
DL 中心周波数	4.89GHZ	
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)	

## 表 4-113 同期運用基地局システム諸元

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

## 4.5.3.3 ローカル 5G コアネットワークシステム

本実証において用いたローカル 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。

装置の外観等を表 4-114 に示す。また主要諸元を表 4-115 に示す。

	~~		2 T 2 T 2 2 114/94		
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

表 4-114 ローカル 5G コアネットワーク構成

	ニノイントン シ硝九
製造ベンダ	APRESIASystems 株式会社
準拠する標準化仕様	3GPP Release15
5G ネットワーク構成	SA Option2

表 4-115 ローカル 5G コアネットワーク諸元

4.5.3.4 ローカル 5G アンテナ

本実証において用いたローカル 5G アンテナの外観等を図 4-83 に示す。また主要諸元を 表 4-116 ローカル 5G のアンテナの諸元に示す。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

図 4-83 ローカル 5G のアンテナの外観

|--|

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

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

#### 4.5.3.5 端末設備

干渉下での伝送性能を検証するため、ローカル 5G 端末 2 台(同期運用、準同期運用いずれも同一機種で対応可能)を利用した。(表 4-117)。

	× 11			
装置構成	型式	サイズ	重量	消費電力
UE	ApresiaAERO-UE100	148(W)×100(D)×230(H)mm	1kg 以下	40W以下
出所)実証コ	ンソーシアム No.02 提供資料	ł		

## 表 4-117 ローカル 5G 端末設備



## 図 4-84 ローカル 5G 端末設備の外観

## 表 4-118 ローカル 5G 端末設備の諸元

対応周波数	5G NR 4.8~4.9GHz(TDD) 100MHz幅
LAN例 (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
本件概算質量	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℃)
## 4.5.3.6 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、エリアテスタ、測定用 PC など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利用した(表 4-119)。

測定機器名	測定項目	外観
Anritsu	SS-RSRP	図 4-85
エリアテスタ ML8780A <sup>10</sup>	RSSI	
	SS-RSRQ	
	SS-SIR	
測定用 PC	スループット	図 4-86
iPerf <sup>11</sup>	遅延時間	
Packet Capture (Wireshark <sup>12</sup> )		
Garmin eTrex30xJ <sup>13</sup>	GPS 座標	図 4-87
Anritsu フィールドマスタプロ	基地局送信スペクトラム	図 4-88
$MS2090A^{14}$	移動局送信電力	

表 4-119 実測に使用した測定機器

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

図 4-85 Anritsu エリアテスタの外観

 $<sup>\</sup>mathbf{5}$ 

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

<sup>11 &</sup>lt;u>https://iperf.fr/</u>

<sup>12</sup> https://www.wireshark.org/

<sup>13</sup> https://buy.garmin.com/en-US/US/p/518048/pn/010-01508-10#specs

<sup>14</sup> https://www.anritsu.com/ja-jp/test-measurement/products/ms2090a



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-86 測定用 PC(iPerf,Wireshark)



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 **4-87 Garmin eTrex30xJ** 



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-88 フィールドマスタ プロ ™ (MS2090A)

項目	設定値
測定周波数	4.849GHz
带域幅	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

表 3.2-2 エリアテスタ設定値

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

## 4.5.3.7 実証環境・システムにおける留意事項

環境構築後、検証前のスループット確認において、下記の事象が発生した。

- 同期局による iPerf を用いたスループット測定時に DL 通信にて 100Mbps の負荷を 掛けて測定をしていたところ、途中まで 50Mbps 程度で通信していたものが、途中 から急に 100Mbps 程度まで出るようになる事象
- ② 準同期局による iPerf を用いたスループット測定時に UL 通信にて途中パケットが 通らなくなり、セッションは維持したままで、Ping が通らなくなる事象

上記の課題に対し、実証時に安定したスループット測定が行えるよう、図 4-89 に示す ファームウェア変更、各種パラメータ変更を行い、検証を実施。

結果、ファームウェアの ver 変更及び各種パラメータ(送受信出力、MCS)の変更による 最適値を設定した。

対象	装置	項目	値	状況		
	DUIA	Tx	23			
	KU1	Rx	20			
		MCS_UL	9			
検証開始時の同期局		MCS DL	9	課題①の発生		
	CDU	TPC L1 REF RSSI	45.0	_		
		TPC_L2_BASE_VALUE	152.0			
		FW	18			
		Tx	23			
	RU	Rx	20			
		MCS UL	9			
検証開始時のTDD2		MCS_DL	9	課題②の発生		
	CDU	TPC L1 REF RSSI	45.0	_		
		TPC_L2_BASE_VALUE	152.0			
		FW	旧			
対象	装置	項目	値	状況		
	RU	Tx	0	・Tx/Rxの値を低く設定し北海道と同一環		
	- KO	Rx	3	境に変更。		
		MCS_UL	9	・MCS_DLの値を変更することで、スルー		
切り分け時のTDD2		MCS_DL	16	プットは向上期待するが、無線セッションの		
	CDU	TPC_L1_REF_RSSI	40.0	維持は不安定。		
		TPC_L2_BASE_VALUE	100.0	・TPCの値はUEの出力を高める方向に変		
		FW	新	更。		
115	sister and		-			
	装置	「見日」	値			
	RU	IX	0	・MCS_DLを変更、DLのC-Planeの変調		
		KX	3	か16QAM→QPSKCなりBLERの/恒か下		
		MCS_UL	9	かったの、セッションの女正長が増したて推		
いりがい 時の ロロン	CDU		9			
	CDU	TPC_LI_REF_RSSI	40.0	・TPCの値は旧ファームエアにチューニングさ		
			4 ()() ()	わちのウオナり ウマ府内にかたす が		
	1	TPC_LZ_BASE_VALUE	100.0	れた設定であり、安定度向上のため、新		
		FW	100.0 旧	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要		
		FW	100.0 旧	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要		
		FW	100.0 旧	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要		
	装置	TPC_L2_BASE_VALUE FW 頂目	<u>100.0</u> 旧 佰	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 状況		
	装置	TPC_L2_BASE_VALUE FW 項目 Tx	100.0 旧 値 0	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要		
	装置 RU1	TPC_L2_BASE_VALUE FW 項目 Tx Rx	100.0 旧 値 0 3	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・ 「期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①(2)ともに解		
	装置 RU1	項目 Tx Rx MCS UL	100.0 旧 値 0 3 9	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・ 「期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		
対象	装置 RU1	項目 Tx Rx MCS_UL MCS DL	100.0 旧 0 3 9 9	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・同期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		
対象 対策後の同期局	装置 RU1 CDU1	項目 Tx Rx MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI	100.0 旧 値 0 3 9 45.0	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・同期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		
対象	装置 RU1 CDU1	項目 Tx Rx MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI TPC_L2_BASE_VALUE	100.0 旧 値 0 3 9 45.0 152.0	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・ 「期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		
対象 対策後の同期局	装置 RU1 CDU1	IPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx MCS_UL MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI TPC_L2_BASE_VALUE FW	100.0 旧 0 0 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 5.0 _5.0	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・ ・ 同期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		
対象 対策後の同期局	装置 RU1 CDU1	IPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx MCS_UL MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI TPC_L2_BASE_VALUE FW Tx	100.0 旧 值 0 3 9 9 45.0 152.0 新 0	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・ ・ 同期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		
対象 対策後の同期局	装置 RU1 CDU1 RU1	IPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx MCS_UL MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI TPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx	100.0 旧 0 3 9 45.0 152.0 新 0 3	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・ ・ 同期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		
対象 対策後の同期局	装置 RU1 CDU1 RU1	IPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx MCS_UL MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI TPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx Rx MCS_UL	100.0 旧 0 3 9 45.0 152.0 新 0 3 9 9	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・同期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		
<u>対象</u> 対策後の同期局 対策後のTDD2	装置 RU1 CDU1 RU1	IPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx MCS_UL MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI TPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx Rx MCS_UL MCS_DL	100.0 旧 0 3 9 45.0 152.0 新 0 3 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・同期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		
対象 対策後の同期局 対策後のTDD2	装置 RU1 CDU1 RU1 CDU1	IPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx MCS_UL MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI TPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx MCS_UL MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI	100.0 旧 0 3 9 45.0 新 0 3 9 9 45.0 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・同期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		
対象 対策後の同期局 対策後のTDD2	装置 RU1 CDU1 RU1 CDU1	IPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx MCS_UL MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI TPC_L2_BASE_VALUE FW Tx Rx MCS_UL MCS_UL MCS_DL TPC_L1_REF_RSSI TPC_L2_BASE_VALUE	100.0 旧 0 3 9 45.0 152.0 新 0 3 9 9 45.0 9 9 9 9 9 45.0 152.0	れた設定であり、安定度向上のため、新 ファームエアの変更が必要 ・同期局、TDD2局とも同一の最新ファーム ウェア、パラメータに設定。課題①②ともに解 決し、実証を実施。		

出所)NTT ドコモ提供資料

図 4-89 ファームウェア、パラメータ設定履歴一覧

# 4.5.4 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。

### 4.5.5 評価·検証方法

#### 4.5.5.1 測定方法

図 4-90 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 可変とした測定をするため、図 4-91 に示すとおり機器養生を行った。実際の機器設置状況 は図 4-92、図 4-93 に示す。





出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

図 4-91 実証環境における機器養生



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 **4-92 5G RU 及び UE 設置状況** 



出所) 実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 **4-93 5G Core 及び CU/DU 設置状況** 

### 4.5.5.2 測定項目

受信電力(SS-RSRP 値)、通信品質(SS-SINR)、及び伝送性能(UL/DL 別のスループ ット、伝送遅延)について実測した。

### 4.5.5.3 測定手法と実測模様

一般的に、TDD 方式の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 4-94 に示す干渉シナリオにおいて以下の パターンで実施した。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

図 4-94 同期/非同期区間における干渉影響パターン

## (1) 単独運用における測定

図 4-95 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、評価項目について実測を行う。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-95 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

# (2) 基地局間干渉下における測定

図 4-96 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 4-120 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)"のスループット(UL)を実測した。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した。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料



干渉パターン	基地局間	同期基地局-	準同期基地局- 港同期投動目	評価項目
	此一一 ()	円州 修 則 何 明 明 晰 (…)	平问别移到问 明职做 ()	
	(m)	间距離 (m)	间距離 (m)	
基地局間十涉	150	30(固定)	10	準同期伝送
			20	スループット(UL)
			30	
			40	
			50	
	100	30(固定)	10	準同期伝送
			20	スループット(UL)
			30	
			40	
			50	
	50	30(固定)	10	準同期伝送
			20	スループット(UL)
			30	
			40	
			50	
	25	30(固定)	10	準同期伝送
			20	スループット(UL)
			30	
			40	
			50	

表 4-120 基地局間干渉評価における測定パターン

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

# (3) 移動局間干渉下における測定

図 4-97 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 4-121 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した。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

## 図 4-97 移動局干渉下における基地局/移動局配置

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	準同期スループット(DL)
			20	
			30	
			40	
			50	
	100	10(固定)	10	準同期スループット(DL)
			20	
			30	
			40	
			50	
	50	10(固定)	10	準同期スループット(DL)
			20	
			30	
			40	
			50	

表	4-121	移動局	間干	涉評伯	酛おけ	る測定ノ	ペタ	$-\nu$
---	-------	-----	----	-----	-----	------	----	--------

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

## 4.5.5.4 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た。

### (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スループットについて取りまとめた。

## (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った。

## (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った。

## (4) 所望の通信品質を確保可能な運用条件の評価

協力コンソーシアムがシミュレーションで実施した共用検討結果の妥当性について、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することで、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した。

## 4.5.6 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以下に示す。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-98 準同期基地局からの受信電力 (SS-RSRP) 距離特性





出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-99 準同期基地局からの受信電力(SS-RSRQ)距離特性

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-100 準同期基地局からの受信電力 (SS-SINR) 距離特性

		······································	• ••• =••••	
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	10	-100.99	-11.12	18.55
単独連用	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	10	-99.10	-10.06	19.84
準同時運用 (基地局間	20	-109.38	-11.43	12.55
離隔距離 50m)	30	-108.35	-11.31	12.35
	40	-111.79	-10.69	10.03

表 4-122 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)
	50	-112.34	-10.65	10.45
同期/準同期基地局	10	-100.30	-10.65	16.14
準同時運用 (基地局間	20	-111.11	-12.78	7.20
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	10	-100.17	-10.65	18.69
準同時運用 (基地局間	20	-107.40	-11.42	11.49
離隔距離 150m)	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

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-101 同期基地局からの受信電力(SS-RSRP)距離特性



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-102 同期基地局からの受信電力(SS-RSRQ)距離特性





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	10	-100.99	-11.12	18.55
単独連用	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	10	-90.79	-10.57	19.84
同時運用 (基地局間	20	-102.13	-10.89	17.15
離隔距離 50m)	30	-106.01	-11.07	15.60
	40	-106.79	-10.74	14.42
	50	-109.02	-10.28	13.08
	10	-91.94	-10.44	21.41

表 4-123 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)
	20	-103.63	-10.32	17.04
	30	-102.57	-10.40	18.70
	40	-108.22	-10.54	14.26
同期/準同期基地局	50	-114.02	-11.29	8.16
回時連用 (基地局間	60	-107.52	-10.65	14.85
離隔距離 100m)	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	10	-89.08	-10.38	20.70
同時運用	20	-109.90	-11.92	10.35
離隔距離 150m)	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

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

## 4.5.6.1 同期/準同期システム単独運用の場合の性能評価

図 4-104 に同期基地局 (TDD) 単独運用におけるスループット測定結果を、図 4-105 に 準同期基地局 (TDD2) 単独運用における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 スループット平均は 30Mbps 程度

であり、UL 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とおりと考えられる。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 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とおりと考えられる。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-104 同期(TDD)運用システムにおける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 スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)
同期基地局	10	18.55	15.9	50.1
単独運用	20	16.98	15.9	26.1
	30	16.90	15.9	24.5
	40	9.84	16.1	22.9
	全体平均值	15.57	16.0	30.9

表 4-124 同期(TDD)運用システムにおけるスループット距離特性

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-105 準同期(TDD2)運用システムにおける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 スループット (Mbps)	UL スループット (Mbps)
準同期基地局	10	18.55	31.7	32.2
単独運用	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
	全体平均值	14.93	28.2	14.6

$\chi$ 4 <sup>-1</sup> $L_0$ 単同知(1DD2))運用シスノムにわりるスルーノット吧
--

出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料

### 4.5.6.2 基地局間干渉下における準同期運用システム評価

図 4-106 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 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 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 スループットについて比較を行う。

図 4-107 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 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 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 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 スループットと の比較を実施する(図 4-108)。図から、準同期(TDD2)の移動局からの UL 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 スループット劣化が見られた。



出所) 実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-106 基地局間干渉評価における基地局/移動局配置(再掲)







出所) 実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-108 基地局間干渉下における準同期(TDD2) UL スループット累積分布

## 4.5.6.3 移動局間干渉下における同期運用システム評価

図 4-109 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 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 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 スループットについて比較を行う。

図 4-110 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 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 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 スル ープットが劣化していることがわかる(図 4-111、図 4-112)。



出所) 実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-109 移動局干渉下における基地局/移動局配置(再掲)



出所) 実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-110 移動局間干渉下における同期(TDD)運用システム



出所) 実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4·111 移動局間干渉下における同期(TDD) DL 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)



出所) 実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-112 移動局間干渉下における同期(TDD) DL 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)

### 4.5.6.4 所望の通信品質を確保可能な運用条件の評価

図 4-113 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 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 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 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あるが、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。



出所) 実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-113 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、前述したとお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 4-114 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 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 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。



出所)実証コンソーシアム No.02 提供資料 図 4-114 移動局間干渉下における同期(TDD)運用システム

## 4.6 まとめ

## 4.6.1 隣接周波数における干渉

## 4.6.1.1 基地局間干涉

(1) 実証 No.01 農業(ぶどう園)

1 対 1(正対)実測後シミュレーションでは、指向性アンテナ局にて所用改善量が残 ったため、実機にて、ローカル 5G・キャリア 5G 同時運用と各単体運用時で伝送性 能、受信電力、通信品質を測定し、ローカル 5G 単体時とローカル 5G・キャリア 5G 共用時の性能差について考察した結果、共用時ローカル 5G システムの受信品質 には影響しないことがわかった。

(2) 実証 No.17 国際会議場 干渉観点評価では環境影響により有効なデータが取れなかったが、実機によるス ループット観点評価結果から(干渉量-68[dBm/MHz]以下ではスループット劣化は発生しない)、併設での離隔距離 1.7m、アンテナチルト 90°のサイトエンジニアリングにて共用可能である。

以上から、追加準同期 TDD パターン 2 およびパターン 3 に関して、隣接周波数における基地局間干渉の条件下での同期 TDD パターンや制度化済み準同期 TDD パターン 1 との 共用については、大きな問題なく可能と考える。

#### 4.6.1.2 移動局間干渉

(1) 実証 No.01 農業(ぶどう園)

1対1正対 SIM では所要改善が残ったため、実機にて、同時接続端末数を1台と 5台で TP 性能、受信電力、品質(RSRQ,SINR)を測定した結果、共用時と単体時 の性能差から、共用時のキャリア 5GDL には影響しなかった。また、キャリア 5G 端末/ローカル 5G 端末の 0m/1m の差も、伝送性能の悪化は無かった。

(2) 実証 No.15 高速道路地上

最悪値ケースで若干の所要改善が残ったが、モンテカルロシミュレーション(半径 100m,3 台)による確率計算にて、所用改善はマイナスとなり、共用可能と考える。

(3) 実証 No.17 国際会議場

最悪値ケースで所要改善が残ったが、実機によるスループット観点評価結果から、 移動局間距離によらず共用可能と考える。

以上から、追加準同期 TDD パターン 2 およびパターン 3 に関して、隣接周波数における移動局間干渉の条件下での同期 TDD パターンや制度化済み準同期 TDD パターン 1 との 共用については、大きな問題なく共用可能と考える。

## 4.6.2 同一周波数における干渉

## 4.6.2.1 基地局間干涉

(1) 実証 No.02 農業(牛舎)

実証実機パラメータ及び実測値を用いた検討では、屋外のローカル 5G 基地局同 士が共存する場合と屋内のローカル 5G 基地局同士が共存する場合において、基地 局間干渉の所要離隔距離は約 140m となった。ここで、約 140m 以下の基地局間距 離で準同期基地局が干渉影響を受けても、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共用条件として検討し(スループットへの干渉 影響を評価)基地局間離隔距離をパラメータに、準同期基地局と移動局間の距離に 対する UL スループット特性の関係を計算により導出した。所望通信性能に応じた 置局条件の設定に有効と考える。

他に、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およ

び、屋内にて壁で隔てられているローカル 5G 基地局同士が共存する場合の基地局 間干渉の所要離隔距離は約 20m となった。異なる建物内で運用する場合の基地局間 干渉の所要離隔距離は約 4m となった。

(2) 実証 No.23 富士山五合目

併設であれば、共用シミュレーションで所要離隔距離 1.5m、スループット観点の ラボ評価でも 1.1~3.5m となり、アンテナ調整にて共用可能。

以上から、追加準同期 TDD パターン 2 およびパターン 3 に関して、同一周波数における基地局間干渉の条件下での同期 TDD パターンや制度化済み準同期 TDD パターン 1 との 共用については、基地局送信電力、アンテナ指向性やチルト角などの調整によるサイトエ ンジニアリングによって可能となると考える。

### 4.6.2.2 移動局間干渉

- (1) 実証 No.02 農業(牛舎)
  - 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、 1対1対抗モデルの検討結果から、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 4-54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。

なお、同じ1対1対応モデルの検討結果として、移動局間干渉の所要離隔距離は、 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および壁面で 隔たれている同一建物内で運用する場合は50m以上、異なる建物内で運用する場合 は8m以上となることが分かった。

干渉が発生する場合の共用条件

屋外のローカル 5G 同士(または屋内のローカル 5G 同士)が共存する場合、基地 局間干渉の所要離隔距離は約 140m となった。この離隔距離以内では干渉により準 同期 UL スループットが劣化するが、これを許容して運用する場合について、実測 値の移動局送信電力分布を用いたモンテカルロシミュレーションした結果、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。 なお、同じモンテカルロシミュレーションの結果として、干渉が生じ始める準同期 移動局の台数は、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 場合は 2 台以上、壁面で隔たれている同一建物内で運用する場合は 5 台以上、異な る建物内で運用する場合は 160 台以上となることが分かった。 (2) 実証 No.23 富士山五合目

正対(無指向性アンテナ間)において、帯域内干渉の共用シミュレーションで所要 離隔距離は 580m、スループット観点のラボ評価でも 40-75m 程度となり、移動範 囲の検討が必要である。

以上から、追加準同期 TDD パターン 2 およびパターン 3 に関して、同一周波数におけ る移動局間干渉の条件下での同期 TDD パターンや制度化済み準同期 TDD パターン1 との 共用については、カバーエリアや調整対象区域によるエリア設計によって共用先システム との基地局間離隔を確保した上で、共存する基地局が屋外または屋内に設置されているか の組合せに応じて、準同期移動局の台数を制限することが必要である。若しくは、同期運 用事業者保護の観点から準同期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。但し、準同期側において、干渉による通信品質劣化を許容して運用 する場合は、共用先システムとの離隔距離を短縮することも可能であるが、同期運用事業 者保護の観点からの対策は同じく必要である。なお、共用する為に必要な制限事項やルー ルについて、今後もより多くの具体化事例を積み上げることにより、導入可能性の向上を 図る必要があると考える。

# 5. その他のテーマ

### 5.1 実証の位置づけ

技術実証テーマ I ~Ⅲに包含されない技術的課題やその解決方策を拾い上げることを目 的に、実証コンソーシアムの募集にあたってはテーマ I ~Ⅲ以外の技術実証を提案するこ とも可とし、提案を募集した。

### 5.2 実証内容

採択した 25 件の実証コンソーシアムの内、その他の実証に取り組んだのは 5 件である。 5 件の概要を以下に示す。

実証コンソーシアム No01、No04 が取り組んだその他のテーマの実証は、エリア構築の 柔軟化に資するものであり、いずれのコンソーシアムも電波反射板によるエリア構築の柔 軟化に取り組んだことから、それぞれの環境・ユースケースにおけるエリア構築技術の有効 性を評価が可能である。

No	分野	屋内外	実証環境	実証内容
01	農業	屋外	中山間地域の 果樹園	外部アンテナの利用によるエリア構築の 効率化及び電波反射板との組み合わせ
04	林業	屋外	山林	中継機を利用したエリア構築の柔軟化
07	工場	屋内 (屋外→ 屋内)	山間地の工場 敷地内	社会実装を実現するシェアリングモデル に則した品質確保に関する実証
09	空 港 · 港湾	屋外	成田空港のエ プロン	<ul> <li>他の無線システムからの干渉確認</li> <li>複数基地局間のハンドオーバ</li> </ul>
18	スマート シティ	屋外	大学キャンパ ス	登録局等簡易な申請を可能とするための 技術的条件(案)の検討

表 5-1 その他のテーマの内容

#### 5.3 実証結果

5.3.1 エリア構築の柔軟化に資するテーマの実証結果

5.3.1.1 外部アンテナの活用(実証 No.01)

外部アンテナによりエリア構築の柔軟化を試みた実証では、表 5-2 で示す外部アンテナ を活用した。

型名:VH65A-3545RTD						
周波数範囲[MHz]	3400-3600MHz	3600-4100MHz	4500-4600MHz	4600-4800MHz	4800-5000MHz	
偏波面	垂直偏波,水平偏波					
千山/月	初期チルト17.3dBi以上		初期チルト17.5dBi以上			
个小1守	可変時16	.8dBi以上	可変時17.0dBi以上			
水平面内指向性 ビーム幅	$65^{\circ} \pm 10^{\circ}$	$10^{\circ}$ $60^{\circ} \pm 10^{\circ}$		$55^{\circ} \pm 10^{\circ}$		
垂直面内指向性 ビーム幅	$9^{\circ} \pm 1^{\circ}$	$8.5^{\circ} \pm 1^{\circ}$	$7.5^{\circ} \pm 1^{\circ}$	$7^{\circ} \pm 1^{\circ}$	$6.5^{\circ} \pm 1^{\circ}$	
定在波比	1.5以下					
1. 1. <del>.</del>	電気チルト可変式(AISG2.0準拠)					
ヒームナルト	初期チルト:10°電気チルト可変範囲:±5°					
入出力インピーダンス	50Ω					
耐電力	1端子当たり120W					
入出力端子	N-J × 2					
耐風速	75m/s					
質量	3.8kg以下(アンテナ本体)					
寸法	φ105mm × 550mm(コネクタ除く)					
取付金具	取付径:80A~125A 機械チルト:±5°					

表 5-2 外部アンテナ (セクターアンテナ) 諸元表

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

当該実証は、圃場環境において外部アンテナを活用することにより以下 2 点を検証する ことを目的に実証した。

- 無指向性の RU 設置と比較し、特定方向へエリア拡張できること
- 特定の方向以外への電波送信を抑制できること

実証の結果として、無指向性の RU によるカバーエリアのシミュレーション図と、外部アンテナを活用した場合のカバーエリア、調整対象区域のシミュレーション図及び実測値を 以下の図に示す。



出所)国土地理院(電子国土 Web)(URL: https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して実証コンソーシアム No.01 作成

図 5-1 無指向性の RU 利用時と外部アンテナ利用時のカバーエリア範囲の比較

上図より、外部アンテナのもつ指向性の方向については、カバーエリア閾値実測ポイン ト及び調整対象区域閾値実測ポイントが、シミュレーション上での無指向性の RU カバー エリアよりも外側に位置している。また外部アンテナの背面側では、狭い範囲に位置してい る。指向性をもった外部アンテナの導入により、カバーエリア及び調整対象区域が指向性 に準ずる方向に対して拡張され、指向性を持たない方向に対しては縮小されていることを 示している

また、上図における無指向性の RU 利用時のカバーエリア閾値実測ポイント 1~3 および、外部アンテナ送信方向以外のポイント 1'~3'における受信電力の中央値、平均値は下 表のとおりである。

	200		
通行ポイント	RSRP(dBm)		
別た小イント	中央値	平均值	
1	-103.70	-104.05	
2	-96.60	-96.68	
3	-105.10	-105.16	

測定ポイント	RSRP(dBm)		
	中央値	平均値	
1'	-130.80	-131.15	
2'	-126.20	-126.37	
3'	-119.20	-119.03	

表 5-3 測定ポイント 1~3 および 1'~3'の比較

出所)実証コンソーシアム No.01 提供資料

この表から、いずれのポイントにおいても外部アンテナの指向性方向に位置する測定ポ イント1~3の方が高い受信電力値をもつことが確認できます。以上のことからも、外部ア ンテナの指向性によって特定方向へのカバーエリア及び調整対象区域の拡大、特定方向以 外への縮小が示唆される結果となった。

当該実証フィールドは中山間地域に位置する圃場であり、その広大なフィールドをカバ ーするために外部アンテナを用いた実証を行った。本実証環境下において、カバーエリア 及び調整対象区域は仮説とおりに、特定方向に拡大され、特定方向以外の方向について抑 制されたことを確認した。以上から指向性を有する外部アンテナの利用が有効となる場面 は以下のようにまとめられる。

## <指向性を有する外部アンテナの利用が有効となる場面>

- 開放地であり遮蔽の少ない環境において、特定方向に対して広範囲に電波を飛ばしたい場合
- 開放地であり遮蔽の少ない環境において、特定方向に対して電波が飛びすぎて欲しくない場合
- 無指向性の RU のように敷地の中心に設置する必要がなく自由度が高い設計をした い場合
- 機械チルトおよび電気チルトが変えられるため、エリアの広さを可変したり、地面の傾斜等に合わせてエリアの調整をしたい場合

指向性を持った外部アンテナを利用することによるカバーエリア及び調整対象区域の拡 大、抑制について、遮蔽物の多い郊外や市街地でも同等の効果が得られるかについては、 その環境条件を持つフィールドにて検討をする必要がある。

## 5.3.1.2 中継器の活用(実証 No.04)

中継器の活用によりエリア構築の柔軟化を試みた実証では、バックホール回線の確保が 難しい山間地において CPE を中継器として活用した。実証では、以下の観点について知見 を得るべく実証を行った。

- エリア中継を行う場合、2つの5Gシステムをまたぐため、ローカルでの通信を行う 際にも遅延が発生することが予想される。
- 同一周波数にて中継を行う際には電波干渉が発生する可能性もあり、システム 1 の UE とシステム 2 の基地局相当装置間の離隔を十分に取るなどの対策が必要になる

見通しを取りにくい山間地においてエリアを改善するべく、当該実証においては図 5-2 に示すように、上空に浮かべたバルーンに中継器を設置し、基地局、中継器、端末が見通し となるように工夫した。



出所)実証コンソーシアム No.04 提供資料 図 5-2 バルーンへの中継器設置

結果として、山林を実証フィールドとしてエリア中継を行う場合、システム 1UE とシス テム 2 基地局相当装置間の離隔を十分に取ることが出来るため、電波干渉を受けずに中継 することが可能であった。また、中継器による遅延等が懸念されたものの、課題実証で想定 する車両の遠隔運転(所要性能:伝送遅延 E2E の RTT100ms 以下)を問題なく行うこと ができた。

以上から、中継器を活用することで、バルーンの角度に依存せず広い範囲に中継システム を構築できることが検証され、バックホール回線の確保が難しい場合の有用性を確認した。

### 5.3.2 エリア構築の柔軟化以外に係るテーマの実証結果

#### 5.3.2.1 異なるネットワーク構成間の性能比較(実証 No.07)

図 5-3 に示すような地域コア設備共有型ローカル 5G 構成において、オンプレミス型構成に比べ、劣後する事無く、コストを低減しながら、ローカル 5G の超低遅延、超高速を活かすことができることを定量的に実証した。なお、地域コア設備共有型ローカル 5G は、5GC (5G コア)等のローカル 5G 運用の為の機器を地域に設置しながらも、コストの上昇要因となるこれらの機器を、地域の利用者で共用する形態を実現する事が可能である。



図 5-3 地域コア設備共有型ローカル 5G の構成

実証においては、以下の5酒類の構成について、伝送遅延を評価比較した。

- キャリア LTE+公衆網
- ② 5G 設備を全てオンプレミス型として設置
- ③ 光回線(有線)で直結
- ④ 5GC を遠隔地(東京) に設置
- ⑤ 地域コア設備共有型

結果としては、⑤地域コア設備共有型では伝送遅延が中央値で上り40.2~45.0ms,下り7.8~10.4msであり、②オンプレミス型と同程度の遅延特性であった。また、⑤地域コア設備共有型は、④5Gコア装置東京設置構成に対して、遅延特性が優れており、その差は5.2~12.2msであった。

また、①LTE と比して、ローカル 5G の利用は、遅延時間の改善が見られた。特に、下り方向の差異が顕著であり、中央値で 50ms 程度から 10ms 以下への改善も見られた。

いずれの構成においても、下り(基地局から移動局方向)の遅延の変動に比べ、上り(移動局から基地局方向)の遅延の変動は大きかった。その理由は確定できていないが、送信電力の違いによる、外乱(障害物や干渉等)の影響の受けやすさが考えられる。

### 5.3.2.2 他の無線システムからの被干渉確認(実証 No.09)

成田空港における電波高度計からのローカル 5G への日干渉を確認した。具体的には、着

陸直前(高度:約500ft)の航空機直下及びエプロンエリアにて、電波高度計の電波有無及び、電波高度計とローカル5Gそれぞれの受信レベルを測定し、エプロンエリアにおけるローカル5Gへの干渉影響を評価した。カバーエリアの閾値-84.6dBm及び、ITU-R勧告(ITU-RM.2292-0)の保護基準等を元にすると、図 5-4に示すとおり、C/I = 6.47以上がローカル5Gが電波高度計から干渉影響を受けないための条件となる。



出所)実証コンソーシアム No.09 提供資料

図 5-4 ローカル 5G が電波高度計から干渉影響を受けないための条件

閾値-84.6dBm を取るポイントが無かったため、ローカル 5G の想定最大受信レベルが最小となるポイントについて考慮した。同ポイントでのローカル 5G 受信レベルと、電波高度計から 4.8GHz~4.9GHz 帯に染み出すノイズの受信レベルとの差分を算出すると、C/I の条件を満たしていた。(C/I = 17.8 > 6.47)



出所)実証コンソーシアム No.09 提供資料

図 5-5 確認結果

以上の考察より、ローカル 5G が干渉影響を受けないことが分かった。

### 5.3.2.3 複数基地局間でのハンドオーバ(実証 No.09)

本実証では、成田空港のエプロン内を走行する車内へ端末を持ち込み、自動運転車両の 想定速度である 15km/h 以下での走行による基地局間をまたいだ (ハンドオーバ) 時の無瞬 断による通信の継続可能であることの確認と、ハンドオーバの前後・ハンドオフ時におけ る、受信信号(SS-RSRP など)及び伝送性能 (UL/DL スループット、RTT)の推移を確認す ることを目的に実施した。

車両にローカル 5G 端末及び測定器を設置し、走行エリアを走行しながら測定値の推移 を取得した。測定は、基地局①⇒基地局②及び基地局②⇒基地局①について、それぞれ 2 回ずつ行った。測定結果から受信信号及び伝送性能の推移を評価すると共に、自動運転遠 隔監視映像の推移も確認した。

結果として、以下に示すように SS-RSRP はアンテナからの距離に応じて減少または増加 していた。ハンドオーバ前に受信電力が低下し、SS-RSRP が-85~-90[dBm]付近を下回る と、数秒後にハンドオーバされていることが分かった。



出所)実証コンソーシアム No.09 提供資料

図 5-6 SS-RSRPの測定結果

SS-RSRQ はハンドオーバのトリガとして設定されており、以下に示すようにハンドオ ーバ直前に捕捉局の電波品質が低下するとともにハンドオーバ(接続先局)を実施して品質 が正常値に戻り、安定した通信品質が保たれていた。



UL スループットは、以下に示すようにハンドオーバ時に一時的に低下したが、その後 90Mbps を上回る増加をしていた。ハンドオーバ時でも所要性能(35Mbps 以上)を満たし ていた。(ハンドオーバ時: 60Mbps 以上)



遅延時間は、以下に示すようにハンドオーバ時に増加しているものの、最大遅延で 30ms以下、平均値で見ても13msとなり、所要性能を満たす低遅延化を実現できていた。 (ハンドオーバ時: 30ms以下)



出所)実証コンソーシアム No.09 提供資料

図 5-9 遅延時間の測定結果

# 5.3.2.4 登録局等簡易な申請を可能とするための技術的条件の検討(実証 No.18)

現状のローカル 5G の免許制度においては、1W 以下程度のスモールセルの導入において も、エリアシミュレーション、事業者間調整の実施が必要など、WiFi 等と比べ導入までの ハードルが高くなっていることから、登録局等簡易な申請を可能とするための技術的条件 を検討した。

登録局を前提として基地局の技術的条件案を検討した結果を次表に示す。
項目	内容	
周波数帯	4.7GHz 帯(4.6GHz-4.9GHz)	
キャリア周波数	4.6-4.65GHz、4.65-4.7GHz、4.7-4.75GHz 4.75-4.8GHz、4.8-4.85GHz、4.8-4.9GHz の6波	
	A   B   C   D   E   F     4600   4650   4700   4750   4800   4850   4900MHz	
	※4.6GHz~4.8GHzは屋内のみ設置可能	
占有周波数帯幅の許容値	40MHz/50MHz	
空中線電力	1W	
空中線利得	3dBi以下 ※但し等価等方輻射電力が絶対利得3dBiの空中線に最大の空中線 電力を加えたときの値以下となる場合は、その低下分を空中線の利得で 補うことができる	
	準同期TDDパターン1	
TDD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   準同期TDD1 D D D S U U D S U U D S U U D S U U D S U U U D S U U U U U D S U	
不要発射強度の値 空中線電力の許容偏差 周波数の許容偏差	現行のローカル5Gの規定と同じとする	

表 5-4 基地局 技術的条件 (案)

出所)実証コンソーシアム No.18 提供資料

なお、上記の空中線電力等が現行のローカル 5G の電波法関係審査基準に記載されている 地域毎の規定を超えている場合は、電波法関係審査基準の値とすることが望ましい。また設 置不可の地域も同様とすることが望ましい。

移動局については、現行のローカル 5G の規定のとおりとすることが望ましいと考えられるため、現行の規定と同様の技術的条件とした案を次表に示す。

項目	内容	
空中線電力	200mW	
空中線利得	20dBi以下 ※但し等価等方輻射電力が絶対利得20dBiの空中線に最大の空中 線電力を加えたときの値以下となる場合は、その低下分を空中線の利得 で補うことができる	

表 5-5 移動局 技術的条件(案)

出所)実証コンソーシアム No.18 提供資料

登録局を前提として検討した運用条件(案)を次表に示す。

## 表 5-6 運用条件(案)

項目	内容
無線局種別	登録局
使用範囲	自己土地のみ
使用する無線設備の条件	適合表示無線設備のみを使用するものであること。
使用周波数の割り当て	キャリア周波数6波の中から隣接する事業者が使用していない周波数を割当
隣接に先発のローカル5G免許 局がある場合	同一周波数において先発している免許局の調整対象区域が、後発の登録局 の自己土地に重複した場合は、登録局としての運用は不可
先発のローカル5G登録局の隣 接で、ローカル5G免許局が後 発で運用される場合	同一周波数において先発しているローカル5G登録局の自己土地に、後発の免許局の調整対象区域が、重複した場合は、後発の免許局側が、重複が生じないよう必要な対策を講じること

出所)実証コンソーシアム No.18 提供資料

## 6. ローカル 5G の普及に向けた技術的課題の解決方策等についての考察

本章では、2~4 章における考察を踏まえて本実証で明らかになった事項を整理し、得ら れた技術的知見を踏まえ、今後考えられるローカル5Gの技術基準等の改定の方向性を含む ローカル5Gの普及に向けた技術的課題の解決方策等について考察する。なお、基本的には 技術実証テーマI~IIそれぞれについて考察するが、第1章で述べたとおり技術実証テー マI~IIにはその背景に「実用的な電波伝搬モデルの構築」「エリア化手法の改善」「安心・ 安全な運用(準同期方式の確立)」という方向性がある。そのため、図に示すように、技術 実証テーマI~IIで明らかになった事項を踏まえ、当該テーマの範囲に限らず今後の検討 が必要な事項についても考察する。また、一部考察においては5章で整理した「その他の実 証」の結果も活用している。

#### 6.1 技術実証テーマ I についての考察

令和 3 年度は、技術実証テーマ I では審査基準のエリア算出法において定義されている 補正項(定数の伝搬損失項)に着目して精緻化を行った。

## 6.1.1 明らかになった事項や技術的課題の解決方策

Rの精緻化については、ビニール等の簡易な間仕切りやガラスに関して、現在エリア算出 式に記載されている16.2dBよりも小さな値を定義できる可能性が示された。なお、現状の 審査基準においても R については「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。」と規定されているため、反映方法は検討が必要である。

Kの精緻化については、水面が支配的な環境や植生のない山岳地等、自由空間伝搬が想定 される環境においては K で補正可能な可能性が示された。なお、斜面の影響については、 統一的な傾向が確認できなかった。

Sの精緻化については、建物占有面積率によって適切なSを選択できるかは確認できなかった。

#### 6.1.2 今後検討すべき課題

## 6.1.2.1 28GHz 帯における電波伝搬モデルの精緻化

令和3年度実施した25件の実証事業は、うち22件が4.7GHz帯での実証、3件が28GHz帯の実証であった。結果として、4.7GHz帯における電波伝搬データは相対的に多く取得でき、R、K、Sの精緻化に関しては実績が得られたところである。他方で28GHz帯については実証数が少なく、かつ実証の着眼点(精緻化対象のパラメータ)がそれぞれ異なったことから、とりまとめて信頼性のある結果を得ることが困難であった。

以上より、28GHz帯における電波伝搬モデルの精緻化は今後の検討が必要な事項といえ、 様々な環境における 28GHz帯の電波伝搬データの取得が期待されるところである。

## 6.1.2.2 より多様な干渉環境におけるエリア算出法の精緻化

令和3年度の実証においては、周波数帯や対象パラメータ自体は他の実証と類似するものの、想定する干渉環境が異なるため横断的な分析が困難なものがあった。具体的には、No13は地下鉄駅のホーム下から、上階フロアや地上との干渉調整を想定した実証を実施した。現在のエリア算出法では壁損失が定義されているが、垂直方向に関しても同一の損失で計算することになっている。垂直方向は壁面とは異なる構造になっているため、壁損失を適用することは望ましくない。結果として、地下2階より下の階層においては地上との干渉検討は不要な可能性が示されており、検証が進めば不要な干渉検討を減らせる可能性がある。

以上より、垂直方向も含むより多様な干渉環境におけるエリア算出法の精緻化は今後の 検討課題といえる。例えば以下のようなユースケースにおいて垂直方向の干渉調整に関す る実証を実施し、垂直方向の干渉調整の際に用いる算出式を導出することが考えられる。

- オフィスビルの上下階で別の免許人が使う場合
- 立体交差する道路の上下で別の免許人が使う場合
- 地下と地上で別の免許人が使う場合

### 6.2 技術実証テーマ I についての考察

## 6.2.1 明らかになった事項や技術的課題の解決方策

各実証コンソーシアムが実施した技術実証テーマⅡの結果を踏まえ、電波反射板を活用 してエリアを設計するにあたっての手順を図 6-1 のように特定し、各手順で適用可能な方 法(例:リンクバジェット計算方法)を示した。



#### 図 6-1 エリア設計手法の流れ(再掲)

また、エリア設計において電波反射板が有効な条件として、表 6-1 に示すように「基地 局→電波反射板→改善したいエリアに強電界の電波が届く」「基地局からの直接波と電波反 射板からの反射波等によるマルチパス干渉の影響がない」「改善したいエリアが比較的狭い」 等を特定した。

有効な条件	条件の内容	条件の確認方法
・電波反射板を設置する位置で基地局からの強電 界の電波が届く位置にある	・基地局との距離の再調整 ・基地局と電波反射板の間の見通しが十分とれる ・基地局で指向性アンテナを使用できる	・自由空間伝搬損失(基地局-電波反射板間) を算出 ・基地局の送信電力、送信アンテナ利得(電波反 射板方向)を決定する ・リンクバジェット算出にて電波反射板での受信電力 を確認
・改善したいエリア(不感地帯)で電波反射板から の強電界の電波が届く位置にある	・電波反射板との距離の再調整 ・電波反射板と改善したいエリア(不感地帯)間の 見通しが十分とれる ・電波反射板の利得が十分とれる	・自由空間伝搬損失(電波反射板-改善したいエリ ア(不感地帯)間)を算出 ・電波反射板利得を算出 ・リンクバジェット算出にて受信電力を確認
・基地局からの直接波と反射板からの反射波等に よるマルチパス干渉の影響がない 環境事例:直角に曲がった通路等のエリア	・改善したいエリア(不感地帯)は、基地局からの 直接波が遮蔽される電波環境である	
・改善したいエリア(不感地帯)が比較的狭い面 積である	・電波反射板のビーム幅(水平・垂直)が3°程度 と小さいため、ピンポイントターゲットを狙う場合有効 である	・電波反射板のビーム幅(水平・垂直)を確認

#### 表 6-1 電波反射板が有効な条件(再掲)

## 6.2.2 今後検討すべき課題

#### 6.2.2.1 4.7GHz 帯におけるメタマテリアル等電波反射板の有効性検証

令和3年度は、4.7GHz帯の実証は全て金属電波反射板を用いていた。実証の結果より、 4.7GHz帯における電波反射板を活用したエリア柔軟化の有効性は限定的であることが分 かったが、その原因が周波数帯の問題なのか、電波反射板の問題なのかは切り分けられない 状況である。28GHz帯ではメタマテリアル等電波反射板を用いて不感地帯が改善した例も あり、一定程度有効性が確認されたことを踏まえると、4.7GHz帯においても電波反射板で はなくメタマテリアル等電波反射板を用いることが有効な可能性はある。

以上より、メタマテリアル、メタサーフェス等、金属製ではない電波反射板を用いた実証 (及び、当該スペックを必要とする環境・ユースケース)を 4.7GHz 帯周波数帯で実施しエ リア化の改善・柔軟性の度合いを確認することは今後の課題である。

#### 6.2.2.2 電波反射板以外のエリア柔軟化に資する技術の検証

4.7GHz 帯周波数帯の実証においては電波反射板によるエリアの改善は限定的であった ことから、複数の実証コンソーシアムが中継局や分散アンテナ等、エリア柔軟化に資する別 の技術の有用性に言及している。総務省「新世代モバイル通信システム委員会」において中 継局(陸上移動中継局、小電力レピータ)、フェムトセル基地局、高出力端末の導入に向け た共用検討及び技術基準の策定が議論されていることを踏まえると、今後はローカル 5G に おいても当該技術基準・審査基準が策定される蓋然性が高い。また、5 章その他のテーマで は電波反射板の有効性が限定的であった農業や林業の環境において、外部アンテナや中継 器によるエリア柔軟化を試みたケースがあり、いずれも有効性が示されている。

以上より、電波反射板以外のエリア柔軟化に資する技術として中継局や分散アンテナ等の技術の有用性をローカル 5G において検証することは今後の課題である。特に、令和3年 度電波反射板によるエリアの改善が限定的であったユースケース(農業、林業等)や実証フ ィールド(主に屋外)での検証が望ましい。

## 6.3 技術実証テーマⅡについての考察

#### 6.3.1 明らかになった事項や技術的課題の解決策

本節では、「共存」を以下の意味で用いる。

物理的に近距離に存在する 5G システムについて、

- 準同期 TDD パターンで運用する 5G システムから同期 TDD パターンで運用する 5G システムに対し干渉影響がなく、
- 同期 TDD パターンで運用する 5G システムから準同期 TDD パターンで運用するローカル 5G システムに対する干渉影響が、ユースケースの所要性能を満足できるほど小さいこと

追加準同期 TDD パターン 2 およびパターン 3 に関して、隣接周波数における基地局間 干渉及び移動局間干渉の条件下での同期 TDD パターンや制度化済み準同期 TDD パターン 1 との共存被干渉システムへの大きな影響は確認されず、共存可能と考えられる。

他方で、追加準同期 TDD パターン2 およびパターン3 に関して、同一隣接周波数におい ては基地局間干渉及び移動局間干渉の発生が机上検討及び実機検証で確認された。基地局 間干渉の条件下においては、基地局送信電力、アンテナ指向性やチルト角などの調整による サイトエンジニアリングによって共存が可能となると考える。移動局間干渉の条件下での 共存については、カバーエリアや調整対象区域によるエリア設計によって共用先システム との離隔を確保した上で、同期運用事業者保護の観点から準同期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。そのような共存を可能とする制限 事項やルールについて、今後もより多くの具体化事例を積み上げることにより、導入可能性 の向上を図る必要がある。

#### 6.3.2 今後検討すべき課題

#### 6.3.2.1 隣接周波数を使用する 5G 相互間で非同期運用する場合の運用方法等

令和3年度の実証範囲では、隣接周波数を使用する5G相互間で非同期運用する場合は 被干渉システムへの影響はほとんどないことが確認された。他方で、令和3年度の実証に おいては実証コンソーシアムにおける機器調達の可能性に鑑みて実機検証を義務付けてお らず、限られた件数・環境での実証結果であることには留意が必要である。

この点について、総務省「情報通信審議会 情報通信技術分科会(第150回)」「資料150 -1-2 新世代モバイル通信システム委員会報告」(※1)では、今後の検討事項として以 下が示されている。

₩1	の該当部分抜粋
(1)	隣接周波数を使用する 5G 相互間で非同期運用する場合の更なる検討
	(略)

ローカル 5G で想定される利用の設置形態が多様であるため、非同期運用時に十分な離 隔を得るための干渉量低減を担保する条件や、その仕組みの検討は非常に多岐にわたる と考えられ、広く一般的な条件での非同期運用を前提とした検討は慎重に行う必要があ そのため、ローカル 5G の普及に伴って利用形態に関する知見が蓄積され、または、適切な技術的進展が認められた時点で、具体的な共用条件を検討し、明確化することが適当であると考えられる。

令和3年度、5件の実証コンソーシアムが準同期 TDD 追加パターンを具備した実機を調 達できた事実に鑑みると、準同期 TDD 追加パターンを具備した実機の調達可能性は高ま っており、「適切な技術的進展」が認められたと考えられる。

以上より、より多様な実証環境やユースケースにおいて、隣接周波数を使用する 5G 相 互間で非同期運用する場合の検討をすることは今後の課題である。なお、その際は机上検 討に留まらず準同期 TDD 追加パターンを具備した実機での検討を実施するとともに、令 和 3 年度共存が可能とされた利用環境よりもより共存が困難と考えられる環境での実証実 施が望ましい。

## 6.3.2.2 同一周波数を使用するローカル 5G 同士の共存における運用方法等

令和 3 年度の実証では、同一周波数を使用するローカル 5G 同士の共存においては被干 渉システムへの影響が確認された。共存する為に必要な制限事項やルールについて実証コ ンソーシアムから提案はあったものの、具体的にこれらの方策を実施し、前後の干渉状況を 評価するなどの取組はできていない状況である。

この点について、総務省「情報通信審議会 情報通信技術分科会(第150回)」「資料150 -1-2 新世代モバイル通信システム委員会報告」(※1)では、今後の検討事項として以 下が示されている。

※1の該当部分抜粋

る。

# (2) 同一周波数を使用するローカル 5G 同士(同期・非同期運用)の共存(離隔)における 実績の蓄積と評価隣接周波数を使用する 5G 相互間で非同期運用する場合の更なる検討 (略)

ローカル 5G 同士の干渉検討において、屋外・屋内それぞれの環境に合わせて想定され る条件を設定し、干渉回避のための離隔距離を算出・評価しているが、例えば、非同期 運用時の基地局間の離隔距離は比較的大きくなるため、サイトエンジニアリングによる NLOS 条件の確保や基地局の諸調整を条件に挙げている。一方で、実利用における離隔 の実態や近接時の事業者間調整等は、今後の運用で実績が蓄積されていくことから、当 初の干渉検討の設定条件等についても、その妥当性が段階的に評価されることが想定さ れる。従って、同一周波数を使用するローカル 5G 同士の共存における設定条件等につ いては、同期・非同期条件を含めて今後、必要に応じて再検討していくことが適当であ ると考えられる。

前述のとおり、準同期 TDD 追加パターンを具備した実機の調達が一定程度容易になった と考えられるため、当該実機を用いることを前提とした実証事業を複数実施し、同一周波数 を使用するローカル 5G 同士の共存における設定条件等を検討することが今後の課題であ る。なお、実証にあたっては、令和3年度の実証において干渉が発生しうるとの結果となっ た環境にて、干渉を抑える方策を実施する前後で干渉影響がどの程度変化したか等を検証 することが望ましい。