

0049-0062

令和4年度

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
技術的検討及び調査検討の請負
【報告書概要版】

MRI 三菱総合研究所

2023年3月31日

デジタル・イノベーション本部

本事業の目的及び全体像

- 過年度開発実証では、ローカル5Gに係る技術的検討等が重ねられてきたところ、ローカル5Gを活用したソリューションとしての可用性や有効性等の面から、更なる向上や改善の必要性が指摘された。また、ユーザ企業等が求める経済性や費用対効果の可視化、より持続的な活用モデルの構築など、ローカル5Gの実装・横展開に向けた更なる工夫が求められている。加えて、ローカル5Gが自己土地利用を原則としたシステムである点を踏まえ、ソリューションとしての可用性、有効性と、他の無線システムへの干渉を抑制することによる安全性を両立させることが肝要である。
- 令和4年度開発実証は、本開発実証の最終年度の事業として、「デジタル田園都市国家構想」の実現にも寄与すべく、ローカル5Gのより柔軟な制度の実現及び低廉かつ安心安全なローカル5Gの利活用の実現等に向けた検討を実施。
- 具体的には、更なる検討が必要とされた電波伝搬等について詳細なデータを取得するとともに、引き続きローカル5G等を活用したソリューション創出に向け技術的検討等を実施。以下3つの事業区分により構成し、実証事業は公募を通じて募集・採択された。

事業区分	開発実証事業 (令和4年度当初予算)	特殊な環境における 実証事業 (令和3年度補正予算)	端末システム試作事業 (令和3年度補正予算)
概要	様々な利用環境 におけるローカル5Gの活用ニーズを満たせるよう、ローカル5Gの電波伝搬特性等についての検討を行うとともに、ローカル5G活用モデルの実証を行う。	線路や道路等の線状の空間等の特殊な環境下 におけるローカル5Gの活用ニーズを満たせるよう、ローカル5Gの電波伝搬特性等についての検討を行うとともに、ローカル5G活用モデルの実証を行う。	様々な利用環境におけるローカル5Gの活用ニーズを満たせるよう、ローカル5Gの実現性のある具体的な利用シーンを想定した上で、 端末システムの試作 を行うとともに、電波伝搬等に係る測定・試験・分析を行う。
1事業あたり 上限額	1.65億円(税込)	4.4億円(税込)	3.3億円(税込)
採択件数	20件	4件	3件
募集対象	実証コンソーシアム	実証コンソーシアム	端末システム試作者

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証 全実証一覧

開発実証事業

一次産業(農業・林業・水産業)

- 開01  牧草地管理
シャープ
- 開02  園芸栽培
NTT東日本
- 開03  山間果樹
NTTD研
- 開04  牛舎管理
NTT西日本
- 開05  ブリ養殖
ZTV

工場

- 開06  風力発電所
秋田CATV
- 開07  データセンター
富士通
- 開08  プラント
ハートNW
- 開09  火力発電所
九州電力

空港・港湾・道路

- 開10  空港
NTT東日本
- 開11  港湾コンテナ
NTT西日本

防災・減災

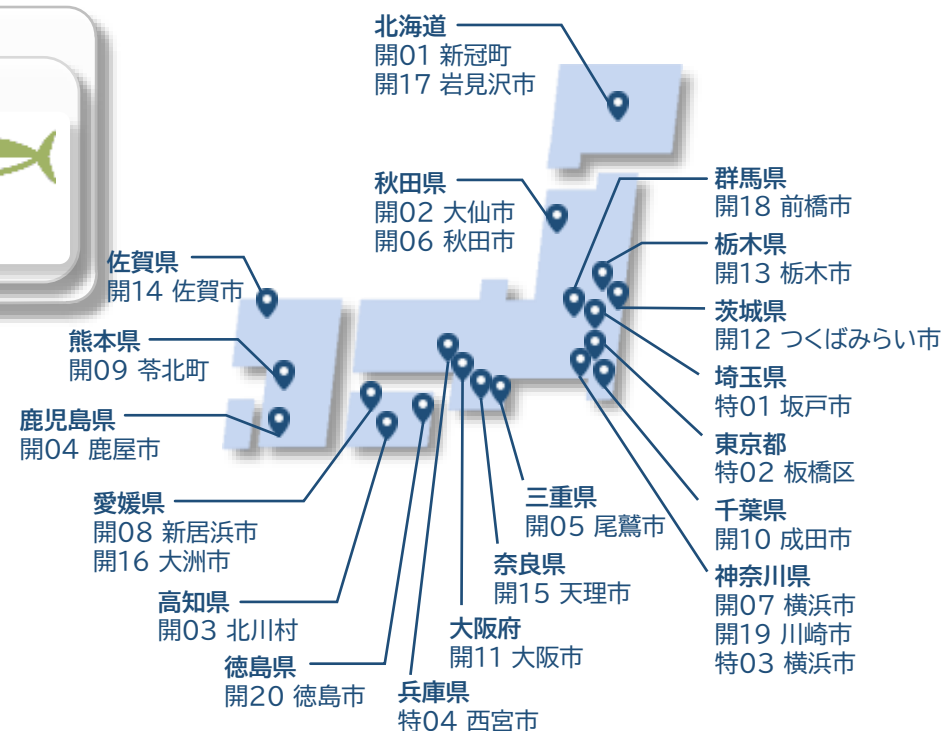
- 開15  災害時高精細映像
シャープ
- 開16  災害時三次元計測
NTTD関西

文化・スポーツ

- 開12  映像制作
NHK EP
- 開13  ゴルフ場
RWJ
- 開14  屋内スポーツ
KDDI ENG

医療・ヘルスケア

- 開17  移動型遠隔診療
NTT東日本
- 開18  薬剤管理
NTT東日本
- 開19  救急救命
トランスコスモス
- 開20  病院間連携
NTTD研



特殊な環境における実証事業

防災・減災

- 特01  河川監視
国際航業

空港・港湾・道路

- 特02  道路点検
首都高速

鉄道

- 特03  線路監視
住友商事

- 特04  車内映像共有
iTEC阪急阪神

端末システム試作事業

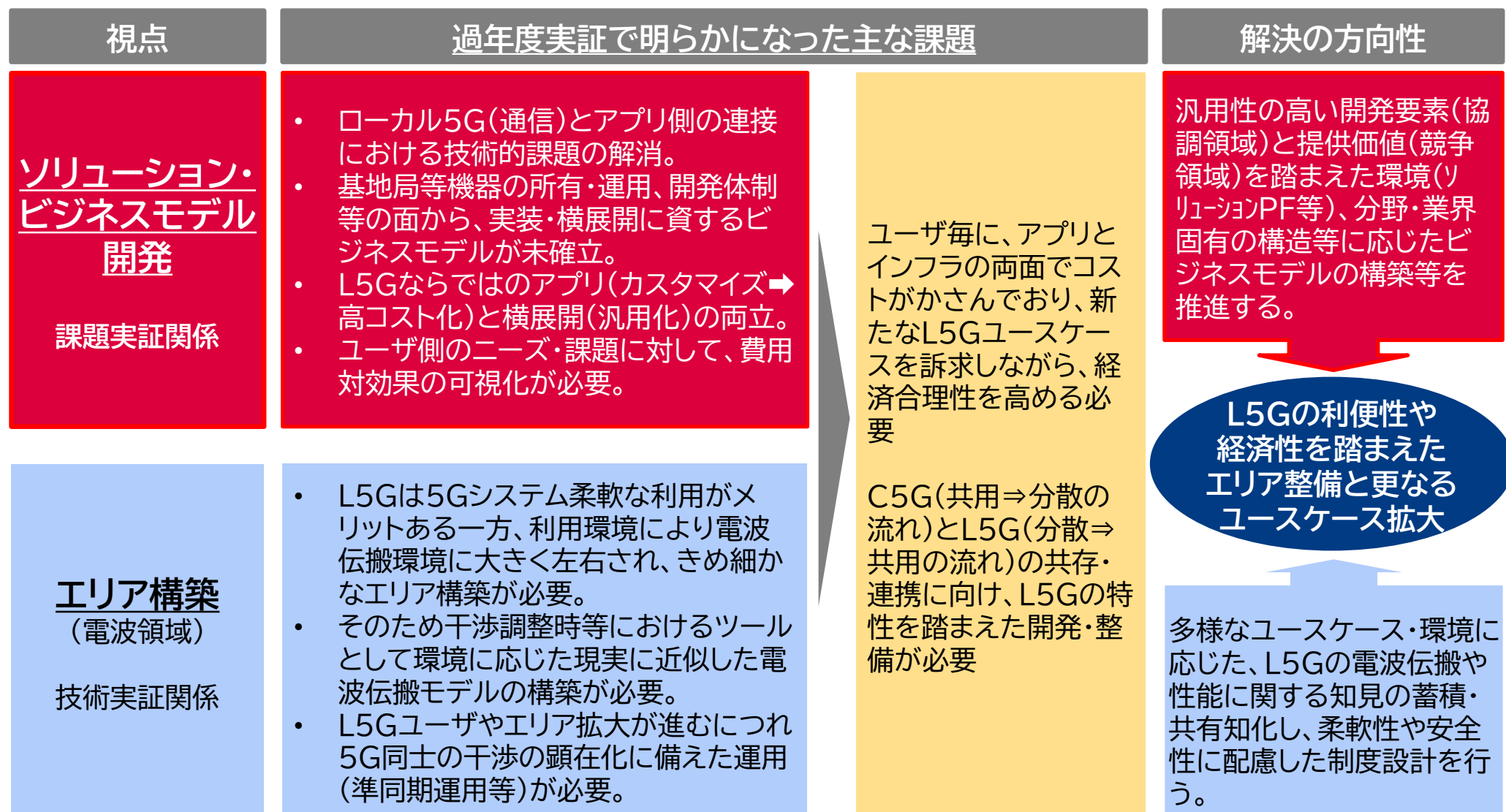
- 端01  携帯用AIカメラ
FCNT

- 端02  携帯用ドングル
シャープ

- 端03  車両搭載用エンコーダ
パナソニック

開発実証における課題と解決の方向性(概要)

過年度事業の成果を踏まえつつ、引き続きローカル5Gの特性や導入メリット等を明らかにしたうえで、十分な知識を持たないユーザに対する情報発信をはじめ正しく誘導していくとともに、事業者側のビジネスの予見性や事業性を見出しながら、**ユースケースや市場の拡大と導入・利用に係るコストの低廉化の好循環につないでいくことが肝要。**



課題実証編

具体的な課題と解決の方向性(レイヤ別、主に技術・運用面)

	主な課題	解決の方向性(R4開発実証事業の取り組み含む)
ソリューション (アプリケーション)	■ 5G性能を活かしたソリューションの精度(AI検出など)等の改善・向上が必要 ■ ソリューションの運用体制、データハンドリング	■ ユーザ要件(通信性能/アウトカム)の明確化、見極め ■ 複数事業者間でのソリューション共用化・汎用化(R4年度実証では鉄道分野で実施)
	■ 基地局の性能・品質が低いまたは安定しない(リアルタイム・安定的に高い精度を求められる分野・領域の要件を満たさない) ■ 超低遅延/多数接続等を含む3GPPリリース17が未だであり、真価を発揮できていない	■ 製品開発による品質向上、チューニングや計測実績等のノウハウ蓄積 ■ 上下比率を変更可能な準同期運用への対応 ■ 3GPPリリース17の市場化(2023年以降)を見越したソリューション開発
ネットワーク (コア・基地局)	■ 自己土地ルールへの対応、エリア設計が複雑、条件不利エリアでの電源や基地局場所が困難 ■ コア網のオンプレ運用は費用が大きい ■ エリアが狭いと基地局の経済合理性が低い	■ 制度見直しが進展中(共同利用、手続きの簡素化等) ■ コア共用/マネージドサービス登場による費用低減 ■ L5Gの経済合理性が高まる範囲(500m-数km、工場1棟ごとカバー等)、Wi-Fiエリア化よりもコストメリットが生じる中継器・分散アンテナ(DAS)・漏洩同軸(LCX)による柔軟性・経済性改善
	■ 専門的知見及び体制が必要(詳細対応は開発/製造ベンダに依存) ■ ネットワーク要素間で相互接続等が担保されていないため「ワンストップ型」が中心	■ ユーザが扱いやすいIT機器に近いNWの保守・運用基盤の製品化(設定変更、障害時の解析・切り分け等) ■ O-RANへの準拠(マルチベンダ対応等)、コア～基地局～端末での相互接続検証実績の蓄積
端末	■ ユーザ視点:多様なユースケース(要件)に応じた端末種別が少ない ■ サプライヤ視点:B2B分野の要件への対応とコストのバランス、規模を見極めにくい ■ ロボット・ドローンなどはまだ通信モジュールと一体化されていない	■ 有望領域の端末ニーズの要件(汎用仕様)の定義 ■ 端末試作事業は農業(農業ロボット用ルータ)及び工場・建設(装着型カメラ、ドングル)向けに以下で対応 - ー 防水・防塵、耐熱等の対応 - ー 通信モジュールとエンコーダ等機能の一体化 - ー 基本機能とオプション機能の設計(I/F追加)

具体的な課題と解決の方向性(主体別、主に事業面)

	主な課題	解決の方向性(R4開発実証事業の取り組み含む)
ユーザ (需要サイド)	■ ユーザ自身が、課題/目的と解決策/手段が明確になっていない場合がある ■ 解決策の導入・実運用に移行する判断基準が明確になっていない ■ L5Gソリューションの有効性を判断する十分な理解が得られていない ■ 判断に資する費用(投資)対効果が見いだせていない	■ 各分野・ユーザのDXの方向性、デジタルインフラ・L5Gの必然性等を踏まえた要件への落とし込み ■ ソリューションの効用・限界/リスク等の明確化と訴求、実運用時の環境条件での検証 ■ 複数の用途・ソリューションの活用による効率的な運用と複数ニーズへの対応 ■ 今後の機器等価格の低廉化を見越した費用対効果の精緻化(特に、安全性向上やリスク回避など、定量的価値が判断しにくい効果の見極め)
	■ 運用等継続体制が構築できない(特に新規事業の場合は実装主体が不在になりがち) ■ 新たなシステム導入にあたってのトレーニング	■ ユーザ間での通信設備・ソリューションの共用、通信以外の関連設備や事業関係者を含む運用体制の構築 ■ 業務フローに係る運用マニュアルの策定
SIer/ベンダ (供給サイド)	■ 費用対効果に資するローカル5Gの必然性・有効性を訴求しきれていない ■ 安定した性能や要件への対応と保守・運用等事業体制のバランスが見極めきれていない ■ サービス・運用等に係るサポート体制が確立できていない	■ ユーザのDX実現に資するユースケースに応じた使いやすさ、運用しやすさなど利用者目線での提案(L5Gに限らず、無線等デジタルインフラ需要への対応) ■ L5Gの有効性が発揮される領域を踏まえたサービス仕様の定義とそれに見合った体制構築の検討、パッケージ化 ■ 地域事業者(SIer/IT企業、サービス事業者)の支援
その他 外部要因	■ 追加開発や継続運用向け予算が確保できない ■ 実装分野における関連制度・施策に依存している面があるため計画を立てにくい	■ 国・自治体等による継続的な支援施策の活用 ■ 関連制度・施策のマイルストーン・実現を見越した実装計画の策定、L5Gの訴求による潜在需要の掘り起こし

開発実証の主な成果等(一次産業、工場・プラント分野)

分野	過年度実証の成果	今年度実証における主な成果・進展
一次産業 (農業/林業・水産業)	トラクタ遠隔監視:農機の 前方カメラ で、 FHD・5Mbps 等の遠隔監視等における必要最小限の通信性能を確認	<広大な農場での適用> ・ DAS利用により、農機遠隔監視の広範囲化(5ha) <映像の高質化> ・ 全周囲映像による性能確認(4K60fps映像で破綻なし、50~100Mbps、EtoE遅延1.5sec)
	スマート農業:大規模農場において、収穫ロボットの遠隔制御、摘採重量推定等。ブドウ適期収穫判断のAI検知精度は HD で 54% に留まる	<コスト低減化の取組(シェアリング)> ・ 異なる栽培品目の圃場×道の駅(農産物販売)において、共同利用型モデルの導入により、補助金に頼らない持続可能なアプローチ <高精細映像を活用したローカル5Gならではのユースケース開発> ・ 高精細画像とAIを活かした収穫適期判定・遠隔指導等小規模農家向けマルチソリューション ・ メタバース活用で道の駅・農産物販売により年160万円の利益見込み
	畜産: 試験牛舎 で乳牛の歩行異常検知(4K・精度94%)、個体識別・位置検索(精度8.6%)	<商用・大規模牛舎での実践> ・ 商用牛舎(5000頭規模)環境下において、起立困難牛発見などの検知等を実現 ・ 起立困難牛早期発見による損失機会の回避(1200万/年)、農場HACCP実現など「攻めの畜産」に向けた輸出基盤の構築
工場・プラント	・ 工場品質管理用のMRシステムは、総重量13kgのPC、GPU等のバックパックを背負いながら作業する必要があるなど運用改善が必要 ・ 錆・腐食の確認(リアルタイム性は不要)、切削工具の寿命判断(必要伝送速度1.5Mbps)など、必ずしもローカル5G性能を活かしきれず ・ 屋内環境、遠隔指導や巡回など単機能のソリューション	<野外など多様な環境におけるローカル5Gの構築> ・ 急峻な地形、屋外など有線環境構築が困難な工場(精錬所)にて、安定な無線環境を構築。場周監視、計量、粒度の計測等の複数ソリューションが利用可能に。 ・ 屋外環境における工場全体のスマート保安(場周監視、水際線)の実現可能性を実証。また、映像について、被災時等に外部機関(地方公共団体)連携し、地域の危機管理能力を向上。 <脱炭素化や安全保障など社会課題に対応したソリューション開発> ・ 脱炭素化に不可欠な風力発電の事業性を更に高めるべく、ダウンタイムの大幅な削減(約200億円(50万KW規模))の実証に成功。 ・ 人材確保が困難な地方部におけるデータセンタの運用管理の持続可能性を高めるソリューションを開発。国家安全保障施策の推進への貢献可能性を示した。

開発実証の主な成果等(インフラ分野)

分野	過年度実証の成果	今年度実証における主な成果・進展
インフラ	港湾 輸出コンテナ受入時のコンテナ ダメージチェックにおいて、判 断が微妙な場合の熟練者によ る駆け付けを、ローカル5G＋ スマートグラスにより遠隔化	<コンテナターミナルにおける生産性向上> - 日本最大級のコンテナターミナル全域においてDL200Mbps、UL150Mbpsを達成し、AIターミナル実現のための様々なアプリケーションを利用可能な帯域が得られることを確認 - RTGにおける貨物の荷繰り等の手順高度化により、大幅な生産性向上を期待 <地域への貢献> - 大阪万博開催期間中におけるトレーラーの渋滞対策ソリューションを開発、実証
	空港 実運用における対象区間の一 部において、ローカル5Gと キャリア5G/4Gの冗長による 映像監視タスクの簡素化	<実運用における通信エリアのカバレッジ・所要通信品質を確保> - カーブ等見通しの悪い走行ルートを含む、実運用で導入が想定される区間(4.8km)において、所要のKPI(映像遅延400ms以内、HD画質、9fps)を達成 <社会課題への貢献> - 国(国交省航空局)の共通インフラガイドライン・運用ルール策定への貢献
	建設 道路 トンネル内施工：固定カメラで の人物検知、車両検知(認識率 97～100%)、遠隔作業支援、 郊外地の上空環境(固定カメ ラ)での高精細映像伝送(8K3 0fps)	<通常時の利用＋危機管理> - 可搬型基地局＋ドローンにより、高精細映像(1080i)が伝送可能(避難促進など人命救難の効果36億円等の試算例) 3次元地形データの自動作成(6時間短縮)及び建機の無人化施工(9時間短縮)による安全かつ迅速な応急復旧。 <線状帯における電波漏洩軽減策> - 漏洩同軸ケーブル、DAS、遮蔽板など不感地帯解消や他者土地への電波漏洩軽減策を確認
	鉄道 ローカル5G＋ドローンによる 4K映像伝送 ローカル5G活用による沿線定 点監視(ただし、地上固定設備) も大きな障害物(人間)の検出 に留まる(全量検出、ただし誤 受入あり)	<車地上間通信を実証> - 大容量・低遅延の車地上通信が高速移動する電車でも実現可能であることを実証 <異常検出の性能向上> - 車載モニタリングによる電路設備異常、構造物異常の検出(分析時間20分以内) - 電路設備の不具合、ビニル等、より小さいものでも高速移動する車上から検出可能 - 踏切道においては、白杖、車椅子も検出可能に <LCXの有用性を確認> - 狭指向性アンテナに比べ電波漏洩が減少、区間の短いLCXをDAS構成とする有効性を確認

開発実証の主な成果等(観光・文化、防災、医療分野)

分野	過年度実証の成果	今年度実証における主な成果・進展
観光・文化・スポーツ等	屋内小規模施設におけるe-スポーツに活用したが、代替手段(有線、Wifi6等)と比較して映像・音声等のUXの性能面で顕著な優位性を見出せず	<体育館における大容量映像伝送に成功> - カメラ映像のULと同時に、イベント来場者に360°映像をリアルタイム配信サービスを提供。UL189~240Mbps(準同期)、DL240~290Mbps(準同期)を達成 <広大な屋外環境におけるアプリケーション開発> - 広大な屋外環境(ゴルフ場)に不感地帯解消のため、基地局+中継器によるエリア構築 - ソリューションに対するユーザの支払意思額(1500~3000円程度)を確認
	小規模コンサート会場におけるカメラ映像UL(カクツキ、869msecの遅延等) 屋外の歴史文化資源におけるMRによる体験の実施	<多様なデータの同時伝送を可能に> - カメラ映像に加え、撮影カメラ以外の機器(送り返し映像やタリ、インカム)のデータ伝送をワイヤレス化する撮影システムを検証(HDTV、20Mbps×5台の可能性) <デジタル・リアル融合による価値創出> 3D-CGと撮影映像とリアルタイム合成・編集を行うインカメラVFXシステムを応用した撮影。600~700ミリ秒の遅延が発生するが、現場の確認作業は許容の範囲に収まることを実証
防災・行政	河川沿線に設置した固定カメラにより、4K映像のリアルタイム配信を実現可能にした(行政機関向けを経由し、インターネットを介して地域住民に提供)	<ドローン・可搬型基地局による災害情報収集の柔軟化を実現> - 災害時に、ダム近傍にてドローンを活用した8Kリアルタイム伝送(VPNで市庁舎等へ配信)、AI支援による遭難者発見(例:撮影距離47mで93%)等、柔軟な災害情報収集が可能に。 - 通常時のダムの外観点検(ひび割れ)等、非常時においてもスムーズな運用を可能に
医療・ヘルスケア	- 過疎地における遠隔健康指導 - 離島病院において、スマートグラスを活用した現場医師と専門医の連携ソリューションを創出した(ローカル5G通信区間はスマートグラスと院内拠点間に限られる) - 市民病院において、ローカル5G環境を構築し、専門医と医療従事者の院内連携を実施	<病院オペレーション全般へのローカル5G適用> - 医療の質に限らず、投薬確認システム等、看護師含む医療関係者の働き方改革への貢献 <緊急搬送など病院間連携の推進> - 緊急搬送連携(二次緊急、三次緊急)時の病院間連携など、リアルタイム性と高精細映像伝送などのソリューションを複数コンソーシアムで実証(4K、30fps、遅延1sec未満など) <安全確保が必須な医療オペレーションへの取り込み> - 実装時のオペレーション変更の洗い出し、医療関係者との議論・意見交換による運用性確認 <ローカル5Gの特長を活かした医療ロボット開発> - 専門医が遠隔地の患者の腹部エコーや拡大鏡検査(皮膚科)を行うリアルハプティクスについて、所要のKPIを達成(映像伝送遅延200~300msec、誤差±1cmレベルの操作習熟)

端末試作事業の成果

- ローカル5G普及における大きな課題の一つである「対応端末が限定的」に対して、3種類の端末試作を実施。
- 更なる改良を経て、次年度以降、順次実装(製品投入)する見込み。

端01:FCNT

高画質映像ストリーミング 対応小型カメラ端末

- ✓ 移動ロボット・現場作業員向け
- ✓ **小型化**、IPX5/IPX8の**防水性能**、IP6Xの**防塵性能**
- ✓ **エッジAI処理能力**を内蔵
- ✓ ローカル5GによるフルHD高画質映像ストリーミング映像配信の**連続動作2時間以上**の達成
- ✓ ストリーミング時の**遅延時間200msec以下**を達成



端02:シャープ

過酷なフィールドでの活用を想定した 防水・防塵・小型USB dongle端末

- ✓ 建設現場や工場等の屋外環境向け
- ✓ **小型化**、**防水・防塵性能** IP67、MIL規格準拠
- ✓ アップリンク80Mbps/ダウンリンク1.1Gbpsの**連続送受信動作**による本体表面温度が安全上問題のない60℃以下になることを確認
- ✓ **高精細映像のリアルタイム伝送**等の連続高速データ通信ソリューションに寄与



端03:パナソニックコネク

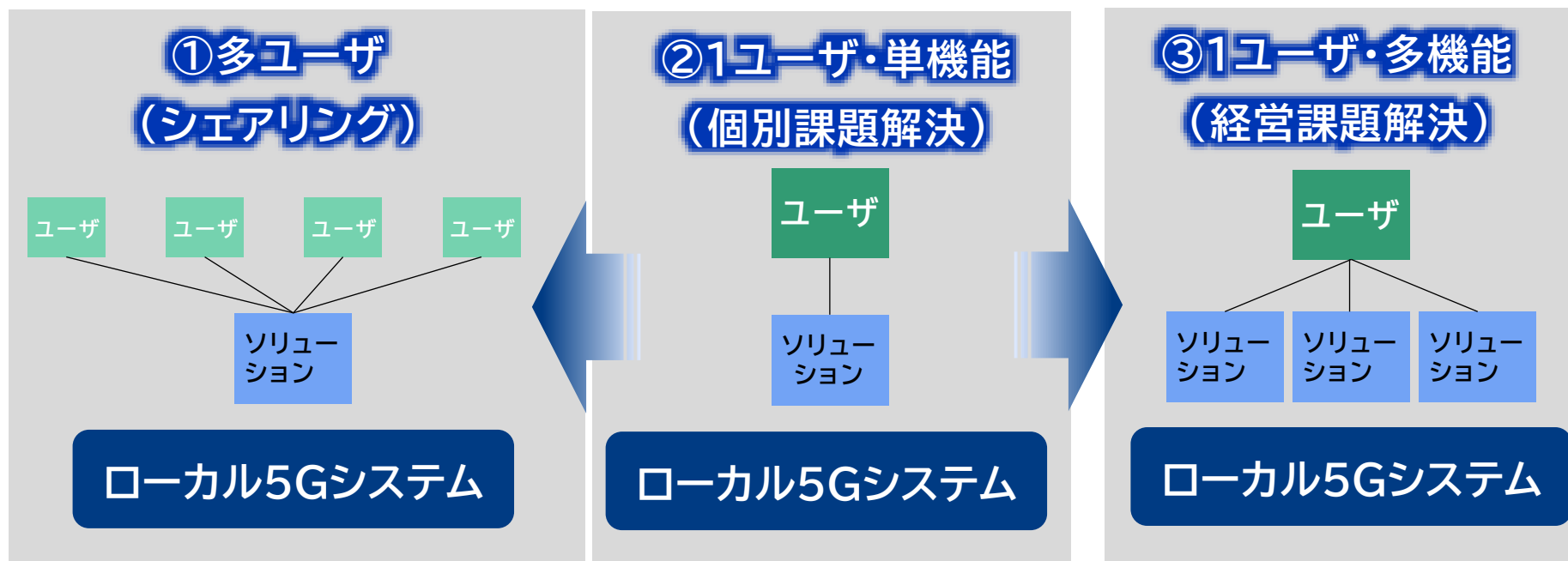
移動ロボット等での利活用を想定した エンコーダ一体型ルータ端末

- ✓ 自動農業ロボット・自動運転バス等向け
- ✓ 映像エンコーダ・デコーダ機能とローカル5G伝送機能の**一体化構成による小型化**(従来容積比約50%)
- ✓ **連続24時間安定通信**、映像エンコーダ・デコーダ間伝送の**低遅延化**、準同期対応
- ✓ **耐熱・耐振動性能**を具備
- ✓ ローカル5Gおよび**公衆4G・5G網との接続**が可能



ローカル5G活用モデル(標準モデル)

- ローカル5G活用モデルの機能は、映像伝送などの**単機能からマルチタスク(多機能)化**。
- 投資対効果が高まるとともに、より広い射程の経営課題や地域課題に貢献する可能性が高まる。



案件数の推移
R2 → R4

3件 → 5件

14件 → 8件

1件 → 11件

ユーザ規模

中:隣接施設
小:個人、零細農家 中:企業施設、農場 大:地域全体、装置産業

投資対効果

中～小 小 大

ローカル5G普及展開ロードマップ

	令和5年度 (2023)	令和6年度 (2024)	令和7年度 (2025)	令和8年度 (2026)	令和9年度 (2027)
普及段階	導入期		普及期		
標準化	リリース18 → リリース19		リリース20 → リリース21		
商用導入 (機器・端末)	リリース17対応(URLLC/スライシング/TSN) → 端末等のモデルチェンジ 5G内蔵型機器(ロボット等) ◆DAS、準同期の普及 ◆ミリ波活用		◆スライシング機能本格化 ◆NR-Light(軽量版IIoT) 機器・端末価格の低廉化		多様な用途・機能を 具備した機器・端末の 普及
関連制度	エリア整備柔軟化に資する共同利用・手続き簡素化等		ニーズに応じた制度化(例、ネットワーク間接続)		
インフラ・運用	◆品質・性能安定化 ◆品質保証・セキュリティ強化、要件に応じた運用簡易化				
	コア共用型モデルの普及(同一企業多拠点間、業界内複数企業間運用)		コア間接続・ローミングなど		
	ローカル5G活用ソリューションの汎用化、業界特化型PF(鉄道等)		ユーザ主導型運用など		
ユーザ	ローカル5G導入意向層/実証段階⇒実装へ(大企業～中堅企業)		DX推進企業への波及(中小企業含む)		
利 活 用 市 場	一次産業	スマート農業の加速(農業の担い手のほぼ全てがデータを活用した農業を実践)		★ 農林水産物・食品の輸出増等	
		ソリューション改良、共同利用型モデル等の開発		各地域内の農場等における利用・展開	
	工場・発電所	スマート保安率の増加(巡視・異常検出等スマート技術の活用)		★ 未確立要素技術の普及、新たな保安管理モデル確立 (確立した要素技術の普及)	
		汎用ソリューションの導入、高度化・機能開発		運用エリア拡大・多拠点利用、工場DX×5G新機能によるユースケースの拡大	
	インフラ	インフラDXの具現化		AI導入-自動施工等	
		都市型整備・活用モデル、業界特化型PF等の展開		DXによる自律施工の実現	
	観光・文化 スポーツ・スマートシティ	観光・文化分野のデジタル化・DX促進			
		映像伝送ソリューション等パッケージ展開、高度化		地域密着型/B2B2Xビジネスモデルへの発展	
	防災・行政	防災・行政のデジタル化・DX促進			
		ドローン・可搬型基地局活用含むソリューション改良		調達と運用の合理化等による運用エリア拡大	
	医療・ヘルスケア	医療・ヘルスケア分野のデジタル化・DX促進			
		業務フローに調和したソリューションの展開		医療ロボットと5G連携等の高度化、遠隔医療など社会的要請へ対応した実装	

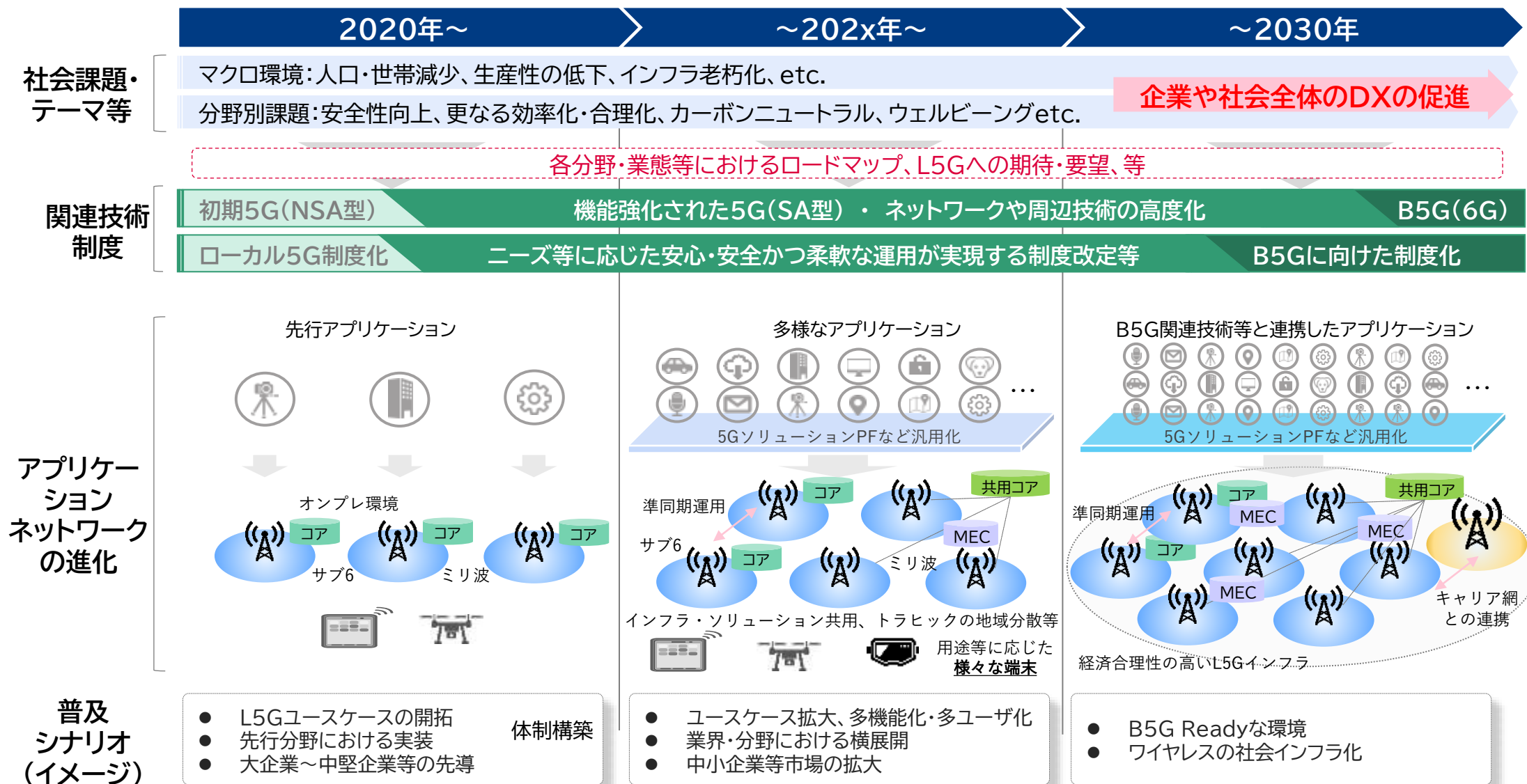
関連分野の政策目標等

L5G活用モデルの展開

★:政策目標等のターゲットイヤー

ローカル5G普及展開シナリオ

- ローカル5Gは、「点」の整備から、インフラの共用やプラットフォーム型展開など「面」の展開へと進展しており、初期の実証フェーズから実装へと導入期を進んでいるところである。



ローカル5G活用モデルの実装に係る課題と対応策

提供価値最大化・多様化とソリューション提供体制のスマート化の同時追求により、ローカル5G活用モデルのスケール化・将来の高収益化が期待される。

これまでの課題

関係者の実践(主に今年度)

新たな顕在課題

解決の方向性/取組の強化

単純な現場解決型ソリューション

複合的な経営課題・地域課題の解決型ソリューション

ビジネスモデル

基地局等機器の所有・運用、開発体制等の面から、実装・横展開に資するビジネスモデルが未確立(赤字、補助金頼み)

支払意思額に基づく経済性・市場性の検証、収支計画を通じ、サービス提供者とユーザの間で実運用に向けた真摯な議論が活性化(収支±0へ進化)

ローカル5G活用モデルの普及展開のスケール化。提供価値最大化・多様化と提供体制スマート化の同時追求が、一層必要(黒字化⇒高収益化)

サービス提供者

分野・業界固有の構造に着目するとともに、顧客価値(競争領域)に立脚したソリューションの磨き上げが必要

ネットワークアーキテクト/ベンダ主導で顧客価値立脚型のソリューション開発と運用への落とし込み、通信・アプリの接続の技術課題の解消が進展

多くのプレーヤを巻き込むための高収益モデル等の創出が急務。また、コスト削減ソリューションが中心で社会価値・顧客価値やビジネス機会の創出がなお不足

・低炭素化・エネルギーなどの装置産業やインフラなどの高収益モデルや、防災・農業・医療等の地域課題解決型のソリューション創出を一層推進

ユーザ側に発生するコストがアプリとインフラの両面でかさみ、初期投資や運用の経済合理性を高める必要

サブスクリプション型マネージドサービスの提供開始や共用モデルなど、ユーザにとって導入・運用しやすい環境の整備が進展

ローカル5Gに対応した通信端末の提供加速、保守運用サービスなど、実証の成果を速やかにマネタイズへ移行するための体制整備、共用モデルの深堀

多様なプレーヤーの巻き込み
・プロジェクトファイナンス、ソーシャルボンド: 法律家、金融
・共用モデル: 首長、自治体幹部、地域コーディネーター(NPO)

ユーザ・公共

ローカル5G等の新しいデジタル技術の活用により、現場課題、経営課題を解決するモチベーションが弱い

ユーザ企業による強いリーダーシップによる経営企画等と現場のボトムダウンの連携が一部活性化し、DXが全社戦略の一部に昇華

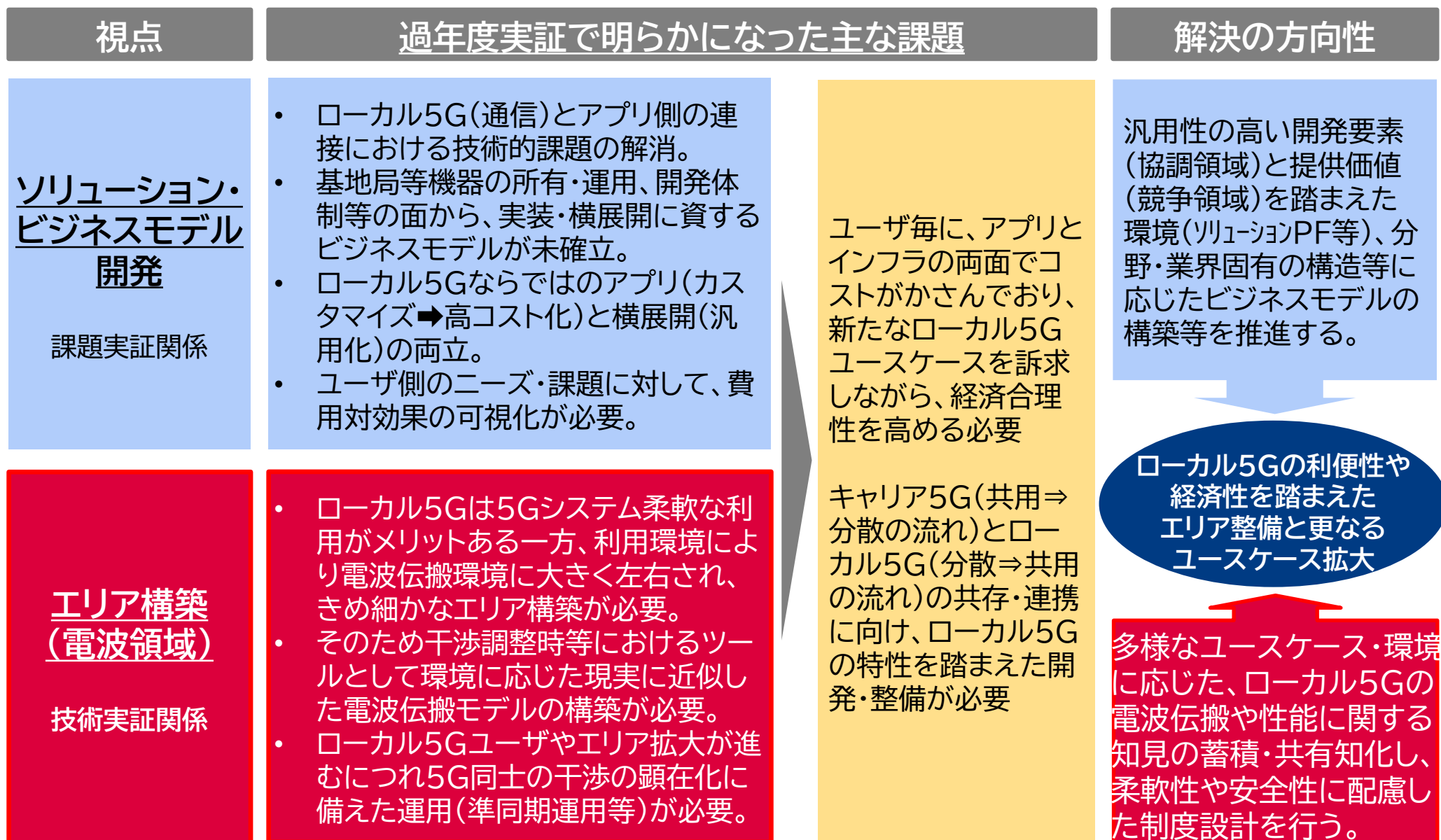
現場課題解決から、経営課題や地域課題解決を図るための、トップダウンとボトムアップのなお一層の連携を促す仕組みが不可欠(産官学金の連携促進)

自治体・企業トップ向け好事例の周知広報の深化(ハンドブック、セミナー、シンポジウム)、実証視察会を通じた新しい通信技術の有用性の訴求

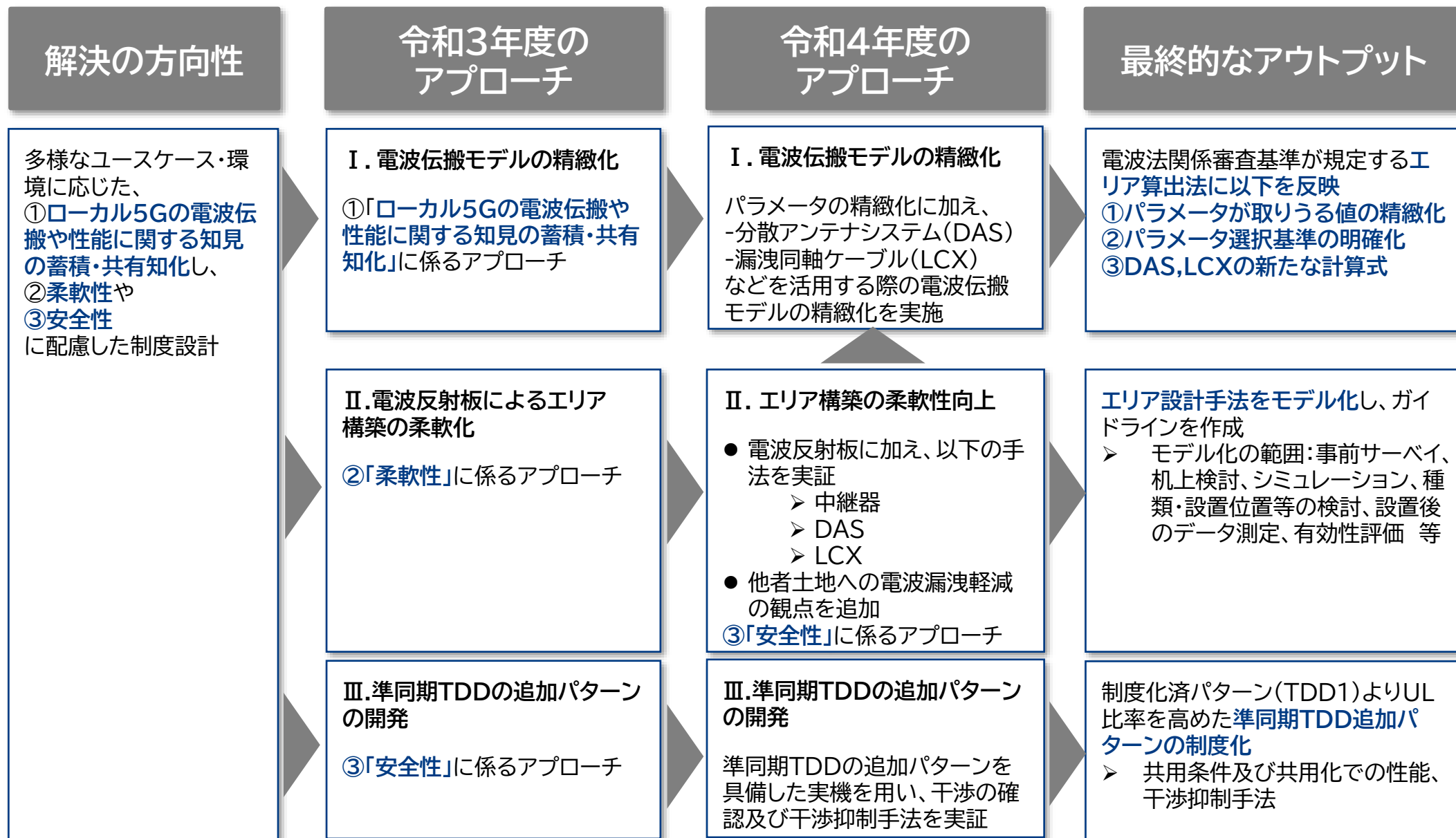
技術実証編

ローカル5Gの実装に係る課題(主に供給側視点、下部が技術実証)

【再掲】



令和3年度/4年度 技術実証の枠組み



技術実証の推進体制

赤枠が技術実証部分

総務省

移動通信課様

地域通信振興課 デジタル経済推進室様

技術実証専門会合 構成員

三菱総合研究所

技術実証担当

課題実証担当

・外部評価会(成果報告会)
・専門会合
-技術実証/課題実証

ARIB
技術実証支援

参加・協力

立場	氏名	所属
主査	岩井 誠人	同志社大学
副主査	今井 哲朗	東京電機大学
	大鐘 武雄	北海道大学
委員	前田 規行	株式会社NTTドコモ
	寺部 滋郎	KDDI株式会社
	吉野 仁	ソフトバンク株式会社
	宇都宮 隆介	楽天モバイル株式会社
オブザーバ	神田 隆史	富士通株式会社
	武田 一樹	クアルコムジャパン合同会社
	中村 光則	阪神電気鉄道株式会社
	村上 誉	国立研究開発法人情報通信研究機構
	総務省 総合通信基盤局 電波部 移動通信課	
	総務省 情報流通行政局 地域通信振興課 デジタル経済推進室	

事務局：三菱総合研究所（ARIBと連携して運営）

書頭提出

実証事業者

技術実証チーム

実証コンソーシアム/端末システム試作者

↔ : 連携(問合せ等も含む)

実証コンソーシアムと一次請負事業者の役割(テーマ I の例)

調査研究請負事業者の案を専門会合に諮りブラッシュアップ

パラメータ	パラメータの意味	アウトプット						
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值	地形情報 測定結果	影響要因	条件		K [dB]		
			傾斜	急な斜面	aa			
				緩やかな斜面	ab			
			水面	水面の比率が大きい場合	ba			
水面の比率が小さい場合	bb							
S	市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正值	妨害物の情報 (建物占有面積率等) 測定結果	影響要因	条件		S[dB]		
			市街地	都市の中心部であって、2階建て以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など	0			
				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				
			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	12.3			
				樹木が面積比 xx%を占める場所				
			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	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								
R	建物侵入損（基地局を屋内に設置する場合）	壁面の情報 測定結果	周波数	建物	材質	厚さ	面積率	R [dB]
			4.7GHz	代表値(既存)				16.2
				壁面1	コンクリート	xx cm	40%	5.0
					ガラス	-	60%	
			28GHz	代表値(既存)				20.1

コンソーシアムに対し統一的な測定方法、データ処理方法等を提示したうえで提供を依頼

令和3/令和4年度技術実証のテーマ別整理

テーマ I : 電波伝搬モデルの精緻化

周波数帯	パラメータ等	着眼点	該当案件【令和3:26件】	該当案件【令和4:20件】
4.7 GHz	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值	斜面	04山林、16工事現場、24富士山	開15ダム、開08離島(丘陵)
		水面	11港湾海上、12コンテナヤード、16川沿いの住宅地	開06洋上風力発電施設、開05港湾海上、開11コンテナヤード、開15ダム、特01河川域
	S 市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正值	樹木の影響	01ブドウ畑、04山林、16工事現場	開03ゆず畑、開04圃場
		周辺建造物の影響	06プラント、07工場、10空港、12コンテナヤード、15住宅地、19キャンパス	開10空港、開17駐車場、開08工場、開09発電所、開16河川域、特01河川域、特04市街地線路
	R 建物侵入損	壁面が簡素 ($R < 16.2$)	02牛舎、03ビニールハウス、17国際会議場(ガラス)、22体育館(窓)、25集合住宅(窓)	-
		壁面が一般的 ($R = 16.2$)	05工場、08工場、13地上駅ホーム、18国際会議場、22体育館	開19病院、開18病院、開14体育館
		壁面が堅牢 ($16.2 < R$)	09火力発電所、14地下駅ホーム(上下階)、20ドーム球場、21コンサートホール、22体育館(複数壁)	開18病院(上下階)、開07データセンター、開14体育館(複数壁)
	新たな伝搬損失計算式	DAS	-	開01牧草地、開19病院
		LCX	-	特02高速道路、特03線路
28 GHz	hr 平均建物高さ	周辺建造物の影響	23市街地の道路	技01市街地
	R 建物侵入損	壁面が簡素 ($R < 20.1$)	-	特02高速道路(遮音壁)、特03鉄道駅ホーム
		壁面が一般的 ($R = 20.1$)	26病院	開17公共施設(会議室)、技01オフィスビル
		壁面が堅牢 ($20.1 < R$)	-	技01オフィスビル(上下階)

令和3/令和4年度技術実証のテーマ別整理

テーマⅡ：エリア構築の柔軟性向上

手法		周波数帯	該当案件【令和3：8件】		該当案件【令和4：19件】	
			屋外	屋内	屋外	屋内
電波 反射板	金属/反射シート	4.7GHz	01ブドウ畑、04山林、12コンテナヤード	03ビニールハウス、07工場	-	-
		28GHz	-	26病院	技T(市街地)	開17公共施設(会議室)、技T(ビル内)
	アクティブリフレクタ/メタマテリアル/RIS	4.7GHz	-	-	-	-
		28GHz	23市街地の道路	15トンネル、26病院	-	開17公共施設(会議室)、技T(ビル内)
中継器		4.7GHz	未実施		開08離島工場、開13ゴルフ場、開09火力発電所、開16河川域、特01河川域	開04ビニールハウス、開19病院
		28GHz			-	技T(ビル内)
DAS (分散アンテナシステム)		4.7GHz			開01放牧地、開03ゆず園、開12屋外ロケ施設、特03駅	開07データセンター、開18病院、開19病院、開20病院
		28GHz			-	-
LCX (漏洩同軸ケーブル)		4.7GHz			特02高速道路、特03線路、特04線路	開04牛舎
		28GHz			-	-

令和3/令和4年度技術実証のテーマ別整理

テーマⅢ：準同期TDDの追加パターン開発

隣接周波数

基地局⇒基地局 干渉		被干渉			
		同期 TDD	準同期 TDD1	準同期 TDD2	準同期 TDD3
与干渉	同期TDD		-	01、開20	18、開20
	準同期TDD1			-	-
	準同期TDD2				-
	準同期TDD3				

同一周波数

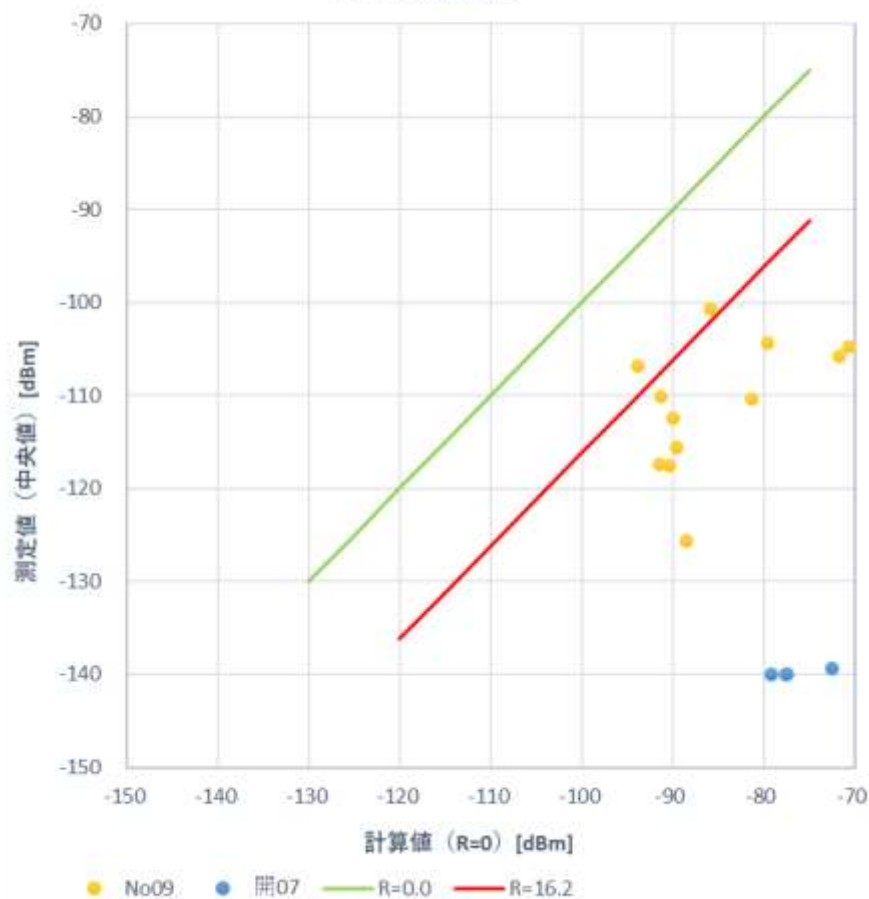
基地局⇒基地局 干渉		被干渉			
		同期TDD	準同期 TDD1	準同期 TDD2	準同期 TDD3
与干渉	同期TDD		24	02, 03, 04, 24、 開20	04, 24、 開12、開20
	準同期TDD1			02, 24	24
	準同期TDD2				24
	準同期TDD3				

移動局⇒移動局 干渉		被干渉			
		同期 TDD	準同期 TDD1	準同期 TDD2	準同期 TDD3
与干渉	同期TDD				
	準同期TDD1	-			
	準同期TDD2	01、開20	16		
	準同期TDD3	18、開20	16	16	

移動局⇒移動局 干渉		被干渉			
		同期TDD	準同期 TDD1	準同期 TDD2	準同期 TDD3
与干渉	同期TDD				
	準同期TDD1	24			
	準同期TDD2	02, 03, 04, 12, 18, 24、開20	02, 16, 24		
	準同期TDD3	04, 12, 18, 24、 開12、開20	16, 24	16, 24	

テーマ I : 堅牢な壁面におけるRの精緻化

R-3 精緻化



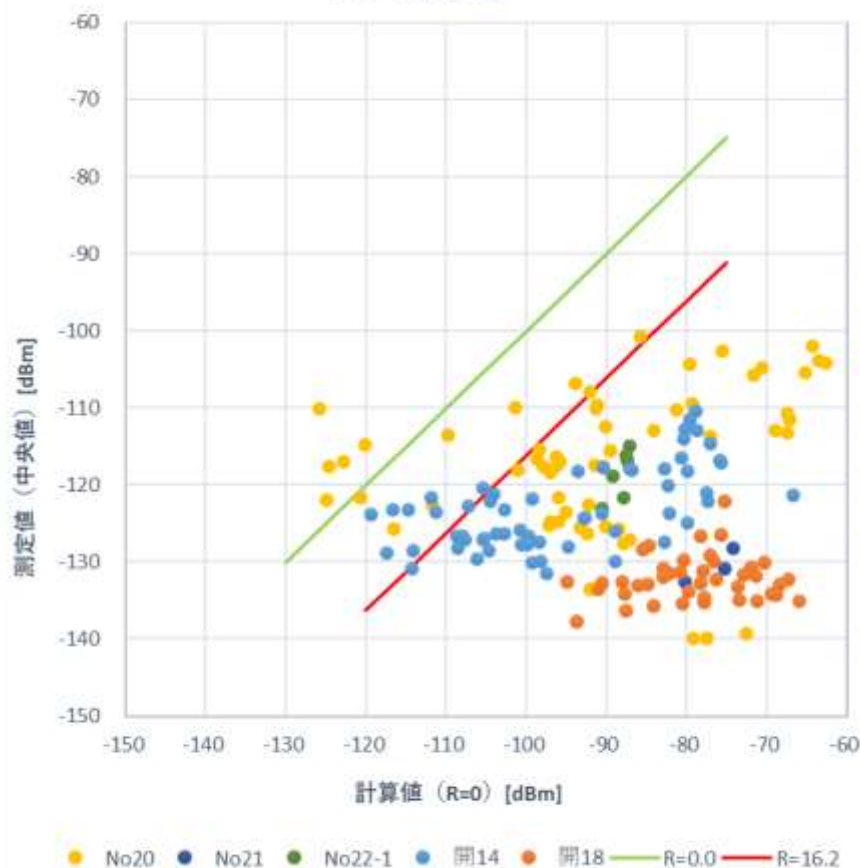
周波数	説明	R [dB]	標準偏差
4.7GHz帯	壁面が堅牢	37.4	14.7

- このグループに分類した環境
 - ✓ 比較的厚いコンクリートを主とした壁面
 - ✓ 窓など透過損の小さい部分が非常に少ないか存在しない
- 審査基準で設定されている16.2dBより大きな値となる
- 堅牢な壁面においては、勧告ITU-R P.2109のThermally-efficientの場合の建物侵入損の期待値50%(31.4dB)の減衰が見込める可能性がある

実証No	実証場所	主な構成
No.09	火力発電所	厚いコンクリート
開07	データセンター	開口部の無いコンクリート

テーマ I : 複層構造の建物におけるRの精緻化

R-4 精緻化



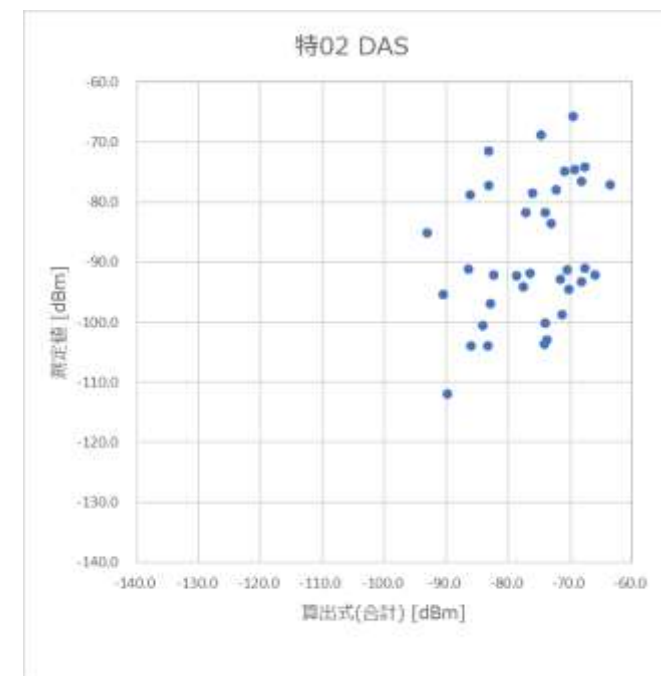
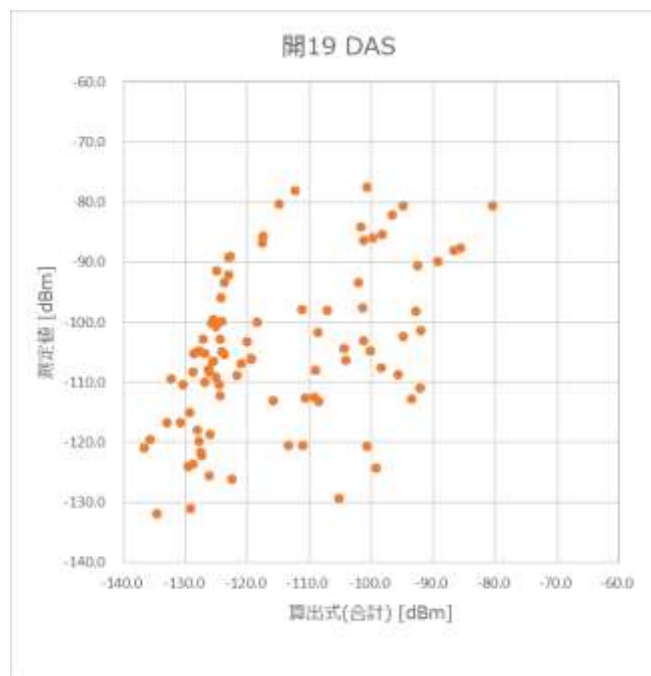
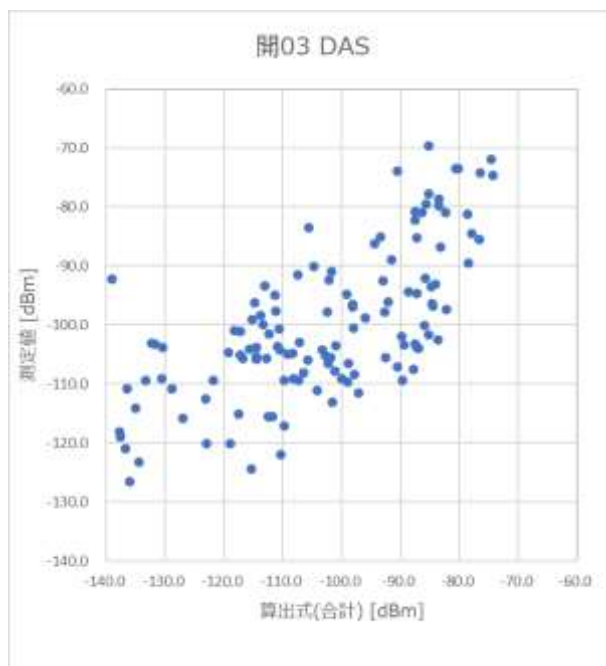
周波数	説明	R [dB]	標準偏差
4.7GHz帯	複層構造	36.0	17.5

- このグループに分類した環境
 - ✓ 複数の壁面が存在する
- 審査基準で設定されている16.2dBより大きな値となる
- No.20はスタジアムであり、R=0に近い電力となったのは開口部付近における測定と想像される
- 複層構造の場合には審査基準の2倍程度の透過損を適用できる可能性がある

実証No	実証場所	主な壁面構成
No.20	ドーム球場	屋内店舗、通路等による空間構造
No.21	コンサートホール	石膏ボード+厚いコンクリート
No.22	体育館	内壁+コンクリート
開14	体育館	内壁+コンクリート
開18	病院	ドアや壁面が多数存在

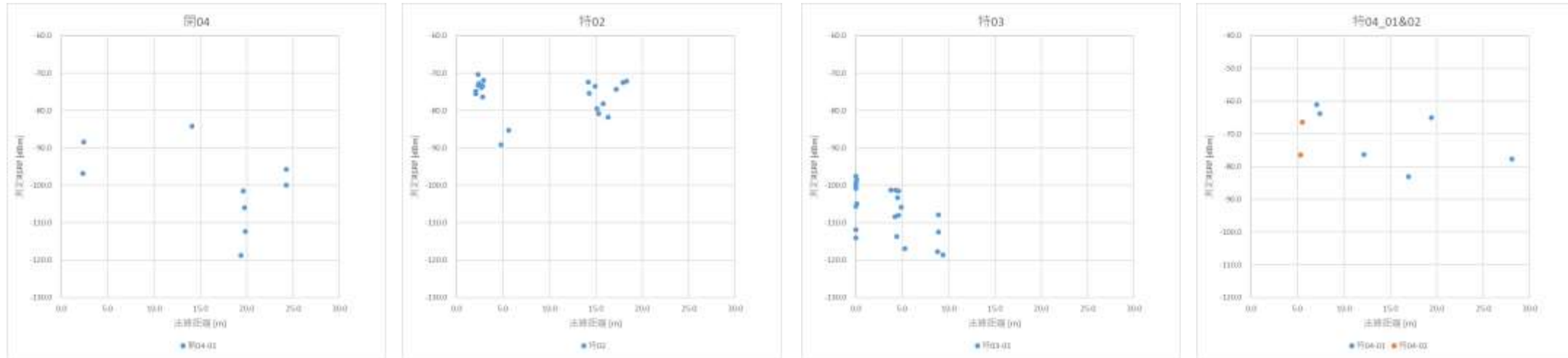
出所) 実証コンソーシアム提出資料より作成

テーマ I : 分散アンテナシステム(DAS)



- 横軸は算出式による複数アンテナの受信電力の加算値。縦軸は複数アンテナ送信時の受信電力
- 計算値と測定値にはばらつきが多く、今回の実証では、加算した電力で描画する必要があるとまでは言えない

テーマ I :漏洩同軸ケーブル(LCX)



- 横軸はケーブルから測定点までの法線距離。
縦軸は受信電力からケーブル損を除去した値(送信電力が不明なものがあり、伝搬損失が求められなかった場合がある。)
- 10m程度では、距離の2乗則では減衰していない(ケーブルの近くでは1乗則程度と言われている)
- 今回の実証のデータではばらつきがあり、推定は困難。

(参考)想定した算出式

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

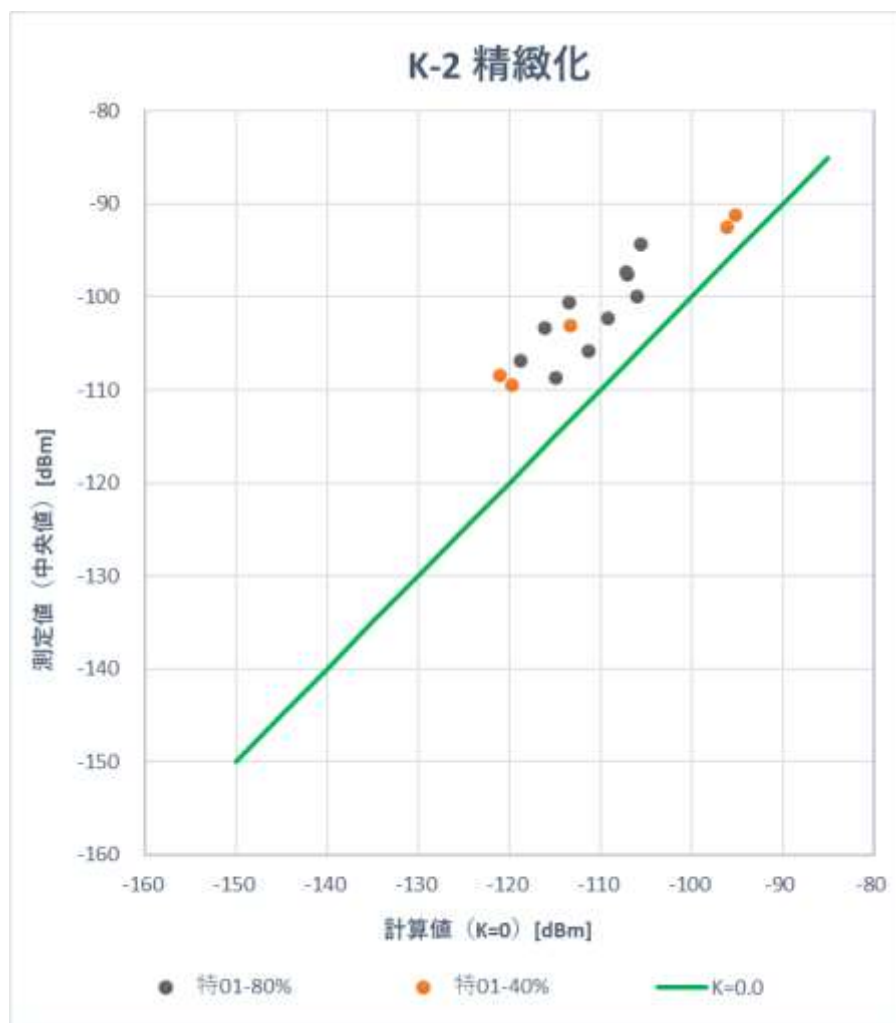
Pr [dBm]:受信レベル(受信電力)、 Pt [dBm]:送信電力(基地局の空中線電力)、 Gt [dB]:LCXから送信利得、 Lf [dB]:漏洩同軸ケーブル損失、 Gr [dBi]:受信アンテナ利得、 L [dB]:空間伝搬損失

$Lf = a * d1$, a [dB/m]:標準減衰量, $d1$ [m]:基地局からの距離

$L = Lc + 10 \log_{10}(d2/1.5)$, Lc [dB]:結合損失(1.5mの位置の損失)、 $d2$ [m]:ケーブルから空間を伝搬する距離

出所)実証コンソーシアム提出資料より作成

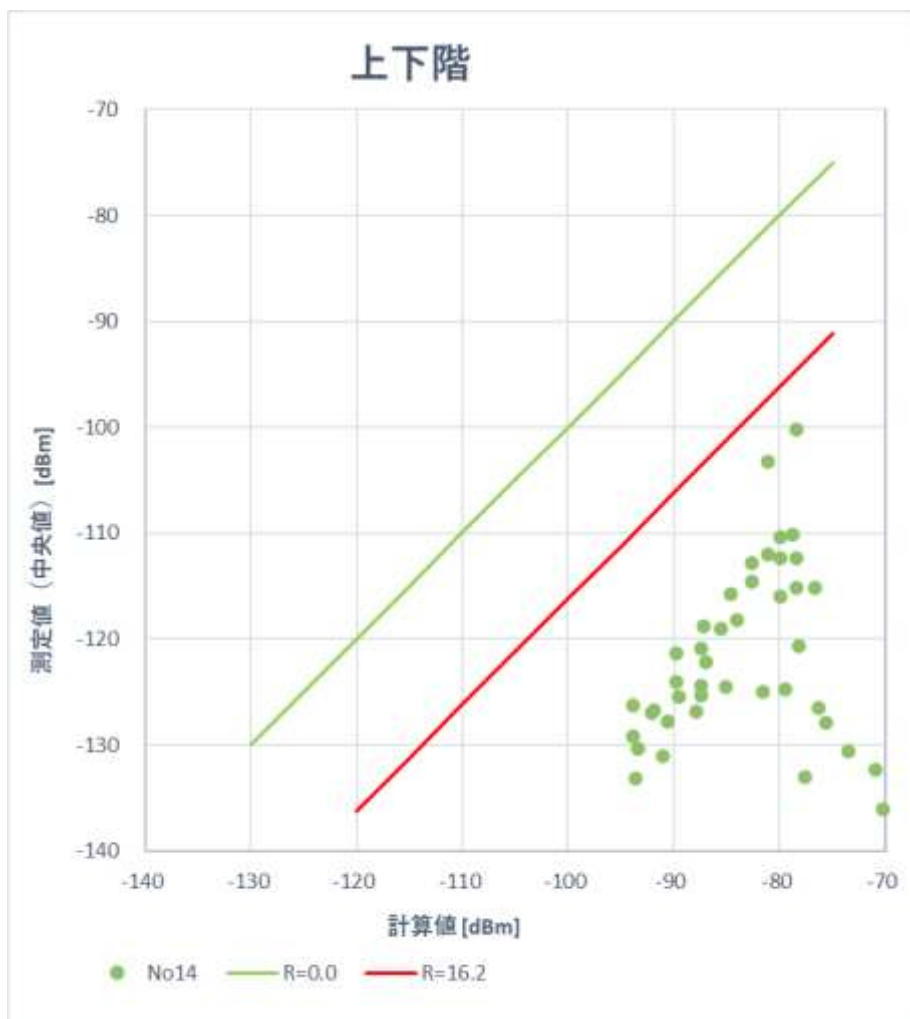
テーマ I : 水陸混合地におけるKの精緻化



周波数	説明	K [dB]	標準偏差
4.7GHz帯	水陸混合 80%	9.3	2.8
	水陸混合 40%	8.1	3.6

- 水面が80%と40%で大きな差は無い
- 水陸混合の場合の精緻化のためにパラメータKを推定するには、更なる精査が必要である

テーマ I : 上下階における透過損失

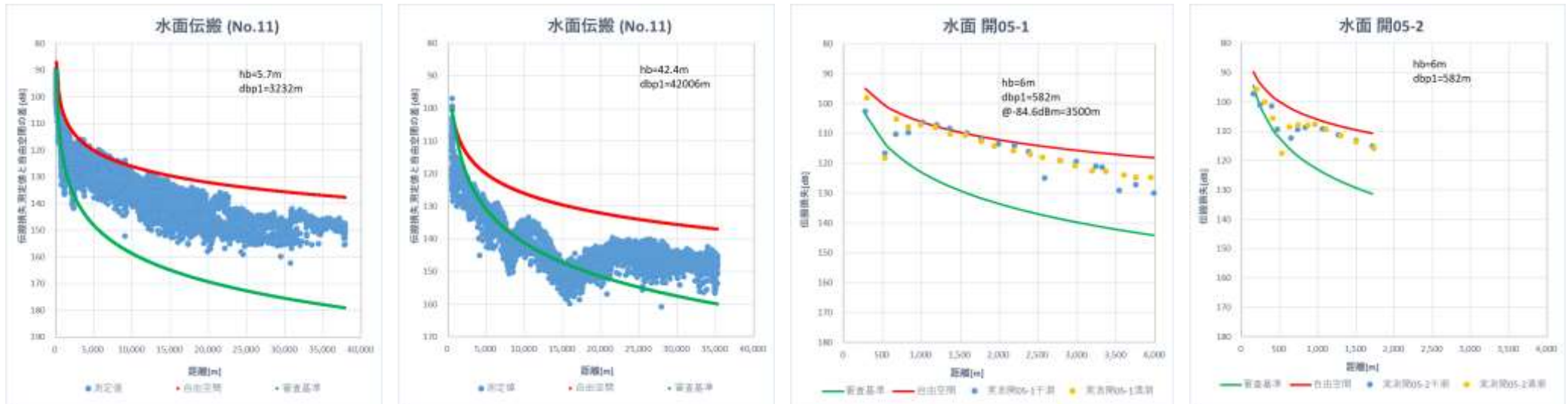


周波数	説明	透過損	標準偏差
4.7GHz帯	上下階	38.0	9.2

- このグループに分類した環境
 - ✓ 床面を透過する環境

実証No	実証場所	主な構成
No.14	地下駅ホーム	フロア床面

テーマ I :水面における伝搬モデル



- このグループに分類した環境
 - ✓ ほぼ水面を伝搬する環境
- 2波モデルに近い特性となった
- ブレークポイント以降は2乗則より大きい減衰となる

テーマⅡ：課題解決における各手法の有効性

エリア 柔軟化設備	有効となる設置条件	適したユースケース
電波反射板	・電波反射板に強電界を入射できる。電波反射板からの反射波を効率良く伝搬できる。 (基地局⇄反射板及び反射板⇄端末の見通し(LOS)が確保できる。) ・電波反射板への入射角・反射角が大きくなり鋭角である。(反射有効面積を確保) ・電波反射板の水平・垂直ビーム幅を確認し不感地帯へ正確に電波の方向を設定し、調整する。	・不感地帯の面積が限定的(スポット、幅の狭い短い線状エリア) ・電波伝搬路に遮蔽物があり迂回が必要 ・LOSを得やすい天井方向からの電波伝搬路を活用 ・枝分かれする通路等で分岐点で電波を反射
中継器	- a.基地局と中継器間の電波伝搬 ・LOS環境にて、フレネルゾーンが確保できること。 ・ドナーアンテナは、基地局以外の不要電波を避けるため高利得のものを使用すること。 ・中継器ドナー受信端子にて基地局の希望波とそれ以外のレベル差(約30dB)を十分確保すること。 - b.ドナー及びサービスアンテナ間の電波のアイソレーションが一定以上(中継器利得+15～20dB程度)あること。 - c.中継器で対策するエリアは不感地であること。(基地局からの電波との干渉を避ける)	・電波伝搬路に遮蔽物があり迂回が必要 ・屋外の電波を屋内へ中継 ・異なるフロアー間を業務区域とする場合(一方を基地局、他方を中継器でカバー) ・不感地帯の面積がある程度広い
DAS	・DAS子局アンテナとカバーする業務区域間はLOS環境であること。 ・他者土地への電波漏洩軽減を行う場合、DAS子局のアンテナタイプと設置位置、送信出力を調整すること。	・点在するあるいは連続する複数の業務区域をカバーする。 ・他者土地との距離が近く電波漏洩の懸念がある。 ・工場、病院等の必要箇所で電波を送受信し、全体をカバーする。
LCX	・LCXの伝送損失・結合損失への影響が少ない位置へ敷設すること。 (大地、コンクリート壁からの距離による伝送損失への影響) ・他者土地への電波漏洩を抑える向きを考慮してLCXを敷設すること。 (LCXのアンテナパターンを把握し設置の向きを決める)	・他者土地との距離が近く電波漏洩の懸念がある。 ・線状の業務区域を連続的にカバー (高速道路、鉄道等。特にトンネル、地下鉄等)

テーマⅡ：柔軟化設備の相互比較

柔軟化設備の相互比較(装置の容易性・コスト比較)

令和4年度の下記技術実証より相対値を求め評価 対象実証：開02,03,09,13,18,特01
(最も優位“5”、比較的優位“4”、平均的“3”、やや劣位“2”、劣位“1”にて評価)

設置容易性比較

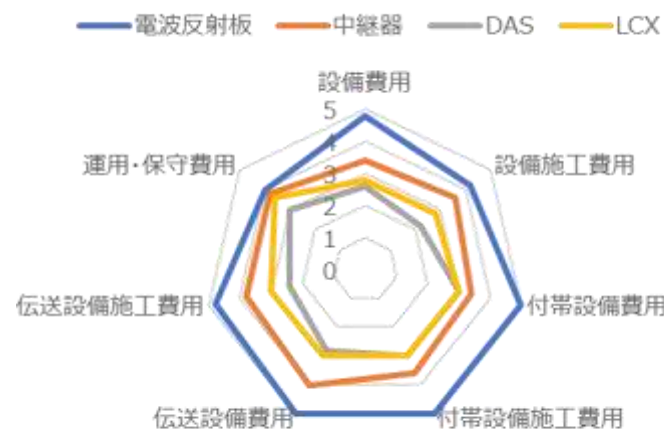


・各設備の設置性に関する特徴に即した比較結果となった。

〔特徴〕電波反射板 付帯設備不要、伝送設備不要
中継器 付帯設備必要、伝送設備不要
DAS, LCX 付帯設備必要、伝送設備必要

・屋外設置の電波反射板は基礎部等考慮すると移設は容易とは言えない。

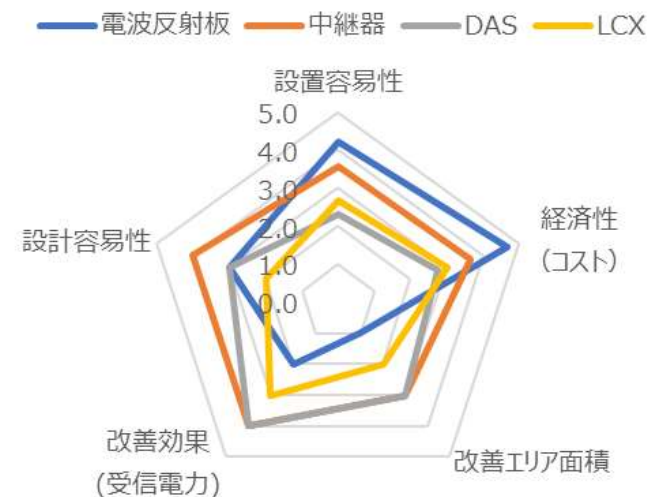
コスト比較



・左記同様に各設備の設置性に関する特徴に即した比較結果となった。

・付帯設備、伝送設備の費用が少ない電波反射板、中継器がコストの優位性が高かった。
・ローカル5G市場向け設備は、まだ開発中の為価格比較は困難、今後の商用市場を見据えての価格推定での相互比較とした。

改善効果を含めた総合比較

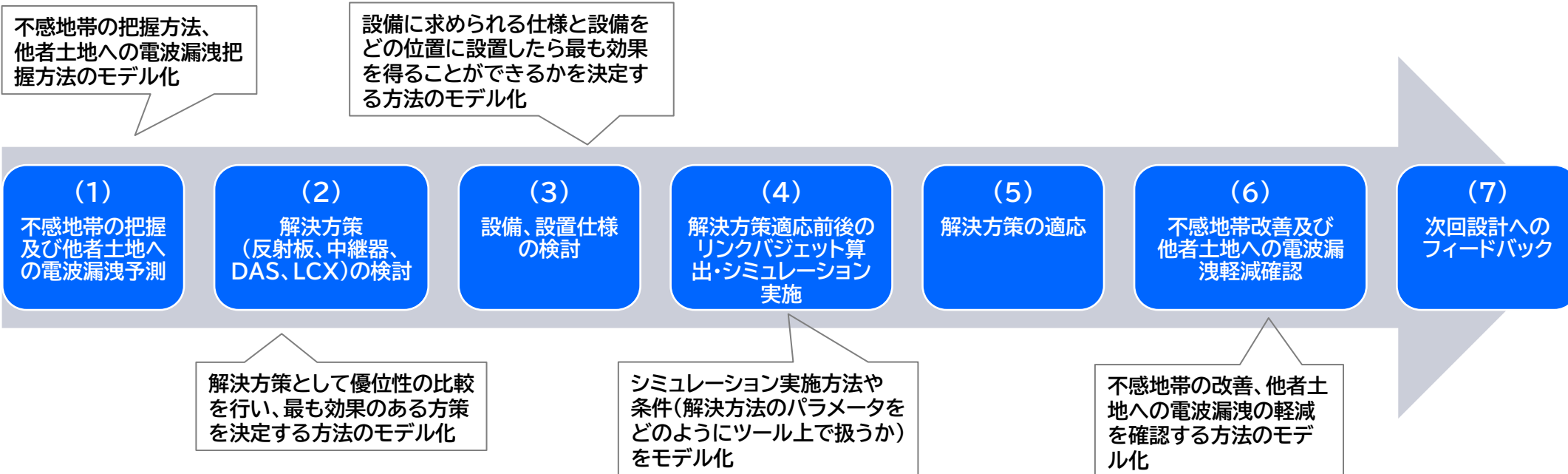


改善効果(改善面積、受信電力値)と設計の容易性を加え総合比較を行った。

・電波反射板は設置容易性、経済性にて優位なるも改善エリア面積が少なくULでのスループット改善効果が限定的。
・中継器は設置容易性に優れ、改善エリア面積、改善効果ともに大きくバランスが取れている。
・DASは必要となる地点へ光ケーブルにて確実にエリア化が可能、改善効果も大きい。
・LCXは敷設コストが大きい為、経済性にて劣位なるも他者土地への電波漏洩軽減にて優れている。

テーマⅡ：エリア設計手法のモデル化

- 各実証のモデル化の内容を設計段階(上記(1)～(7))及び柔軟化設備(電波反射板等)毎に整理して、纏めた。



設備	(1)課題の把握	(2)解決方策の検討	(3)設備、設置仕様の検討	(4)リンクバジェット・シミュレーション	(5)解決方策適応	(6)課題解決の確認	(7)次回設計へのフィードバック
電波反射板	令和3年度 No.02 令和4年度開17	令和4年度開17	令和4年度開17	令和3年度 No.01,02 令和4年度開17	令和4年度開17		令和4年度開17
中継器	令和4年度開02	令和4年度開02	令和4年度開 02,09,特01	令和4年度開 02,09,特01	令和4年度開02	令和4年度開02	令和4年度開02
DAS	令和4年度開 18,19	令和4年度開18	令和4年度 01,03,18	令和4年度 01,03,18,19	令和4年度開18	令和4年度開18	令和4年度開18
LCX		令和4年度特02		令和4年度特04		令和4年度特02	

テーマⅢ：令和3年度取りまとめ結果

隣接周波数

基地局⇒基地局 干渉

【No.01】 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。

【結果】

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。

【No.18】 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。

移動局⇒移動局 干渉

【No.01】 1対1正対SIMでは所用改善が残ったため、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。

【結果】 共用時と単体時の性能差から、共用時のC5G下り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、伝送性能悪化は無し。

【No.16】 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、共用可能である。

【No.18】 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

同一周波数

基地局⇒基地局 干渉

【No.02】 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。
(伝送スループットへの干渉影響を評価)

【結果】

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。

【No.24】 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。

移動局⇒移動局 干渉

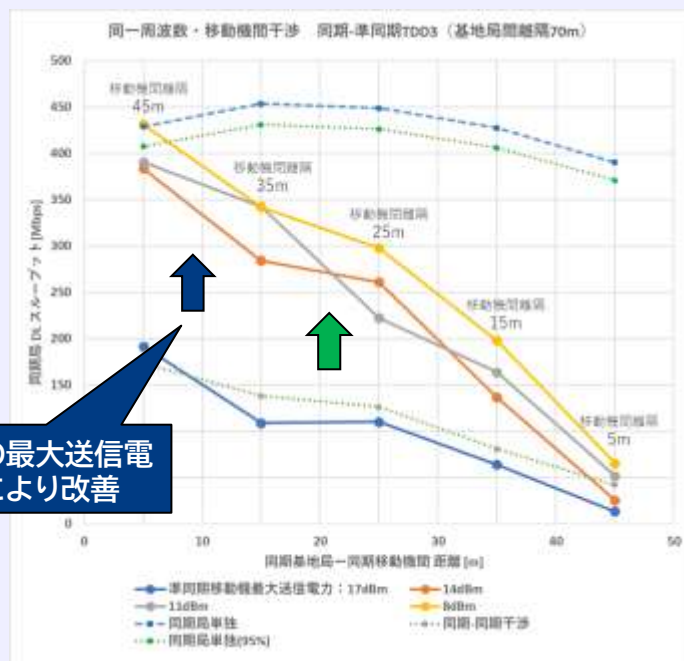
【No.02】 実測値の移動局送信電力分布を用いたモンテカルロシミュレーション

【結果】

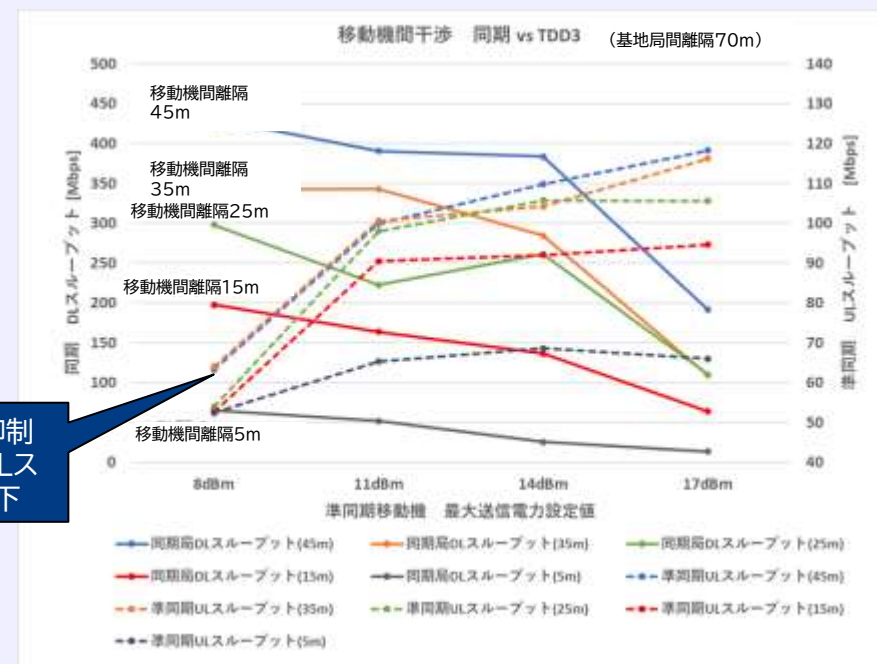
移動局間距離を100m以内で運用した場合、移動局台数が1台であっても、同期移動局への干渉影響が発生する可能性がある。そのため、同期運用事業者保護の観点から準同期の移動局送信出力を抑える、もしくは、見通し外で運用することが必要である。

【No.24】 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

テーマⅢ：実機検証からの考察



最大送信電力抑制により準同期ULスループットは低下



- ✓ 同一周波数での干渉によるスループット劣化は想定通り
- ✓ サイトエンジニアリング(移動局送信電力抑制)の効果も予想通りであるが、基地局間距離70mで移動機送信電力を+8dBmまで抑制しても同期局から5mの位置まで近づかなければ移動機間干渉の影響を解消できないため影響解消のためにはより大きな距離が必要(仮説通り)。
- ✓ 同期局から15m位置での同期局DLスループットはシミュレーション値より30%以上高い値を測定した。(差分については要検証)
- ✓ 今回の実証で同一周波数で同期/準同期を併設する場合であっても相互の干渉による劣化を許容できる関係であれば、屋内の近距離でも移動局送信電力抑制により同期局DLと準同期局ULのバランスをとることでそれぞれのユースケースに応じた設計が可能であることが確認できた。

出所)実証コンソーシアム提出資料より作成

令和3/4年度通じての取りまとめの概要

技術実証 テーマⅠ： 電波伝搬 モデルの 精緻化

4.7GHz帯

■Rの精緻化

実証成果をITU-R P.2109等と比較検証し、以下の方向で改定を目指す

- 堅牢な建物の場合には、建物種別として **Thermally efficient**(期待値50%、4.7GHz帯:31.4dB、28GHz帯:41.5dB)を適用
- 複数の壁面を透過する場合、2層を代表値として**既存の値(16.2dB)の2倍(32.4dB)**を適用
- 駅ホーム等の半屋外環境でもRでの補正を適用

■K・Sの精緻化

【Kのみ】陸地に水面が一定程度存在する場合には、**正の値**を適用できる可能性がある

28GHz帯

■Rの精緻化

4.7GHz帯と同様

■hrの精緻化

現状の審査式から変更不要であることを確認

■その他:

- 上下階の透過はほぼ無視できる可能性がある(開口部を除く)
- 海上等、水面を主なエリアとする場合には**自由空間伝搬モデルまたは2波モデルでのエリア算出**の可能性がある
- DASにおいて複数アンテナからの加算した電力で描画する必要があるとまでは言えない
- LCXの簡易なエリア算出式の導出にはさらなるデータの精査・検証が必要である

技術実証 テーマⅡ： エリア構築 の柔軟性 向上

■電波反射板/中継器/DAS/LCXを活用したエリア設計手法のモデル化(詳細はp33)

- **エリアを設計するにあたっての手順**(1.課題の把握～7.次回設計へのフィードバック)を特定し、各手順で適用可能な方法(例:機器仕様や設置位置の特定に資するシミュレーション方法)を示した

■各手法が有効・有効でない条件の特定(詳細はp31)

- 各手法により形成されるエリアの面積や、伝送性能(スループット、遅延)の影響を明らかにし、どのような条件下でどの手法を導入すべきかの指針を示した

技術実証 テーマⅢ： 準同期 TDDの 追加パター ンの開発

■同一周波数:移動局間干渉を防ぐ運用方法の検討

- 令和3年度実証では移動局間干渉が特に問題となることが明らかになった
- 移動局間干渉を防ぐ運用として、大きく以下2つの方向性がある
 - 移動局送信出力の抑制
 - 見通し外での運用
- 技術的な解決策が想定されうる「**移動局送信出力の抑制**」を優先して効果を確認・検証し、**同一周波数で同期/準同期システムを併設する場合であっても、干渉を抑制**できることを示した