

令和6年度から新たに実施する電波資源拡大のための研究開発の基本計画書(案)

研究開発課題	基本計画書(案)
IP マルチキャスト放送の無線伝送に向けた 周波数有効利用技術の研究開発	別添1
近接化・稠密化するモバイル通信機器間における 不要電波の解析・抑制技術の研究開発	別添2
ミリ波帯等における移動通信システムの展開に関する研究開発	別添3
低軌道衛星と地上端末直接通信における周波数共用を可能とする ナローマルチビーム形成技術の研究開発	別添4

＜基本計画書(案)＞

IP マルチキャスト放送の無線伝送に向けた周波数有効利用技術の研究開発

1. 目的

ケーブルテレビは、再放送・自主放送・多チャンネル等をあわせて提供する総合的な情報メディアの機能を果たすとともに、災害時における避難情報等生活に必要な不可欠な情報を伝達する媒体として、地域の情報通信基盤として重要な役割を担っているところ、デジタルデバイド解消に向け、インフラ整備が都市部に比べて遅れている地域に対して、ケーブルテレビ伝送路のラストワンマイル対応の低コスト化が強く求められており、その解決策としてFTTH (Fiber To The Home) に代えて建設コストが大幅に削減可能な無線 (ローカル 5G システム) 利用による FWA (Fixed Wireless Access) の期待が高まっている。

このような状況で、ケーブルテレビの IP マルチキャスト方式による高度放送サービス (4K8K サービス) の提供に目を向けると、高築年数集合住宅の棟内設備は 4K8K 未対応のものが多く存在し、また、建物自体の老朽化のため棟内設備の同軸ケーブルの張り替えができず、4K8K サービスの提供ができないことへの対策が喫緊の課題となっており、特に、5G 技術流用により将来的に安価に実現できる可能性がある、このローカル 5G システムの FWA 活用が有望であると注目されている。

ローカル 5G システムが FWA として単に通信分野での利用に留まらず、放送分野での利用拡大も想定した場合、例えば 4K10 番組の放送で 100Mbps 以上の伝送容量が必要となり、ローカル 5G システム用周波数 (4.8GHz 帯～4.9GHz 帯) のひっ迫が深刻な問題となる。

一方、5G 等の移動通信システムに関する国際標準化プロジェクトである 3GPP において、5G NR (New Radio) の MBS (Multicast and Broadcast Service : IP マルチキャスト方式によるラストワンマイルの無線提供) が検討されているが、放送利用による周波数ひっ迫への技術的対応策の検討はなされておらず、ローカル 5G 用周波数帯 (4.8GHz～4.9GHz 帯) の対応はもとより、MBS 対応のローカル 5G 用無線機器の製品すら存在しないといった状況にある。

このような背景の下、ローカル 5G システムの放送分野での利用需要に早期に対応するためには、国が MBS の周波数有効利用技術等に関する研究開発を実施し、当該技術を確立する必要がある。

そこで、本研究開発では、マルチアンテナ信号伝送法 (MIMO : Multiple Input Multiple Output) のマルチストリーム化により、伝送効率を向上させた上で、無線環境の劣化に応じてダイバーシチ化を図り、放送用ストリームのエラー耐性を強化する IP 放送用の MIMO 多重化技術、放送と通信でそれぞれ使用する周波数帯域の可変帯域を監視し必要に応じてリニアに変更する IP 放送用の周波数可変帯域効率化技術、IP 放送にカスタマイズしたローカル 5G 送受信機機能の最適化の下でこれら

の要素技術を効率的に実装するローカル 5G を用いた IP 放送の送受信機実装技術を確立する。

これらの技術を搭載した IP マルチキャスト放送の無線伝送システムの実現により、今後急激な増加が想定されるローカル 5G システムにおける放送分野での利用による周波数ひっ迫を回避し、MBS 対応かつローカル 5G 用の無線機器の製品開発を加速させることを目指すとともに、3GPP において MBS の周波数効率化技術等を我が国から積極的に提案し、当該技術の国際標準化を目指す。

2. 政策的位置付け

・「デジタル田園都市国家インフラ整備計画（改訂版）」（令和 5 年 4 月総務省）

「2-2 ワイヤレス・IoT インフラ（5G 等）」において、「ローカル 5G は、地域や産業の個別のニーズに応じて、地域の企業や自治体等の多様な主体が自ら免許を取得して、自らの建物内や敷地内等の限られたエリアで独自の 5G システムを柔軟に構築できるものであり、地域の課題を解決する手段として重要なインフラである。このため、その普及促進に向けた支援が重要となる。」旨、記載されている。

・「経済財政運営と改革の基本方針 2023」（令和 5 年 6 月閣議決定）

「第 2 章 新しい資本主義の加速」「5. 地域・中小企業の活性化（デジタル田園都市国家構想と「新時代に地域力をつなぐ国土」の実現）」において、「デジタル実装の前提となる 5G、光ファイバ等のデジタル基盤について全国津々浦々で整備を推進するとともに、デジタル人材育成を推進し、改訂整備計画に基づき、GIGA スクール構想に資する通信環境の年度内の全学校整備、非地上系ネットワークの展開、データセンター地方拠点や海底ケーブル等の整備、Beyond5G の研究開発等を進める。」旨、記載されている。

3. 目標

本研究開発においては、無線（ローカル 5G）による効率的かつ安定した IP 放送コンテンツの提供を実現するため、IP 放送用の MIMO の多重化技術、IP 放送用の周波数可変帯域の効率化技術、IP 放送用の送受信機機能の実装技術を確立し、ネットワーク全体での周波数利用効率を 2 倍以上向上させることで、周波数の有効利用に資する。また、3GPP での国際標準化活動を通じて本研究開発の成果を国際標準に反映する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

今後急激な増加が見込まれるローカル 5G システムの放送分野での利用に伴うローカル 5G システム用周波数のひっ迫を解消するため、IP 放送用の MIMO の多重化技術、IP 放送用の周波数可変帯域の効率化技術、IP 放送用の送受信機機能の実装技術の研究開発を行い、当該技術を実装した機器を用いたフィールド伝送

実験による当該技術の有用性検証を経て、基礎技術を確立する。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア IP 放送用の MIMO の多重化技術

MIMO 技術に関して、回線効率を拡大するマルチストリーム MIMO と伝送品質確保のためエラー耐性を強化するダイバーシチ MIMO が検討されているが、これらを組み合わせて、要件が異なる放送と通信に適応的に応用する MIMO 技術の検討は、これまで行われてこなかった。すなわち、ローカル 5G を用いた MBS による高度放送サービスの実現にあたっては、ローカル 5G で用いる MIMO フレーム上において通信で用いられる再送要求機能が放送では存在しないことから、特に、伝送品質の悪い環境では、放送用ストリームを各フレームへ複製することで放送のエラー耐性を強化させる必要がある。一方、通信用ストリームは、各フレームに分割することで通信の伝送効率を可能な限り向上させることが合理的であり、放送と通信の求められる要件や伝送環境を考慮し、データ欠損率を軽減しつつ、周波数利用を効率化する MIMO の新しい多重化技術（以下「ハイブリッド MIMO 多重化技術」という）の開発が必要となる。

具体的には、

- 1) 放送・通信用ストリームに対する、送信側 MIMO フレーム上での時間・周波数ドメインでの多重化技術と受信側シームレス分離再生技術
- 2) 放送ストリームに対するマルチストリーム MIMO/ダイバーシチ MIMO の無線環境に応じた適応制御技術

等が必要となる。

同時に、ローカル 5G を用いた時に MBS の送信フレームにおける周波数利用効率を高めるため、ローカル 5G の対象セルサイズに基づき、特に、放送ストリームには無線フレーム長を長く、ガードインターバルは短くするなど、無線フレーム長とガードインターバルの最適化、上り下りのフレーム構成、サブキャリア間隔とシンボル長等、現行 5G で規定されている無線パラメータの中から、ローカル 5G 用 MBS のパラメータ値を、IP 放送無線環境下毎に、最適設定する必要がある。

なお、これら検討を進める上で、ハイブリッド MIMO 環境ならびに MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)、FLUTE (File Delivery over Unidirectional Transport) 等の IP 放送環境を一部擬似的に具現化し、各 MIMO 伝送環境下での IP 放送受信の画質分析評価を行うエミュレータ、各 IP 放送提供の無線環境下で無線符号化・映像符号化パラメータに対して周波数利用効率を詳細に分析するシミュレーションソフト開発が必要となる。

イ IP 放送用の周波数可変帯域の効率化技術

MBS では、放送（ブロードキャスト）サービスに使用する周波数帯域と通信

(ユニキャスト) サービスに使用する周波数帯域があるが、これらの可変帯域を必要に応じてリニアに変更することにより、周波数資源の効率的利用を実現しつつ、ブロードキャスト伝送/ユニキャスト伝送のハイブリッド映像伝送により、新たな放送サービスの可能性の探求が求められる。

具体的には

- 1) 通信用トラフィック (ユニキャスト) を基地局 (DU) で監視する技術
- 2) 通信用トラフィック (ユニキャスト) の下限閾値を決め、空きがある場合は通信用帯域 (ユニキャスト) を減らし、放送用帯域 (ブロードキャスト) に割り当てる技術
- 3) 通信用トラフィック (ユニキャスト) の上限閾値を決め、トラフィックが増大してきた場合に放送用帯域 (ブロードキャスト) を減らし、通信用帯域 (ユニキャスト) に割り当てる技術

等が必要となる。

このため、疑似的に通信用トラフィック (ユニキャスト) と放送用帯域 (ブロードキャスト) を発生させ、リニアに帯域を切り替えるシミュレーションソフト開発し、周波数可変帯域を効率化する必要がある。

ウ ローカル 5G を用いた IP 放送用の送受信機機能の実装技術

ローカル 5G を用いた MBS を実現するための送受信機の開発に際しては、

- 1) 送受信機のメモリ、回路サイズの最適化
- 2) モバイル管理等不要な機能の排除による送受信機機能の最少化
- 3) MEC (Mobile Edge Computing) による送受信機能の代用
- 4) 送受信双方での処理遅延/伝送遅延の最小化
- 5) 送受信機、コアネットワークを含めた MBS 機能の最適システム構成

といった IP 放送にカスタマイズしたローカル 5G 送受信機機能の最適化が求められるとともに、前述ア及びイの要素技術を効率的に実装可能とする技術を開発する必要がある。

到達目標

ア IP 放送用の MIMO の多重化技術

ローカル 5G の無線伝送環境に応じて、マルチストリーム MIMO とダイバーシティ MIMO を適応的に放送用ストリームに適用し、エラー耐性強化によりデータ欠損率を効果的に軽減するとともに、通信用ストリームに対してはマルチストリーム MIMO 適用により伝送効率を向上させる、放送と通信のメディアの要件に適合した新しい MIMO 応用技術であるハイブリッド MIMO の多重化技術を開発し、既存の 5G 用周波数 (4.8GHz 帯~4.9GHz 帯) 利用の効率化を目指す。

加えて、ローカル 5G を用いた時に MBS の送信フレームにおける周波数利用効率を高めるため、IP 放送無線環境下毎にハイブリッド MIMO に適合した無線パラメータの最適設定を図る。

当該技術単体で、従来のローカル 5G での MIMO 多重化技術を用いたユニキャスト配信に対して、ブロードキャスト伝送を無線環境によらず安定的に適用し、伝送効率（周波数利用効率）を 2 倍程度向上させることを目指す。

イ IP 放送用の周波数可変帯域の効率化技術

割り当てられたローカル 5G 帯域を最大限利用するため、ユニキャストサービス利用帯域を監視し、時間的に変動する視聴状況に応じてブロードキャストサービス帯域を増幅させる等、ブロードキャストサービスで使用する周波数帯域とユニキャストサービスで使用する周波数帯域の可変帯域を必要に応じてリニアに変更する IP 放送用の周波数可変帯域の効率化技術を開発する。

例えば、ユニキャストサービスのみの場合 $100 \text{ 世帯} \times 10\text{Mbps} = 1\text{Gbps}$ のデータ伝送が必要であるが、ユニキャストサービス+ブロードキャストサービスの構成で、50 世帯が 10 番組のブロードキャストサービスを視聴したと仮定すると、 $50 \text{ 世帯} \times 10\text{Mbps} + 10 \text{ 番組} \times 10\text{Mbps} = 600\text{Mbps}$ となり、400Mbps の帯域削減分はインターネットや他の放送サービス等に有効活用できる。このようにブロードキャストサービス帯域を増やすこと自体が周波数利用効率向上に繋がると考え、最適な帯域比率確立を図る。

また、ユニキャストサービスとブロードキャストサービスを時間的に変動する視聴環境に応じて動的に切り替える新たな放送コンテンツへの対応も想定した帯域の有効活用実現に向けた検討を行う。

通信用トラフィック（ユニキャスト）は、時間帯によって利用率が増幅する傾向にあるため、ユニキャストサービス視聴コンテンツをブロードキャストサービスに切り替え、放送用帯域を増やすことで、ユニキャストのみを使用した場合に比べ、視聴世帯規模と視聴時間帯繊維等の視聴情報で、どの程度の効率化（従来の無線技術であるユニキャスト配信に対して、ユニキャストサービス+ブロードキャストサービスの最適帯域（固定）（上記の例の場合、 $1\text{Gbps} / 600\text{Mbps} = \text{約} 1.7 \text{ 倍}$ ）、ユニキャストサービス+ブロードキャストサービスの最適帯域（動的切り替え）（世帯数や時間帯の条件に応じて周波数利用効率は変化するものの、平均してさらに 2 割程度改善））が図れるか等を検証し、周波数利用効率を 2 倍程度向上させることを目指す。

ウ ローカル 5G を用いた IP 放送用の送受信機機能の実装技術

IP 放送にカスタマイズしたローカル 5G 送受信機機能の最適化のため、

- 1) サブフレーム間でインターリーブを行うことでバーストエラーを低減しつつ、MIMO レイヤを増やし HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest) で合成することで更なるバーストエラーを低減するエラー補正に関して、インターリーブ長や HARQ 有無等による効果を検証することによる、送受信機のメモリや回路サイズの最適化
- 2) モバイル管理等の不要な機能（無線環境が変化するモバイル端末管理の

通信制御機能)を最大限排除し、固定安定受信を前提とした、FWAに特化した最低限の送受信機に必要な機能

3) MEC (Mobile Edge Computing) により、端末受信状況やコンテンツ視聴状況に基づく IP 放送とユニキャスト配信の切替、MPEG-DASH ファイル化適応制御等について MBS で必要となる送受信機能を代用し、送信機に搭載されるコア及び受信機の機能最少化

4) 送信側のエンコーダやセグメント・チャンク順次再生の低遅延化、また、受信側の受信バッファリングを最少化するプレーヤ等の対応により、有無線区間のネットワーク全体の遅延時間を減少させ、無線区間における周波数の占有時間を削減させる低遅延化技術

5) IP マルチキャスト方式の実装を見越したシステム全体構成の最適化設計について検討を行うとともに、これら 1) ~ 5) の実装技術により、これまで無かった、ローカル 5G を用いた IP マルチキャスト方式による放送サービスを実現するための送受信機を開発する。加えて、今回開発する技術と既存技術(ユニキャスト伝送)との比較検証を含む実環境でのフィールド伝送実験を行い、今回開発する技術を実装する機器の有用性を確認検証する。

上記ア~ウの技術を統合して用いた際、ネットワーク全体での周波数利用効率を、既存技術を用いた場合と比べ2倍以上向上させることを目指す。

また、上記ア~ウの研究開発成果について、積極的に 3GPP 等に提案し、国際標準化に寄与する。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下の例を想定している。

<令和6年度>

ア IP 放送用の MIMO の多重化技術

- ・ハイブリッド MIMO の送信側多重化・受信側再生方式の基本検討
- ・ハイブリッド MIMO 送受信エミュレータの設計・開発
- ・無線パラメータ最適化シミュレーションソフトの設計・開発

イ IP 放送用の周波数可変帯域の効率化技術

- ・周波数可変帯域効率化方式の基本検討
- ・周波数可変帯域最適化シミュレータの設計・開発

ウ ローカル 5G を用いた IP 放送用の送受信機機能の実装技術

- ・MBS による IP 放送遅延化要因分析・低遅延化ツール性能評価用環境の構築
- ・MEC 実装評価環境の構築
- ・MBS 対応送受信機の基本設計

<令和7年度>

- ア IP 放送用の MIMO の多重化技術
 - ・ハイブリッド MIMO 多重化方式の性能分析・評価
 - ・課題抽出と改善方式の検討
 - ・システム設計
- イ IP 放送用の周波数可変帯域の効率化技術
 - ・周波数可変帯域効率化方式の性能分析・評価
 - ・課題抽出と改善方式の検討
 - ・システム設計
- ウ ローカル 5G を用いた IP 放送用の送受信機機能の実装技術
 - ・ア及びイの検討に基づく MBS 対応送受信機の基本試作機開発及び性能評価

<令和 8 年度>

- ア IP 放送用の MIMO の多重化技術
 - ・ハイブリッド MIMO 多重化方式の総合評価
- イ IP 放送用の周波数可変帯域の効率化技術
 - ・周波数可変帯域効率化方式の総合評価
- ウ ローカル 5G を用いた IP 放送用の送受信機機能の実装技術
 - ・MBS 対応送受信機基本試作機の改良
 - ・MBS 対応送受信機試作機を用いた統合フィールド実証及び総合評価

5. 実施期間

令和 6 年度から 8 年度までの 3 年間

6. その他

(1) 成果の普及展開に向けた取組等

①国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中及び終了後、速やかに関連する国際標準化規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体及び具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

②実用化への取組

研究開発期間終了後も引き続き取り組む予定の「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」及び令和 13 年度までの実用化・製品展開等を実現するため

に必要な取組を図ることとし、その活動計画・実施方策については、提案書に必ず具体的に記載すること。

(2) 提案および研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めること。また、従来の技術との差異を明確にした上で、技術課題及び目標達成に向けた研究方法、実施計画及び年度目標について具体的かつ実効性のある提案を行うこと。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

なお、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について、研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。

<基本計画書(案)>

近接化・稠密化するモバイル通信機器間における 不要電波の解析・抑制技術の研究開発

1. 目的

近年ロボットやドローン等の普及が進んでおり、今後はより狭い空間でそれらが稠密に利用されるシーンが想定される。すでに、各機器に搭載される無線設備の間で電磁干渉が発生することにより機器の受信感度が劣化し、基地局と機器との通信が不安定化する事例が報告されている。これを回避するため、現状では機器間の離隔距離の過剰な確保、自律移動体の順序動作間の待機時間冗長化により対応している。一方、今後の自律移動体の普及において、モバイル通信機器の利用環境が空中・非地上・地上に拡大し、広域・広帯域かつ安定なワイヤレス通信の需要が増々顕在化すると見込まれる。

前述したとおり、特に工場や農場等のプライベートエリアにおいては、数多くの自律移動体を運用するためにローカル 5G 技術の普及が進められている中で、稠密な自律移動体における不要電波の干渉は、5G における低遅延・高速・大容量の通信性能を阻害する要因の一つであり、とりわけ動画像等の情報データの伝送は自律移動体の安全・安定な運用に影響する。

また、近年の国際学会においては、今後の課題として近接するモバイル機器間のノイズ抑制技術の開発の必要性について指摘がなされており、国内外において、稠密なモバイル通信機器間のノイズ抑制技術が着目されている。

加えて、近接範囲においては筐体レベルのノイズ抑制技術が有効であるものの、現状では、自律移動体の部品、回路、及び筐体レベルのノイズ対策が実施されているのみであり、材料の最適化や、不定形の三次元的筐体に対する実装及び評価技術が未開発である。

そのため、近接範囲における無線通信電波の干渉解析技術、不要電波評価技術及び近接領域を対象とした不要電波の抑制技術を新たに構築する必要性が高まっている。

本研究開発では、複数のモバイル通信機器を運用する際に機器間で発生する不要電波や電波環境を解析する技術および近接領域を対象とした不要電波の抑制技術を確立することで、受信感度の向上及びノイズ抑制効果を実現することにより、電波環境の改善やより効率的な周波数共有を実現することを目的とする。

2. 政策的位置付け

周波数再編アクションプラン（令和5年度版）（案）

別紙 新しい電波利用の実現に向けた研究開発等

2 研究開発課題等

(7) 電波利用環境

- ① 今後、様々な分野においてロボット等の利用拡大が期待される中、自律移動体を制御する無線通信の安定化に向け、電波環境を解析・評価する技術を確立するとともに、自律移動体に実装可能な不要電波を抑制するノイズ抑制体を開発し、電波環境の改善や周波数の効率的な利用を図る。

3. 目標

複数のモバイル通信機器を運用する際に機器間で発生する不要電波や電波環境を解析する技術を確立することで、基地局からの受信電力が低い状況においても受信感度の向上を実現するとともに、自律移動体の筐体を対象とした耐環境性能に優れたノイズ抑制体とその設計技術を確立することで、従来と同じ厚みで、三次元的な筐体上で反射成分と直接波成分の全体に対して 10dB 以上のノイズ抑制効果を実現することにより、電波環境の改善や効率的な周波数共用を実現する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

稠密に配置された自律移動体の安全・安定な運用に影響する情報データを適切に伝送するためには、自律移動体に搭載されたモバイル通信機器間での不要電波の干渉等の解決が不可欠となることから、以下の2技術課題に取り組む。

ア 自律移動体群による動的な電波環境の評価と解析技術

- (a) ローカル 5G フィールドにおける自律移動体群による動的な電波環境評価技術
- (b) 電波反射箱を用いた自律移動体の不要電波測定とモデル化技術

イ 近接範囲における機器間ノイズ抑制技術

- (a) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の開発
- (b) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の測定技術
- (c) 統合試験による性能検証

(2) 技術課題及び到達目標

技術課題

ア 自律移動体群による動的な電波環境の評価と解析技術

ローカル 5G フィールドにおいて、不要電波の計測・解析技術、無線通信電波干渉の評価・解析技術、及び自律移動体において移動通信を利用する機能に及ぼす影響の予測技術を確立するとともに、複数の自律移動体がモバイル通信を利用する際の電波干渉対策の指針を構築する。また、技術課題イによるノイズ対策についてモバイル通信の受信感度を指標として評価する。

- (a) ローカル 5G フィールドにおける自律移動体群による動的な電波環境評価

技術

ローカル 5G フィールドにおけるロボットやドローン等の自律移動体群による動的な電波環境評価技術を開発する。ローカル 5G の運用エリアにおいて、自律移動体を利用する複数の通信方式に対応するため、ローカル 5G 通信及びキャリア移動通信、無線 LAN 等に割当てられる周波数帯域を包含する 700 MHz～6 GHz の周波数領域を対象とする。複数の自律移動体が稼働する状況において、機体の内部及び周囲近傍で観測される不要電波を計測し、無線通信電波干渉を解析する手法及び機体の移動通信を利用する機能への影響を予測する手法を開発する。また、技術課題ア(a)(b)の連携により、複数の自律移動体がモバイル通信を利用する際の電波干渉対策の指針を構築する。

(b) 電波反射箱を用いた自律移動体の不要電波測定とモデル化技術

ローカル 5G 端末の測定に利用される電波反射箱を不要電波の測定に応用して、不要電波の周波数及び帯域幅に対する電波反射箱の電気的特性の評価を実施し、それら評価に基づいた測定系の最適化による高確度測定のための不要電波計測技術を開発する。さらに、開発した計測技術による自律移動体の不要波測定により、稠密度の変化に対する不要電波の統計的特性の変化を評価できるモデルを確立する。

イ 近接範囲における機器間ノイズ抑制技術

稠密に運用されるモバイル通信機器からの不要電波の発生と受信機への混入を抑制するため、三次元的に実装可能な耐環境性能に優れたノイズ抑制体とその測定技術を開発する。これにより、従来と同じ厚みで、三次元的な筐体上で 10dB 以上のノイズ抑制効果を実現する。また、技術課題アによるモバイル通信の受信感度を指標として、ノイズ対策の効果について評価する。

(a) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の開発

可撓性に優れ多様な筐体への実装性を確保するため従来と同じ厚みで、三次元的な筐体上で 10dB 以上のノイズ抑制効果を実現可能な極薄のノイズ抑制シート、及び 10dB 以上のノイズ抑制効果を実現可能な筐体への塗布型ノイズ抑制体を開発する。塗布型ノイズ抑制体では、塗布厚のばらつきを低減し対象周波数において所期のノイズ抑制性能を確保するための実装技術、及びばらつきを最大限許容できる設計法を開発する。

(b) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の測定技術

多様な曲率半径を持つ三次元的筐体表面でノイズ抑制体の複素比透磁率と複素比誘電率を計測可能とする技術を開発する。これに基づいて、実装前後における複素比透磁率及び複素比誘電率の相違を明らかにする。これ

らの研究開発の成果に基づき、規格文書発行のための活動を行う。無線通信性能を勘案したノイズ抑制体の測定技術を開発し、技術課題イ(a)で開発するノイズ抑制体の性能を検証する。

(c) 統合試験による性能検証

複数の Wi-Fi 機器等が近接配置された静的な簡易検証環境を構築し、機器筐体へ技術課題イ(a)により開発するノイズ抑制体を実装することにより、性能検証を簡易かつ短サイクルで予備的に実施し、技術課題イ(a)によるノイズ抑制体の性能改善に資するとともに、最終年度には、技術課題アとの連携により、自律移動体に搭載されたモバイル通信機器間での不要電波の干渉等の抑制が可能であることを実証する。

到達目標

ア 自律移動体群による動的な電波環境の評価と解析技術

ローカル 5G を主なターゲットとして、不要電波の解析技術及び電波の干渉解析技術を確立し、多数のモバイル通信機器を運用する際の電波干渉対策の指針を構築する。

(a) ローカル 5G フィールドにおける自律移動体群による動的な電波環境評価技術

- ・ ローカル 5G の運用エリアにおいて、ローカル 5G 通信及びキャリア移動通信の利用する周波数帯域を含む 700 MHz～6 GHz の周波数範囲の電磁ノイズを、複数の自律移動体が稼働する状態で、機体の内部及び周囲 1 メートル程度以内の近傍で数分程度の時間長にわたり計測・記録する。
- ・ 電磁ノイズの時間変化と空間分布及び無線通信電波の干渉を通信システムシミュレーションにより解析・可視化する。
- ・ 機体の移動通信を利用する機能への影響を予測する。また、機体への不要電波の対策効果を評価するための試験環境を構築する。
- ・ 技術課題ア(a)(b)の連携により、複数の自律移動体がモバイル通信を利用する際の電波干渉対策の指針を構築する。
- ・ 技術課題ア・イの連携により、28 GHz 以上の高い周波数の電磁ノイズデータを評価・収集する。

上記の技術を確立し、ローカル 5G フィールドにおける自律移動体群による動的な電波環境の評価を実現する。

(b) 電波反射箱を用いた自律移動体の不要電波測定とモデル化技術

- ・ 技術課題ア(a)と連携し、実際の環境データとの比較によって、複数の自律移動体における不要電波評価法の有効性を明らかにし、700 MHz～6 GHz における不要電波測定技術を確立する。

- ・ 不要電波の統計情報に基づき、無線保護のための不要電波許容値を定めるための確率モデルを開発し、国際標準となるような関連会合において提案する。
上記の技術を確立し、近接化・稠密化するモバイル通信機器間における不要電波の精密測定技術を実現する。また、例えば、技術課題ア(a)の実フィールド評価と連携して得られた電波環境データ等の研究成果を公開する等、広く成果展開することを目指す。

イ 近接範囲における機器間ノイズ抑制技術

稠密に運用されるモバイル通信機器からの不要電波を抑制するため、三次元的に実装可能な耐環境性能に優れたノイズ抑制体とその測定技術を開発する。

(a) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の開発

- ・ 可撓性に優れ多様な筐体への実装性を確保するため従来と同じ厚みで、三次元的な筐体上で反射成分と直接波成分の全体に対して 10dB 以上のノイズ抑制効果を実現可能な極薄のノイズ抑制シートを開発する。
- ・ 前項と同一条件において 10dB 以上のノイズ抑制効果を実現可能な筐体への塗布型ノイズ抑制体を開発する。
- ・ 塗布型ノイズ抑制体の塗布厚のばらつきを±30 %以内とする実装技術、及びばらつきを最大限許容できる実装設計法を開発する。

(b) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の測定技術

・ 材料計測技術

多様な曲率半径を持つ三次元的筐体表面での測定を可能とする技術を開発する。その研究開発の成果に基づき、規格文書の発行に寄与する。・ 近接空間におけるノイズ抑制性能の測定技術

新しいノイズ抑制体による機器間ノイズ抑制性能を検証するため、無線通信性能を勘案した測定技術を開発する。

所期のノイズ抑制性能を得るために必要な複素比誘電率、複素比透磁率の実部、虚部のそれぞれの大きさを、周波数に対応した設計指針として誤差範囲を含めて明らかにする。

(c) 統合試験による性能検証

技術課題イ(a)により開発された各種ノイズ抑制体の中から、近接範囲における機器間ノイズを 10 dB 以上抑制可能なノイズ抑制体を選定するための静的な簡易検証環境を構築する。

技術課題アとの連携により、ローカル 5G システムを対象として、自律移動体に搭載されたモバイル通信機器間での不要電波の干渉等の抑制が可能であることを検証する。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下の例を想定している。

<令和6年度>

ア 自律移動体群による動的な電波環境の評価と解析技術

(a) ローカル 5G フィールドにおける自律移動体群による動的な電波環境評価技術

- ・ローカル 5G フィールドにおける機体の内部及び機体の周囲 1メートル以内程度の近傍の電磁ノイズを長時間計測する技術の検討及び試行
- ・電磁ノイズ計測データの解析・可視化技術及び無線通信電波干渉シミュレーションの検討及び試行

(b) 電波反射箱を用いた自律移動体の不要電波測定とモデル化技術

- ・電波反射箱の基本特性評価及び不要電波測定環境の構築
- ・近接 EMC の国際標準化に関する基礎検討

イ 近接範囲における機器間ノイズ抑制技術

(a) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の開発

シート及び塗布体の候補材料抽出・実装技術基礎検討

- ・極薄ノイズ抑制シート及び塗布型ノイズ抑制体の候補材料の抽出
- ・塗布型ノイズ抑制体の実装技術の基礎検討及び試行

(b) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の測定技術材料測定法・機器間ノイズ評価環境の基礎検討と IEC 規格化活動

- ・平面状ノイズ抑制シート及び塗布型ノイズ抑制体の複素比透磁率及び複素比誘電率の測定に関する基礎検討及び試行
- ・ノイズ抑制シートの複素比透磁率及び複素比誘電率の測定法の規格文書化に関する検討
- ・機器間ノイズ評価環境の設計と基本性能確認

(c) 統合試験による性能検証

一次性能簡易検証

- ・複数の Wi-Fi 機器等を近接配置した機器間の通信性能及びノイズ低減効果等を評価するための静的な簡易検証環境の一次設計と基本性能確認

<令和7年度>

ア 自律移動体群による動的な電波環境の評価と解析技術

(a) ローカル 5G フィールドにおける自律移動体群による動的な電波環境評価技術

- ・ローカル 5G フィールドにおける 700 MHz～6 GHz の周波数範囲で機体の内部及び機体の周囲 1m 程度の近傍における電磁ノイズを長時間計測する技術の構築及び 2 機以上の自律移動体における電磁ノイズのデータ収集
- ・電磁ノイズ計測データの解析・可視化技術及びローカル 5G 無線通信における電波干渉シミュレーションの実装及びデータ収集

(b) 電波反射箱を用いた自律移動体の不要電波測定とモデル化技術

- ・自律移動体を対象とした電波反射箱を用いた不要電波測定最適条件の究明
- ・自律移動体の不要電波モデルの基本検討

イ 近接範囲における機器間ノイズ抑制技術

(a) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の開発

シート及び塗布体の一次試作・実装指針の抽出

- ・三次元筐体を模擬した円筒及び球面上において以下を実施（一次試作）
厚さ 50 μm 以下の薄手ノイズ抑制シートにおける微粒子の種類及びシート厚とノイズ抑制性能との関係を明確化
- ・塗布型ノイズ抑制体の塗布厚のばらつきを低減する実装指針の抽出

(b) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の測定技術

材料測定法・機器間ノイズ評価環境の開発（一次試作）と IEC 規格化活動

- ・模擬的三次元筐体上に実装したノイズ抑制体の複素比透磁率及び複素比誘電率を誤差 60 %以内で計測可能な設計指針を明確化
- ・無線機またはそのモジュールに実装されたノイズ抑制シート及び塗布型ノイズ抑制体の複素比透磁率及び複素比誘電率を計測可能であることを実証
- ・平面型ノイズ抑制シートの複素比透磁率及び複素比誘電率の測定法の規格文書化活動

(c) 統合試験による性能検証

二次性能簡易検証

- ・複数の Wi-Fi 機器等を近接配置した機器間の通信性能及びノイズ低減効果の静的な簡易検証環境の二次構築と既存ノイズ抑制体による性能検証。

<令和 8 年度>

ア 自律移動体群による動的な電波環境の評価と解析技術

(a) ローカル 5G フィールドにおける自律移動体群による動的な電波環境評価技術

- ・ローカル 5G フィールドにおける 700 MHz～6 GHz の周波数範囲で機体内部・機体近傍の電磁ノイズを計測する技術による電磁ノイズのデータ収集
- ・ローカル 5G フィールドにおける電磁ノイズが機体の移動通信を利用する機

能に及ぼす影響の予測手法の検討と実機による評価データ収集

- ・技術課題イとの連携により、機体内部で1 GHz以上の高い周波数で動作する電子機器による26 GHz～30 GHzの電磁ノイズを計測する技術の構築および電磁ノイズのデータ収集

(b) 電波反射箱を用いた自律移動体の不要電波測定とモデル化技術

- ・複数の自律移動体における電波反射箱を用いた不要電波評価法の確立
- ・自律移動体の不要電波強度の確率分布モデルの構築

イ 近接範囲における機器間ノイズ抑制技術

(a) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の開発

シート及び塗布体の二次試作・実装精度基礎検証

- ・三次元筐体を模擬した円筒及び球面上において以下を実施（二次試作）
 - 厚さ50 μm 以下のノイズ抑制シートによる電磁ノイズの5dB以上の低減
 - 塗布型ノイズ抑制体による5dB以上の電磁ノイズの低減
- ・塗布型ノイズ抑制体について、単層の場合は塗布厚のばらつきを $\pm 30\%$ 以内に制御可能であることを実証。複数層の場合は塗布厚のばらつきを $\pm 30\%$ 以内に制御するための要件の明確化

(b) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の測定技術

材料測定法・機器間ノイズ評価環境の開発（二次試作）とIEC規格化活動

- ・不定形の三次元的筐体を実装したノイズ抑制体について、複素比透磁率及び複素比誘電率を誤差60%以内で計測可能であることを実証。誤差を30%以内に低減するための設計指針の明確化
- ・技術課題イ(a)で開発するノイズ抑制体を組み込んだ三次元筐体からの電磁ノイズ低減効果を評価可能であることを検証

(c) 統合試験による性能検証

統合試験の準備

- ・複数のWi-Fi機器等を近接配置した機器間の通信性能及びノイズ低減効果の静的な簡易検証環境により、技術課題イ(a)で開発したノイズ抑制体による電磁ノイズ抑制効果の評価
- ・ノイズ抑制体に必要な設計要件を技術課題イ(a)へフィードバック。この際、可能であれば、病院のWi-Fiシステム等に適用可能な実用的な設計要件として纏める。

<令和9年度>

ア 自律移動体群による動的な電波環境の評価と解析技術

(a) ローカル5Gフィールドにおける自律移動体群による動的な電波環境評価

技術

- ・ローカル 5G フィールドにおける複数の自律移動体における電波環境を評価する試験環境の構築と総合試験の実施
- ・技術課題ア (a) (b) の連携による複数の自律移動体がモバイル通信を利用する際の電波干渉対策指針の構築
- ・技術課題イの電磁ノイズ対策による移動通信受信性能の改善効果の評価及び機体の移動通信を利用する機能に及ぼす影響の改善効果の予測と実証

(b) 電波反射箱を用いた自律移動体の不要電波測定とモデル化技術

- ・自律移動体の不要電波における電波反射箱を用いたローカル 5G への干渉影響の解明
- ・ローカル 5G の保護を目的とした複数の自律移動体の不要電波許容値設定モデルの構築

イ 近接範囲における機器間ノイズ抑制技術

(a) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の開発

シート及び塗布体の目標性能検証

- ・三次元筐体を模擬した円筒及び球面上において以下を実施
厚さ 50 μm 以下のノイズ抑制シートにより電磁ノイズを 10dB 以上低減可能であることを検証
塗布型ノイズ抑制体により電磁ノイズを 10dB 以上低減可能であることを検証
- ・塗布型ノイズ抑制体複数層の場合に、塗布厚のばらつきを $\pm 30\%$ 以内に制御可能であることを検証

(b) 機器間ノイズ抑制のための新しいノイズ抑制体の測定技術

測定法の目標性能検証

- ・三次元筐体に実装したノイズ抑制体について、複素比透磁率及び複素比誘電率を誤差 30 %以内で計測可能であることを実証
- ・ノイズ抑制体の適用により三次元筐体からの電磁ノイズを 10dB 以上低減可能であることを実証
- ・ノイズ抑制体材料の透磁率、誘電率等の物性定数と三次元筐体からのノイズの関係を明確化。これにより、複素比誘電率、複素比透磁率の実部、虚部のそれぞれの大きさを、周波数に対応した設計指針として誤差範囲を含めて明らかにする。

(c) 統合試験による性能検証

統合試験の実施

- ・複数の Wi-Fi 機器等を近接配置した機器間の通信性能及びノイズ低減効果の

静的な簡易検証環境により、技術課題イ(a)で開発したノイズ抑制体により10dB以上のノイズ抑制効果が得られることを検証

- ・ 技術課題イ(a)で得られたノイズ抑制体によるノイズ低減及びモバイル機器間通信性能向上の知見を、技術課題アで開発する自律移動体の電波環境評価技術と統合し、複数の自律移動体間の電波干渉対策の設計指針を明確化
- ・ 技術課題アとイによる研究開発成果を総合的に公開し、通信事業者や関連企業等からのフィードバックを得て、最終段階の研究開発に反映させる。

5. 実施期間

令和6年度から9年度までの4年間

6. その他

(1) 成果の普及展開に向けた取組等

①国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中及び終了後、速やかに関連する国際標準化規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体及び具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

②実用化への取組

研究開発期間終了後も引き続き取り組む予定の「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」及び研究開発終了から5年後までの実用化・製品展開等を実現するために必要な取組を図ることとし、その活動計画・実施方策については、提案書に必ず具体的に記載すること。

(2) 提案及び研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めること。また、従来技術との差異を明確にした上で、技術課題及び目標達成に向けた研究方法、実施計画及び年度目標について具体的かつ実効性のある提案を行うこと。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

なお、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について、研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。

<基本計画書(案)>

ミリ波帯等における移動通信システムの展開に関する研究開発

1. 目的

国際的に 71GHz までの高い周波数帯が IMT 特定されており、我が国においても 28GHz 帯が既に携帯電話事業者に割当済みであるが、5G トラヒックはローバンドから Sub6 (3.7-4.5GHz 帯) によるものが大勢を占めており、ミリ波 (26、28、40GHz 帯) によるトラヒックは僅少である。これは、Sub6 以下と比べてミリ波の直進性が高く、伝搬距離が短い等の理由によりエリア設計が困難なためである。28GHz 帯は全国携帯電話事業者だけでなくローカル 5G にも利用されている帯域であり、今後、デジタル田園都市国家構想を実現するためにもミリ波帯におけるエリア設計の容易化等が必要である。また、移動通信トラヒックは増加 (5年で約3倍のペース) を続けており、世界的にもミリ波の利用に向けた議論が進展している状況を踏まえれば、移動通信システムにおけるミリ波の展開を推し進めることは喫緊の課題である。

また、既にローカル 5G の展開において課題が表面化しているとおおり、異免許人が同一周波数帯かつ隣接するエリアの利用を希望する場合の重複するカバーエリアへの対応が課題となっている。さらに今後は地域ごとの免許付与や、開設指針の達成状況に応じた割り当ての見直しなどにより、複数の免許人が同一周波数帯をエリアを分けながら移動通信システムを運用することも想定され、重複するカバーエリアにおいてお互いの電波の干渉を回避する方策の確立が望まれている。

さらには、ミリ波より直進性が低くエリア構築の容易な高マイクロ波帯 (6-24GHz) の移動通信システムへの利用について世界的に関心が高まっており、WRC-27 に向けて、我が国を含む第三地域としては 7125-8400MHz 及び 14.8-15.35GHz を対象に新たな IMT 特定の議論が行われることとなっている。このような状況を踏まえれば、増加を続ける移動通信トラヒックへの対応として、同周波数帯の利用方策についても検討していく必要があるが、既存システムが多数運用されている周波数帯であるため、移動通信システムと既存システムを高度の共存させる技術が求められている。

上記のいずれの課題も既に顕在化している若しくは数年以内に顕在化することが見込まれるものとなっていることからこれらに並行して取り組んでいき、また、総務省が令和5年度までに「仮想空間における電波模擬システム技術の高度化に向けた研究開発」にて構築したワイヤレスエミュレータを活用することで、移動通信システムの展開を推進していくことを目的とする。

2. 政策的位置付け

- 「経済財政運営と改革の基本方針 2023」(骨太の方針、令和5年6月16日閣議決定)
「第2章5 (地域・中小企業の活性化)」において、「デジタル実装の前提とな

る5G、光ファイバ等のデジタル基盤について全国津々浦々で整備を推進するとともに（中略）Beyond 5Gの研究開発等を進める。」旨の記載あり。

- 「デジタル田園都市国家構想基本方針」（令和4年6月7日閣議決定）
「第2章 デジタル田園都市国家構想の実現に向けた方向性（2）デジタル田園都市国家構想を支えるハード・ソフトのデジタル基盤整備 ①デジタルインフラの整備」において、「デジタル田園都市国家構想の実現のためには、光ファイバ、5G、データセンターや海底ケーブルなどの通信インフラの整備が不可欠であることから、「デジタル田園都市国家インフラ整備計画」（令和4年3月29日公表）の実行等により、これらのインフラ整備を地方のニーズに即してスピード感をもって推進する。」旨の記載あり。
- 「デジタル田園都市国家インフラ整備計画（改訂版）」（令和5年4月25日）
「2-2 ワイヤレス・IoT インフラ（5G等） 2-2-3 ワイヤレス・IoTソリューション（3）具体的施策」において、「5G等の特長を実感できるような、かつ、地域の課題解決ニーズに即した先進的なソリューションの実証に取り組み、社会実装に向けたボトルネックの解消等を図るとともに、その成果を踏まえて、地域における実装計画の策定や社会実装に必要となるデジタル基盤の構築を推進する。」旨の記載あり。

3. 目標

近年、Network Controlled Repeater (NCR) や Reconfigurable Intelligent Surface (RIS) 等のミリ波中継器によるカバレッジ拡大が期待されており、カバレッジ拡張技術の検討が既に実施されているが、ミリ波中継器を用いてユーザに最適な電波環境を提供するためには、基地局と連携した無線リソース制御が必要である。そこで、ミリ波中継器によるカバレッジ改善は前提とした上でミリ波中継器と基地局の連携動作によるミリ波帯エリア構築技術を確立し、実効的なスループットを2倍に向上させる。

また、同一の周波数帯で異なる免許人が隣接エリアで移動通信システムを運用する場合に必要な干渉低減手法を開発し、各基地局のカバーエリア（面積）を導入前と比較して15%以上拡大し、一部エリアがオーバーラップした場合においても従前同様の安定した通信を実現する。

さらには、高マイクロ波帯において既存システムと移動通信システムが共存する利用モデルを想定し、電波センサを活用した電波保護領域の推定や、無線システムの利用状況や伝搬路状況に合わせた無線パラメータの動的な制御等を組み合わせることで、従来の周波数共用技術では利用が困難である空き周波数リソースの20%以上の共用を実現する。

これらに加え、上記の研究開発の効果的实施及び実装に必要な周波数管理基盤技術を確立するため、ワイヤレスエミュレータを高マイクロ波帯・ミリ波帯に対

応させるとともに、帯域幅 800MHz への対応を実現する。ワイヤレスエミュレータ上で再現する電波伝搬の環境としては、より現実に即した環境の再現のため、多数のモノ・ヒトが存在する状況への対応を実現する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

「1. 目的」に記載の課題を解決するため、仮想空間上での周波数管理手法を用いつつ、ミリ波帯におけるエリア構築技術、移動通信システムエリア間の干渉低減技術、高マイクロ波帯の各種システムとの間の周波数共用技術を確立する。

(2) 技術課題及び到達目標

技術課題

ア ミリ波高度化技術の協調動作によるエリア構築技術

ア－1：ミリ波帯の電波伝搬モデル化技術の高度化

ミリ波中継器は、ビル壁面等の多様な設置場所での利用が考えられるため、従来の基地局・端末間とは電波伝搬特性が異なることが想定される。そのため、仮想空間上でミリ波中継器を利用したミリ波高度化技術の検討及び評価を行うためには、上記のとおり想定される利用環境で適用可能な電波伝搬モデルが必要となる。そこで、当該環境における電波伝搬特性の測定を行い、実測データに基づいた電波伝搬モデルを構築する。

ア－2：ミリ波高度化技術のエミュレーション技術

多数のミリ波中継器が設置された環境を考慮したエリア構築技術を効率的に評価及び検証するためには、仮想空間において無線通信の振る舞いを模擬するワイヤレスエミュレータの活用が期待される。そこで、技術課題エが開発する周波数管理基盤上の模擬環境においてミリ波中継器の振る舞いを模擬するためのエミュレーション技術を確立する。

ア－3：ミリ波高度化技術の連携制御技術

多数のミリ波中継器が設置された環境においてミリ波帯カバレッジ及び無線品質を改善するためには、基地局と中継器が連携し、ビーム方向等の無線リソースを効率的に制御する必要がある。そこで、基地局と多数の中継器が連携動作するための制御技術を確立する。

イ 移動通信システムエリア間の干渉低減技術

イ－1：サービスエリア重複時における協調制御による干渉軽減技術

基地局間の協調方式として、(1) コアネットワークによる動的調整手法、(2) 各基地局の制御信号に運用調整情報を重畳した制御手法、(3) 5Gネットワーク以外の管理エンティティ(運用データベース等)による調整手法を開発する。

本技術により、カバーエリアが重複した場合であっても、各基地局の利用状況に応じて送信電力や指向性を協調的に制御することで、それぞれの基地局に紐付く端末の通信に影響を与えない干渉低減技術を確立する。

イー２：サービスエリア重複時における自律制御による干渉軽減技術

カバーエリアが重複した場合であっても、各免許人の基地局が自律的に干渉影響を避けるために、相互に干渉が発生しにくいリソースブロックの利用パターンを複数設定しておき、当該エリアにおける周波数の混雑状況に応じて自律的に最適なパターンを選択・適用することにより、衝突(干渉)の発生確率を可能な限り最小化する自律リソース割り当てによる干渉低減技術を確立する。

イー３：模擬環境における干渉低減技術のエミュレーション技術

イー１及びイー２の干渉低減技術を実システムに影響を与えずに効率的に評価及び検証するためには、通信システムの運用を仮想空間において模擬可能なワイヤレスエミュレータの活用が有効である。そこで技術課題工が開発する周波数管理基盤上の模擬環境において干渉低減技術の適用を可能とするエミュレーション技術を開発し、イー１及びイー２の干渉低減技術の有効性を評価する。また、既存のテストベッドを活用した実環境評価を行い、模擬環境での評価結果と比較検証する。

ウ 高マイクロ波帯の各種システムとの間の周波数共用技術

ウー１：周波数共用無線通信技術の高度化

従来の動的な周波数共用の仕組みでは、既存システムを干渉から守るために必要な離隔距離（以下、「電波保護領域」という。）を過大に見積もっている可能性があるため、単独もしくは基地局や端末に実装した電波センサによる電波センシング結果を利用して電波保護領域を動的に推定する電波保護領域推定技術を確立する。また、電波保護領域の推定結果を用いて無線システム間の離隔距離を小さくするための、空き周波数リソース検出技術を確立する。さらに、高マイクロ波帯の電波伝搬特性の測定を行い実測データに基づいた電波伝搬モデルを構築することで、ワイヤレスエミュレータによる電波伝搬模擬を実現し、合わせて、周波数利用情報の管理、電波保護領域可視化を行うことで、周波数共用無線通信技術を高度化する。

ウー２：高度周波数共用無線システム技術

高マイクロ波帯において、既存システムとの効果的な周波数共用を行うためには、既存システムの電波保護領域に影響を与えない範囲で最大限に空き周波数リソースを利用することが必要である。そのため、既存システムの電波発射状況等の無線環境に合わせて送信電力やビーム方向等の無線パラメー

タを動的に制御し他の無線システムの通信の保護を行う動的無線パラメータ可変技術を確立する。また、移動通信システム間において、周波数共用無線通信技術と組み合わせて自律的に無線パラメータを制御することで通信エリアの設定等を行う自律的無線パラメータ可変制御技術を確立する。

ウー3：高マイクロ波帯における周波数共用実証

ウー1及びウー2で研究開発される高マイクロ波帯周波数共用無線システムの評価実証を、技術課題エとの連携により、ワイヤレスエミュレータを活用して行うとともに、動画像伝送といったリアルタイムアプリケーション利用を想定した高マイクロ波帯周波数共用無線システムの屋外実証実験を行う。

エ 周波数管理基盤技術

エー1：高マイクロ波帯・ミリ波帯に対応する実無線機模擬インタフェース技術

ワイヤレスエミュレータと評価用無線機との接続インタフェースについて、技術課題ア～ウで開発される各技術をワイヤレスエミュレータ上で検証することを念頭に、高マイクロ波帯及びミリ波帯への対応や、次世代の通信方式へ適用させるための技術を確立する。

エー2：多様な検証環境再現のための電波環境モデル化技術の高度化

技術課題ア～ウで開発される電波伝搬モデルや各技術をワイヤレスエミュレータ上で多様な検証環境のもとで再現するためには、無線リンクの多様かつ精緻なエミュレーションが必要である。そのため、屋外環境における地形や建造物等による電波遮蔽・回折等の影響の適切なモデル化と、商業施設、空港、駅構内などの典型的な屋内環境における多数のヒト・モノが混在する条件での電波干渉模擬手法の開発を行う。

エー3：エミュレーション情報の外部提供手法の高度化

技術課題ア～ウで開発される各技術をワイヤレスエミュレータ上で再現するだけでなく、それぞれの技術課題が目的とする実社会上の課題を解決するためには、ワイヤレスエミュレータと外部の制御システムとの連携した動作が必要である。そのため、ワイヤレスエミュレータ上で再現される無線機の設置場所、設置形状や各種無線諸元及び空間上の電波伝搬状況等をデータベースとして管理する技術を構築し、それらを表現するための適切なパラメータ定義及びその組合せを検討するとともに、外部システムへ提供する手法の開発を行う。

到達目標

ア ミリ波高度化技術の協調動作によるエリア構築技術

- ミリ波中継器の利用が想定される環境において、総務省で研究開発を進めているワイヤレスエミュレータと同等の、実測値との決定係数 0.8 以上の精度となる電波伝搬モデルを構築する。
- ワイヤレスエミュレータが対応する最大信号帯域幅に対応したミリ波帯中継器をソフトウェアもしくはハードウェアで模擬し、ワイヤレスエミュレータにおける基地局及び端末と連携するエミュレーション技術確立する。
- 基地局と多数の中継器の無線リソース制御方式を確立する。また、ワイヤレスエミュレータを用いて、屋外・都市環境を対象とした評価を行い、5年で約3倍に増加する移動通信トラフィックへの対応のため、本制御技術を適用しない場合と比較して、2倍のスループットを実現する。

イ 移動通信システムエリア間の干渉低減技術

- 協調制御技術を開発・確立し、異なる免許人が近接して開設する移動通信システムの基地局間の干渉を軽減し、当該基地局間にこれまで必要だった離隔距離を短縮することで、各基地局が通信可能なエリア（カバーエリア）について、開発前の基地局と比し、面積率で15%以上向上させる。
- 自律制御技術を開発・確立し、異なる免許人が近接して開設する移動通信システムの基地局間の干渉を軽減し、当該基地局間にこれまで必要だった離隔距離を短縮することで、各基地局が通信可能なエリア（カバーエリア）について、開発前の基地局と比し、面積率で15%以上向上させる。
- 上記の技術を状況や運用形態に合わせて適宜組み合わせる方法確立し、複数の基地局から構成されるカバーエリアを15%以上拡大しつつ、一部エリアがオーバーラップした場合においても従前同様の安定した通信を実現する。

ウ 高マイクロ波帯の各種システムとの間の周波数共用技術

- 高マイクロ波帯で運用する無線システムについて、総務省で研究開発を進めているワイヤレスエミュレータと同等の、実測値との決定係数 0.8 以上の精度となる電波伝搬モデルを構築する。また、ワイヤレスエミュレータ上で電波保護領域推定及び空き周波数リソース検出を行うことで、従来の周波数共用技術では利用が困難である空き周波数リソースの10%以上を共用可能とする。なお、単独で設置される電波センサの数は必要最小限に抑えることとする。
- 動的無線パラメータ可変技術及び自律的無線パラメータ可変制御技術確立し、従来の停波のみで運用する周波数共用技術では利用が困難である空き周波数リソースの10%以上を共用可能とする。
- 上記の手法を組み合わせることで、既存システムと移動通信システムの共存を促進し移動通信システムの更なる展開を確保するため、従来の周

波数共用技術では利用が困難である空き周波数リソースの 20%以上を共用可能とする。

エ 周波数管理基盤技術

- 高マイクロ波帯及びミリ波帯に対応し、かつ帯域幅 800MHz に対応する実無線機模擬インタフェースを開発するとともに、技術課題ア～ウの実無線機のエミュレーションによる評価を可能とする電波環境モデル化技術を確立する。
- 移動通信システムに係る検証のため、100 局以上の無線局の電波伝搬特性をリアルタイムに再現可能なデータベースを開発し、技術課題ア～ウで開発する各技術の評価を行う。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下の例を想定している。

<令和6年度>

ア ミリ波高度化技術の協調動作によるエリア構築技術

- ミリ波中継器の設置環境に応じたミリ波帯電波伝搬特性の実測データの取得方法の基礎検討を行う。また、ミリ波中継器の設置環境を想定した電波伝搬特性のモデル化の基本方式を確立する。
- ミリ波中継器を考慮した電波伝搬モデルをワイヤレスエミュレータにて実現する方法の検討を行う。ワイヤレスエミュレータにおける基地局と端末間のエミュレーション手法を考慮し、中継器の模擬手法の基本設計を行う。
- 単一の基地局及び複数のミリ波中継器を対象として、基地局及び中継器のリソース制御方式の基本方式を確立する。

イ 移動通信システムエリア間の干渉低減技術

- 協調制御技術について基本方式設計を行い、机上検討及び評価によって課題等の抽出を行う。
- 自律制御技術について、2 台の基地局間において干渉低減が可能なリソース割当てスケジューリングを基地局間の距離によってパターンを整理し、それをもとに一次試作を行い、実現性について評価する。

ウ 高マイクロ波帯の各種システムとの間の周波数共用技術

- 電波保護領域推定技術、空き周波数リソース検出技術、周波数共用無線通信技術の基礎開発を行い、基本方式を確立する。
- 動的・自律的無線パラメータ制御アルゴリズムの基礎開発を行い、基本方

式を確立する。

- 高マイクロ波帯移動通信システムの基地局・端末の基礎試作、動作確認を行う。また、電波伝搬特性の実測データの取得方法の基礎検討を行うとともに、電波伝搬特性のモデル化の基本方式を確立する。

エ 周波数管理基盤技術

- 高マイクロ波帯・ミリ波帯への対応及び 800MHz 帯域幅への対応を実現するための実無線機模擬インタフェース拡張に関する基礎開発を行い、課題を抽出する。
- ワイヤレスエミュレータ上で再現することが必要となる電波伝搬モデル及び環境モデルの基礎検討を行う。
- 100 局以上の無線局の電波伝搬特性をリアルタイムに再現することを目的として、データベースに基づき無線機協調動作を制御するための基本機能を開発し、課題を抽出する。

<令和7年度>

ア ミリ波高度化技術の協調動作によるエリア構築技術

- ミリ波帯電波伝搬特性の実測データを取得し、実測に基づき電波伝搬モデルの改良を行う。
- ワイヤレスエミュレータにおけるミリ波中継器の電波伝搬モデルの実現方法の仕様を作成し、技術課題エへ提供する。また、令和6年度の基本設計に基づき、中継器模擬機能を有する装置の試作を完了する。さらに、ワイヤレスエミュレータとの接続インタフェース等の仕様を策定する。
- 複数の基地局及び複数のミリ波中継器を対象として、基地局及び中継器のリソース制御方式の改良を行う。

イ 移動通信システムエリア間の干渉低減技術

- 協調制御技術について、令和6年度に開発した方式をより多数の基地局が近接した場合に対応できるように拡張を行う。装置の試作を行い、模擬環境上にて機能性の評価を行う。
- 自律制御技術について、令和6年度に開発した方式を拡張し、3～5台の基地局が近接した場合にも適用可能なリソース割当てスケジューリングのパターンを開発する。それをもとに二次試作を行い、性能について評価する。

ウ 高マイクロ波帯の各種システムとの間の周波数共用技術

- 電波保護領域推定技術、空き周波数リソース検出技術、周波数共用無線通信技術の改良及び結合を行う。
- 動的・自律的無線パラメータ制御アルゴリズムの基本方式の改良を行い、

基礎評価を行う。

- 令和6年度に試作した高マイクロ波帯基地局・端末の改良を行い、手動で無線パラメータを切替可能な高マイクロ波帯基地局・端末を開発する。また、実測に基づき電波伝搬モデルの改良を行うとともに、その実現方法の仕様を作成し、技術課題エへ提供する。

エ 周波数管理基盤技術

- 高マイクロ波帯・ミリ波帯に対応し、かつ800MHz帯域幅に対応した実無線機模擬インタフェースの試作を行う。
- 電波環境モデル化技術について、前年度の検討結果をもとに基礎開発を行い、課題を抽出する。
- 100局以上の無線局の電波伝搬特性をリアルタイムに再現することを目的として、データベースに基づき無線機協調動作を制御するための機能実装を行い、複数無線機の実運用を想定した電波干渉特性の基礎評価を行う。また、周波数共存環境の拡充のためのパラメータ拡張について基礎検討を行う。

<令和8年度>

ア ミリ波高度化技術の協調動作によるエリア構築技術

- ミリ波帯電波伝搬特性の実測データをさまざまな環境で取得し、電波伝搬モデルの検証及び改良を行う。
- 電波伝搬モデルをワイヤレスエミュレータと接続する方法の改良を検討し、その仕様を技術課題エへ提供する。また、ワイヤレスエミュレータが対応する最大信号帯域幅及びミリ波帯に対応した中継器模擬装置の試作を完了する。さらに、ワイヤレスエミュレータ上へのミリ波中継器模擬機能の実装仕様を策定し、技術課題エへ提供する。
- 実測に基づくミリ波帯電波伝搬モデルを用いて、基地局及び中継器のリソース制御方式の評価を完了する。

イ 移動通信システムエリア間の干渉低減技術

- 令和7年度に開発した協調制御技術と自律制御技術を組み合わせて運用可能な、干渉低減連携制御技術を開発する。
- 干渉低減連携制御技術を模擬環境にて評価可能とするためのエミュレーション技術の基礎開発を行う。

ウ 高マイクロ波帯の各種システムとの間の周波数共用技術

- 動的・自律的無線パラメータ制御アルゴリズム機能の開発を行い、ソフトウェアシミュレーションにより移動通信システム側の一次評価を行う。
- 令和7年度に試作した高マイクロ波帯基地局・端末の改良を行い、自動で

無線パラメータを切替可能な高マイクロ波帯基地局・端末を開発する。また、電波伝搬モデルの検証及び改良を進めるとともに、周波数共用無線通信技術のワイヤレスエミュレータ上での再現方法を検討し、その実装仕様を策定し、技術課題エへ提供する。

エ 周波数管理基盤技術

- 課題ア～ウが開発する検証用無線機の試作機と前年度に開発した実無線機模擬インタフェース試作機との結合評価を行い、課題を抽出する。
- 電波環境モデル化技術について、前年度に開発した電波伝搬モデル及び環境モデルを結合した評価環境を構築するとともに、仮想無線機の協調動作について基本機能を評価する。
- 技術課題ア～ウで開発される技術のワイヤレスエミュレータ上での評価を実現するための課題間連携オーケストレータの基本機能を開発し、その基礎評価を行う。

<令和9年度>

ア ミリ波高度化技術の協調動作によるエリア構築技術

- ミリ波中継器の利用が想定される環境において、実測値との決定係数 0.8 以上の精度となる電波伝搬特性のモデル化技術を確立する。
- 技術課題エと連携し、ミリ波中継器の電波伝搬モデルのワイヤレスエミュレータの実装の評価を行う。また、技術課題エと連携してワイヤレスエミュレータ上のミリ波中継器模擬機能の実装評価を行い、基地局及び端末と連携するミリ波中継器のエミュレーション技術を確立し、技術課題エと連携してワイヤレスエミュレータへ実装する。
- 屋外・都市環境において、従来技術の2倍のスループットを達成可能な無線リソース制御方式を確立する。

イ 移動通信システムエリア間の干渉低減技術

- 令和8年度に開発した干渉低減連携制御技術について設計を改良し、模擬環境にて統合評価を行う。本技術を未導入の装置と比較して、各基地局のカバーエリアを15%以上拡大し、一部エリアがオーバーラップした場合においても、通信特性（スループット、通信可能な総トラフィック量）が低下しないことを確認する。

ウ 高マイクロ波帯の各種システムとの間の周波数共用技術

- 令和8年度までに開発した電波保護領域推定技術、空き周波数リソース検出技術、周波数共用無線通信技術を適用した高マイクロ波帯移動通信システムの総合評価実証を課題エと連携して実施する。
- 動的・自律的無線パラメータ制御アルゴリズム機能開発をさらに改良し、

無線パラメータの動的制御・自律的制御を行わない従来の周波数共用技術では利用が困難である空き周波数リソースの10%以上を共用可能とする。

- 令和8年度までに開発した技術を統合し、既存システムと移動通信システムが共存する環境下において従来の周波数共用技術では利用が困難である空き周波数リソースの20%以上を共用可能とする。

エ 周波数管理基盤技術

- 高マイクロ波帯及びミリ波帯に対応し、かつ帯域幅800MHzに対応する実無線機模擬インタフェースを開発するとともに、技術課題ア～ウの実無線機のエミュレーションによる評価を可能とする電波環境モデル化技術を確立する。
- 100局以上の無線局の電波伝搬特性をリアルタイムに再現可能なデータベースを開発し、技術課題ア～ウで開発する各技術の評価を行う。

5. 実施期間

令和6年度から9年度までの4年間

6. その他

(1) 成果の普及展開に向けた取組等

①国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中及び終了後、速やかに関連する国際標準化規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体及び具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

②実用化への取組

研究開発期間終了後も引き続き取り組む予定の「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」及び令和14年度までの実用化・製品展開等を実現するために必要な取組を図ることとし、その活動計画・実施方策については、提案書に必ず具体的に記載すること。

また、ワイヤレスエミュレータの社会実装を進める観点から、技術課題ア～ウで開発する各技術のワイヤレスエミュレータへの実装や検証を研究開発期間中のできる限り早期に進めるとともに、研究開発期間終了後においてもワイヤレスエミュレータの利用を広めるための必要な取組を図ることとし、上記と合わせて、その活動計画・実施方策を提案書に必ず具体的に記載すること。

(2) 提案及び研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価す

ることが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めること。また、従来の技術との差異を明確にした上で、技術課題及び目標達成に向けた研究方法、実施計画及び年度目標について具体的かつ実効性のある提案を行うこと。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

なお、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について、研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。

研究課題エの実施に当たり、総務省が「仮想空間における電波模擬システム技術の高度化に向けた研究開発」にて構築したワイヤレスエミュレータは総務省から無償貸付する予定である。そのため、当該ワイヤレスエミュレータの仕様等について十分理解して研究開発を実施できる体制及び計画を策定した上で提案を行うこと。また、常置場所からの移設に係る費用等は予算計画に積算すること。

<基本計画書(案)>

低軌道衛星と地上端末直接通信における周波数共有を可能とする ナローマルチビーム形成技術の研究開発

1. 目的

今日、携帯電話は基礎的な通信インフラとして国民に広く利用されており、その人口カバー率はおおむね 99.9%に達している。一方で、面積カバー率はおおむね6割、グローバルに広く利用されているS帯(1.5-4 GHz帯)については2~3割(令和5年3月時点)にとどまっており、社会経済活動における携帯電話の役割が拡大していく中で、携帯電話ネットワークがカバーされていない地域における通信手段の確保は利用者の利便性の観点からだけでなく、安心・安全の観点からも課題となっている。また、デジタル技術の活用によって地方活性化を加速する「デジタル田園都市国家構想」の実現においても、日本全国をあまねくカバーする通信インフラは必要不可欠である。

このような背景から、離島、海上、山間部等を効率的にカバーするとともに、自然災害をはじめとする非常時等においては、携帯電話等の地上系ネットワークをバックアップする非地上系のネットワークが注目を集めており、その推進は政府戦略においても重要な課題と位置付けられている。非地上系ネットワーク(NTN: Non-Terrestrial Network)は、衛星通信システム、HAPS(高高度プラットフォーム)、UAV(無人航空機)等を相補的に組み合わせて基地局や中継局として用いることで、地域の通信需要に応じつつ通信カバレッジの拡大を図るものであるが、これらの様々な通信プラットフォームの中でも、衛星通信システムは、広い通信エリアを確保できる、滞空時間等の制限がない等の特長を有していることから、非地上系ネットワークを構築していく上で柱となるものである。

衛星通信は、従前から航空や海上における主要な通信手段であったが、近年、低軌道に多数の衛星を打ち上げて一体的に運用する「衛星コンステレーション」が登場したことで地上系ネットワークのブロードバンドに匹敵する高速大容量通信が可能になったことから、地上系ネットワークを補完する存在としてその重要性が高まっている。特に、スマートフォン等の地上端末による衛星との直接通信は、専用の端末を必要とせずに衛星通信の利用が可能となることから、携帯電話の通信エリアを全土に拡張する手段として各国・地域で実用化に向けた検討が始まっているところである。

一方で、スマートフォン等の地上端末と衛星の直接通信を実現するためには、地上の携帯電話ネットワークと衛星通信ネットワークで周波数を共用しつつ、それぞれのネットワークが形成する通信エリア間で干渉が発生しないよう、衛星から発射する電波をきめ細やかに制御する必要がある。また、携帯電話の利用者が衛星通信を円滑に利用(地上基地局と同程度の通信速度や接続数を実現)するためには、衛

星のアンテナの実効開口面積を拡大してアンテナ利得を大幅に向上させるとともに、衛星の通信エリア（フットプリント）を地上基地局の通信エリア（セル）と同等のサイズ（直径 10km 程度）に縮小しつつ複数の電波（ナローマルチビーム）を同時に発射することで広範囲をカバーし、周波数の空間利用効率の向上を図る必要がある。

このため、本研究開発では、地球を周回する低軌道上に実効開口面積が数百 m²（直径 25～100m）以上となる大口径のフェーズドアレイアンテナを複数のアンテナ素子を組み合わせることで仮想的に構築することにより、従来のアンテナ構造では実現が不可能な地上の携帯電話ネットワークと同等の通信速度及び接続数で、スマートフォン等の地上端末から衛星との直接通信を可能とする技術を確立することを目的とする。

2. 政策的位置付け

(1) 新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画 2023 改訂版（令和 5 年 6 月 16 日閣議決定）

デジタルトランスフォーメーションを支えるポスト 5 G、6 G の実現に向け、「衛星通信や、HAPS（高高度プラットフォーム）を活用した成層圏からの通信により、従来のネットワークが届かない空、海、離島、山間部等も含めて広範囲の通信を可能とする非地上系ネットワーク（NTN）の早期実装を図るため、研究開発の加速化、実用化、海外展開を促進する」とされている。

(2) 宇宙基本計画（令和 5 年 6 月 13 日閣議決定）

国土強靱化・地球規模課題への対応とイノベーションの実現に向け、「陸・海・空さらには宇宙をシームレスにつなぐために、我が国が非地上系ネットワーク（NTN）を世界に先駆けて開発・実装・利活用を一体的に進めていく。それにより、現在ネットワークが整備されていない遠隔地に加え、ドローンや空飛ぶ車等の飛行体への通信サービスの提供など多様な通信サービスの実現や、地政学リスクや災害リスクに備えた強靱なネットワークの実現を目指していく」とされ、これらを実現する上で基盤となる技術として「NTN 関係の技術」が掲げられ、「関連する国産の技術開発・実証（中略）を強力に推進し、必要な海外展開支援も実施していく」とされている。

また、「非地上系ネットワーク（NTN）は、離島、海上、山間部等の効率的なカバーや自然災害を始めとする非常時等に備えたネットワークの冗長性の確保に有用である」として「関連技術の開発・実証支援を推進するとともに、関連する制度整備を進めるなど、サービスの導入促進のための取組を推進する」とされている。

(3) 国土強靱化基本計画（令和 5 年 7 月 28 日閣議決定）

国土強靱化の推進方針の一つとして、「衛星通信等の非地上系ネットワーク

(NTN) を含む多様な通信手段の確保」が掲げられている。

- (4) デジタル田園都市国家インフラ整備計画(改訂版)(令和5年4月25日総務省)
デジタル田園都市国家の実現に資するインフラ整備の整備方針として、「ITU (国際電気通信連合) が定める RR (無線通信規則) に基づく国際周波数調整を通じ、他国との調和を図りつつ、我が国の衛星通信網の周波数の確保に取り組むとともに、携帯電話との直接通信等の新たなサービスについて、他システムとの周波数共用や国際的な動向を踏まえつつ、その円滑な導入のために必要な制度整備を進める。また、将来の我が国独自の通信衛星コンステレーションの構築に向け、宇宙安全保障構想や宇宙基本計画など政府全体の方針を踏まえ、今後展開が見込まれるサービスコンセプト及びそれを支えるための通信技術について調査・検討を行い、それらに基づき、構築に向けた事業を計画する民間の取組への支援の検討を進める。」が示されている。

3. 目標

スマートフォン等の地上端末と複数の低軌道衛星によって構成される衛星通信ネットワーク(衛星コンステレーション)の間の衛星通信について、地上の携帯電話ネットワークと衛星通信ネットワークで周波数を共用しつつ、地上の携帯電話ネットワークと同等の通信速度及び接続数で、スマートフォン等の地上端末から衛星と直接通信を行うことを可能とする。また、これにより、携帯電話ネットワークと衛星通信ネットワークの異なるネットワークに同一の周波数帯の割当てを実現するとともに、空間を高密度に分割して通信エリアをきめ細やかに調整することで、同一の領域内における周波数の空間利用効率を2倍以上とし、周波数の有効利用を促進する。

なお、対象とする周波数帯は、主に携帯電話の周波数としてグローバルに使用されているS帯とし、通信方式は周波数分割複信方式(FDD: Frequency Division Duplex)とする。

4. 研究開発内容

(1) 概要

宇宙空間において複数のアンテナ素子(10,000個以上)を組み合わせることで、地球を周回する低軌道上に大口径のフェーズドアレイアンテナ(直径25~100m、実効開口面積が数百 m^2 以上)を仮想的に構築【技術課題ア】し、各アンテナ素子の搬送波の周波数、振幅、位相等を制御することで任意の方向や範囲に対して複数の電波(ナローマルチビーム)を送受【技術課題イ】することで、地上系と衛星系のネットワークで周波数を共用し、スマートフォン等の地上端末が地上の携帯電話ネットワークと同等の通信速度及び接続数で衛星との直接通信を行うことを可能とする。また、各アンテナ素子は位相等に誤差を含むことから、自動的にキャリブレーションを行う仕組みも併せて構築【技術課題ウ】する。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア アンテナ素子再構成技術

複数のアンテナ素子を組み合わせて大口径のフェーズドアレイアンテナを仮想的に構築するとともに、地上の携帯電話ネットワークの状況等に応じてアンテナ素子を搭載した超小型衛星の位置・姿勢等を制御してフェーズドアレイアンテナを再構成することにより、地上系ネットワークとの周波数の共用を可能とするアンテナ素子再構成技術を確立する。

(ア-1) 仮想フェーズドアレイアンテナ構築技術

スマートフォン等の地上端末による衛星との直接通信においては、通信速度の向上は衛星のアンテナの高利得化、同時接続数の増加は衛星が形成するフットプリントの縮小が不可欠であり、いずれも従来の衛星では物理的に実現が困難な数百 m² 以上（直径 25~100m 程度）の実効開口面積を有するアンテナが必要となる。このため、複数のアンテナ素子を組み合わせて大口径のアンテナを構築することとし、アンテナ素子を搭載した複数の超小型衛星の編隊飛行（フォーメーションフライト）によって仮想的にフェーズドアレイアンテナの構築を可能とする以下の仮想フェーズドアレイアンテナ構築技術を確立する。

- ・ 複数の超小型衛星を適切な位置に配置して一つの統合された大口径のアンテナとして構成するとともに、当該アンテナがフェーズドアレイアンテナとして機能、所望の信号を発射できるようアンテナ素子の位置・姿勢に応じて搬送波の位相・振幅等を制御する技術
- ・ フェーズドアレイアンテナの構成に応じてアンテナ素子を搭載した超小型衛星の編隊飛行（フォーメーションフライト）を制御する技術
- ・ フェーズドアレイアンテナを構成する超小型衛星の一部が故障した場合でも、アンテナとしての機能を維持するための制御機構
- ・ 仮想フェーズドアレイアンテナの開発・評価を効率的に行うためのシミュレーション手法

(ア-2) アンテナ素子モジュール化技術

衛星通信がスマートフォン等と同じ周波数帯を使用しつつ、地上の携帯電話ネットワークに干渉を発生させないようにするためには、アンテナ素子を搭載する超小型衛星の位置や姿勢を調整し、フェーズドアレイアンテナを再構築することで、アンテナ全体のビーム放射パターンを動的に制御する必要がある。このため、フェーズドアレイアンテナの再構築に必要な衛星間での同期処理、送受信データの共有のための衛星間データ通信、衛星間の相対位置検出・制御等の機能を一体化し、超小型衛星として実装

するアンテナ素子モジュール化技術を確立する。

また、アンテナ素子のモジュール化に当たっては、消費電力、放熱量、重量等に加え、製造コスト等についても検討を加え、論理的な実現可能性だけでなく、物理的な実現可能性も評価する。

イ アンテナ素子間協調制御技術

複数のアンテナ素子の周波数・振幅・位相等を協調して制御し、任意の方向や範囲に対して複数の電波（ナローマルチビーム）の送受を可能とするアンテナ素子間協調制御技術を確立する。

（イー１）マルチビーム制御技術

衛星のネットワークが地上の携帯電話ネットワークと干渉を発生させずに周波数を共用し、周波数の空間利用効率を高めるためには、ビームの方向を正確に制御し、グレーディングローブやサイドローブを抑圧して地上への不要放射を低減させる必要がある。また、地上の携帯電話ネットワークの状況（地上基地局のセルの範囲、接続数等）に応じてアンテナのビーム放射パターンを変更し、それを基にアンテナ素子を搭載する超小型衛星の位置・姿勢、各アンテナ素子の搬送波の周波数・振幅・位相等を変化させ、ナローマルチビームを形成する必要がある。このため、地上への不要放射を最大限抑圧しつつ、地上の携帯電話ネットワークの状況に応じて適時にビームの方向や範囲を制御して衛星通信の通信エリアが最大となるよう個々のアンテナ素子の動作を決定するマルチビーム形成技術を確立する。

（イー２）アンテナ素子モジュール協調制御技術

低軌道上に位置する衛星は高速で地球を周回しており、衛星と地上基地局・地上端末との相対的な位置関係が時々刻々と変化することから、アンテナのビーム放射パターンも追従して変化させる必要があり、一連のビーム形成に係る処理を所定の時間内で連続的に実施することが求められる。このとき、所望のナローマルチビームを形成するためには、アンテナ素子ごとに搬送波の周波数・振幅・位相等を変化させるだけでなく、アンテナ素子間の距離を補正する必要がある等、様々なパラメータを基に演算を行う必要がある。このため、マルチビーム形成に係る演算について、利用可能な計算機リソースを考慮しつつ、適切な精度を確保した上で時間内に完了させ、アンテナ素子モジュール間の誤差を調整するアンテナ素子モジュール協調制御技術を確立する。

ウ キャリブレーション技術

（ウー１）自律キャリブレーション技術

多数の超小型衛星に搭載されたアンテナ素子を一つのフェーズドアレイ

アンテナとして機能させるためには、電波の発信時には各アンテナ素子の搬送波の振幅・位相を整合させ、電波の受信時には搬送波の振幅・位相の誤差を各アンテナ素子でそれぞれ補正する必要がある。このため、各アンテナ素子から振幅・位相等に関する情報を収集してアンテナ間の誤差を測定し、各アンテナ素子の相対位置を考慮しつつ補正情報をフィードバックして自動で誤差を補正することにより、全体を精密に同期させて正確な電波（ビーム）の発信・受信を可能とするキャリブレーション技術確立する。

到達目標

ア アンテナ素子再構成技術

(ア-1) 仮想フェーズドアレイアンテナ構築技術

複数のアンテナ素子によって実効開口面積が数百 m^2 （直径 25~100m）以上となるフェーズドアレイアンテナを構成するには、アンテナ素子は数万オーダーの規模で必要となることも想定される。このため、様々な素子数のシステムに対応できるよう、10,000 個以上のアンテナ素子を一つのフェーズドアレイアンテナとして制御する技術確立する。また、高速で地球を周回する衛星から任意の方向・範囲にビームを発射してフットプリントを形成することができるよう、フェーズドアレイアンテナとしての機能を維持しつつ、約 0.2 度/秒（上空を 10 分程度で通過することを想定）の速度でビーム放射方向を約 130 度変化させることを可能とする。

なお、アンテナ素子数が異なる場合でも同一の機構で制御できるよう、制御機構のスケラビリティも考慮することとする。

加えて、複数のアンテナ素子によって構成された大口径のアンテナがフェーズドアレイアンテナとして機能することや、所望のビーム放射パターンが得られることを効率的に確認するため、10,000 個以上のアンテナ素子で構成されるシステムの設計を実用時間内に繰り返し評価が可能なシミュレータを構築する。

(ア-2) アンテナ素子モジュール化技術

個々の衛星の挙動がシステム全体に与える影響を実用時間内に導出可能なシミュレータを構築して繰り返し評価を行うことで、アンテナのビーム放射パターンの調整に必要な衛星間での同期処理、データ通信、相対位置検出・制御等を自動的に行うアルゴリズム確立する。加えて、10,000 個以上のアンテナ素子モジュールがあるとき、0.2 度/秒でビーム放射方向を約 130 度変化させることが可能な制御方法（個々のモジュールの制御パラメータの導出やその衛星間の伝達）を確立する。

また、アンテナモジュールを複数試作してフェーズドアレイアンテナを実機で一部構築（衛星間での同期処理、データ通信、相対位置検出・制御等

を検証可能な規模とすること。)し、地上で評価試験を行うとともに、シミュレーションモデルの妥当性を併せて確認する。アンテナモジュールの試作に当たっては、衛星の消費電力、放熱量、重量、製造コスト等も考慮し、物理的な実現可能性についても評価を行う。

イ アンテナ素子間協調制御技術

(イー1) マルチビーム制御技術

フェーズドアレイアンテナで形成するビームの総数は 300 本以上（アンテナ素子が 10,000 個以上の場合）、1 ビーム当たりのフットプリントは、地上基地局が形成するセルサイズを基に直径 10km~数百 km の範囲で可変とし、ビーム生成時間は軌道 1 周あたり約 15 分（日本上空の通過時間に相当）、24 時間あたりでは少なくとも約 45 分（3 周に相当）とする。

また、地上の携帯電話ネットワークに干渉を発生させないように、ビームの方向を、フェーズドアレイアンテナの軌道上の運動によるアンテナ面の方位・仰角の変化等をリアルタイムに捉えつつ、0.1 度の精度（アンテナ面の中心と目標地上フットプリントの中心を結ぶ直線に対する角度誤差を指す。）で制御するとともに、アンテナパターンや衛星軌道設計を調整すること等の手法により、グレーディングローブやサイドローブの不要放射の強度を地上で-110dBm 以下に抑圧し、スプリアスを地上基地局における基準（S 帯において参照帯域幅 1 MHz、許容値-52dBm 等）にまで低減する。一方、受信においては、平均送信出力 100mW 程度のスマートフォン等の地上端末からの通信を受信可能とする。

加えて、フェーズドアレイアンテナのアンテナパターンや、アンテナ素子を搭載する超小型衛星の位置・姿勢、各アンテナ素子の周波数・振幅・位相については、アンテナ素子数、計算精度、計算時間を変数として考慮した上で、不要放射等に関する制約を満たすよう導出するアルゴリズムを確立する。

なお、導出アルゴリズムの検討に当たっては、計算資源の制約があることに留意するとともに、計算量を削減する方法についてもあわせて検討を行うものとする。

(イー2) アンテナ素子モジュール協調制御技術

衛星間の距離差（時間差）を考慮して衛星の位置・姿勢やアンテナ素子の周波数・振幅・位相を個別に導出し、アンテナ素子を搭載した超小型衛星間の相対距離を 10cm 程度、地表に対する姿勢を 0.1 度の精度（アンテナ面の中心と目標地上フットプリントの中心を結ぶ直線に対する角度誤差を指す。）で測定しつつ、各衛星の動作（周波数・振幅・位相）設定や配置位置変更を搬送波長に応じた精度（S 帯では 10cm 未満の誤差とする。）で行う制御を可能とする。

ウ キャリブレーション技術

(ウー1) 自律キャリブレーション技術

地球の低軌道を周回中の超小型衛星に搭載されたアンテナ素子モジュールから振幅・位相に関する情報を収集し、アンテナ素子の相対位置や角度の情報も考慮して軌道を一周する時間内（通信ミッションの実行時間やミッション事前・事後処理の実行時間を除いたおおむね60分以内）に搬送波周期の10%未満に相当する精度（S帯の場合は0.1ナノ秒精度に相当）で誤差を補正する。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度ごとの目標については、以下の例を想定している。

<令和6年度>

ア アンテナ素子再構成技術

(アー1) 仮想フェーズドアレイアンテナ構築技術

- ・フェーズドアレイアンテナの機能・性能要件の検討
- ・超小型衛星の制御方式の基本設計

(アー2) アンテナ素子モジュール化技術

- ・アンテナ素子モジュールの基本設計
- ・シミュレーションによる評価方法の検討

イ アンテナ素子間協調制御技術

(イー1) マルチビーム制御技術

- ・フェーズドアレイアンテナによるマルチビーム形成方式の検討
- ・アンテナ素子の制御アルゴリズムの検討

(イー2) アンテナ素子モジュール協調制御技術

- ・超小型衛星の動作・配置に関する制御アルゴリズムの検討
- ・超小型衛星に搭載する地上との通信が可能なS帯アンテナ部の基本設計

ウ キャリブレーション技術

(ウー1) 自律キャリブレーション技術

- ・キャリブレーション方式の基本設計
- ・アンテナ素子間誤差（周波数・振幅・位相）の測定方法の検討

<令和7年度>

ア アンテナ素子再構成技術

(アー1) 仮想フェーズドアレイアンテナ構築技術

- ・超小型衛星の制御方式の詳細設計

- ・アンテナ素子モジュールの制御方式の基本設計
- (ア-2) アンテナ素子モジュール化技術
 - ・アンテナ素子モジュールの詳細設計
 - ・評価シミュレータの開発
 - ・アンテナ素子モジュールのプロトタイプ試作

イ アンテナ素子間協調制御技術

- (イ-1) マルチビーム制御技術
 - ・マルチビームの生成アルゴリズムの評価・改良
- (イ-2) アンテナ素子モジュール協調制御技術
 - ・超小型衛星の動作・配置に関する制御アルゴリズムの評価・改良
 - ・超小型衛星に搭載する地上との通信が可能なS帯アンテナ部の詳細設計・試作

ウ キャリブレーション技術

- (ウ-1) 自律キャリブレーション技術
 - ・アンテナ素子間誤差（周波数・振幅・位相）の測定装置の開発

<令和8年度>

ア アンテナ素子再構成技術

- (ア-1) 仮想フェーズドアレイアンテナ構築技術
 - ・フェーズドアレイアンテナの機能の試験・検証
 - ・アンテナ素子故障に関するロバストな制御方式の検討
- (ア-2) アンテナ素子モジュール化技術
 - ・アンテナ素子モジュールの試験・検証

イ アンテナ素子間協調制御技術

- (イ-1) マルチビーム制御技術
 - ・アンテナパターンの動的な導出によるアンテナ素子の制御アルゴリズムの検討及び試験・検証
- (イ-2) アンテナ素子モジュール協調制御技術
 - ・超小型衛星の動作・配置の動的な調整による制御アルゴリズムの検討及び試験・検証
 - ・超小型衛星に搭載する地上との通信が可能なS帯アンテナ部の試験・検証

ウ キャリブレーション技術

- (ウ-1) キャリブレーションシステムの試験・検証
 - ・アンテナ素子間誤差（周波数・振幅・位相）の測定装置の試験・検証

5. 実施期間

令和6年度から令和8年度までの3年間

6. その他

(1) 成果の普及展開に向けた取組等

①国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中及び終了後、速やかに関連する国際標準規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。

なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体及び具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

②実用化への取組

研究開発期間終了後も、本研究開発で確立した技術の普及啓発活動に引き続き取り組むとともに、令和13年度までの実用化・製品展開等の実現に向けて必要な取組を進めることとし、その活動計画・実施方策については、提案書に必ず具体的に記載すること。

また、本研究開発の成果を活用した衛星通信システムがグローバルに展開できるよう、衛星通信サービス等の事業化を担う者の協力を得て実用化に向けた計画を策定して研究開発を実施すること。

(2) 提案および研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めること。また、従来技術との差異を明確にした上で、技術課題及び目標達成に向けた研究方法について具体的かつ実効性のある提案を行うこと。実施計画及び年度目標については、本研究開発は大規模なシステムを対象とすることから、年度ごとに対象とするアンテナ素子数を設定して段階的に規模を拡大する等、段階をおって着実に研究開発を進捗させられるよう緻密なものとする。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を得るとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を受けるため、学識経験者、有識者等を含む研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

なお、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について、研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。

(3) 衛星通信網の国際周波数調整に関する取組

本研究開発の成果を活用した衛星通信網の実用化に向けた環境を整備するため、無線通信規則（RR: Radio Regulations）の規定に基づく周波数（軌道位置を含む。）調整に取り組むこと。