

# ＜基本計画書＞

## 第5世代移動通信システム実現に向けた研究開発 ～超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成による 大容量化技術の研究開発～

### 1. 目的

2011年9月に150Gbpsであった我が国の移動通信トラヒックは、わずか3年間で780Gbpsと5倍以上になるなど爆発的な増加を見せている。また、今後も、モバイル環境での4K視聴など高精細動画の伝送需要の増大やモバイルとクラウド・コンピューティングサービスとの連携拡大等を受け、移動通信トラヒックの増加が継続すると見込まれる。さらには、無数に配置されるセンサー、機器間通信(M2M)といったスマートフォンやタブレット以外の様々なアプリケーションが提供され、トラヒック傾向の質的变化なども予想される。

これらの様々な傾向へ適切に対応し、新サービスの登場に備えるためには、飛躍的なシステム能力の向上が必要であり、第4世代移動通信システム(4G:LTE-Advanced)のさらなる能力向上の技術開発に加えて、全く新しい無線アクセス技術を盛り込んだ第5世代移動通信システム(5G)の研究開発が急務となっている。5Gでは、通信システム容量向上、通信速度向上、低遅延化、接続可能デバイス数の増加、低消費電力化等が求められている。

2020年以降、5Gの商用サービスを国内において順次開始・拡大させるためには、既存の移動通信システムで用いられている周波数帯に加え、より高い周波数帯を段階的に追加使用できるようにしていくことで、システム的大幅な大容量化を図ることが必要である。

こうした背景のもと、逼迫しているUHF帯を引き続き有効活用しつつ、新たにSHF帯や移動通信システム以外の無線通信システムで利用されている周波数帯を積極的に利用して大容量化を図る技術として、超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成による大容量化技術の研究開発を実施する。

### 2. 政策的位置付け

- ・世界最先端IT国家創造宣言(平成26年6月24日閣議決定)

「IV. 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携」において「世界最高水準のIT社会を実現し、維持・発展させるために、情報通信社会の今後の動向を見据えた研究開発を推進する」旨の記載あり。

- ・世界最先端IT国家創造宣言 工程表(平成25年6月14日決定、平成26年6月24日改定、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部)

「4.(2)世界最高水準のITインフラ環境の確保」において「【短期(2014年度～2015年度)】○通信ネットワークインフラの推進」では「第4世代移動通信

システムの導入促進及び第5世代移動通信システムに求められる多様なニーズに対応するための研究開発等を推進する」、「【中期（2016年度～2018年度）】○通信ネットワークインフラの推進」では「第5世代移動通信システムの実現に向けた周波数の高度利用等を可能とする研究開発及び実証実験を推進する」旨の記載あり。

### 3. 目標

5Gにおける大容量化技術を確立するため、超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成技術の研究開発を行う。マクロセル、低SHF帯スモールセル、高SHF帯スモールセルの多層セルレイヤ構成において、低SHF帯スモールセルを超高密度に配置し、16以上の送信点間における協調無線リソース制御により、単位面積当たり・単位周波数帯域当たりのシステム容量（単位：bps/Hz/km<sup>2</sup>を使用。以下、単に「システム容量」という）を、4Gシステムの協調無線リソース制御を適用した場合（約50bps/Hz/km<sup>2</sup>を想定）に比べて3倍程度以上に向上し、さらに、マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成におけるシステム間連携制御により、4G以前の端末の使用を前提とする制御を適用した場合に比べてシステム容量を2倍程度以上に向上することを目標とする。

本研究開発が終了する平成30年度には、現在比数倍から数十倍程度のトラヒック増加が見込まれ、また、5G商用サービスの順次開始が想定される平成32年（2020年）以降も引き続きさらなるトラヒックの増加が予想されるところ、本件によるシステム容量向上、すなわち、5Gシステムの収容可能トラヒック量増大への貢献が重要なものとなる。

### 4. 研究開発内容

#### （1）概要

5Gにおいて複数の周波数帯、複数の無線通信システムを用い、大容量化を実現する超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成による大容量化技術の研究開発を行う。本研究開発では、UHF帯マクロセル、低SHF帯及び高SHF帯スモールセルの多層セルレイヤ構成において、低SHF帯スモールセルの送信点を光張り出し構成（アンテナや変復調機能を備えた子局と、デジタル信号処理や保守管理機能を備えた親局とを光ファイバで接続した基地局構成）により超高密度配置し、システム容量を大幅向上する分散アンテナ技術を ア 超高密度セル構成における分散アンテナ技術 にて、同セルの効率的な保守・運用を可能にする光収容技術を イ 超高密度セル構成における光収容技術 にて研究開発を行う。また、マルチバンド多層セルに、各種無線アクセスを統合したマルチバンド・マルチアクセス多層セル構成において、統合的・効率的な無線リソース割当て制御を行うシステム間連携技術を ウ

マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成におけるシステム間連携技術 にて研究開発を行う。

本研究開発により達成される技術は、例えば、スポーツイベントなどで競技会場に大勢集まった観客が、競技の合間に一斉にハイライトシーンをダウンロードしたり、競技内容を高精細動画で離れたところにいる知人と共有したりといった場面で有効に活用されることが見込まれる。

## (2) 技術課題および到達目標

### 技術課題

#### ア 超高密度セル構成における分散アンテナ技術

大容量化を実現するため、UHF 帯マクロセルに加えて、6 GHz 以下の低 SHF 帯及び 6 GHz を超える高 SHF 帯スモールセルをオーバレイ配置するマルチバンド多層セル構成を用いる。このうち、低 SHF 帯スモールセルについては、システム容量を大幅に向上させるため、オーバーラップを許容しながら超多数送信点を超高密度配置していくことが想定されるが、各送信点から同一周波数で送信された信号はお互いに干渉するため、適切に制御を行わなければ十分なシステム容量向上効果が得られない。この課題を解決するため、ベースバンド処理装置を一カ所に集約し、多数送信点に光ファイバを用いて送信信号を伝送する光張り出し構成を基本とし、単純な協調スケジューリングに留まらない、超高密度に配置された多数送信点間の高度な協調無線リソース制御により干渉低減を実現する分散アンテナ技術の研究開発を行う。

#### イ 超高密度セル構成における光收容技術

スモールセルの送信点を超高密度に多数配置する光張り出し構成の無線アクセスネットワークにおいては、多数の送信点すなわち光張り出し局を柔軟に設置し、かつ、効率的にネットワーク收容できるようにするとともに、光張り出し区間における伝送装置数や光ファイバ心線数の増大に対応して、これらの装置等を効率的に保守・運用できるようにすることが不可欠である。効率的な光張り出し局のネットワーク收容にあたっては、光アクセスシステムとして TDM (Time Division Multiplexing)-PON (Passive Optical Network) 構成を用いることが有望であるが、従来の TDM-PON で用いられている動的帯域割当 (DBA (Dynamic Bandwidth Allocation)) をそのまま適用した場合、上り伝送において大きな遅延 (1 ミリ秒程度) が生じることが課題である。以上の要求と課題を解決するため、遠隔による故障監視・省電力制御・波長監視制御により効率的な保守・運用を実現する遠隔光送受信制御技術の研究開発を行う。また、無線アクセスシステムと光アクセスシステムにおけるリソーススケジューリング連携制御により、TDM-PON システムにおける制御遅延を大幅に低減可能な光・無線連携技術の研究開発を行う。

#### ウ マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成におけるシステム間連携技術

マルチバンド多層セルに無線 LAN 等の移動通信以外の無線アクセスを加えたマルチバンド・マルチアクセス多層セル構成では、送信点が超高密度に設置されるが、干渉の影響、端末の移動状況による制御オーバーヘッド増加の影響や、送信点の負荷状況等のシステム情報を共有できない影響等により、ユーザ QoE (Quality of Experience) およびスループットが低下するという課題がある。これらの課題を解決するため、端末の移動状況や目標 QoE、各セルの混雑度等を考慮し、複数システム間で無線リソースを高効率に割り当て制御する技術、およびマルチバンド・マルチアクセスに対応した無線機を構成する技術の研究開発を行う。

### 到達目標

#### ア 超高密度セル構成における分散アンテナ技術

低 SHF 帯スモールセルの送信点間距離が 100m 以下となる超高密度スモールセル環境のもと、16 以上の送信点に分散されたセル又はアンテナを、集約ベースバンド処理装置から高速かつ柔軟に制御する構成において、セル間干渉を低減し、スループットや信号対干渉雑音比等の最適化を図る協調無線リソース制御の適用により、超高密度環境におけるシステム容量を 4 G システムの協調無線リソース制御を適用した場合 (約 50 bps/Hz/km<sup>2</sup> を想定) に比べて 3 倍程度以上に向上させることを目標とする。

#### イ 超高密度セル構成における光収容技術

遠隔光送受信制御技術により、5 G において利用が予想される CPRI (Common Public Radio Interface) レート (Option7 : 9830.4Mbps 以上の規格レート) に対応した制御監視信号重畳による遠隔光送受信制御を実現する。また、光アクセスシステムとして TDM-PON 構成を用いることを前提として、光・無線連携技術を適用することにより、16 以上のスモールセルをネットワーク収容した場合の制御遅延を既存の光加入者系 TDM-PON 構成における遅延 (約 1 ミリ秒を想定) に比べて 20 分の 1 以下 (50 マイクロ秒以下) に低減可能な超高密度セル向け光アクセスシステムを実現する。

#### ウ マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成におけるシステム間連携技術

干渉の影響、端末の移動状況による制御オーバーヘッド増加の影響や、送信点の負荷状況等のシステム情報を共有できない影響等により、ユーザの求める QoE を満たさない場合がある。そこで、多層セル活用技術であるシステム間無線リソース割り当て制御技術によって、同影響を緩和し、4 G 以前の端末の使用を前提とする制御を適用した場合に比べてシステム容量を 2 倍程度以上に向上させることを目標とする。

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、以下を想定している。

#### <平成27年度>

##### ア 超高密度セル構成における分散アンテナ技術

- 超高密度分散アンテナシステムの開発（装置開発仕様の策定）
- 協調無線リソース制御アルゴリズムの開発とシミュレーション評価
- 超高密度分散アンテナを想定した低 SHF 帯での伝搬実験によるデータ取得と解析
- 協調無線リソーススケジューラの処理量削減手法の検討

##### イ 超高密度セル構成における光収容技術

- 遠隔監視制御信号重畳技術の比較検討、シミュレーション評価
- 遠隔光送受信制御に用いる送受信機の要求仕様策定
- 基地局と PON システムの連携制御のための帯域割当方式の仕様策定
- 試験装置の設計、開発

##### ウ マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成におけるシステム間連携技術

- システムシミュレーションによるスモールセル選択アルゴリズムの検討
- 評価用エミュレータ・装置の開発、基本特性評価
- システム間連携における移動通信以外の無線アクセスの活用技術の基本設計検討
- 低 SHF 帯と高 SHF 帯のマルチバンドに対応する高効率増幅器の基本設計
- マルチバンド無線回路構成とデジタル信号処理部の基本構成の検討

#### <平成28年度>

##### ア 超高密度セル構成における分散アンテナ技術

- 超高密度分散アンテナシステムの開発
- 協調無線リソース制御アルゴリズムの開発とシミュレーション評価
- 超高密度分散アンテナを想定した高 SHF 帯での伝搬実験によるデータ取得と解析
- 協調無線リソーススケジューラの処理時間削減の確認

##### イ 超高密度セル構成における光収容技術

- 遠隔監視制御信号重畳技術の実験評価
- 遠隔光送受信制御のための実装技術確立に向けた送受信機詳細仕様策定
- PON システム全体の制御方式検討、仕様策定、シミュレーション評価
- 連携制御インターフェース機能のハードウェア仕様およびリソース割当制御機能のソフトウェア仕様の策定

- ウ マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成におけるシステム間連携技術
  - ・ スモールセル選択アシスト用パラメータの検討と装置の開発
  - ・ 評価用エミュレータ・装置の機能拡張、評価
  - ・ システム間連携における移動通信以外の無線アクセス用制御の基本設計検討、評価
  - ・ 2バンド対応高効率増幅器の試作評価、可変帯域化の基本検討
  - ・ マルチバンド実験評価環境の構築と基本動作の確認

<平成29年度>

- ア 超高密度セル構成における分散アンテナ技術
  - ・ 超高密度分散アンテナシステムの屋内実験実施および協調無線リソース制御アルゴリズムの技術検証
  - ・ 協調無線リソース制御アルゴリズムの改良
  - ・ 協調無線リソーススケジューラの電力削減の確認

- イ 超高密度セル構成における光収容技術
  - ・ 試作送受信機詳細仕様に基づく最適な重畳方式の仕様策定
  - ・ 遠隔監視制御機能付き光トランシーバサブシステム（ONU）の試作
  - ・ 光張り出し局（1局）を用いた連携制御インターフェースの動作検証
  - ・ リソース割当制御機能の検証環境への実装、光張り出し局（1局）を用いた装置検証

- ウ マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成におけるシステム間連携技術
  - ・ 評価用エミュレータ・装置の機能拡張、評価及びアルゴリズムの性能改善
  - ・ システム間連携における移動通信以外の無線アクセスの活用技術の性能改善
  - ・ 可変帯域高効率増幅器の基本設計と試作評価
  - ・ 低 SHF 帯/高 SHF 帯の結合設計と予備試作、改善策検討

<平成30年度>

- ア 超高密度セル構成における分散アンテナ技術
  - ・ 超高密度分散アンテナシステムのフィールド実験およびアルゴリズムの技術検証
  - ・ 協調無線リソース制御アルゴリズムの調整、パラメータの最適化
  - ・ 協調無線リソーススケジューラのデモ系構築

- イ 超高密度セル構成における光収容技術
  - ・ 遠隔監視制御信号重畳機能および制御アルゴリズムを実装した光送受信

- 装置を用い、主信号導通環境での統合検証、遠隔光送受信制御技術の実証
- 10G-EPON をベースとした総合的なシステム評価（検証用信号試験装置により光張り出し構成を模擬し、光ファイバ伝送路を用いて特性を評価）

- ウ マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成におけるシステム間連携技術
- 評価用エミュレータ・装置の機能拡張、総合評価
  - 評価用エミュレータ・装置による改善アルゴリズムの評価
  - システム間連携におけるスモールセル選択と移動通信以外の無線アクセスの活用技術の統合評価
  - 2バンド対応可変帯域高効率増幅器の評価
  - 試作増幅器による無線部評価とマルチバンド歪補償機能の評価

## 5. 実施期間

平成27年度から30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とともに国際標準化機関の検討グループの議長等の先導的地位を確保して積極的に貢献するものとする。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」及び平成35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。

#### ③研究開発成果の情報発信

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行うこと。

### (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とともに、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。また、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。

なお、4.(2) 技術課題及び到達目標において、技術課題ごとに、現在達成されている性能を目安として記載しているが、提案に当たっては、提案者が前提とする性能についてその根拠とともに記載すること。

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共に、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。また、第5世代移動通信システムの研究開発課題として平成27年度から開始する「高周波数帯・広帯域超多素子アンテナによる高速・低消費電力無線アクセス技術の研究開発」及び「複数移動通信網の最適利用を実現する制御基盤技術に関する研究開発」と十分に連携を図りながら進めること。

なお、本研究開発の成果については、「複数移動通信網の最適利用を実現する制御基盤技術に関する研究開発」にて策定する評価指標を適用し検証を行うとともに、「第5世代モバイル推進フォーラム」が促進する平成29年(2017年)(予定)から実施予定の5Gシステム総合実証にも適用し有効性を確認すること。

## <基本計画書>

### 第5世代移動通信システム実現に向けた研究開発 ～高周波数帯・広帯域超多素子アンテナによる 高速・低消費電力無線アクセス技術の研究開発～

#### 1. 目的

2011年9月に150Gbpsであった我が国の移動通信トラフィックは、わずか3年間で780Gbpsと5倍以上になるなど爆発的な増加を見せている。また、今後も、モバイル環境での4K視聴など高精細動画の伝送需要の増大やモバイルとクラウド・コンピューティングサービスとの連携拡大等を受け、移動通信トラフィックの増加が継続すると見込まれる。さらには、無数に配置されるセンサー、機器間通信(M2M)といったスマートフォンやタブレット以外の様々なアプリケーションが提供され、トラフィック傾向の質的变化なども予想される。

これらの様々な傾向へ適切に対応し、新サービスの登場に備えるためには、飛躍的なシステム能力の向上が必要であり、第4世代移動通信システム(4G:LTE-Advanced)のさらなる能力向上の技術開発に加えて、全く新しい無線アクセス技術を盛り込んだ第5世代移動通信システム(5G)の研究開発が急務となっている。5Gでは、通信システム容量向上、通信速度向上、低遅延化、接続可能デバイス数の増加、低消費電力化等が求められている。

2020年以降、5Gの商用サービスを国内において順次開始・拡大させるためには、既存の移動通信システムで用いられている周波数帯に加え、より高い周波数帯を段階的に追加使用できるようにしていくことで、システムの大幅な高速化を図ることが必要であり、またM2Mの普及に不可欠な極小電力の端末を5G網に接続することが必要である。

こうした背景のもと、逼迫しているUHF帯を引き続き有効活用しつつ、新たにSHF帯を積極的に利用して超高速化を図り、また低消費電力化にも資する技術として、高周波数帯・広帯域超多素子アンテナによる高速・低消費電力無線アクセス技術の研究開発を実施する。

本研究開発で扱う技術が実現し、移動通信の高速化が実現することにより、一例ではあるが、スタジアム環境において競技の高精細ハイライト映像をオンデマンドでプレイバック視聴するといった活用も可能となる。

#### 2. 政策的位置付け

- ・世界最先端IT国家創造宣言(平成26年6月24日閣議決定)

「IV. 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携」において「世界最高水準のIT社会を実現し、維持・発展させるために、情報通信社会の今後の動向を見

据えた研究開発を推進する」旨の記載あり。

- ・世界最先端 IT 国家創造宣言 工程表（平成 25 年 6 月 14 日決定、平成 26 年 6 月 24 日改定、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）

「4.（2）世界最高水準の IT インフラ環境の確保」において「【短期（2014 年度～2015 年度）】○通信ネットワークインフラの推進」では「第 4 世代移動通信システムの導入促進及び第 5 世代移動通信システムに求められる多様なニーズに対応するための研究開発等を推進する」、「【中期（2016 年度～2018 年度）】○通信ネットワークインフラの推進」では「第 5 世代移動通信システムの実現に向けた周波数の高度利用等を可能とする研究開発及び実証実験を推進する」旨の記載あり。

### 3. 目標

5 Gにおける超高速化技術を確立するため、高周波数帯・広帯域超多素子アンテナによる超高速無線伝送技術の研究開発を行う。低 SHF 帯スモールセルにおいて、無線周波数帯域幅が 50 MHz 幅を超える広帯域化と 100 素子以上の超多素子アンテナを用いることで 4 Gbps を超える高速伝送を実現することを目標とする。また、高 SHF 帯スモールセルにおいては、無線周波数帯域幅が 300 MHz 幅を超える広帯域化と 200 素子以上の超多素子アンテナを用いることで 15 Gbps を超える超高速伝送を実現しつつ、広帯域化により、4 Gシステムの無線アクセス技術を用いる場合に比べて、無線フレーム長を 4 分の 1 以下に短縮した超低遅延無線伝送を実現することを目標とする。加えて、5 Gにおける超低消費電力化を実現するため、多素子アンテナを用いて超低消費電力で接続を可能にする端末ディスカバリー技術の研究開発を行う。高利得化及び高効率なアクセス技術により、4 Gシステムのアクセス技術を適用した場合に比べて、エリア内で端末を検知できなかった場所の割合を 10 分の 1 以下に削減するとともに、約 10 分の 1 の超低消費電力化を実現することを目標とする。

### 4. 研究開発内容

#### （1）概要

5 Gにおける超高速化を実現するため、高周波数帯・広帯域超多素子アンテナを用いる超高速無線伝送技術の研究開発を行う。本研究開発では、キャリア周波数が 6 GHz 以下の低 SHF 帯において、光張り出しされた超多素子アンテナを用いてビーム制御を行うことで高速伝送を実現する低 SHF 帯超多素子アンテナ技術とビーム制御技術を ア 低 SHF 帯超多素子アンテナ技術とビーム制御技術 にて、キャリア周波数が 6 GHz を超える高 SHF 帯における超低遅延・広帯域無線伝送において、超多素子アンテナを用いてビームの形成と多重を行う高 SHF 帯広帯域超多素子アンテナ技術とビーム制御技術を イ 高

SHF 帯広帯域超多素子アンテナ技術とビーム制御技術にて、5Gにおける超低消費電力化技術を確立するため、超多素子アンテナを用いて超低消費電力で接続を可能にする端末ディスカバリー技術を ウ 超低消費電力で接続可能にする端末ディスカバリー技術 の研究開発を行う。

## (2) 技術課題および到達目標

### 技術課題

#### ア 低 SHF 帯超多素子アンテナ技術とビーム制御技術

6 GHz 以下の低 SHF 帯において周波数利用効率を向上するため、アンテナ素子数が 100 以上の超多素子アンテナの導入が有望である。超多素子アンテナを従来の基地局技術で導入しようとする、アンテナ素子数分の RF ケーブルをアンテナ素子接続に用いるのは現実的ではないため、アンテナと無線部を一体化させた超多素子アクティブアンテナシステムおよび集約基地局の研究開発を行い、周波数利用効率を向上する高精度ビーム制御アルゴリズムを確立する。また集約基地局と複数の送受信点間をフロントホールで接続する構成では、フロントホールのビットレートが増大し、効率的な実現が困難となる。この課題を解決するため、フロントホールのビットレートを抑制する集約基地局と送受信点の機能分離技術の研究開発を実施する。

#### イ 高 SHF 帯広帯域超多素子アンテナ技術とビーム制御技術

高 SHF 帯は、数 100 MHz 幅以上の連続した周波数が確保可能であり、広帯域化が可能であるが、伝搬損失が大きいという問題がある。そのため、伝搬損失を補償し、通信エリアを確保するためには超多素子アンテナを用いたビーム形成が有効であるが、それを実現しつつ、直進性が強い中、10 Gbps 以上のデータレートを実現する技術が必要となる。また、ビームを形成する際、ビーム放射方向の初期選定や切替えが発生し、これらを安定かつ高速に行うことも課題となる。これらの課題を解決するため、超多素子広帯域アンテナシステムの研究開発を行う。また、超高速伝送を達成するためのビーム制御技術、ビーム間干渉を低減する空間多重アルゴリズムの研究開発を実施する。

#### ウ 超低消費電力で接続可能にする端末ディスカバリー技術

今後 M2M で想定される端末は、従来の携帯電話が使用される場所に比較して奥まった場所や屋内の隅などに設置される場合があり、電波が届かず基地局側での検出ができず、結果として接続に至らない（圏外となる）という課題が生ずる。またこうした端末は超低消費電力での駆動が求められるため、電波の出力を微弱なものとする、あるいは、間欠的に駆動させるなどの制御が必要となるが、これにより基地局が端末を発見することが困難となる。そこで、端末が極小電力での電波発射の状態でも効率的に端末の所在を検知する技術を開発することで、端末の超低消費電力での駆動を可能とする。さら

に、これらの極小電力通信から高速通信までの様々なアプリケーションに対応したマルチクラス端末を収容するためには、アプリケーション毎にトラフィックの発生頻度やデータサイズも多種多様なものとなるため、柔軟かつ高効率なスケジューリング方式が課題となる。これらの課題を解決するため、多素子アンテナを用いた超低消費電力で接続可能にする端末ディスカバリー技術の研究開発を実施する。

## 到達目標

### ア 低 SHF 帯超多素子アンテナ技術とビーム制御技術

低 SHF 超多素子アクティブアンテナシステムを試作開発し、100～200m 程度の半径のセルにおいて、50 MHz 幅を超える無線周波数帯域幅、アンテナ素子数を 100 以上、Multi User-MIMO を適用し 5 を超える多重ユーザ数(ユーザ当たり最大 2 レイヤ)とすることで、4 Gbps を超えるピークデータレートを実現することを目標とする。さらに、実環境を考慮し、装置実装可能な高精度ビーム制御アルゴリズム、ユーザ多重アルゴリズム、送受信点間協調制御アルゴリズムを確立する。また、帯域幅の小さい経済的なフロントホールでも接続できる新たな機能分担およびインターフェース方式を策定する。

### イ 高 SHF 帯広帯域超多素子アンテナ技術とビーム制御技術

30～50m 程度の半径のセルにおいて、高 SHF 帯を用いる 200 素子以上の超多素子アンテナフロントエンド、高速伝送可能な RF/モデム等からなる基地局、ならびに、この基地局と対向する端末複数を用いて、300 MHz 幅を超える無線周波数帯域幅において 15 Gbps を超えるピークデータレートを実現することを目標とする。また、広帯域化により、4 G システムの無線アクセス技術を用いる場合に比べて、無線フレーム長を 4 分の 1 以下に短縮した超低遅延無線伝送を実現する。一の基地局が 10 を超えるビームを同時に扱い、ユーザの初期通信路確立や基地局切替え、上記データレートでの通信が可能なビーム制御技術と空間多重アルゴリズムを実現する。

### ウ 超低消費電力で接続可能にする端末ディスカバリー技術

従来圏外であった極小電力の端末を効率的に検知し、接続を実現する端末ディスカバリー技術と、端末毎のトラフィック要件に応じて効率的に収容するマルチクラス対応超高効率スケジューリング技術を備えた基地局、および複数端末を用いて、4 G システムのアクセス技術を適用した場合に比べて、エリア内で端末を検知できなかった場所の割合を 10 分の 1 以下に削減するとともに、従来の 10 分の 1 程度を目標とする超低消費電力化を実現する(提案に当たっては、比較の前提となる従来の消費電力についても、その根拠とともに示すこと)。

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、以下を想定している。

<平成27年度>

ア 低 SHF 帯超多素子アンテナ技術とビーム制御技術

- 超多素子アクティブアンテナの基本機能検証用装置を開発
- 基地局システムの基礎検討およびシステム仕様策定
- 集約基地局検証用プラットフォームの策定と基本性能の確認
- シングルセル環境におけるビーム制御・ユーザ多重アルゴリズムの検討
- 集約基地局と送受信点間のインターフェースを策定

イ 高 SHF 帯広帯域超多素子アンテナ技術とビーム制御技術

- 超多素子から構成されるアンテナ基板開発およびその放射パターンの評価
- アンテナ RF フロントエンド用要素回路開発および特性評価
- ユーザの初期通信路確立、基地局切替時に適用するビーム制御アルゴリズムを開発し、シミュレーションにより評価
- 8 を超える空間多重が可能な基本アルゴリズムを開発し、シミュレーションにより特性評価

ウ 超低消費電力で接続可能にする端末ディスカバリー技術

- 極小電力端末ディスカバリー技術の基本方式・アルゴリズムを開発し、シミュレーションにより評価
- 極小電力端末ディスカバリー技術の基本評価用ハードウェアの開発および特性評価
- マルチクラス対応超高効率スケジューリング技術の基本方式・アルゴリズムを開発し、シミュレーションにより評価

<平成28年度>

ア 低 SHF 帯超多素子アンテナ技術とビーム制御技術

- 実験システムを構成する基地局システムと端末部の基本開発
- マルチセル環境におけるビーム制御・ユーザ多重アルゴリズムの評価
- 実伝搬での誤差に対してロバストなビーム制御アルゴリズムを確立
- 機能分担およびインターフェースを実装し、評価
- 複数の送受信点間で協調制御を行うための検討を実施し、拡張インターフェース方式を策定

イ 高 SHF 帯広帯域超多素子アンテナ技術とビーム制御技術

- 前年度開発したアンテナと RF フロントエンドの結合評価
- 高速広帯域モデムの開発および伝送評価

- 前年度開発した空間多重アルゴリズムを実装レベルまで詳細化し、回路実装
- ウ 超低消費電力で接続可能にする端末ディスカバリー技術
- 極小電力端末ディスカバリー技術の基本評価システムの開発、アルゴリズムの有効性検証および最適化
  - マルチクラス対応超高効率スケジューリング技術の基本評価システムを開発、アルゴリズムの有効性検証および最適化

<平成29年度>

- ア 低 SHF 帯超多素子アンテナ技術とビーム制御技術
- 拡張開発を行い、検討アルゴリズムによる超多素子アンテナ制御の評価
  - 検討した拡張インターフェースを実装し、基本動作確認
  - 複数送受信点間の協調制御によるセル境界での性能改善効果の検証
  - 端末を静止させたフィールド検証にて、開発したビーム制御・ユーザ多重アルゴリズムの動作の検証およびアルゴリズムの改良
  - 策定した拡張インターフェースにより基地局システムを用いて評価
  - フロントホールとして無線を用いるときの課題検討
- イ 高 SHF 帯広帯域超多素子アンテナ技術とビーム制御技術
- 基地局と対向する端末局が静止時の複数ユーザ伝送検証
  - 開発した基地局装置を用いて取得した電波伝搬データをシミュレータに入力し、27年度に開発したビーム制御アルゴリズムの有効性を検証
  - 28年度に回路実装した空間多重アルゴリズムを静止環境実験により実証
- ウ 超低消費電力で接続可能にする端末ディスカバリー技術
- 極小電力端末ディスカバリー技術およびマルチクラス対応超高効率スケジューリング技術を組み合わせた統合評価システムの開発および実証評価
  - システム全体の最適化および各アルゴリズムの改良

<平成30年度>

- ア 低 SHF 帯超多素子アンテナ技術とビーム制御技術
- 実際の伝搬環境での超高速無線伝送実験を実施
  - 端末移動環境において同時多重・ユーザ追従動作の検証
  - 複数送受信点間の協調制御動作の確認、セル境界での性能改善効果の検証
  - 端末移動環境において、複数の送受信点に対する協調制御の検証
- イ 高 SHF 帯広帯域超多素子アンテナ技術とビーム制御技術

- 基地局と対向する端末が移動している時の複数ユーザにおける伝送検証
  - 前年度静止環境実験により実証した空間多重アルゴリズムを移動環境で実証
- ウ 超低消費電力で接続可能にする端末ディスカバリー技術
- 統合評価システムの機能拡張および応用実験評価
  - 実際にエリア展開した環境下でのシミュレーション評価、およびシステム全体での通信容量の改善効果検証

## 5. 実施期間

平成27年度から30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とともに国際標準化機関の検討グループの議長等の先導的地位を確保して積極的に貢献するものとする。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」及び平成35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。

#### ③研究開発成果の情報発信

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行うこと。

### (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とともに、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。また、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。

なお、4.(2)技術課題及び到達目標において、技術課題ごとに目標とする諸元を記載しているが、検討の目安として記載したものである。従って、提案に当たっては、提案者が目標とする性能や現行技術による性能、想定するセル半径、端末の移動速度等について、できるだけ詳細にその根拠とともに記載すること。また、技術課題ウについては、その技術が新しい利用方法にどのように役立つのかについても併せて記載すること。

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共に、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。また、第5世代移動通信システムの研究開発課題として平成27年度から開始する「超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成による大容量化技術の研究開発」及び「複数移動通信網の最適利用を実現する制御基盤技術に関する研究開発」と十分に連携を図りながら進めること。

なお、本研究開発の成果については、「複数移動通信網の最適利用を実現する制御基盤技術に関する研究開発」にて策定する評価指標を適用し検証を行うとともに、「第5世代モバイル推進フォーラム」が促進する平成29年(2017年)(予定)から実施予定の5Gシステム総合実証にも適用し有効性を確認すること。

# ＜基本計画書＞

## 第5世代移動通信システム実現に向けた研究開発

～複数移動通信網の最適利用を実現する制御基盤技術に関する研究開発～

### 1. 目的

2011年9月に150Gbpsであった我が国の移動通信トラヒックは、わずか3年間で780Gbpsと5倍以上になるなど爆発的な増加を見せている。また、今後も、モバイル環境での4K視聴など高精細動画の伝送需要の増大やモバイルとクラウド・コンピューティングサービスとの連携拡大等を受け、移動通信トラヒックの増加が継続すると見込まれる。さらには、無数に配置されるセンサー、機器間通信(M2M)といったスマートフォンやタブレット以外の様々なアプリケーションが提供され、トラヒック傾向の質的变化なども予想される。

これらの様々な傾向へ適切に対応し、新サービスの登場に備えるためには、飛躍的なシステム能力の向上が必要であり、第4世代移動通信システム(4G:LTE-Advanced)のさらなる能力向上の技術開発に加えて、全く新しい無線アクセス技術を盛り込んだ第5世代移動通信システム(5G)の研究開発が急務となっている。5Gでは、通信容量向上、通信速度向上、低遅延化、接続可能デバイス数の増加、低消費電力化等が求められている。

こうした要求条件をクリアしていくことで、5Gは狭義の「携帯電話ネットワーク」の範囲を超え、様々なサービスのインフラとなりえると考えられる。これらの用途を満たすためには、携帯電話や移動体通信サービスを提供する移動通信網が、センサーネットワークやITS網、会社・大学等が有する自営網などの様々な通信網と接続し、全体として様々なサービスを提供することが可能な5G網を構成することが望まれる。つまり5G網はそのものの通信特性や周波数利用効率が高いものであることに加え、インターネットを含む公共ネットワークや、無線LAN等の自営網とも連携、あるいは融合し、要求される通信特性が異なるさまざまなサービスを提供するものでなくてはならない。そしてそれにより、5G網がいわゆるライフラインとして機能してくるものとなる。

こうした背景のもと、本研究開発では、複数の移動通信網に加え、自営網などの異種無線システムを連携動作させることにより更なる高速通信、大容量化の実現を目指す。また、同一の周波数帯域を複数移動通信網にて共用可能とする技術を確立することにより、網運用コストの低減を目指すとともに、周波数利用効率の向上に資することを目指す。

### 2. 政策的位置付け

- ・世界最先端IT国家創造宣言(平成26年6月24日閣議決定)

「IV. 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携」において「世界最高水準の IT 社会を実現し、維持・発展させるために、情報通信社会の今後の動向を見据えた研究開発を推進する」旨の記載あり。

- ・世界最先端 IT 国家創造宣言 工程表（平成 25 年 6 月 14 日決定、平成 26 年 6 月 24 日改定、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）

「4.（2）世界最高水準の IT インフラ環境の確保」において「【短期（2014 年度～2015 年度）】○通信ネットワークインフラの推進」では「第 4 世代移動通信システムの導入促進及び第 5 世代移動通信システムに求められる多様なニーズに対応するための研究開発等を推進する」、「【中期（2016 年度～2018 年度）】○通信ネットワークインフラの推進」では「第 5 世代移動通信システムの実現に向けた周波数の高度利用等を可能とする研究開発及び実証実験を推進する」旨の記載あり。

### 3. 目標

複数の移動通信網が同一周波数を動的に共用する場合に必要な制御技術を確認する。また、複数の 5 G 網や異種無線システムの連携を可能とする分散利用制御技術を確認し、その制御に応じて動作する無線システムを開発する。これらの取組により、移動通信網や自営網が連携しない場合と比較して、6GHz 以下の周波数帯において新たに、100MHz 幅に相当する周波数資源を創出する。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

本研究開発では、自営網も含めた複数の移動通信網を組み合わせる最適な利用を行うための制御技術を中心とした、以下のア、イに掲げる 2 つの技術課題について研究開発を行う。

現在、複数の移動通信網が同一地点に存在する場合であっても、周波数の逼迫具合はそれぞれの網により異なり、ある網は混雑している一方である網は余裕がある状態になる場合がある。このとき、例えば、周波数資源を動的に融通することができれば、全体としての周波数利用効率を向上させることが可能となる。

この点に着目し、複数の移動通信網が動的に周波数の共用を行う場合に必要となる制御技術を確認するとともに、移動通信網と既存の無線 LAN などの非 5 G 無線システムとのインターフェースや協調方式などの検討、及び技術検証のための評価指標の策定を ア 周波数共用・分散利用制御技術 として行う。また、これらの制御基盤技術に基づき、サービス提供を可能とする基地局や端末等の無線システム技術を イ 複数移動通信網対応無線システム技術 にて研究開発する。

#### (2) 技術課題および到達目標

## 技術課題

### ア 周波数共有・分散利用制御技術

複数の移動通信網が同一周波数の電波の共用等を行う際に必要となる技術の確立を狙う。

同一周波数を複数の移動通信網により共用する際の管理・制御技術に加え、他用途に分配された周波数を第5世代移動通信向けに共用可能とする技術を開発する。このために必要な周波数利用状況の収集・管理・発見と、共用条件決定技術、また、周波数共用時に発生する無線レベルの影響を回避するための技術についての研究開発を行う。

加えて、移動通信網と既存の無線 LAN などの非5G無線システムとを組み合わせることで最適な利用を実現するために必要となるインターフェースや協調方式の確立、また、各網に共通な認証機構・通信品質制御・サービス継続技術、連携時に必要な制御技術、および移動通信網と自営網の連携動作に関する研究開発を行う。併せて、複数の移動通信網の連携動作の検証に必要な評価指標の策定を行う。

### イ 複数移動通信網対応無線システム技術

自営網を含む様々な運用ポリシーを持つ移動通信網を複数組み合わせたサービスの提供を可能とする基地局・端末技術、およびエンド・エンド制御技術の確立を狙う。

既に他用途に割り当てられている周波数を共用可能とし、また複数の移動通信網が同一の周波数を動的に共用することを可能とするための共用基地局技術を開発する。さらに、共用周波数帯・自営網も含めた任意の複数帯域を柔軟に組み合わせた利用を可能とするアグリゲーション技術（ネットワークレベルによるものを含む）の研究開発を実施し、それに対応可能なさまざまな帯域・周波数共有技術を利用可能とする端末側マルチバンドアクセス技術を開発する。

加えて、秘匿性が高くかつ通信品質を制御可能な通信経路制御技術、および異種無線システムに対応した高度マルチホップ D2D 通信技術の研究開発を行う。

## 到達目標

### ア 周波数共有・分散利用制御技術

- 同一周波数を複数移動通信網により共用可能とする。
- 既存用途に影響を及ぼさず共用を可能とする技術、効率的な周波数利用を実現する技術をそれぞれ確立する。
- 複数の移動通信網や自営網の連携に必要なアーキテクチャ、インターフェース、プロトコル等を策定する。
- これらの制御技術により、主に 6GHz 帯以下で新たに、例えば 100MHz 幅以上に

相当する周波数資源を創出する。

- 複数の移動通信網と自営網との連携動作の評価指標を策定し、課題イの成果物を用いた性能評価を実施可能とする。

#### イ 複数移動通信網対応無線システム技術

- 移動通信網に専用に割り当てられた周波数帯と、複数の移動通信網による共用を想定した周波数帯の双方を含め、異なる周波数帯を活用可能な（ネットワークレベルも含む）アグリゲーション技術と、それに対応可能な複数帯域を利用可能な端末技術を確立する。
- 異種無線アクセスを活用した D2D 通信技術と、それを介したマルチホップ通信技術を確立する。
- 周波数を複数の移動通信網で利用可能な共用基地局を開発し、共用する移動通信網数が増える場合（たとえば、一の移動通信網のみを使用している状態から、二の移動通信網による共用に変更）に、既存の通信を切断することなく、2秒以内に切り替えが完了すること。

更に、これらの技術の国際標準化に向けた活動を行う。

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。

<平成27年度>

#### ア 周波数共用・分散利用制御技術

主に 6GHz 以下の帯域のうち特定の帯域において、その帯域の一次利用者の無線システムの諸元を考慮して帯域の共用可否の判断を行い、またその判断を学習していく方式について基礎的な検討を行い、その一部を実装・評価する。また、利用可能な帯域情報の収集・管理を複数の周波数帯にわたって行う管理技術について設計し、一次試作を実施する。

さらに、移動通信網と自営網の分散利用に必要な、各網間で交換されるべき情報の種類について明確化し、セキュリティを考慮したインターフェースとプロトコルの設計を行う。

#### イ 複数移動通信網対応無線システム技術

異なる移動通信網に属する複数の基地局に同時接続を可能とするアグリゲーション方式を策定し、またアグリゲーション時の端末側及び複数の移動通信網間における制御方式を策定する。また、それぞれの要素技術について評価装置（あるいはソフトウェア）を開発する。

また、複数の移動通信網のそれぞれのユーザが接続できる共用基地局方式について、接続方式・認証方式に関する基礎的な検討を実施する。

加えて、D2D 方式を拡張した高効率マルチホップ通信方式について基礎検討

を行い、計算機シミュレーションにより性能評価を実施する。

#### <平成28年度>

##### ア 周波数共有・分散利用制御技術

平成27年度に開発した共有可否判断を行う学習方式について、複数の帯域に拡張する。また、複数の周波数帯にわたって共有可否管理を行うことが可能な、周波数管理方式システムの二次試作を実施し、学習方式と併せ、実現性評価と性能評価を実施する。

また、移動通信網・自営網間連携アーキテクチャについて、平成27年度の検討成果に基づき策定する。

##### イ 複数移動通信網対応無線システム技術

平成27年度に設計した接続方式・認証方式を実装した、異なる帯域で運用される複数移動通信網共用基地局を2種以上開発し、またその両帯域に対応したマルチモード端末試作機も試作し連携動作を実現する。異なる帯域で運用される異なる移動通信網が有する複数の基地局を模擬し、アグリゲーション時の機能試験、性能評価を実施する。

また、平成27年度に設計した高効率マルチホップ通信方式について、異周波数帯リンクの中継も可能なように拡張し、その際の効率化手法と性能評価を実施する。

#### <平成29年度>

##### ア 周波数共有・分散利用制御技術

課題イで開発した無線システム試作装置と連携した評価を実施し、周波数共有機能に基づいて基地局・端末が動的に最適な周波数帯・基地局を選択可能となることを示す。また、5Gの占有帯域と非5G帯域の連携、及び複数移動通信網が共用する帯域などを組み合わせたリソースの最適配分技術について検討・評価を行う。また、平成28年度にまとめたアーキテクチャを、課題イの検討に反映し、移動通信網・自営網を組み合わせたリソース利用について評価を実施する。

##### イ 複数移動通信網対応無線システム技術

課題アで開発した周波数管理方式と連携し、動的に最適な周波数帯・基地局を選択可能とする、5G占有帯域と共用帯域を組み合わせたアグリゲーション技術を開発し、試作無線システムを用いた検証を行う。また、複数移動通信網のための共用基地局の方式最適化を進め、基地局の二次試作を行い、評価を実施する。

#### <平成30年度>

ア 周波数共有・分散利用制御技術

イ 複数移動通信網対応無線システム技術

課題 ア・イの両課題を連携させ、システムとして複数の移動通信網が基地局を共同運用可能であることを確認する共に、新たに共有可能とすることで創出した帯域幅等から本研究開発成果による周波数利用効率の向上性について評価を実施する。

必要に応じ、「第5世代移動通信システムの研究開発」の他の研究課題と共同で性能評価を実施し、5Gに求められる通信容量・通信速度・遅延・接続可能デバイス数・消費電力量等について、システムとしての実現性を確認する。

## 5. 実施期間

平成27年度から30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とともに国際標準化機関の検討グループの議長等の先導的地位を確保して積極的に貢献するものとする。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」及び平成35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。

#### ③研究開発成果の情報発信

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行うこと。

### (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

値目標を定めるとともに、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。また、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。

なお、本研究開発 技術課題アにおける周波数共用に関し、共用の方法を限定するものではないが、どのように実現するのかが分かるように、また、具体的な活用場面、創出可能な周波数帯域幅とその根拠、共用対象となる運用主体各々にとっての利点、欠点などについても可能な限り記述すること。技術課題イに関し、マルチホップの段数や想定される遅延など、目標とする性能についても、その根拠とともに記載すること。

また、技術課題アにて開発する複数移動通信網間の連携動作の検証に必要となる評価指標については、「第5世代移動通信システムの研究開発」他案件でも適用し検証を行うとともに、「第5世代モバイル推進フォーラム」が促進する平成29年（2017年）（予定）から実施予定の5Gシステム総合実証にも適用し有効性を確認すること（2つの技術課題に関し、どのような形で有効性を確認すべきかについての記述も提案書に含めること）。

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共に、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。また、第5世代移動通信システムの研究開発課題として平成27年度から開始する「超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成による大容量化技術の研究開発」及び「高周波数帯・広帯域超多素子アンテナによる高速・低消費電力無線アクセス技術の研究開発」と十分に連携を図りながら進めること。

# ＜基本計画書＞

## 300GHz 帯無線信号の広帯域・高感度測定技術の研究開発

### 1. 目的

無線インターネットやスマートフォン等の普及による情報伝送需要の急増や機器の ICT 化に伴う電波利用の拡大により、マイクロ波帯の周波数のひっ迫が懸念されている。モバイルデータトラフィックは、今後も飛躍的に増大することが予想されており、通信容量の確保は喫緊の課題となっている。これらの課題を解決し、増大するモバイルデータトラフィックの要求に応えるために、数十 Gbps 級の伝送速度の実現が可能なミリ波・テラヘルツ波帯の利用が強く求められている。

ミリ波・テラヘルツ波帯の通信に関しては、2020 年頃に 20G-40Gbit/s 程度の実用化が期待されており、情報 KIOSK、モバイルバックホール、データセンター内の通信、スポーツ中継などの 4K/8K 映像コンテンツやリアルタイム遠隔手術現場のケーブルレス化のための高精細画像非圧縮伝送、コンピュータ等の機器内のボード間通信、THz カメラやセンシングなど、様々な形で社会生活に浸透していくことが予想されている。

また、国際機関等においても、ITU-R WP1A で周波数管理の検討が進められているほか、IEEE 802.15 Study Group 100Gbit/s Wireless ではモバイルバックホールなどへの応用を軸に国際規格化の検討が進められている等、国際標準化に向けた取組みが加速している。

今後、通信システム間の干渉を避け、ミリ波・テラヘルツ波帯における電波の効率的な利用を実現するためには、厳密な技術基準の策定やその適合性確認のための試験方法の導入が必要であり、広帯域な無線通信の信号品質を、高精度かつ高効率に測定するための測定手法や測定環境、解析技術を確立することが不可欠である。

本研究開発では、無線システムに使用される周波数資源のミリ波・テラヘルツ波帯への移行を促進するための基盤として、140GHz から 300GHz 帯の無線信号を高精度かつ高効率に測定するために必要な技術を実現することを目的とする。

これによりワイヤレスシステムのミリ波・テラヘルツ波帯への移行や周波数の有効利用を促進するとともに、我が国のワイヤレス分野における国際競争力強化に資する。

### 2. 政策的位置付け

- ・電波有効利用の促進に関する検討会報告書（平成 24 年 12 月 25 日）
  - 第 1 章 電波利用環境の変化に応じた規律の柔軟な見直し
    - 1. 電波有効利用を促進する柔軟な無線局の運用

### (3) 周波数再編の加速

#### ② 電波有効利用技術の活用

電波の有効利用を一層推進する観点から、今後は、センサーネットワーク、M2M、テラヘルツ帯デバイス、無人無線航行関連技術など、新たなニーズに対応した無線技術をタイムリーに実現するとともに、電波利用環境を保護するための技術について開発をより一層推進するため、国際標準化、国際展開も含め、成果の実用化に向けた各段階の取組の充実・強化を図ることが必要である。(本文7ページ21～25行目)

## 第3章 電波利用料の活用の在り方

### 1. 電波利用料の新たな活用分野

#### (1) 検討に当たっての基本認識

① 昨今、スマートフォンの急速な普及等により、移動通信トラフィックが前年度比2倍以上の割合で増加する等周波数のひっ迫が深刻化していることを踏まえると、電波の有効利用や周波数の移行等に一層強力に取り組み、他の無線システムに割当て可能な周波数を生み出すことや追加的な周波数の割当てを回避することにより、周波数のひっ迫状況を迅速に緩和する対策の必要性が高まっていること(本文19ページ25～30行目)

### 3. 目標

ミリ波・テラヘルツ波帯の通信の信号品質を定量的に評価可能な汎用測定器の実現のため、140GHz から 300GHz 帯の広帯域の無線信号の 140GHz から 300GHz 帯を対象とした測定手法、測定環境及び解析技術を確立する。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

140GHz から 300GHz 帯の広帯域の信号品質を高精度かつ高効率に評価するために必要な以下の要素技術を確立する。

- ア QPSK 変調信号などの品質を高精度に測定するために必要な測定環境の構築を含む送信系計測技術
- イ 測定におけるイメージ成分を除去し測定対象のみを抽出する高精度のフィルタ技術
- ウ ベースバンド帯域が 15GHz を超える変調信号の信号品質を定量的に評価可能とする広帯域変調解析技術

#### (2) 技術課題および到達目標

##### **技術課題**

#### ア 送信系計測技術の開発

ミリ波・テラヘルツ波帯の無線信号では変調帯域の拡大に伴いスペクトル密

度が低下するため、これまでに開発されてきた 140GHz まで適用可能な開発済み技術よりもさらに高感度なスペクトル測定や変調信号解析の技術が必要とされる。しかし、周波数が高くなるにつれ、測定系の雑音レベル、周波数変換時の損失、局部発振器の位相雑音などが上昇して技術的な困難さが格段に増大することから、このような測定技術は確立されていない。

また、ミリ波・テラヘルツ波帯の通信では、QPSK 変調信号などの周波数効率の高い変調方式の採用が予想されるものの、現状ではこれらの帯域における QPSK などの位相変調に対応する測定手法は未検討であり、送信系を評価するための測定環境も実現されていないことから、被測定信号を発生する変調信号源とその信号を評価する信号解析実験系とからなる送信系計測用テストベッドの開発やスプリアス及び QPSK 変調信号などの品質測定に必要な測定手法及び測定環境の確立が求められている。

信号レベルの基準となる信号源の実現のためには、変調信号源の周波数特性等を補償する技術や信号解析実験系の測定レベルを校正する技術を開発し、信号レベルの絶対値評価を実現するとともに、その測定確度を評価することが必要である。

信号解析実験系の構築においては、無線信号をダウンコンバートするためのフロントエンドを試作するとともに、イで実現するフィルタ及び市販のスペクトラムアナライザ並びにウで実現する変調解析系と一体化し、スペクトル解析及び変調解析の機能を実現することが必要である。

信号解析実験系に使用する局部発振器については、 $-120\text{dBc/Hz}$  よりも優れたフロア雑音特性が必要となる。また、スペクトル解析の際には測定系内で発生するスプリアスが信号と同一周波数で重なることを避けるために局部発振器の周波数を可変とする必要がある。

これらの変調信号源と信号解析実験系を組み合わせた送信系計測用テストベッドによる実測定を想定した実験を通して、測定環境の構築手法を含めた送信系の測定手法を確立する必要がある。

#### イ 高精度フィルタ技術の開発

マイクロ波帯においては高精度なスペクトル測定技術が実現されており、無線システムの不要発射による有害な混信を避けるために厳密なスプリアスの測定が実施されている。ミリ波・テラヘルツ波帯の通信の実用化においても同様に、他の通信システムへの混信防止のため、不要発射によるスプリアスに対する規格策定と遵守が必要となるが、現状では規格の基盤となる高精度なスペクトル測定手法が実現されていない。特に、スペクトル測定においてプリセレクタを使用しない場合、ダウンコンバート時にイメージ成分が IF 信号に混入し、正確なスペクトル測定が実施できないため、測定におけるイメージ成分を除去し、測定対象のみを抽出する高精度のフィルタの実現が課題となっている。

上記の実現方策として、例えば、軸長が可変な空洞共振器を用いたフィルタ

の開発が考えられる。この場合、開発するフィルタは方形導波管で接続される形態をとることが想定されるため、140GHz から 300GHz 帯の全域をカバーするために複数のフィルタを準備する必要がある。

#### ウ 広帯域変調解析技術の開発

モバイルバックホールのように、長い通信距離が想定される通信では、雑音耐性の高い QPSK が有力な変調方式の一つと考えられているが、この周波数帯における高効率な広帯域 QPSK 通信技術の開発や運用に必要な信号品質評価のための変調信号解析技術は確立されていない。

現状では 20Gbit/s の QPSK 信号の定量評価も困難な状況にあり、ダウンコンバータを使用することにより測定系を構築することは可能であるものの、その測定値には被測定信号の真の特性と測定系の特性が分離されずに含まれており、測定系の周波数特性などを補償しない限り、正しい測定結果を得ることができないことから、ミリ波・テラヘルツ波帯の変調信号の信号品質を定量的に評価可能な測定装置の開発は喫緊の課題であると言える。

また、QPSK 変調を用い伝送速度 20Gbit/s の通信を実現する場合、シンボル速度は 10GSymbol/s となることから、測定装置を実現する上では、解析帯域幅を 15GHz 程度確保することが必要となる。

上記の実現方策として、例えば、高速 A/D 変換を実現し、復調器を含む変調解析系の試作を通じて、ミリ波・テラヘルツ波帯での EVM 測定が可能な変調信号測定系の構築が考えられる。

また、EVM 測定技術の実現においては、信号解析実験系における振幅・位相性能の劣化分や IQ インバランス等を補償するための技術の確立が求められている。

なお、測定対象の帯域幅及び変調方式については、段階的に ASK、PSK 等に対応することも検討する必要がある。

#### 到達目標

140GHz から 300GHz 帯の QPSK 変調信号（被測定信号レベル-15dBm 以上を想定）などの品質を測定、評価するための要素技術として、次の 3 つを実現する。

- ・ 140GHz から 300GHz 帯の QPSK 変調信号などの品質を解析帯域幅 15GHz 以上で測定可能とする測定技術及び測定環境構築技術。なお、信号解析実験系に使用する局部発振器については、-120dBc/Hz よりも優れたフロア雑音特性とし、スペクトル解析の際に測定系内で発生するスプリアスが信号と同一周波数で重なることを避けるため、局部発振器の周波数を可変とすること
- ・ 140GHz から 300GHz 帯におけるイメージ除去フィルタ構成技術。なお、イメージ除去比は、200GHz において 30dB 以上とする。
- ・ 140GHz から 300GHz 帯の QPSK 変調信号の品質をエラーベクトル振幅（EVM）10% 以下で定量的に評価するための変調解析技術。なお、測定装置を実現する上で、

解析帯域幅は 15GHz 程度確保可能とすること

さらに、これらを含む全体として、対象無線信号を高精度に測定するための 140～300GHz 帯に対応した実証システムを実現する。

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。

(例)

<平成 27 年度>

- ア 送信系計測技術の開発
  - ・ CW/ASK 変調信号源の設計と試作
  - ・ フロントエンド 1 次試作
- イ 高精度フィルタ技術の開発
  - ・ 高精度フィルタの検討
- ウ 広帯域変調解析技術の開発
  - ・ 変調解析技術の方式検討
  - ・ 変調解析原理検証モデルの設計と試作

<平成 28 年度>

- ア 送信系計測技術の開発
  - ・ BPSK/QPSK 変調信号源 1 次試作
  - ・ フロントエンド 2 次試作
  - ・ レベル校正システム試作
- イ 高精度フィルタ技術の開発
  - ・ 高精度フィルタ原理検証モデル試作
- ウ 広帯域変調解析技術の開発
  - ・ 変調解析系 1 次試作
  - ・ ASK 測定系 2 次試作

<平成 29 年度>

- ア 送信系計測技術の開発
  - ・ BPSK/QPSK 変調信号源 2 次試作
  - ・ テストベッド 1 次試作
- イ 高精度フィルタ技術の開発
  - ・ 高精度フィルタ 1 次試作
- ウ 広帯域変調解析技術の開発
  - ・ 変調解析系 2 次試作
  - ・ BPSK/QPSK 測定系 1 次試作

<平成30年度>

- ア 送信系計測技術の開発
  - ・テストベッド2次試作及び性能評価
- イ 高精度フィルタ技術の開発
  - ・高精度フィルタ2次試作及び性能評価
- ウ 広帯域変調解析技術の開発
  - ・変調解析系3次試作及び性能評価
  - ・BPSK/QPSK測定系2次試作及び性能評価

5. 実施期間

平成27年度から30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」及び平成35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共に、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＞

## 不要電波の広帯域化に対応した電波環境改善技術の研究開発

### 1. 目的

移動体通信のトラヒックは今後も急速な拡大が予測され、広帯域の周波数を確保するため、2020年頃には、SHF帯までの更に高い周波数への移行が予想されている。

一方で、2020年前後には、SiCやGaN等の高速パワーデバイスとそれを用いたインバーター機器やワイヤレス電力伝送システム（WPT）等の新たな電波利用機器の普及が見込まれる等、外来ノイズの増加が懸念されている。家庭や車内のように家電製品や電子機器等が稠密に設置された環境では、スイッチングノイズがSHF帯まで及ぶ恐れがあり、これが将来の移動通信システムの安定な運用を阻害する大きな脅威となり得るのは明らかである。

本研究開発は、700MHzから6GHzまでの周波数を対象とし、外来ノイズから無線設備の安定的な運用を確保するために必要な電波環境改善技術の実現を目的とする。

これにより、移動体無線局の受信感度向上や周波数の有効利用を促進するとともに、移動体通信システムの周波数逼迫の解消を図る。

### 2. 政策的位置付け

- ・電波有効利用の促進に関する検討会報告書（平成24年12月25日）

#### 第2章 利用者視点に立った電波の有効利用の促進

##### （2）家電製品等から発生する不要電波等への対策

今後M2Mが普及し、無線機能が組み込まれたヘルスケア機器や、今後普及が見込まれるスマートメーター等が家電製品等の近傍で使用された場合、それら無線機能への影響も懸念されている。

（中略）

他方、電波環境は各国の住環境等により事情が異なり、我が国のように家電製品や電気機器等が高密度に利用される環境で発生する不要電波やその不要電波からの耐性に関する基準が必ずしも各国と一律にならないこともあり得るため、諸外国と連携しながらCISPRをはじめとする国際機関に対して規格の提案を行い、積極的に取り組んでいくことが適当である。

##### （3）エネルギー管理システム等から発生する不要電波等への対策

環境・エネルギー問題に対応して、国内外において、スマートグリッド（次世代送電網）、HEMS（ホーム・エネルギー・マネジメント・システム）等のエネルギー管理システムの導入ニーズが急速に高まっているが、これらには、太陽

光発電系統連系コンディショナ（GCPC）をはじめ、大電力のインバーター等が含まれる場合が多く、不要電波の発射源となるおそれがある。

（中略）

また、エネルギー管理システムからの不要電波等の取扱いについて、他の分野の標準化と同様、国際標準化活動の充実・強化を図るとともに、この不要電波による無線通信への影響を軽減するといった観点からの研究開発等を推進することが適当である。

### 3. 目標

集積回路の高集積化と低電力駆動化により小型無線通信機器の利用の多様化、拡大は一層進展しており、それに伴い、これらの電子機器から発生する漏えい電磁波による電磁両立性問題が深刻化してきている。

不要電波、利用帯域とも広帯域化する中で、こうした漏えい電磁波に対する効果的な対策を行うため、700MHz から 6GHz までの周波数における通信品質の安定化や周波数利用効率の高い移動体通信システムの構築に必要な、受信部での不要電波の影響を抑制する技術、ノイズ発生源での高調波ノイズの発生と伝搬を抑制する技術及びこれらを効率的かつ効果的に実施するためノイズ発生源の特定や対策による効果を定量的かつ高精度に測定・評価する技術を確立する。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

700MHz から 6GHz までの広い周波数帯に対応し、外来ノイズから無線設備の安定的な運用を確保するために必要な以下の要素技術を確立する。

- ア 任意の周波数帯のノイズ耐性の向上と受信感度の低下を防護するフィルタリング技術
- イ 送信設備等のスイッチング電源機器が発する高調波雑音の影響を任意の周波数帯で抑制するフィルタリング技術
- ウ 被測定対象周辺の電磁環境の攪乱を発生させることなく、周辺の磁界分布を詳細に測定する近傍磁界測定技術
- エ ノイズ低減対策効果の評価環境の構築及びスプリアスの発生と低減を定量的かつ動的に評価する電波環境評価技術

#### (2) 技術課題および到達目標

##### **技術課題**

ア 受信感度の低下防護のための広帯域フィルタリング技術の開発

移動体通信システムの端末となる小型無線通信機器は、屋内外において他の無線機器や家電製品、電気機器等と近距離で高密度に利用されるため、これらから放射される不要電波にさらされる頻度や程度の増大による混信の増加が懸念されている。移動体通信システムを安定的に運用するためには、受信部に混

入する外来ノイズの抑制が不可欠であるが、これらの混信は様々な周波数の電波によって引き起こされており、スイッチングノイズの高周波数化等により、SHF 帯にまで及ぶことが予想されることから、ノイズ抑制技術も SHF 帯まで対応できることが必要となる。しかし、現状では、移動体通信システムの通信性能を確保しつつ受信部に混入する外来ノイズを抑制する技術は 2GHz 帯程度までしか実用化されていないため、第 5 世代移動体通信システム等のより高い周波数帯を使用するシステムにおいては、設計の自由度を維持しつつ十分な受信感度を確保することは困難と考えられる。

今後、移動体通信システムは、3GHz を超える高い周波数帯での利用が予想されており、SHF 帯までの広い周波数範囲で、任意の周波数のノイズ耐性の向上や受信感度の改善を可能とする技術を確立する必要がある。

#### イ 送信設備等の高調波雑音抑制のためのフィルタリング技術の開発

無線設備の電源装置から発生するスイッチングノイズは、SiC や GaN 等のパワーデバイスの普及拡大により、SHF 帯程度まで拡がることが予想されるが、このような高い周波数帯域において、任意の周波数ノイズを効率的に抑制する技術は存在していない。

既存のノイズ対策部品等を用いた対策では、放射される不要電波を抑制する効果は 5dB を下回るレベルにとどまっており、移動体通信端末等、他の無線機器が近距離で稠密に利用される環境で通信品質を確保するには不十分である。

効率的なスイッチングノイズ対策の実現のため、電源から発生する高調波雑音が伝搬・放射し通信品質を劣化させる経路やメカニズムを明らかにするとともに、SHF 帯までの任意の周波数ノイズの発生を効率的に抑制し、他の無線設備等への干渉を防止する技術を確立する必要がある。

#### ウ 近傍磁界測定技術の開発

アにおいて、ノイズ対策の効果的な実施や改善効果の把握のためには、機器等から発生する不要電波の状況を高精度に測定する技術が不可欠である。

国際無線障害特別委員会 (CISPR) が策定した情報技術装置の妨害特性の許容値及び測定法に関する国際規格 (CISPR 32) では、150kHz から 6GHz までの放射妨害波の測定が求められている。不要電波が高い周波数に及ぶことでこのような広い周波数範囲の測定が必須となる一方で、測定に要する時間は長時間に渡るものとなっており、不要電波を容易に測定する技術の確立が困難な状況となっている。

また、高密度の集積回路や小型情報通信機器では、詳細な測定を行うため、対象に極めて近い位置で測定する必要があるが、このような近傍測定では、測定プローブが測定対象となる電磁界に与える影響が無視できないものになることから、高精度の測定が困難な状況となっている。

携帯型の情報通信機器は、今後、より一層の小型化が予想されており、機器

近傍における高精度の測定の必要性が高まっていることから、国際規格との整合性を踏まえつつ、6GHz までの広い周波数帯域の磁界を高速かつ高精度に機器近傍において測定可能な磁界測定技術の開発が必要である。

上記の実現方策として、例えば、磁気光学効果を利用した光プローブを用いる等の手法により、被測定対象周辺の電磁環境の攪乱を発生させることなく、高速かつ高精度に機器近傍の磁界測定を行う技術の実現が考えられる。

## エ 電波環境評価技術の開発

上記アからウまでの技術を連携した不要電波の低減対策効果を実証するためには、それらを定量的に評価するための評価環境や評価技術の開発が不可欠である。

家電製品や電子機器等が稠密に設置された環境における不要電波の影響を適切に評価するためには、家電製品や電子機器等への個別かつ静的な評価では不十分であり、電源装置等の雑音発生源近傍における様々な周波数のノイズを模擬した評価環境を構築するとともに、これらの不要電波を定量的かつ動的に捕捉し分析する技術等の電波環境の適切な評価技術の確立が必要となる。

また、ア及びイの技術の効果の評価のためには、狭空間における素子・部品の実装制約やシールド方法、発生経路や混入経路の特定方法の解析等により、不要電波が無線設備へ及ぼす干渉メカニズム、通信性能に及ぼす影響解析及びフィルタリング技術の効果検証を定量的かつ動的に評価する技術を確立する必要がある。

### 到達目標

700MHz から 6GHz までの広い周波数に対応し、外来ノイズから無線設備の安定的な運用を確保するための要素技術として、次の4つを実現する。

- ・ 任意の周波数及び帯域幅で、信号強度を確保しつつ、外部から混入する広帯域な不要発射やスイッチング回路を含む電源装置からの広範な高調波雑音を 10dB 以上低減する広帯域フィルタリング技術
- ・ 送信設備等のスイッチング電源機器が発する高調波雑音を伝搬経路等において任意の周波数帯域で 10dB 以上低減するフィルタリング技術
- ・ これらの不要発射等に対して効果的に対策を行うため、測定装置自体の影響を受けることなく、不要電波分布を、波源近傍で高精度（高時間分解能（45ps 以上）・高空間分解能（1 $\mu$ m 以下））で測定可能な近傍磁界測定技術
- ・ SiC や GaN 等による広帯域な雑音源（大電力の模擬送信設備（電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム（7.7kW クラス）等）を想定）に対応し、空間分布（分解能 50 cm 程度）、周波数分布（100 MHz 程度のリアルタイム解析帯域幅）及び時間変動（数マイクロ秒～数秒）を記録し、ノイズ低減効果等を多元的に定量評価が可能な共通テストベンチの構築及びその近傍において移動通信システムに要求される最小受信感度（-100dBm）を移動試験可能な電波環境評価

## 技術

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。

(例)

<平成27年度>

- ア 受信感度の低下防護のための広帯域フィルタリング技術の開発
  - ・ 不要電波の干渉メカニズムの明確化
  - ・ 薄膜材料・薄型材料等の調査
  - ・ 試験実施環境の構築
- イ 送信設備等の高調波雑音抑制のためのフィルタリング技術の開発
  - ・ 磁性材料等調査
  - ・ 不要電波の発生・結合・伝搬メカニズムの明確化
  - ・ 試験実施環境の構築
- ウ 近傍磁界測定技術の開発
  - ・ 不要電波評価方法の提案
  - ・ 光波長チューニング技術実証試験器の提案
  - ・ 試験実施環境基本案の構築
- エ 電波環境評価技術の開発
  - ・ 模擬送信設備共通テストベンチの開発
    - SiC 電源装置の設計・製作
    - サーキュラーコイル方式テストベンチの開発
    - 3kW クラス負荷装置および受電体の導入
    - 広帯域高調波測定装置の導入
  - ・ 電波環境評価システムの開発
    - 雑音発生源近傍における電波環境評価手法の提案
    - 周波数チューニング技術実証デバイスの提案
    - 電波環境試験実施環境の構築

<平成28年度>

- ア 受信感度の低下防護のための広帯域フィルタリング技術の開発
  - ・ 広帯域低減手段の確立・評価
  - ・ 磁性材料を用いたフィルタ効果による不要電波干渉抑制の実証
  - ・ 試験評価方法の改良
- イ 送信設備等の高調波雑音抑制のためのフィルタリング技術の開発
  - ・ 不要電波の結合伝搬抑制の評価
  - ・ 試験実施環境の構築と評価方法の提案

- ウ 近傍磁界測定技術の開発
  - ・不要電波評価方法の提案
  - ・光波長チューニング技術実証試験器の提案・評価
  - ・試験実施環境の改良
- エ 電波環境評価技術の開発
  - ・模擬送信設備共通テストベンチの開発
    - ソレノイドコイル方式テストベンチ開発
    - 標準模擬車体の製作
    - アおよびイ（受信および送信フィルタリング技術）の組み込み
  - ・電波環境評価システムの開発
    - 雑音発生源近傍における電波環境評価手法のシミュレーション
    - 周波数チューニング技術実証デバイスの開発
    - 電波環境試験実施環境の改良

<平成29年度>

- ア 受信感度の低下防護のための広帯域フィルタリング技術の開発
  - ・効果拡大実装手段の提案
  - ・新材料（磁性体等）フィルタの設計指針・設計技術の提案
  - ・単体試験の実施・評価及び総合試験環境の提案
- イ 送信設備等の高調波雑音抑制のためのフィルタリング技術の開発
  - ・無線通信網に対する影響評価
  - ・無線通信品質改善メカニズムの解明
  - ・単体試験の実施・評価及び総合試験環境の提案
- ウ 近傍磁界測定技術の開発
  - ・不要電波評価方法の確立
  - ・光波長チューニング技術実証試験器の評価
  - ・近傍磁界測定技術のエ（共通テストベンチ）への組み込み
- エ 電波環境評価技術の開発
  - ・模擬送信設備共通テストベンチの開発
    - GaN等電源装置設計・製作
    - 多極コイル方式テストベンチ開発
    - 8kWクラス負荷装置の導入
    - ウ（近傍磁界測定技術）の組み込み
  - ・電波環境評価システムの開発
    - 雑音発生源近傍における電波環境評価手法の性能解析と評価
    - 周波数チューニング技術実証デバイスの評価
    - 電波環境評価手法試験実施環境の評価

<平成30年度>

- ア 受信感度の低下防護のための広帯域フィルタリング技術の開発
  - ・新材料（磁性体等）フィルタの設計指針・設計技術の検証
  - ・総合試験の実施・評価及び取りまとめ
- イ 送信設備等の高調波雑音抑制のためのフィルタリング技術の開発
  - ・無線通信品質改善の検証
  - ・総合試験の実施・評価及び取りまとめ
- ウ 近傍磁界測定技術の開発
  - ・総合試験の実施・評価及び取りまとめ
- エ 電波環境評価技術の開発
  - ・電磁放射抑制型 WPT 試作，評価及び性能検証
  - ・電波環境評価手法試験実施環境の性能検証
  - ・総合試験の実施・評価及び取りまとめ

## 5. 実施期間

平成27年度から30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」及び平成35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共に、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>

## 小型高速移動体からの大容量高精細映像リアルタイム無線伝送技術の研究開発

### 1. 目的

2014年2月に開催されたソチ冬季オリンピックにおいて、スノーボード、スキー等の実況映像を高速移動するマルチコプタから空撮し、テレビ放送されたことなど、各種スポーツイベント等において高速移動体から撮影した映像・音声をリアルタイムで視聴するという要望が高まっている。

また、2020年オリンピック・パラリンピック東京大会においても、各種競技を色々なアングルで撮影された迫力ある実況映像・音声をリアルタイムで視聴するという要望は強まるものと予想される。

現在、映像無線伝送装置は、放送事業用の素材伝送装置（FPU(Field Pick-up Unit)）や無線LANを利用した装置等があるが、FPUでは放送事業用として使用用途が限られていることや広い占有周波数帯幅を使用していること、無線LANでは遅延時間が大きいなどの理由により、リアルタイムな視聴の要望には応えられない状況にある。

これら課題に応えるために、映像無線伝送における周波数帯域幅を狭帯域化し、高速移動体からの大容量高精細映像をリアルタイムで無線伝送を行う研究開発を行うものである。

また、本研究開発により、周波数の有効利用を促進するとともに、当該技術の国際標準化を通じて、無線通信分野における我が国の国際競争力の強化を図る。

### 2. 政策的位置付け

- ・電波有効利用の促進に関する検討会 報告書（平成24年12月25日）

#### 第一章 電波利用環境の変化に応じた規律の柔軟な見直し

#### （3）周波数再編の加速

#### ② 電波有効利用の活用

「電波の有効利用を一層推進する観点から、今後は、センサーネットワーク、M2M、テラヘルツ帯デバイス、無人無線航行関連技術など、新たなニーズに対応した無線技術をタイムリーに実現するとともに、電波利用環境を保護するための技術について開発をより一層推進するため、国際標準化、国際展開も含め、成果の実用化に向けた各段階の取組の充実・強化を図ることが必要である。

具体的には、電波の有効利用を図るための研究開発については、従来の国が研究開発課題を設定し、委託する方法に加えて、自由に研究開発課題の提案を受け付ける方法を導入することが適当である」旨を記載。

- ・日本再興戦略（平成 25 年 6 月 閣議決定）

## 第Ⅱ. 3つのアクションプラン

### 一. 日本再生再興プラン

#### 4. 世界最高水準の IT 社会の実現

「IT を活用した民間主導のイノベーションの活性化に向けて、世界最高水準の事業環境を実現するため、今般策定される新たな IT 戦略（平成 26 年 6 月 14 日閣議決定）を精力的に推進し、規制・制度改革の徹底並びに情報通信、セキュリティ及び人材面での基盤整備を進める」旨を記載。

- ・世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 閣議決定）

## Ⅲ. 目指すべき社会・姿を実現するための取組

### 2. 健康で安心して快適に生活できる、世界一安全で災害に強い社会

#### （2）世界一安全で災害に強い社会の実現

##### ② IT 利活用による世界一安全で経済的な社会インフラの実現

「劣化・損傷箇所の早期発見、維持管理業務の効率化につながるセンサー、ロボット、非破壊検査等の技術の研究開発・導入を推進する。研究開発に当たっては、開発された技術が現場での導入につながるよう、ニーズや信頼性、経済性に十分配慮するなど、将来的な普及促進を見据えた研究開発を行う。」旨を記載。

- ・電波政策ビジョン懇談会 最終報告書（平成 26 年 12 月）

## 第 2 章 新しい電波利用の実現に向けた新たな目標設定と実現方策

### 1 新たな周波数割当ての目標

#### （3）2020 年代に向けた対応

「今後、M2M、IoT、ロボット等の分野で新しい電波利用の形態が広く展開することが予想されることから、こうした IoT 等の分野に利用するための周波数についても対応していくことも必要と考えられる。」旨を記載。

## 3. 目標

高速移動体からの映像無線伝送において、フェージングやマルチパスのある環境下においても、狭帯域の占有周波数帯幅による大容量高精細映像のリアルタイム伝送を可能とすることにより、映像無線伝送における周波数の効率的な利用（2.5 倍程度）を図る。

### 【目標性能】

・周波数	5～10GHz 帯を想定
------	--------------

・同時使用チャンネル	8ch〔使用6ch+混信回避2ch〕以上
・占有周波数帯幅（狭帯域化）	8.5MHz以下
・伝送画質（動画）	HD（2K）
・伝送遅延時間	30msec程度
・伝送距離	～1km（送信無指向性、小障害物影響下）
・移動速度	100km/h
・その他機能	耐水性、耐候性、小型軽量化、低消費電力化、自律制御動作 等

### 【参考】

	【現存製品・システム】		
	地デジ	放送事業用（FPU）	5GHz 無線アクセス
占有周波数帯幅	6MHz	17.5MHz	5、10、20、40MHz
チャンネル割当	40ch	5ch（1.2/2.3GHz帯）	4ch（20MHz帯域時）
使用周波数	専用ch	専用ch	ベストエフォート
伝送画質	2K	2K	2K
伝送遅延時間	数sec	30msec程度	数百msec程度
伝送距離	数十km	数十km	～300m（無指向性）
容積・重量	—	約1,730cc・2.5kg	約5,800cc・4.2kg （別途コーデック必要）
消費電力	—	約30VA	約35VA （別途コーデック必要）

【今回の研究開発目標及び必要性】		
占有周波数帯幅	8.5MHz以下	周波数逼迫の中、新たな周波数を確保するためには狭帯域化が必須である。現行の放送事業用FPU（17.5MHz）の半分以下を目標とする。
同時使用チャンネル	8ch以上 〔使用6ch+混信回避2ch〕	大規模イベント会場やスポーツ中継における複数の事業者が同時に取材するケース及び災害現場での運用ケースを想定。
使用周波数	共用	周波数逼迫の中、専用波確保が難しいため、周波数共用を前提とする。
伝送画質	2K	テレビ放送は2Kであり、撮影及びロボット搭載による遠隔作業等でも高精細映像が求められる。
伝送遅延時間	30msec程度	観客は実況と伝送映像を同時に見るため、リアルタイム性が要求される。また、ロボットを遠隔制御する場合、遅延時間が小さければ制御操作が容易となる。
伝送距離	～1km	大規模イベント会場や災害現場などの利用エリアを想定した伝送距離とする。
容積・重量	800cc以下・ 1.0kg以下	マルチコプタ等の高速移動体への搭載を想定していることから、小型・軽量化が求められる。
消費電力	20VA	マルチコプタ等の高速移動体への搭載を想定していることから、低消費電力化が求められる。

周波数利用効率については、占有周波数帯域幅の狭帯域化により約 2.1 倍、単行伝送方式の採用により約 1.2 倍、これら技術を併せて約 2.5 倍の効率化を想定。

#### 4. 研究開発内容

##### (1) 概要

本研究開発は、占有周波数帯幅を狭帯域化することによって周波数の有効利用が可能となること、占有周波数帯幅の狭帯域化に伴って、従来の技術では大容量高精細映像（2K）をリアルタイムに無線伝送することが困難な状況にあることから、最適な変調及び多重化方式の選定、低遅延画像コーデック開発並びに受信方式の選定等を行うことにより、大容量高精細画像をリアルタイムに伝送する技術を開発する。

この他、周波数有効利用を図るため、周波数の共同利用を検討する必要があるが、大容量高精細映像を送信する前に空きチャンネルを探索し、当該映像を送信するためのチャンネルを選択する「キャリアセンス方式」を採用する。本技術は、無線 LAN の技術では活用されているが、映像素材伝送システムでは活用されていないため、新たに取り組むものである。

##### (2) 技術課題および到達目標

###### ア 占有周波数帯幅狭帯域化で実現する技術の開発

課題	<p>マルチパス及び見通し外環境下において、高速移動による大容量高精細映像伝送をリアルタイムに実現するには、フェージング対策等の誤り訂正が必要となるため、データ伝送量が多くなり、大容量化が必要となる。しかし、無線変調方式による大容量化は、フェージング対策、伝送距離の確保、見通し外伝送（人の影程度）等を実現させる上で限度がある（最低限 16QAM 程度が必要）。</p> <p>他方、周波数有効利用の観点から、占有周波数帯幅を狭帯域化することでデータ伝送量が減少し、現状の技術では画質劣化やリアルタイム性の欠如、フェージングに弱くなる等、実用に耐えられないものになる。</p> <p>このため、市場ニーズに応えられる技術の研究開発が必要である。</p>
到達目標	<p>最適な変調及び多重化方式の選定、誤り訂正方式の選定、画像コーデックの開発並びに受信方式の選定等を行い、最良方式が実現できる技術の研究開発を行う。</p> <p>また、適用環境については、シミュレーション及びフィールドテスト等を実施する中で、より具体的な適用環境を設定する。</p> <p>具体的な取組みを次に示す。</p>

	<p>a) 最適な変調及び多重化方式の選定        色々な伝搬状況を想定し評価実験等を経て、最適な変調方式（高多値化を含む）及び多重化方式を選定する。</p> <p>b) 最適な誤り訂正方式の選定        単向伝送において、大容量高精細の映像伝送に適した誤り訂正方式を選定する。</p> <p>c) 最適な画像コーデックの開発        現状の技術動向から判断し、画像コーデックは小型化が可能な H. 264 方式を採用し、情報割付アルゴリズム処理の設定の開発を行い、低遅延を維持しつつ更なる高圧縮処理を行う。また、カメラ自体が高速移動体からの振動で振れる状況下で撮影した映像に対し、評価実験を実施し、最適な符号化パラメータを選定する。</p> <p>d) 送受信変復調部と画像コーデックの接続制御及び全体まとめ        送受信変復調部と画像コーデックのインターフェース、タイミング、フラグ処理などの最適化を図り、低遅延かつ途切れのない映像伝送を実現する。</p> <p>e) 受信方式の選定        伝搬状況が時々刻々と異なる様々なシーンにおいて、堅ろうな伝送路を確保するため、ダイバーシチ受信方式を適用し、評価実験を実施し、最適なパラメータを選定する。</p>
--	--

#### イ 混信回避技術の開発

課題	<p>放送事業用 FPU は技術を熟知し、運用に慣れている技術者が使用するため、各局同士で調整の上、問題なく運用されている。しかし、本装置は運用に慣れていない人が主体で使用することを想定しているため、混信を回避する機能が必要である。</p>
到達目標	<p>運用に慣れていない人は混信の有無を察知できない可能性があり、混信により運用に支障をきたすおそれがある。これを防ぐ手段として、無線 LAN 等で採用されている送信する前に空きチャンネルを検出し、その周波数で回線接続するキャリアセンス機能を活用する。</p> <p>本装置でのキャリアセンス機能は、単向伝送方式のため、受信機側で空きチャンネルを検出し、別系無線回線で送信機側へ伝送し、空きチャンネルに自動設定する方式で実現する。</p> <p>また、今回開発する要求仕様は途切れのない画像を伝送することが要求されるため、一旦チャンネルが設定された後はこれを継続する必要がある。</p>

## ウ 装置小型化の開発

課題	無線伝送装置は小型軽量化、低消費電力化が運用上必須である他、用途によっては耐水性、耐候性も求められる。製品化に当たっては、これらが実現できる技術の研究開発が必要である。
到達目標	一つのFPGA (Field Programmable Gate Array) にロジックやコーデック機能を取り込むことによる部品の集約化や、低電圧部品の採用、効率の良い放熱構造の採用による小型軽量化、低消費電力化を実現する。 [目標] ・容積、重量： 800cc 以下、1kg 以下 (放送事業用FPUの約1/2) ・消費電力： 20VA (放送事業用FPUの約70%) また、実運用における消費電力を低減化させるため、不必要な機能は停止しておき、運用直前に全機能を作動させる自律制御動作機能も実現する。

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。

### <平成27年度>

#### ア 高速移動体からの高精細映像を狭帯域無線伝送で実現する技術の開発

現行機器に改良を加えたテスト用送信機を製作し、電波伝搬調査等を行い、評価・改善の上、狭帯域での高速移動体伝送を試験する。

テスト用送信機による試験実施と併せ、コーデック仕様の基本検討も行う。

また、遅延時間の各ユニットに対する性能配分設計を行い、システム総合性能としてリアルタイム性を確保するよう開発を進める。

#### イ 混信回避技術の開発

混信回避技術の基本検討を行う。

## ウ 装置小型化の開発

テスト用送信機による試験結果を踏まえ、装置の小型化に向けた基本検討を行う。

### <平成28年度>

#### ア 高速移動体からの高精細映像を狭帯域無線伝送で実現する技術の開発

コーデックの開発及びコーデックを実装した送・受信機の試作機を製作し、フィールドテストによる評価・改善の上、狭帯域での高精細映像の高速移動体伝送を実現する。

また、高精細映像とリアルタイム性を実現する伝送パラメータを、設計及び

フィールドテスト結果から選定する。

イ 混信回避技術の開発

送・受信機の試作機は、受信機にキャリアセンス機能を、送信機にチャンネル切替機能を付加する。また、当該送・受信機とは別回線で自動的に遠隔制御してチャンネルを切替する無線機も製作する。

混信回避技術としては、これらの機器を組合せたフィールドテストを行い、評価・改善を行う。

ウ 装置小型化の開発

送信機の試作機製作に当たり、装置の小型化を念頭に置いて開発すると共に、部品の集約化、回路の簡素化、実装技術等の検討を行う。

<平成29年度>

ア 高速移動体からの高精細映像を狭帯域無線伝送で実現する技術の開発

前年度までの検討結果を反映し、更に各機能を一体化した送・受信機の試作機を複数台製作し、フィールドテストを行い、評価・改善の上、実用機につなげる。

イ 混信回避技術の開発

複数台の試作機によるフィールドテストを行い、混信回避技術の確認を行う。

ウ 装置小型化の開発

前年度検討した部品の集約化、回路の簡素化、実装技術等の成果を反映した試作機を開発する。

5. 実施期間

平成27年度から29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」及び平成30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共に、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。