

# ＜基本計画書＞

移動通信システムにおける三次元稠密セル構成及び階層化セル構成技術の研究開発

## 1. 目的

スマートフォン等の高機能データ通信端末の普及により、2020年までに移動通信システム全体の通信量が急速に増加している。これらは、最近の調査では年率2倍の増加となっている。この増加する通信量を処理するためには、新たな無線伝送方式や高効率無線インターフェース技術による伝送効率の向上、周波数帯アクセス技術による実質利用可能周波数帯の拡張、階層化セル構成技術や極小セルの稠密構成技術による改善などが考えられる。その中で、既に移動通信システムに割り当てられている帯域内での周波数利用効率を大幅に向上させるためには、セルを極小化し干渉を回避しつつ稠密に配置することが非常に有効である。

既存のマクロセル内に膨大な数の極小セルを稠密かつ三次元的に不規則に配置した際、極小セル間の干渉や既存のマクロセルとの間の干渉により周波数利用率は大幅に低下する。このような環境下においては、各セルが独立かつ自律的に干渉を抑圧する方法では限界がある。これを解決する方法として、各セルがネットワーク連携して干渉を抑圧する干渉抑圧技術が有効である。しかし、マクロセル内の極小セル数が増加するに従い、制御の最適化が複雑となり、干渉抑圧効果が得られなくなる。これまでは、屋内極小セルと屋外マクロセルをそれぞれ個別にネットワーク連携させ、セル間の干渉を低減する技術の研究開発は行われてきたが、ここではさらに、制御の複雑さを低減し、より高いネットワーク連携による干渉抑圧効果を得るために、マクロセル層、極小セル層とセル構成を階層化（単純化）し、同一階層内及び異なる階層間の干渉を抑圧するように制御を行う三次元稠密セル構成及び階層セル構成技術の研究開発を実施し、周波数利用効率の向上を目指す。

## 2. 政策的位置付け

- ・世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日 閣議決定）

「IV. 利活用の裾野拡大を推進するための基盤の強化 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。

## 3. 目標

既存のマクロセルエリア内に膨大な数の極小セルを稠密かつ三次元的に不規則に配置した際、極小セル間の干渉や既存のマクロセルとの間の干渉により周波数利用率は大幅に低下する。このような環境下においては、各セルが独立かつ自律的に干渉を抑圧する手法では限界があることから、ネットワーク技術を活用し基地局が

連携して干渉を抑圧するように制御を行う三次元稠密セル構成及び階層化セル構成技術を平成 28 年度までに確立し、連携しない場合に比べて周波数利用率を 3 倍以上（スループットを 3 倍以上）に改善することを目標とする。

#### 4. 研究開発内容

##### (1) 概要

本研究開発では、既存のマクロセル構成に周波数利用率を抜本的に改善できる三次元極小セル構成を独立にオーバーレイして構成する三次元稠密セル構成及び階層化セル構成（以下、「階層化・稠密セル構成」という。）の検討を行う。

##### (2) 技術課題および到達目標

###### 技術課題

###### ア 階層間・階層内干渉抑圧技術の開発

より高いネットワーク連携による干渉抑圧効果を得るために、マクロセル層、極小セル層とセル構成を階層化（単純化）し、同一階層内及び異なる階層間の干渉を抑圧するように制御を行う三次元稠密セル構成及び階層セル構成技術の研究開発を実施する必要がある。階層化・稠密セル構成では、屋内外に設置する極小セルの数が膨大であり、その配置は三次元かつ非正則であることから、極小セル間の干渉による周波数利用率（スループット）の低下が課題となる。また、マクロセル階層と極小セル階層間の干渉による周波数利用率（スループット）の低下も課題となる。これまでは、屋内極小セルと屋外マクロセルをそれぞれ個別にネットワーク連携させ、セル間の干渉を低減する技術の研究開発は行われてきたが、ここではさらに屋外極小セルにも対応できるようにした上でさらに階層化を行い、以下の技術の研究開発を行う。

(a) マクロセル層と極小セル層の異なる階層間におけるネットワーク連携による周波数の時分割利用を用いた干渉抑圧技術

(b) ネットワーク連携による送信側 MIMO 干渉キャンセラや送信アンテナ指向性制御等による極小セル層内、マクロセル層内の同一階層内干渉抑圧技術

###### イ 階層間モビリティ制御技術の開発

階層化・稠密セル構成では、極小セルの数が膨大であり、端末が高速で走行した場合、ハンドオーバー処理が間に合わず、携帯電話サービスの連続性を維持できないことが課題となる。そこで、以下の技術の研究開発を行う。

(a) 基地局が連携して端末の走行速度に応じて階層を選択する最適階層選択技術

(b) マクロセルと極小セル間でのハンドオーバーをスムーズに行うための階層間ハンドオーバー制御技術

## ウ ネットワーク連携制御技術の開発

基地局が連携して極小セル間、階層間の干渉を抑圧、低減するためには、ネットワークを介した基地局間制御を低遅延時間で高速に実現することが課題となる。これを実現するためには高精度な基地局間同期が必須である。また、任意の基地局間で基地局間連携を実現するために、基地局間インターフェースを用いた分散制御方式が不可欠である。そこで、以下の技術の研究開発を行う。

- (a) 基地局アンテナの光張り出し技術を用いた集中基地局設置方式によるセル間連携制御技術
- (b) 基地局間インターフェースを用いた分散基地局設置方式によるセル間連携制御技術

## エ 電波伝搬推定技術の開発

計算機シミュレーションや室内実験で各技術を高精度に且つ効率よく評価するためには、階層化・稠密セル構成を対象として三次元方向からの伝搬損失特性、伝搬遅延時間(時間)特性、電波到来角(空間)特性を同時に推定できる時空間電波伝搬推定技術が不可欠である。また、実証評価を効率よく行うために上記電波伝搬特性を実装したシミュレータ開発が不可欠である。そこで、以下の技術の研究開発を行う。

- (a) 極小セル間、マクロセルと極小セル間、マクロセル間の干渉設計に対応できる三次元“時空間”電波伝搬推定技術。特に屋外基地局から屋内セルへの干渉を評価するための三次元“時空間”電波伝搬推定技術およびそのモデル化
- (b) 上記の三次元電波伝搬モデルを実装したシミュレータの開発

## オ 実証評価

開発した技術を計算機シミュレーションにより効果を確認するとともに、実装置による実証評価を行うことが重要である。そこで、以下の研究開発を行う。

- (a) 開発したシステムを評価するための試作装置の開発及び室内実験による実時間での動作の実現
- (b) 実伝搬環境下における動作特性を評価するための小規模の実証システムの構築及びフィールド実証実験の実施

### 到達目標

ネットワーク技術を活用し基地局が連携して干渉を抑圧するように制御を行う三次元稠密セル構成及び階層化セル構成技術を実現するための基盤技術である基地局間同期技術を確立し、同期精度  $0.5\mu s$  以下を目標とする。そして、高密度に極小セルが配置された場合において本技術を適用しない場合に比べて周波数利用率(スループット)を3倍以上に改善することを目標とする。計算機シミュレ-

ションにより評価を行うとともに、実証実験による評価を併せて実施し、開発アルゴリズムの実時間での動作の実現を目標とする。

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、以下の例を想定している。

(例)

<平成26年度>

ア 階層間・階層内干渉抑圧技術の開発

- ・同一階層内干渉抑圧技術の機能設計及びそれを評価する計算機シミュレーションソフトウェアの開発

- ・異なる階層間干渉抑圧技術の機能設計及びそれを評価する計算機シミュレーションソフトウェアの開発

イ 階層間モビリティ制御技術の開発

- ・階層選択・ハンドオーバー制御技術の機能設計及びそれを評価する計算機シミュレーションソフトウェアの開発

ウ ネットワーク連携制御技術の開発

- ・ネットワーク連携制御技術（集中基地局設置方式、分散基地局設置方式）の機能設計及びそれを評価するシミュレーション系の構築

エ 電波伝搬推定技術の開発

- ・三次元時空間電波伝搬測定装置の開発

- ・様々な環境における三次元時空間電波伝搬特性のフィールド測定の実施

オ 実証評価

- ・マクロセルおよび極小セル対応の無線伝送実験装置のベースバンド処理部（変復調処理等）の装置設計

- ・マクロセルおよび極小セル対応の無線伝送実験装置のRF部の装置設計

<平成27年度>

ア 階層間・階層内干渉抑圧技術の開発

- ・同一階層内干渉抑圧技術を実装するための機能設計及び一部試作装置への実装

- ・異なる階層間干渉抑圧技術を実装するための機能設計及び一部試作装置への実装

イ 階層間モビリティ制御技術の開発

- ・階層選択・ハンドオーバー制御技術を実装するための機能設計及び一部試作装置への実装

ウ ネットワーク連携制御技術の開発

- ・ネットワーク連携制御技術（集中基地局設置方式、分散基地局設置方式）を実装するための機能設計及び一部試作装置への実装

エ 電波伝搬推定技術の開発

- ・三次元時空間電波伝搬特性の解析及びモデル化

- ・三次元電波伝搬モデルを実装するシミュレータ（試作装置）の設計及び開発

オ 実証評価

- ・マクロセルおよび極小セル対応の無線伝送実験装置のベースバンド処理部（変復調処理等）の試作装置開発
- ・マクロセルおよび極小セル対応の無線伝送実験装置の RF 部の試作装置開発

<平成28年度>

ア 階層間・階層内干渉抑圧技術の開発

- ・同一階層内干渉抑圧技術の試作装置への実装
- ・異なる階層間干渉抑圧技術の試作装置への実装

イ 階層間モビリティ制御技術の開発

- ・階層選択・ハンドオーバ制御技術の試作装置への実装

ウ ネットワーク連携制御技術の開発

- ・ネットワーク連携制御技術（集中基地局設置方式、分散基地局設置方式）の試作装置への実装

エ 電波伝搬推定技術の開発

- ・三次元電波伝搬モデルのシミュレータ（試作装置）への実装

オ 実証評価

- ・試作装置を用いた室内テストベッドの構築及び室内実験による評価
- ・試作装置を用いたフィールド実験系の構築、フィールド実験による評価

5. 実施期間

平成26年度から28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33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>

### ミリ波帯における高度多重化干渉制御技術等に関する研究開発

#### 1. 目的

近年、M2M (Machine-to-Machine)、IoT (Internet-of-Things) の環境整備に伴いクラウドサービスやビックデータを活用したコンテンツサービスなど、ギガバイトを超えるデータ交換がモバイル機器間のみならずモバイル機器とクラウドとの間で頻繁にやり取りされるようになるため、知識情報社会を支えるインフラ整備において、膨大な無線トラフィックを収容可能な無線システムの実現が期待されている。

このような中、ギガバイトを超えるデータ交換用近距離通信での用途に、60GHz 帯 (57GHz～66GHz 4 チャンネル) が国際的に割り当てられている。平成 26 年頃には WiGig/IEEE802.11ad 規格に対応した 60GHz 帯近距離無線システム (以下「近距離システム」) の実用化が予定されており、最大 3Gbps 級の 1 対 1 (P-P) 通信がモバイル機器等においても可能となる見込みである。また、非接触型 IC カードのように数 cm 程度の近接距離でデータの高速転送を行う近接ミリ波無線システム (以下「近接システム」) の技術開発も進められている。今後、これらの技術により、情報家電機器を中心として高速、大容量の無線通信システムが普及していくとみられている。

しかしながら、近距離システムは、単一チャンネルを使用した 1 対 1 (P-P) 通信には適するものの、店舗、駅等の公共エリア (屋外) において利用が想定される大容量の 1 対多 (P-MP) 通信では、チャンネル間の干渉によりスループットが低下し、利用用途が制限される。例えば、店舗などで、複数のユーザが隣り合う座席から同時に異なるコンテンツをダウンロード可能とするためには、1m 程度の最小デバイス間離隔距離を確保しつつ、限られた 4 つのチャンネルを効率的に利用してシステム収容者数を増大する技術が求められる。さらに、近距離システムと近接システムのように、送信電力が大きく異なるシステムが同一エリアに存在する場合における干渉回避技術も必要とされる。

我が国において 60GHz 帯は高出力化について検討段階に入っており、今後、急速に 60GHz 帯を使用するシステムが普及するにつれて、同一システム間及び異システム間の干渉問題が一層顕在化してくるものと予想される。

これらの状況を踏まえ、本研究開発では、60GHz 帯における隣接チャンネルの同時使用や、同一チャンネルを用いたチャンネル多重化、送信電力の大きく異なる異種システムとの共存等を実現する高度多重化干渉制御技術等を確立し、60GHz 帯の利用を促進して 2.4GHz/5GHz 帯周波数のひっ迫緩和を実現するとともに、国際競争力の強化を図ることを目的とする。

#### 2. 政策的位置付け

- ・日本経済再生に向けた緊急経済対策 (平成 25 年 1 月 11 日 閣議決定)

「Ⅱ. 1. (2) 研究開発、イノベーション推進」において、「イノベーション創出による需要喚起と成長への投資促進を図るため、(中略) 先端的な情報通信技術の確立など、研

究開発プロジェクト等を推進する」旨、及び下記項目が記載されている。

①研究開発プロジェクトの推進

・イノベーションを創出する情報通信技術の利活用推進・強固な基盤整備（総務省）

・知識情報社会の実現に向けた情報通信政策の在り方（平成 23 年情報通信審議会諮問第 17 号 平成 24 年 7 月 25 日答申）

Active Japan ICT 戦略～新たな ICT 総合戦略の方向性について～において「社会実装と連動した新たな ICT プロジェクト」として「社会実装を加速するための研究開発」及び「アクティブコミュニケーション戦略」として「電波の有効利用を実現する新たなワイヤレスシステムの研究開発」を行う旨が記載されている。

3. 目標

本研究開発により、3m 以上の通信距離においてデバイス間の離隔距離 1m 以下での 4 チャンルの同時使用、3m 以内の同一エリアにおける近接システムと近距離システムとの共存、同一周波数帯において最大 4 ユーザの多重化を実現することにより、今後ますます利用用途が拡大される 60GHz 帯無線システムを効率よく運用するための共用技術を確立するとともに、Wi-Fi Alliance や IEEE に対する国際標準規格への拡張提案や知財化を行うことを目標とする。

4. 研究開発内容

(1)概要

本研究開発では、多種多様な用途に対応し得るミリ波システム基盤技術を確立するため、①チャンネル/システム間干渉回避技術、②適応無線チャンネル多重化技術、③干渉抑圧信号処理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. チャンネル/システム間干渉回避技術の開発

60GHz 帯を用いる近距離システムでは、安価な CMOS プロセス等での実現性を考慮して、送信スペクトルマスクがマイクロ波帯を用いる従来の無線 LAN と比較して緩和されている。そのため、送信信号の隣接チャンネルへの漏洩が大きくなり、チャンネル間干渉により隣接チャンネルの同時使用が困難な状況が発生する。60GHz 帯の普及促進を考えた場合、複数チャンネルの同時使用が制限されることはネットワーク構成上の大きな課題となっている。特に、限られた空間に多数の端末が存在する密環境下では、ユーザ間の干渉を十分考慮できないために使用チャンネル数が限定されるとともに、デバイス間離隔距離を 1m 以下に近接すると隣接チャンネルからの干渉により安定した通信品質を確保できない状況が発生する。

また、60GHz 帯を用いる近接システムが同一エリアで利用される場合において、近接システムの送信電力レベルが小さいために、近距離システムが近接システム



の存在を検出できず、システム同士の共存が困難となっている。

これらの課題を解決するため、チャンネル間の干渉を推定して、最適なアンテナ指向性選択やチャンネル配置を適応的に制御することで 60GHz 帯に割り当てられた 4 チャンネルを有効的に活用するチャンネル間干渉適応制御技術の開発、および近接システムと近距離システムの共存を可能とする無線プロトコル、帯域シェア制御技術の開発を行う。

#### イ. 適応無線チャンネル多重化技術の開発

60GHz 帯においては、利用可能なチャンネル数が 4 チャンネルと限られている。そのため、多数のユーザが存在する店舗やオフィス等の密環境下においてミリ波通信を行う場合には、限られたチャンネルを時分割共有する必要がある。その結果、スループットが低下し、利用用途が制限される。

この課題解決のため、同一チャンネルにおいて最大 4 ユーザの同時使用を実現する。そのために、従来、小型、低消費電力化が困難であったアンテナ指向性制御機能を小型端末でも搭載可能とするための簡易なアンテナ指向性制御技術を開発する。これには、過去の電波利用料研究開発の成果であるアンテナ指向性制御技術を使用し、平成 24 年度補正予算案件の成果である、互いに近接した結合アンテナを利用した寄生アンテナ制御技術等を適用する。さらに、アクセスポイント側で得られる高いアンテナ指向性を組み合わせることで、チャンネル推定精度を緩和する等により、低消費電力で多重化信号の分離を可能とする適応多重化信号処理技術の開発を行う。

#### ウ. 干渉抑圧信号処理技術の開発

60GHz 帯システムでは、半導体プロセス上に無線回路を集積化する際に、受動素子の性能(Q 値)が低下傾向にあるため発振器の位相雑音を低減することが難しい。さらに、無線機の受信系においては、広帯域の変調信号を取り扱うため、AD 変換器のオーバーサンプリング比が 2 倍以下と低くなり、隣接チャンネルからの干渉に加えて、サンプリング時の隣接チャンネル成分の折り返しによる干渉が発生する。一方、送信系においても、DA 変換器のオーバーサンプリング比が低いために、歪み補償信号の再現精度が悪く、マイクロ波帯で実用化されているプリディストーション等の送信歪み補償が適用できない。これらの要因により、送信信号および受信信号の品質が劣化するために、多値変調を用いた高速通信の実用化が困難となっている。

以上の課題を解決するため、受信系において、位相雑音や干渉信号成分をベースバンド信号処理で抑圧する干渉/ノイズキャンセル技術を開発する。送信系においては、低オーバーサンプリング比においても効果的に歪みを抑圧する超広帯域歪み補償技術の開発を行う。

## 到達目標

### ア. チャンネル/システム間干渉回避技術の開発

多数のユーザが存在する密環境下において、3m 以上の通信距離においてデバイス間の離隔距離 1m 以下で 4 チャンネル同時通信を実現し、さらに、近距離システムと近接システムを 3m 以内の同一エリアで共存可能とすることを目標とする。そのために、以下の個別目標を実現する。

#### (a) チャンネル間干渉回避技術の開発

受信信号強度に加えて、ユーザ間の干渉量を推定するための干渉推定方式及び推定アルゴリズムを開発し、アンテナ指向性を選択する際に、ユーザ間干渉を含めて SINR(信号対干渉雑音比)の最適化を図ることで、隣接チャンネルの同時利用を可能とし、周波数の利用効率を向上させる。

#### (b) システム間干渉回避プロトコル、帯域シェア技術の開発

近接システムと近距離システムの混在環境で、近接システムが近距離システムに対して著しいスループット低下を与えないために、近接システムのトラフィック等の通信状態を考慮したチャンネル選択または帯域シェアを行う近接システムを試作し、近距離システムとの共存の技術を確立する。

### イ. 適応無線チャンネル多重化技術の開発

同一周波数帯において最大 4 ユーザの多重化を実現し、周波数利用効率を 4 倍に高めることを目標とする。そのために、以下の個別目標を実現する。

#### (a) 簡易アンテナ指向性制御技術の開発

互いに近接した結合アンテナの負荷など制御することにより、モバイル機器にも搭載可能な小型で低消費電力のアンテナ制御技術を確立する。また、信号対雑音比、信号対干渉比を最大化するためのアンテナ理論を構築する。

#### (b) 適応多重化信号処理技術の開発

ミリ波帯特有の高いアンテナ指向性を活かし、チャンネル推定のための条件を緩和すること等により、モバイル機器にも搭載可能な多重化信号処理アルゴリズムを開発し、同一チャンネルにおいて最大 4 ユーザの多重化を実現する。

### ウ. 干渉抑圧信号処理技術の開発

隣接チャンネル同時使用時に 6Gbps(2.16GHz 帯域幅、16QAM 以上)を超える伝送速度で 3m 以上の通信距離を実現することを目標とする。そのために、以下の個別目標を実現する。

#### (a) 干渉/ノイズキャンセル技術の開発

複数のアンテナで受信した信号を用いて、ベースバンド信号処理により干渉信号成分をキャンセルすることで、隣接チャネルからの干渉の抑圧を図る干渉キャンセル技術を実現する。

多値変調による高速通信を実用化する際に障害となる位相雑音を低減するため、受信シンボルを利用したベースバンドでの演算処理で位相雑音を抑圧するノイズキャンセル技術を実現する。

#### (b) 超広帯域歪み補償技術の開発

ミリ波帯特有の2倍以下の低オーバーサンプリング比においても効果的に歪みを補償し得る信号処理アルゴリズムとパワーアンプ回路技術を実現す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、以下の例を想定している。

(例)

<平成26年度>

##### ア. チャネル/システム間干渉回避技術の開発

- ・ チャネル間干渉の実測評価系の構築、およびチャネル間干渉詳細データの取得
- ・ ネットワークシミュレータを用いたアンテナ指向性制御およびチャネル間干渉回避アルゴリズムの詳細設計、有効性の検証
- ・ システム間干渉回避の試験機器の設計、試作、実験

##### イ. 適応無線チャネル多重化技術の開発

- ・ 簡易アンテナ指向性制御の単体アンテナ素子の設計、試作、詳細データの取得
- ・ 多重化信号処理アルゴリズムの実験系の構築、アルゴリズムの詳細設計

##### ウ. 干渉抑圧信号処理技術の開発

- ・ 干渉キャンセル信号処理の試験機器の設計、試作、アルゴリズムの詳細設計
- ・ ノイズキャンセルアルゴリズムの実験系の構築、アルゴリズムの詳細設計
- ・ 超広帯域歪み補償の実験系の構築、歪み補償アーキテクチャおよびアルゴリズムの詳細設計

<平成27年度>

##### ア. チャネル/システム間干渉回避技術の開発

- ・ チャネル間干渉回避の実証実験装置の設計、試作、技術実証
- ・ システム間干渉回避の実証実験装置の設計、試作、技術実証
- ・ チャネル間干渉回避とシステム間干渉回避技術を組み合わせた統合実証実験、干渉回避性能の評価

#### イ. 適応無線チャネル多重化技術の開発

- ・ 簡易アンテナ指向性制御のアンテナ素子アレーの設計、試作
- ・ 適応多重化信号処理技術の実証実験装置の設計、試作
- ・ 屋内環境実験による技術実証

#### ウ. 干渉抑圧信号処理技術の開発

- ・ 干渉キャンセル信号処理の実証実験装置の設計、試作、技術実証、アンテナ指向性制御機能を備えた CMOS チップと無線モジュールの設計、試作、詳細データの取得
- ・ ノイズキャンセルアルゴリズムの実証実験装置の設計、試作、技術実証
- ・ 超広帯域歪み補償の実証実験装置の設計、試作、技術実証

#### エ. 総合評価

アからウの複数の技術を組み合わせた統合実験、干渉抑圧と干渉回避性能の総合評価

### 5. 実施期間

平成26年度から平成27年度までの2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。

計画の策定にあたっては、Wi-Fi Alliance 及び IEEE に対する国際標準規格への拡張提案のためのデータの取得や知財化を通じて、国際協調の維持継続と国際競争力の強化を図る内容が含まれていること。

##### 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」及び平成31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＞

## 超高精細度衛星・地上放送の周波数有効利用技術の研究開発

### 1. 目的

放送分野においては、現行の高精細度テレビジョン放送を超える飛躍的な画質の向上に資する映像関連技術に係る標準化等が進展しており、国際電気通信連合の無線通信部門（ITU-R）では、平成24年8月、4K、8Kのような超高精細度映像（以下「超高精細度映像」という。）によるテレビジョン放送の映像形式に関する国際標準化もなされている。これらにより、4Kに対応したテレビジョン受信機をはじめとして、カメラ、ディスプレイ、プロジェクタなどの製品化等も急速に進んでいる。さらに、超高精細度映像技術の研究開発も加速化されており、これらの超高精細度映像は、その画質の精細さから、医療・建築・教育などの産業分野への応用や美術館での利用など、幅広い用途への展開が期待されている。

これらを受けて、総務省は平成24年11月に「放送サービスの高度化に関する検討会」を開催し、平成25年5月31日、超高精細度映像による放送サービスや受信機の実用化・普及に関するロードマップを策定したところである。また、世界最先端IT国家創造宣言（平成25年6月閣議決定）においては、「8Kに対応した放送については2016年に、衛星放送等における放送開始を目指す」、「2020年には、市販のテレビで4K、8K放送やスマートテレビに対応したサービスを受けられる環境を実現する。」としている。

このような状況を踏まえ、超高精細度映像配信が可能な衛星・地上放送の実現に向けた取組を加速させる必要がある。これらの放送サービスを実現するためには、例えば、現在のBSデジタル放送の伝送方式での超高精細度映像の伝送を想定した場合には、さらなる周波数帯域の確保が必要となる。しかしながら、既に稠密に利用されている現下の周波数利用状況を鑑みると、現在、放送業務に割り当てられている希少な周波数資源のより一層の有効利用を図るとともに、高い周波数帯（21GHz等）における利用を促進する必要がある。

本研究開発では、より伝送効率の高い変調方式や干渉／歪み補償技術等を用いることで伝送容量拡大を可能とする要素技術等を確立するとともに、将来限られた伝送容量内での超高精細度映像配信を目指した、高圧縮・伝送効率向上技術を開発することにより、周波数の有効利用に資することを目的とする。

さらに、本研究開発により得られた成果に基づき、国内における技術基準への反映等を通じた超高精細度映像による放送サービス及び受信機等の普及に加え、国際標準化や放送コンテンツ及び受信機等の海外展開を通じた我が国の国際競争力強化を図る。

### 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（本年 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

### 1. 革新的な新産業・新サービスの創出と全産業の成長を促進する社会の実現

#### （5）次世代放送サービスの実現による映像産業分野の新事業創出、国際競争力の強化

「8K に対応した放送については 2016 年に、衛星放送等における放送開始を目指す」及び「2020 年には、市販のテレビで 4K、8K 放送やスマートテレビに対応したサービスを受けられる環境を実現する。」旨を記載。

- ・情報通信審議会答申「知識情報社会の実現に向けた情報通信政策の在り方」（平成 24 年 7 月 25 日）

「リッチコンテンツ戦略」において、2015 年に向けた目標である「いつでもどこでも誰でもが、デバイスフリー、ワンソース／マルチユースで高精細、高臨場感なリッチコンテンツを製作・利活用できる環境の実現」に関し、「日本が優位性をもつ高精細、高臨場感な映像技術（4K、8K）の確立とこれらが実装された端末・サービスの普及推進ロードマップを早期に策定するための検討体制

を整備」することとされている。

- ・放送サービスの高度化に関する検討会検討結果取りまとめ（平成 25 年 6 月 11 日）  
スーパーハイビジョンに関する検討結果について

「3. 時間軸」中「(2)時間軸の設定に関する考え方」において以下の時期を目安として進めていく旨記載。

2014 年	（ブラジル（リオデジャネイロ）・ワールドカップの開催年） 〔可能な限り早期に、関心を持つ視聴者が 4K を体験できる環境を整備。〕
2016 年	（リオデジャネイロ・オリンピックの開催年） 〔可能な限り早期に、関心を持つ視聴者が 8K を体験できる環境を整備。〕
2020 年	（オリンピックの開催年） 〔希望する視聴者が、テレビによって、4K/8K の放送を視聴可能な環境を実現。〕

### 3. 目標

超高精細度映像配信が可能な衛星・地上放送を実現するために、伝送効率の高い変調方式や干渉／歪み補償技術による伝送容量拡大技術と超高画質圧縮伝送技術や次世代多重化技術等による高圧縮・伝送効率向上技術等との組合せにより、十分な伝送容量を確保して映像の高品質を維持することを目標とする。これらにより、放送の高度化というニーズに応えつつ放送用周波数の有効利用に資することを目標とする。

また、これらの技術を世界に先駆けて開発することにより、当該研究開発により得られた成果に基づき、国際標準化を通じた我が国の国際競争力強化に資することを目標とする。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

本研究開発においては、現行の高精細度テレビジョン放送に比較して、極めて大容量となる超高精細度映像の伝送を衛星デジタル放送 (BS) により実現するため、衛星中継器で生じる非線形特性の劣化を抑制するとともに、高能率変調方式を適用した場合の受信信号を改善する「衛星伝送歪み補償技術」等を確立する。

また、現行の地上デジタル放送に「偏波 MIMO 伝送技術」や「超多値 OFDM 技術」等を用いることで、限られた地上放送用周波数帯域において周波数利用効率を格段に高めた超高精細度地上放送システムの実現に必要な伝送基盤技術を確立する。

衛星又は地上放送により、解像度の異なる 2 つ以上の超高精細度映像を合わせて伝送する際に、伝送路の負担を極力低減するための新たな高圧縮・伝送効率向上技



術を確立するとともに、伝送路特性に応じてパラメータの最適化を図る技術を確立する。

以上の技術開発を行うことで、現行の 8 倍を超える伝送効率を有する超高精細度衛星・地上放送の伝送基盤技術の確立を早期に実現する。

## (2) 技術課題および到達目標

### 技術課題

#### ア 伝送容量拡大技術の開発

##### アー 1 衛星放送に関する干渉／歪み補償技術の開発

超高精細映像を伝送するため、衛星放送における伝送容量拡大が期待されている。平成 24 年度補正予算「周波数有効利用に資する次世代放送基盤技術の研究開発」（以下「次世代放送基盤技術の研究開発」という。）による衛星放送に関する変復調技術の開発を通して、高い伝送効率を有する振幅位相変調方式(16APSK)を用いた実証実験・評価を行った。一方、衛星中継器においては、増幅器で生じる非線形特性により、入出力フィルタの群遅延特性と相まって、振幅と位相の双方を変調する 16APSK で信号が大きく歪む課題が生じている。

現在の放送衛星中継器では、増幅器に TWTA(進行波管増幅器)の非線形性の制約から位相のみを変調する 8PSK を使用しているが、効率の良い 16APSK を利用可能とするには非線形性に起因する歪みを抑えた高い線形性を有する増幅器の開発が課題である。

そのため、放送衛星への適用が可能となる高線形性増幅器および入出力フィルタで生じる群遅延特性を補償する適応等化器を実装した映像評価装置を開発し、16APSK の伝送特性を向上させる。

##### アー 2 地上放送に関する伝送容量拡大技術の開発

地上放送に関して、超高精細度映像の膨大な情報量を効率良く伝送するためには、周波数利用効率を向上する技術の開発が重要である。地上放送の場合の周波数利用効率向上手段として、直交する 2 つの偏波を同時に使用する偏波 MIMO 伝送技術、変調多値数を現在の地上デジタル放送のハイビジョンサービスに適用されている 64 値(64QAM)から最大 4096 値(4096QAM)に拡大する超多値 OFDM 技術及び単一周波数による放送ネットワークを構築する SFN(単一周波数放送網)技術がある。

現在の地上デジタル放送で使用されている SFN 技術では、複数の SFN 送信局が同じ変調内容の信号を同じ周波数で送信している。そのため、各送信局のサービスエリアが重なる地域では、強いマルチパス妨害が発生し、受信障害が発生したりする場合がある。そこで、送信ダイバーシティ技術の一種である時空間符号化(STC)を応用した偏波 MIMO 伝送向けの次世代 SFN 技術を開発し、野外での実証実験によりその効果と伝送特性を評価・確認する。さらに、これらの技術を地上放

送に適用するに当たり重要となる交差偏波特性を含む伝搬路特性を詳細に把握するため、季節変動を含む通年測定を併せて実施する。

## イ 高圧縮・伝送効率向上技術の開発

### イー１ 超高画質圧縮伝送技術の開発

超高精細度映像の放送を実施するに当たっては、アに述べた伝送容量拡大技術とともに、情報源の高圧縮・伝送効率向上技術が必須となる。超高精細度映像の普及に伴い、将来的には、より限られた容量を有する伝送路を利用したサービス提供も求められる。そこで、HEVC/H.265 など従来方式を超える高効率な映像圧縮伝送技術確立のため、基礎的な技術を検証する。

### イー２ 次世代多重化技術の開発

超高精細度映像等の伝送では、パケットの大型化や多重化装置と送信装置の同期動作によりオーバーヘッド量を削減し、伝送効率を向上することが期待できる。そこで、映像信号や音声信号などのメディア符号のカプセル化の方法やパケットの形式、さらに、コンテンツの構成を示す制御信号などの具体的な運用仕様に基づいた多重化装置および分離装置を開発し、より伝送効率を向上させる。

## 到達目標

### ア 伝送容量拡大技術の開発

#### アー１ 衛星放送に関する干渉／歪み補償技術の開発

放送衛星への適用が可能となる高線形性増幅器による非線形特性の緩和および適応等化器を実装した受信機による衛星搭載用入出力フィルタで生じる群遅延特性の補償により、16APSK 適用時に所要 C/N が改善可能な衛星伝送歪補償技術を開発する。具体的には、現行 BS と比較して、所要 C/N と出力バックオフの合計値 1.0dB 改善を目標とする。

#### アー２ 地上放送に関する伝送容量拡大技術の開発

地上放送に関しては、大容量化の実現を目指して、時空間符号化を応用した次世代 SFN に対応した偏波 MIMO-超多値 OFDM 変復調装置及び送信装置を開発し、次世代放送基盤技術の研究開発により開設した熊本県人吉地区の実験環境も活用しつつ、同じ地区で電波を放射できる新たな SFN 送信用実験試験局を異なる場所に設置する。これら 2 つの実験試験局を用いて、時空間符号化 SFN 環境における伝搬距離が中・長距離(数 km～数十 km 程度)の見通し及び見通し外の受信点における伝送特性の測定・評価を行うことにより、次世代 SFN 技術を確立することを目標とする。また、従来型の SFN 環境での測定も行い、その改善効果を定量的に評価するとともに、課題についても明らかにする。

## イ 高圧縮・伝送効率向上技術の開発

## イー１ 超高画質圧縮伝送技術の開発

次世代放送基盤技術の研究開発で得られた成果に加え、従来の映像圧縮伝送技術よりも更に伝送効率を高めた新たな高圧縮・伝送効率向上技術を確立し、超高精細映像伝送の実現を目指す。

最終的には、4K 映像の伝送帯域での 8K 映像の受信、すなわち現行の衛星・地上デジタル放送の 4 倍を超える伝送効率となる高圧縮・伝送効率向上技術の開発を目標とする。

## イー２ 次世代多重化技術の開発

多重化装置と送信装置が非同期で動作すると、伝送路に情報を適切に多重することができず、結果としてヌルデータ（伝送路を埋めるためのダミーの情報）が増加し、伝送効率が低下してしまうことがあるが、パケットの大型化とあわせ、多重化装置と送信装置を同期動作させることによりヌルデータ量を削減することが期待できる。そのため、ヌルデータを抑えるとともにパケットヘッダを現行の 1 割程度に削減するなどして、伝送路容量の 99%以上を実データの伝送に用いることを目指し、伝送効率を向上することが可能な多重化技術の開発を目標とする。また、開発した次世代多重化技術に対応する多重化装置及び送信装置を試作して性能評価を行う。

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。

### <平成 26 年度>

#### ア 伝送容量拡大技術の開発

##### アー１ 衛星放送に関する干渉／歪み補償技術の開発

- ・高線形性増幅器の設計
- ・適応等化処理による群遅延補償が可能な補償等化器を実装した映像評価装置の設計

##### アー２ 地上放送に関する伝送容量拡大技術の開発

- ・時空間符号化 SFN 対応偏波 MIMO-超多値 OFDM 変復調装置および送信装置の開発
- ・SFN 送信用実験局の設置
- ・熊本県人吉地区の実験環境における伝搬特性の長期測定及び評価

#### イ 高圧縮・伝送効率向上技術の開発

##### イー１ 超高画質圧縮伝送技術の開発

- ・HEVC/H.265 方式を超える高圧縮・伝送効率向上技術の開発

- ・ 開発した高圧縮・伝送効率向上技術を用いた超高精細度映像符号化装置の開発

#### イー２ 次世代多重化技術の開発

- ・ パケットの形式、制御信号の仕様などの決定、対応する多重化装置及び送信装置の開発

#### <平成２７年度>

##### ア 伝送容量拡大技術の開発

###### アー１ 衛星放送に関する干渉／歪み補償技術の開発

- ・ 高線形増幅器の試作、評価
- ・ 補償等化器を実装した映像評価装置の試作
- ・ 映像評価装置単体性能を評価

###### アー２ 地上放送に関する伝送容量拡大技術の開発

- ・ 時空間符号化 SFN 環境及び従来型 SFN 環境における偏波 MIMO-超多値 OFDM 伝送の特性測定及び両環境下の比較評価

##### イ 高圧縮・伝送効率向上技術の開発

###### イー１ 超高画質圧縮伝送技術の開発

- ・ 超高精細度映像符号化装置の各種パラメータ調整と評価実験
- ・ 超高精細度映像符号化装置の性能改善

###### イー２ 次世代多重化技術の開発

- ・ 開発した多重化装置及び送信装置を用いた性能評価
- ・ 同期動作の性能改善

#### <平成２８年度>

##### ア 伝送容量拡大技術の開発

###### アー１ 衛星放送に関する干渉／歪み補償技術の開発

- ・ 高線形増幅器の性能改善
- ・ 高線形増幅器で構成した衛星中継器シミュレータと補償等化器を実装した映像評価装置による 16APSK の伝送特性の評価

###### アー２ 地上放送に関する伝送容量拡大技術の開発

- ・ 時空間符号化 SFN 環境における偏波 MIMO-超多値 OFDM 伝送の長期間特性測定
- ・ 回線設計パラメータの検討

##### イ 高圧縮・伝送効率向上技術の開発

#### イー 1 超高画質圧縮伝送技術の開発

- ・ 超高精細映像符号化装置と送受信装置との接続機能追加と結合実験

#### イー 2 次世代多重化技術の開発

- ・ 開発した多重化装置及び送信装置を用いた統合接続試験

### 5. 実施期間

平成 26 年度から 28 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化機関・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 33 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＞

## 無人航空機を活用した無線中継システムと 地上ネットワークとの連携及び共用技術の研究開発

### 1. 目的

大規模災害時において通信インフラや道路インフラ等が壊滅的な被害を受けた場合の孤立地域との迅速なネットワークの確立、火山、火事、高放射線などの危険地域等でのデータ収集や通信確保、気象、測量等の観測を行う手段として、パイロットが搭乗する必要がなくプログラム通りに自律飛行することが可能な無人航空機システム（UAS）の利用が期待されている。国際的にも、欧米を中心に活発的な研究開発が行われているだけでなく、2012年の世界無線通信会議（WRC-12）において UAS で用いる周波数として 5GHz 帯（5030MHz～5091MHz）の非ペイロード用通信（UAS の制御や状態のモニタのための通信）としての使用が合意され、次回会議（WRC-15）では UAS と衛星を結ぶ周波数を決定するための議題が設定されている。

しかしながら、5GHz 帯や衛星通信用周波数帯（Ku/Ka 帯）は既にひっ迫しており、地上の無線アクセスシステムや航空無線航行システムとの共用が必要となっているほか、衛星とのリンクについても他の衛星回線との干渉を回避する必要がある。これらの課題を解決するため、5GHz 帯における他の地上用無線業務との無線の利用環境に応じた周波数共用技術及び他の衛星通信との共用技術を開発するとともに、地上ネットワークと協調して高速かつ安定した通信を実現し、周波数の共同利用を促進する。

### 2. 政策的位置付け

- ・日本経済再生に向けた緊急経済対策（平成 25 年 1 月 11 日 閣議決定）

「Ⅱ. 1.（2）研究開発、イノベーション推進」において、「イノベーション創出による需要喚起と成長への投資促進を図るため、（中略）先端的な情報通信技術の確立など、研究開発プロジェクト等を推進する」旨、及び下記項目が記載されている。

#### ①研究開発プロジェクトの推進

- ・イノベーションを創出する情報通信技術の利活用推進・強固な基盤整備（総務省）

- ・知識情報社会の実現に向けた情報通信政策の在り方（平成 23 年情報通信審議会諮問第 17 号 平成 24 年 7 月 25 日答申）

Active Japan ICT 戦略「アクティブコミュニケーション戦略～堅牢・高性能な重層的ブロードバンドネットワークの展開～」において、「大容量・途切れない高信頼・高品質な通信を可能とする移動通信システム等のブロードバンドワ

イヤレスネットワーク環境の提供」等、「電波の有効利用を実現する新たなワイヤレスシステムの研究開発」を行う旨が記載されている。

- ・新たな情報通信技術戦略工程表（平成 24 年 7 月 4 日改訂 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）

「3.（2）我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発等の推進」において、「引き続き、新世代・光ネットワーク、次世代ワイヤレス、（中略）の研究開発」を行う旨が記載されている。

- ・電波政策懇談会報告書（平成 21 年 7 月）

「災害に強い国づくりを目的に、災害による被害の発生を防止、軽減するために電波利用システムをアプリケーションとして活用していく」旨が記載されている。

### 3. 目標

大規模災害等における孤立地域との迅速なネットワーク確立及び平常時における広範囲なデータ収集等を可能にするため、UAS を活用した無線中継システムを既存の他の地上システムと無線の利用環境に応じて周波数を共用しつつ地上のネットワークと協調して迅速に展開できる共用技術並びに高度周波数制御技術を開発し、対象となる 5GHz 帯及び Ku/Ka 帯の共同利用の促進に資する。

無線中継システムを十分に機能させるため、上り回線と下り回線のそれぞれにおいて 5Mbps の伝送容量を満たすことを目指すとともに、最大 15 分程度までの遅延を許容する通信、並びに UAS と地上局が 2 対 2 以上のマルチリンク構成による協調ネットワークを実現し、上記共用技術や高度周波数制御技術とともに、小型 UAS（総重量 10kg 程度以下の固定翼型あるいは回転翼型の UAS）等による実環境（飛行）等での技術実証を行う。本研究開発は、前年度の基礎的な研究成果を踏まえて実施する。

また、他のシステムへの保護基準として、5GHz 帯においては不要輻射制限（-75dBW/MHz）を満たすとともに、Ku/Ka 帯においては固定業務において規定されている電力束密度（PFD）許容値（Ku 帯：-138dBW/4kHz・m<sup>2</sup>、Ka 帯：-105dBW/1MHz・m<sup>2</sup>）を固定衛星業務（FSS）にも準用し、これを満たすことを目指す。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

UAS を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携及び共用を実現するため、5GHz 帯における UAS と他の地上用無線業務との周波数共用技術、Ku/Ka 帯における UAS と他の衛星通信との周波数共用技術、複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術、及び UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術の

研究開発を行う。

## (2) 技術課題および到達目標

### 技術課題

#### ア 5GHz 帯における UAS と他の地上用無線システムとの周波数共用技術の開発

WRC-12 において新たに 5GHz 帯 (5030MHz~5091MHz) が UAS の非ペイロード通信用として割り当てられた。こうした状況のもと、UAS を用いた災害用通信を国内でも活用するため、5GHz 帯における UAS 間、UAS-地上間の伝搬データを取得し、地震及び津波等の大規模災害時の通信網補完を想定した気象条件や地上環境、地形条件等、様々な環境での伝搬モデルを確立するとともに、同一あるいは隣接帯域を用いる地上無線アクセスシステム及び航空無線航行システム等の既存業務との干渉・共用評価を行う必要がある。

以上を踏まえ、次の課題について特に災害時に容易に配備・利用可能な小型 UAS を想定した研究開発を行う。

- (a) 周波数共用評価のための電波伝搬モデル
- (b) 他の地上用無線業務との周波数共用技術

#### イ Ku 帯及び Ka 帯における UAS と他の衛星通信との周波数共用技術の開発

地上だけでなく海洋等を含む広い範囲で UAS を活動できるようにするためには、UAS-衛星間通信が必須の技術となる。このための周波数帯として、FSS 用の帯域 (Ku 帯及び Ka 帯) が ITU-R 等で検討されている。しかし、UAS-衛星間通信においては、UAS が広範囲にわたって飛行することによって、同じ帯域を用いる他の衛星や固定地球局への干渉が問題となる。これを回避しつつ、UAS を用いた広域の災害用ネットワークを衛星回線により制御するとともに UAS の飛行状態や周辺環境に関する測定データ等を伝送できるようにする必要がある。

以上を踏まえ、次の課題について特に災害時に容易に配備・利用可能で比較的ペイロードの大きい中型以上の UAS (総重量が 10 kg 程度以上の固定翼型あるいは回転翼型の UAS) を想定した研究開発を行う。

- (a) UAS 搭載用の可変指向性アンテナ技術
- (b) 環境適応型通信技術

#### ウ 複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術の開発

UAS を災害時等の中継路の一つとして活用する場合には、用いる UAS が大型になるほど搭載容量が増え、電力や搭載機器に余裕ができ、結果として通信範囲や通信速度を大きくとることができる。しかしながら、大型の UAS は高コストであり、また運用の難易度も上がるという課題がある。

これを解決するには、UAS による中継方法を工夫したり、複数の小型 UAS (おおむね手投げ発進が可能な総重量 10kg 以下のもの) を連携させたりすることで実質的に通信範囲や通信速度の拡大することが有効である。



具体的には、小型の UAS が一度に見通せない範囲であっても、寸断されたネットワークの先に UAS の移動で物理的にデータを保持して伝送する高度蓄積中継技術、あるいは複数の UAS 局を経由して遠くの範囲へ送り届ける複数ノードリレー構成技術により大きな遅延を許容して通信する技術、複数の小型 UAS と複数の地上ノードを仮想的な MIMO（多入力・多出力）チャネルとして、これらの間の多数の経路にデータを分散して伝送することにより速度を十分に保ったまま安定に伝送したりする技術を開発する必要がある。

以上を踏まえ、次の課題について既存の衛星通信システムとの比較を行いつつ、研究開発を行う。

- (a) 耐遅延中継技術
- (b) 地上・UAS 連携マルチリンク MIMO 符号化中継技術

#### エ UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術の開発

周波数がひっ迫している中、UAS が地上の無線システムと周波数を共用して災害時等での利用を拡大するためには、今後使用が想定される周波数帯（5GHz 帯）での周波数共用評価に加えて、積極的に地上の無線システムが使用するスペクトルセンシングによる周波数使用状況の把握とその発射源の位置推定を行うとともに、UAS 側でその利用環境に応じて周波数や送信電力等を高度に制御する周波数制御技術が必要である。

以上を踏まえ、次の課題について特に災害時に容易に配備・利用可能な小型 UAS を想定した研究開発を行う。

- (a) UAS 搭載スペクトラムセンシング技術
- (b) 地上発信源の位置推定技術
- (c) UAS 無線システムの高度周波数制御技術

### 到達目標

#### ア 5GHz 帯における UAS と他の地上用無線業務との周波数共用技術の開発

- (a) 周波数共用評価のための電波伝搬モデルの確立

5GHz 帯の送受信装置を様々な場所で飛行が可能な有人航空機等に搭載し、災害の種類（地震、津波、豪雨等）、気象条件、地形条件等を UAS が飛行する環境（山間部、都市部、海上等、5 種類以上）と組み合わせて、電波伝搬データの取得数を増やして解析を行い、各環境や条件ごとの電波伝搬モデルの高精度化を図る。

- (b) 他の地上用無線業務との周波数共用技術

UAS に搭載する無線通信システムや制御用地上局の設計に活用するため、様々な環境や飛行パターンにおける他の地上システム（無線アクセスシステム及び航空無線航行システム）を保護し、不要輻射制限基準を満たすことをめざした実環境（飛行）における干渉評価並びに周波数共用評価を行う。

## イ Ku 帯及び Ka 帯における UAS と他の衛星通信との周波数共用技術の開発

### (a) UAS 搭載用の可変指向性アンテナ技術

電子制御と機械制御のそれぞれの特徴を考慮し、他の衛星回線への干渉基準を満たす、UAS 搭載を想定した可変指向性アンテナの試作開発とその実環境（飛行）での評価を行う。

### (b) 環境適応型衛星通信技術

キャリアセンシングによるチャネル制御や送信出力制御による干渉回避のための中型以上の UAS 搭載を想定して送信電力やチャネルの制御を行う環境適応型衛星通信技術の試作開発とその実環境（飛行）での評価を行う。UAS からの上り回線と衛星からの下り回線の両方の信号を対象とする。

## ウ 複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術の開発

### (a) 耐遅延中継技術

UAS に小型のネットワークサーバを搭載し、通信用地上局から送信されたメッセージを機上メモリに蓄積し、目的地の上空まで飛行して携帯端末や車載無線装置などの通信用地上局向けにデータを送信する、大きな通信遅延を許容したメッセージ伝送技術を開発し、実環境（飛行）等での評価を行う。

最大 15 分程度までの遅延を許容し、上り回線と下り回線のそれぞれにおいて、5Mbps 以上のスループットを実現することを想定した地上・上空の高度蓄積中継技術、複数の UAS の連携により中継経路の切り替えや一時途絶などにも対応可能な複数ノードリレー構成技術を開発し、実環境（飛行）等での評価を行う。伝送遅延の代償は伴うが、UAS の物理的な高速移動特性や複数の UAS によるネットワークを利用して、送信電力を増大させることなく、災害等で寸断されたネットワークの先の遠方の携帯端末や車載端末に情報を配信可能とすることを目指す。

### (b) 地上・UAS 連携マルチリンク MIMO 符号化中継技術

地上と上空のノードを連携させ、複数の UAS とそれらからカバーできる地上の複数のメッシュノードとの間でマルチリンク MIMO(多入力・多出力)チャネルを構成し、空間的な冗長性を活用して障害への耐性を強化する。

具体的には、地上と上空の複数ノードで構成される巨大 MIMO リンクにより、伝送効率を向上し周波数資源利用効率を改善する巨大 MIMO 時空間符号化中継技術を開発し、実環境（飛行）等での評価を行う。また、ネットワーク符号化技術（ネットワークの多数の経路にデータを分散して伝送し、冗長性を活用してネットワークを安定化するとともに伝送効率を向上する技術）を導入し、複数ノード間の連携・協調により無線の信頼性を向上し、UAS のより安全な運航に資するためのマルチリンクネットワーク符号化中継技術を開発し、実環境（飛行）等での評価を行う。送る情報の要求条件

と性質に合わせたリンク間の合成・配分の最適化、並びにネットワーク符号化によるオーバーヘッドの増加や各ノードの消費電力増加等のマイナス効果を定量的に評価し、これを最小限に抑えることをめざす。また、UAS が長距離移動する場合の制御用地上局のハンドオーバ技術や地上ネットワークの安定性と保守性を強化するためのネットワーク符号化を応用したネットワークの障害特定のためのアルゴリズムの高度化を行う。

## エ UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術の開発

### (a) UAS 搭載スペクトラムセンシング技術

5GHz 帯での同一帯域での UAS と地上の周波数共用を促進するため、UAS に搭載し、飛行しながら地上の他の無線システムで使用されている信号のチャンネル情報の測定を上空から可能にするスペクトラムセンシング技術を開発し、実環境（飛行）等での評価を行う。

### (b) 地上発信源の位置推定技術

UAS から地上の他の無線システム及び地上の他の無線システムから UAS への各同一帯域内干渉を確実に回避することをめざし、5GHz 帯を使う地上の他の無線システムの信号発信源の位置を、飛行する 1 機あるいは複数機の UAS からその飛行軌跡を活用して推定する技術を開発し、実環境（飛行）等での評価を行う。

### (c) UAS 無線システムの高度周波数制御技術

UAS 搭載のスペクトラムセンシング技術並びに地上発信源の位置推定技術により特定された地上の他の無線システムとの間の同一帯域内干渉を確実に回避するため、それらの情報を利用して UAS 側で送信する周波数や送信電力等を高度に制御する技術を開発し、実環境（飛行）等での評価を行う。

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。

## <平成 26 年度>

### ア 5GHz 帯における UAS と他の地上用無線業務との周波数共用技術の開発

有人航空機等を使った伝搬測定（環境条件を変えて継続）およびその評価と伝搬モデルの改良（適用範囲の拡大や精度の改善等）を実施する。また、構築した共用評価システムを有人航空機上等に実装し、試験用に設置した他の地上システム（無線アクセスシステム）との間の実環境（飛行）での周波数共用評価実験の実施と解析を行う。

### イ Ku 帯及び Ka 帯における UAS と他の衛星通信との周波数共用技術の開発

可変指向性アンテナと環境適応通信装置の詳細設計と開発、並びに地上での

予備実験の実施と解析を行う。

ウ 複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術の開発

高度蓄積中継装置、複数ノードリレー構成装置、巨大 MIMO 時空間符号化中継装置およびネットワーク符号化中継装置（無人航空機搭載局および地上ネットワークノードを含む）の詳細設計と開発、並びに地上での予備実験の実施と解析を行う。

エ UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術の開発

スペクトラムセンシング装置の試作および位置推定アルゴリズムのシミュレーションでの評価を行うとともに、小型 UAS 等による実環境（飛行）等での予備実験と解析を行う。

<平成 27 年度>

ア 5GHz 帯における UAS と他の地上用無線業務との周波数共用技術の開発

電波伝搬モデルと実測定データに基づく干渉回避基準の試案を検討し、有人航空機を使用した実環境（飛行）等での検証実験を行う。

イ Ku 帯及び Ka 帯における UAS と他の衛星通信との周波数共用技術の開発

可変指向性アンテナと環境適応通信装置の改修・追加開発と、それを有人航空機を使用した実環境（飛行）等での評価実験の実施と解析を行う。

ウ 複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術の開発

高度蓄積中継装置、複数ノードリレー構成装置、巨大 MIMO 時空間符号化中継装置およびネットワーク符号化中継装置（無人航空機搭載局および地上ネットワークノードを含む）の改修・追加開発、並びに小型 UAS による実環境（飛行）等での評価実験の実施と解析を行う。

エ UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術の開発

UAS 上で測定されたスペクトラム情報や地上発信源の位置情報に基づいて使用チャネルや送信電力の高度制御を行う制御装置を試作し、小型 UAS による実環境（飛行）等での評価実験の実施と解析を行う。

5. 実施期間

平成 26 年度から平成 27 年度までの 2 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機関等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、国際機関（ITU-R、ICAO、AWG 等）において関連動向を調査し、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化機関等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

平成32年度までの実用化・製品展開等を実現するために、「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」や利用協議会の設立など、必要な取組を実施することとし、その活動計画や実施方策等について、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、学識経験者、有識者、想定される利用者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催することにより、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受けること。

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、研究計画書の中に具体的かつ詳細に記載すること。

# ＜基本計画書＞

## ワイヤレス電力伝送による漏えい電波の環境解析技術の研究開発

### 1. 目的

近年、電波の利用方法としては、通信だけではなく、電力伝送技術が注目されている。2015年以降の実用化が予定されているワイヤレス電力伝送（以下「WPT」という。）システムとして、電気自動車用の大電力（数kW）を伝送するものや、家電機器用の中電力（数百W）を伝送するものなど、多種多様な方式開発が進められている。

WPTシステムは、一般家庭や集合住宅への普及が見込まれており、使用範囲として住宅内に限らず屋外の駐車場も含めた広い空間が想定されている。また、使用空間内で複数のWPTシステムが密接かつ同時に動作する可能性が想定されている。

そのような環境でWPTシステムを実現するには、WPTシステムから発生する漏えい電波が、近接する機器に与える影響を分析することが必須であるが、数十kHz～数GHzの周波数領域における漏えい電波の強度分布をシミュレーションにより評価する技術は確立されていない。

そこで、本研究開発では、WPTシステムをはじめとする各種電子機器等が密集して設置された環境における漏えい電波の発生源及び設置環境をモデル化して、漏えい電波の状況を分析できるシミュレーション技術を確立する。この技術は、今後実用化が進む様々な方式のWPTシステムの性能や品質の向上に役立つとともに、製品設計の効率化にも有効である。さらに、WPTシステムの法令規制値の策定検討において有効なデータを提供することができる。

このように、漏えい電波の状況を解析するためのシミュレーション技術の研究開発により、電波環境の保全を確保し、国際標準等国際的な調和を図りながら通信機器、電力伝送システム等の周波数の共同利用を促し、もって電波利用ビジネスの活性化に資することを目的とする。

### 2. 政策的位置付け

- ・日本経済再生に向けた緊急経済対策（平成 25年1月11日閣議決定）

「Ⅱ. 1. （2）研究開発、イノベーション推進」において、「イノベーション創出による需要喚起と成長への投資促進を図るため、（中略）先端的な情報通信技術の確立など、研究開発プロジェクト等を推進する」旨、及び下記項目が記載されている。

#### ①研究開発プロジェクトの推進

- ・イノベーションを創出する情報通信技術の利活用推進・強固な基盤整備（総

務省)

- ・ 知識情報社会の実現に向けた情報通信政策の在り方（平成 23年情報通信審議会諮問第17号平成24年7月25日答申）  
Active Japan ICT戦略「アクティブコミュニケーション戦略～堅牢・高性能な重層的ブロードバンドネットワークの展開～」において、「ホワイトスペースの周波数高度利用技術」等、「電波の有効利用を実現する新たなワイヤレスシステムの研究開発」を行う旨が記載されている。
- ・ 新たな情報通信技術戦略工程表（平成 24年 7月 4日改訂 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）  
「3.（2）我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発等の推進」において、「引き続き、新世代・光ネットワーク、次世代ワイヤレス、（中略）の研究開発」を行う旨が記載されている。
- ・ デジタル新時代に向けた新たな戦略～三カ年緊急プラン～（平成 21年 4月 9日 IT戦略本部）  
第2章Ⅱ. 2.（4）デジタル技術を活用した新産業創出において、「コードのいない快適生活環境等を早期実現」する旨が記載されている。
- ・ 電波新産業創出戦略～電波政策懇談会報告書～（平成 21年7月13日 電波政策懇談会）  
「4-2-2 ユビキタスフロンティア【ワイヤレス電源供給】」において、「電源コードが不要となることにより、コンセントのない住宅や家電の自由な配置の実現以外にも、ユーザーのライフスタイルにも大きな変革をもたらすと考えられる。  
さらに、電気自動車の給電インフラとして、無線給電スタンドや無線給電駐車場の整備も期待される。また、カプセル内視鏡型ロボット／センサーやインプラント機器に搭載される電池の代替としても、ワイヤレス電源供給の利用が期待される。」旨が記載されている。

### 3. 目標

一般住宅の屋内外において今後設置が進むことが見込まれているWPTシステムから発生する漏えい電波が、各種無線システムに影響を与える可能性が考えられ、様々なWPT方式及び設置環境を想定した場合の漏えい電波の状況とそれによる干渉影響を正確に把握するための技術を開発する。

出力電力数十W～数kWの様々な方式のWPTシステムからの漏えい電波を模擬する技術と共に、漏えい電波の発生源と屋内外の空間をモデル化し、計算機上のシミュレーションを用いて漏えい電波の状況を可視化して分析する技術の確立を目標とする。

#### 4. 研究開発内容

##### (1) 概要

本研究では、平成25年度に実施された「ワイヤレス電力伝送システム等における漏えい電波の影響評価技術に関する研究開発」において明らかにされたWPTシステムから発生する漏えい電波の測定評価結果を踏まえ、WPTシステムから発生する漏えい電波の状況を可視化するための電磁界シミュレーション技術を開発する。実際の住宅環境における漏えい電波の発生源や、被干渉システムの配置や組み合わせ等、個々の住宅毎に異なるため、まず住宅環境に、WPTエミュレーターを設置して、実環境における漏えい電波の影響を把握する。ここで、WPTエミュレーターの基本波及び高調波の各周波数における漏えいレベルは、法令規制値を基準とした定量的な相対値で設定できるものとする。

また、実際の住宅環境をモデル化して、WPTエミュレーターから発生する漏えい電波の電磁界強度分布の結果を計算機上のシミュレーションを用いて可視化する技術を開発する。実際の屋内外の設置環境における漏えい電波の評価結果と、シミュレーション技術を用いた分析結果を比較することで、本技術の妥当性について検証を行う。加えて、住宅毎に異なる環境への適用など、一般的な設置環境及び動作条件において分析を可能とするため、シミュレーションモデルの計算精度向上と、並列計算機を活用した大規模化に関する技術を開発する。これによって、シミュレーション上で、WPTシステムをモデル化した上で、屋内外の空間において漏えい電波の状況を可視化して分析する技術を確立する。

##### (2) 技術課題及び到達目標

###### 技術課題

###### ア 漏えい電波の可視化技術の開発

WPTシステムは、住宅全体と駐車場を含む環境において複数設置される可能性があり、それぞれのシステムが個別の動作条件で運用される。WPTシステムに近接して使用される被干渉システムとして、電波時計、ラジオ放送、携帯電話及び無線LAN等の無線機器が想定され、これらの無線機器の使用周波数帯域は30kHz～6GHzの広範囲となる。また、MHz帯を用いる磁界共鳴方式WPTシステムにおいては高い周波数帯域までの高調波が想定され、国際無線障害特別委員会(CISPR)等における漏えい電波の測定規格の上限周波数は6GHzである。すなわち、WPTシステムから発生する漏えい電波の評価では、駐車場を含めた住宅全体の大きな空間ならびに広範囲の周波数帯域が解析対象となることを



考慮する必要がある。しかしながら、従来のシミュレーションにおいて、大きな空間ならびに広範囲の周波数帯域を解析対象とする場合、電磁界数値解析において空間を分割するメッシュ数が数十億を超えることから、一般的なサーバ型計算機の能力では計算が不可能となる。したがって、本研究では、周波数毎に最適な解析手法を適用するとともに、大規模計算を伴うシミュレーションに並列計算手法を用いることによって、WPT システムにおける漏えい電波の可視化を実現する。

#### イ 漏えい電波の環境評価技術の開発

実際の WPT システムは、用途に応じて、屋内外の様々な環境に設置され、動作周波数や出力電力などの動作状態もそれぞれ個別の条件で運用される。WPT システムから様々な漏えい電波が発生しているが、それぞれの設置状態や動作条件などの様々な因子によって、他の機器に与える干渉影響が大きく異なることが想定される。したがって、各機器の様々な動作状態や設置状態を正確に制御、把握した条件において漏えい電波が他の機器に及ぼす影響を評価する必要がある。

そのため、本研究では、様々な WPT システムから発生する漏えい電波の発生源として、WPT エミュレーターを設置した実験環境を構築し、動作周波数や出力電力などの動作状態における漏えい電波を模擬すると共に、他の機器に及ぼす干渉影響を定量的に把握する。また、WPT エミュレーターを設置した実験環境において、漏えい電波の電磁界強度の分布を測定することで、「ア 漏えい電波の可視化技術の開発」におけるシミュレーションモデルの精度向上のための基礎データとして活用する。

#### ウ 漏えい電波の環境構築技術の開発

電気自動車や家電機器などの各種用途で用いられる様々な WPT システムの漏えい電波を評価するために、それぞれの WPT システムの実験装置を開発し評価することは、一般性に乏しく、かつ設計・製造の費用や期間が膨大となる。

そこで、漏えい電波の環境構築技術の開発では、漏えい電波の強度や電源系統への影響など様々なパラメータを変化しながら電波暗室内で再現性が高い定量的評価を可能とする実験環境を実現する。WPT システムから発生する漏えい電波の発生源から漏えい電波が空間に放射されることを模擬した WPT エミュレーターを構築する。WPT エミュレーターでは、漏えい電波の発生源を高精度に模擬するため、WPT システムの広帯域に広がる信号源や、バースト状の信号源などを模擬できるようにする。WPT システムの動作によって電力線などの配線への影響を模擬する電力線エミュレーターを構築する。これらにより、動作周波数、出力電力といった条件を変えながら干渉影響を再現することで、被干渉システムにおける影響の度合いを定量的に評価し、その結果を踏まえ改善や妥当性の確認を行うことができる環境を構築する。

## 到達目標

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26年度>

### ア 漏えい電波の可視化技術の開発

WPT システムによる漏えい電波の可視化については、全周波数帯域（30kHz～6GHz）を低周波帯域、中～高周波帯域、高周波数帯域に分けて、それぞれの周波数帯域毎に最適な異なる電磁界解析手法を適用し、並列計算機を用いた大規模計算に対応するシミュレーションシステムを構築する。

電磁界シミュレーションの解析空間は、WPT システムの設置利用が想定される戸建て住宅内とし、漏えい電波による基本波、高調波成分による電磁界分布を導出する。本シミュレーションの導出結果と、実際の設置環境における測定結果との比較を行うことにより、本技術の妥当性を検証する。

WPT システムが発生する漏えい電波の波源は、伝送方式（電磁誘導方式、磁界共鳴方式）、出力電力（数十W～数百W）、屋内空間における位置をそれぞれ設定する。

広い周波数帯域及び戸建て住宅全体の広い解析空間において、大規模計算によるシミュレーションを12時間程度の計算時間で完了することができる並列計算システムを活用し、そのシステム上に分散処理プログラムを実装したシミュレーションシステムを実現する。

また、「イ 漏えい電波の環境評価技術の開発」による評価結果とシミュレーション結果の差分を電磁界強度の1m区間の平均値で5dB程度以内に低減する検討を行うとともに、その差分に対する考察を行う。

### イ 漏えい電波の環境評価技術の開発

漏えい電波の環境評価の実験環境は、戸建て住宅とする。実験環境に設置するWPT エミュレーターは、屋内に設置される複数の伝送方式に対応したWPT システムを想定し、数十W～数百Wの出力電力に対応する。なお、WPT エミュレーターが発生する漏えい電波の強度を任意に設定変更できるようにする。

漏えい電磁界強度の測定においては、WPT エミュレーターから発生する漏えい電波の基本波、高調波の各周波数成分と、被干渉システムの使用周波数帯の対応づけを可能とするため100kHz～6GHzの電界成分と、30kHz～30MHzの磁界成分を測定する。

また、実験環境において測定した電磁界強度分布のデータは、「ア 漏えい電波の可視化技術の開発」におけるシミュレーションの分析結果と比較する際の基準データとして利用する。

WPT システムの漏えい電波による干渉影響の評価対象とする被干渉機器は、中波ラジオ受信機、各種無線システム（携帯電話：800MHz, 1.5GHz, 2GHz, 3.5GHz 帯, 無線 LAN：2.4GHz, 5.2GHz 帯）等とする。WPT システムの動作周波数や出力電力などの動作条件を変えながら、漏えい電波による上記被干渉機器への干渉影響を分析する。さらに各種 WPT システムの動作周波数や出力電力などの動作条件と対応付ける形で、被干渉機器の通信品質（アンテナ端子における受信電磁界強度、ビットエラーレート等）を定量的に評価する。

#### ウ 漏えい電波の環境構築技術の開発

本研究において開発する WPT エミュレーターでは、屋内に設置される家電機器で用いられる様々な方式の WPT システム（電磁誘導方式及び磁界共鳴方式）について、最新標準化動向を考慮した上で、漏えい電波の基本波及び高調波の電磁界強度を模擬的に発生させる。

電力線エミュレーターでは、家庭内の電力線等の各種配線を模擬した電源系統を構築し、その電源系統において、実環境分析技術で把握した太陽光発電系統連系パワーコンバータ（GCPC）の動作や電源系統への影響を再現する。

WPT エミュレーター及び電力線エミュレーターで再現する漏えい電波の発生源は、広帯域信号源やバースト状ノイズの再現に対応する。さらに、再現する発生源は、電磁界放射及び伝導妨害に関するイミュニティ関連規格や法令規制値と対応させて制御できるようにする。

### <平成27年度>

#### ア 漏えい電波の可視化技術の開発

平成26年度に構築した漏えい電波の可視化技術を基本として、実際の電気自動車や家電機器等に搭載された WPT システムにおいて、搭載される機器等が設置される状態や場所の違いによる漏えい電磁界の変動等、実使用条件を考慮したシミュレーションモデルを構築することとし、商業施設や店舗駐車場などの大規模な空間をその対象として拡張するとともに、複数の異なる WPT システムが同時に設置される場合を考慮し、合計で3以上の波源をモデル化する。漏えい電波の波源は、屋外に設置される電気自動車用 WPT システムを想定して最大数 kW の出力電力に対応する。

また、シミュレーションの結果得られた電磁界強度分布を様々な設定条件において3次元で可視化するシステムを開発する。大規模空間かつ全周波数帯域（30k~6GHz）を含む電磁界強度分布データから特徴量を抽出し、さらにリアルタイムで3次元可視化を実現するために、並列計算システム等を活用した高速レンダリング技術を開発する。

また、「イ 漏えい電波の環境評価技術の開発」による評価結果とシミュレーション結果の差分を電磁界強度の1m区間の平均値で5dB程度以内に低減する検討を行うとともに、その差分に対する考察を行う。

#### イ 漏えい電波の環境評価技術の開発

平成26年度に構築した漏えい電波の環境評価技術を基本として、漏えい電波の環境評価の実験環境として屋外の駐車場を加えた上で、屋外に設置される電気自動車用 WPT システムを想定した最大数 kW の出力電力に対応する。

さらに、実際の家電機器等に搭載された WPT システムにおいて、搭載される家電機器等が設置される状態や場所の違いによる漏えい電磁界の変動等、実使用条件を考慮した評価を行う。

#### ウ 漏えい電波の環境構築技術の開発

平成26年度に構築した漏えい電波の環境構築技術を基本として、屋外に設置される電気自動車用 WPT システムを想定した最大数 kW の出力電力に対応することにより、数十 W～数 kW の広範囲にわたる出力電力に応じて漏えい電磁界を制御できる WPT エミュレーターを構築する。

また、実際の家電機器等に搭載された WPT システムにおいて、搭載される家電機器等が設置される状態や場所の違いによる漏えい電磁界の変動等、実使用条件を考慮した漏えい電磁界を模擬する技術を構築する。

### 5. 実施期間

平成26年度から平成27年度までの2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32年度までの実用化・製品展開等を実現するための活動計画・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、情報通信審議会電波利用環境委員会ワイヤレス電力伝送作業班の検討状況を考慮するとともに、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＞

## 次世代映像素材伝送の実現に向けた高効率周波数利用技術に関する研究開発

### 1. 目的

我が国では、超高精細度放送（8K 放送）の試験放送が 2016 年に開始される予定であり、2020 年の本放送開始に向けて、ニュース映像やスポーツ番組等に不可欠な放送番組素材についても高効率かつ高信頼のリアルタイム伝送を行うための基盤技術の確立が急務となっている。

現行または周波数移行後の素材伝送システム（FPU(Field Pick-up Unit)）で使用される周波数帯域（2.3GHz 帯、マイクロ波帯など）では、大容量の超高精細度（8K）映像素材を無線伝送するための新たな周波数帯域の確保が難しいことから、当該 FPU 周波数をこれまで以上に効率的に利用可能とする伝送技術の研究・開発が必要である。

また、FPU は伝搬路状況が大きく変化する環境において運用することから、伝送品質を維持しつつ、周波数の有効利用を図ることが求められている。特に 2.3GHz 帯の周波数等では、他の無線通信システムとの共用や FPU 同士の共用が前提となっていることから、電波干渉を生じさせない新たな工夫も必要となる。

以上のことから、8K 映像素材のリアルタイム伝送の実現に向けた高効率伝送技術ならびに、電波干渉を回避するとともに FPU の伝送品質を維持した上で高効率の周波数有効利用を図るための伝送技術を確立することにより、FPU の大容量化と信頼性の向上を図り、既存の FPU に比べ周波数利用効率を高めた次世代映像素材無線伝送システムの開発を目標とする。

FPU で使用する周波数帯域を活用して 8K 映像素材伝送を実現するとともに、他の無線通信システムと共用する周波数帯域を活用しての大容量伝送を実現するものであるが、本研究成果は、映像素材伝送にとどまらず、周波数資源の一層の有効利用技術として広く利用されることも期待できる。

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（本年 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

### 1． 革新的な新産業・新サービスの創出と全産業の成長を促進する社会の実現

#### （5）次世代放送サービスの実現による映像産業分野の新事業創出、国際競争力の強化

「8K に対応した放送については 2016 年に、衛星放送等における放送開始を目指す」及び「2020 年には、市販のテレビで 4K、8K 放送やスマートテレビに対応したサービスを受けられる環境を実現する。」旨を記載。

- ・情報通信審議会答申「知識情報社会の実現に向けた情報通信政策の在り方」（平成 24 年 7 月 25 日）

「リッチコンテンツ戦略」において、2015 年に向けた目標である「いつでもどこでも誰でもが、デバイスフリー、ワンソース／マルチユースで高精細、高臨場感なリッチコンテンツを製作・利活用できる環境の実現」に関し、「日本が優位性をもつ高精細、高臨場感な映像技術（4K、8K）の確立とこれらが実装された端末・サービスの普及推進ロードマップを早期に策定するための検討体制を整備」することとされている。

- ・放送サービスの高度化に関する検討会検討結果取りまとめ（平成 25 年 6 月 11 日）  
スーパーハイビジョンに関する検討結果について

「3．時間軸」中「(2)時間軸の設定に関する考え方」において以下の時期を目安として進めていく旨記載。

2014 年	（ブラジル（リオデジャネイロ）・ワールドカップの開催年） 〔可能な限り早期に、関心を持つ視聴者が 4K を体験できる環
--------	--

	境を整備。]
2016年	(リオデジャネイロ・オリンピックの開催年) [可能な限り早期に、関心を持つ視聴者が8Kを体験できる環境を整備。]
2020年	(オリンピックの開催年) [希望する視聴者が、テレビによって、4K/8Kの放送を視聴可能な環境を実現。]

### 3. 目標

現行または周波数移行後のFPUで使用される周波数帯域(2.3GHz帯、マイクロ波帯など)において、リアルタイムでの8K映像素材伝送を可能とし、さらには、無線区間での周波数利用効率を従来のハイビジョン(2K)用FPUと比べて1.5倍に拡大するとともに、従来の圧縮方式(MPEG-4 AVC/H.264)よりも最大2倍程度の高効率な圧縮技術を実現することで、当該周波数を最大3倍程度効率的に利用可能とする新たな伝送技術の研究・開発に取り組み、次世代映像素材無線伝送システムを構築する。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

超高精細度カメラで撮影したニュースやスポーツ等の大容量の映像情報をFPUで効率的にリアルタイムでの伝送を行うためには、新たな技術開発の下、高度な技術等の適用が必要である。

FPUは、従来は単方向通信方式で、かつ固定レートで運用を行っているが、伝送効率を向上させるために新たに双方向通信方式を採用し、さらには伝送路の状況に応じた柔軟な送受信を可能とするために可変レートに対応した新たなFPUを開発する。具体的には、双方向化により効率を低下させない時分割複信(TDD)方式、双方向MIMO技術、適応変調技術、HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest)技術の開発に取り組む。

また、2.3GHz帯はFPU同士の共用や、他の無線システムとの共用が前提となっていることから、これらの周波数帯における空きチャンネルを検出し、伝送に有効なチャンネルを組み合わせて容量を増大する技術の開発にも取り組む。

さらに、8K映像の映像素材は、これまでのハイビジョン(2K)映像素材に比べ格段に情報量が多くなる。限られた周波数利用の中では、できる限り所要伝送レートを減らすことが望まれることから、これまでよりも高効率な圧縮方式を用いた伝送技術の開発にも取り組む。

最終的に既存のFPUと比べ、伝送容量を最大3倍程度向上させる。また、移動中継を想定した実証実験を実際の伝搬環境で行い、総合特性を評価する。



## (2) 技術課題および到達目標

### 技術課題

#### ア 伝送容量可変技術の開発

##### (ア) 次世代 MIMO-OFDM 技術の開発

無線通信を行う二者で伝送路情報を共有することで、伝搬環境に応じて最大伝送容量が得られる送信パラメータを適応的に可変する技術を開発する。偏波多重 MIMO 技術、送受信ダイバーシチ技術、空間多重 MIMO 技術を伝搬環境に応じて適応的に切り替え、これらを積極的に利用して伝送容量を向上させる技術の開発が課題である。また、受信側が受信した信号から経路の品質を分析し、その情報を送信側に送り返すことにより、各アンテナから出力される信号の電力配分を、注水定理に基づいて適応的に可変させることでスループットを向上させるような実用的な手段の開発が必要である。

送信パラメータを適応的に可変させるためには、伝送路情報をフィードバックするための回線が必須となるが、本研究開発では 4 (2) ア(イ) で検討する時分割複信 (TDD) 方式を前提として、フィードバックされた伝送路情報の遅延による伝送品質の劣化を軽減する技術、送り返す情報量を削減する技術や、伝送システムとして構築するためのハードウェア実装技術など、実用化に向けて解決しなければならない困難な課題に取り組む。なお、上記の各要素技術は、主にベストエフォート型の無線通信システムを前提とした研究開発が進められているが、帯域保証が要求される放送分野への適用例はなく、新たな要求条件を満たす技術への発展が不可欠となる。

##### (イ) 高効率時分割複信技術の開発

高精細度 (ハイビジョン) 映像素材を無線伝送する既存の FPU は、放送システムと同様に単方向かつ一定レートの伝送システムであった。一方、8K 映像素材は、格段に所要伝送レートが高くなる。通信路を双方向化することにより、伝搬環境に応じて最大伝送容量を得られる通信方式に自律的かつ適応的に切り替えることが可能となり、トータルスループットの向上が期待できる。双方向化のための複信方式としては、周波数分割複信 (FDD) 方式と時分割複信 (TDD) 方式が挙げられる。複信用の新たなチャネルが不要であること、上り下りの伝送レートの比率を自在に変更できること、従来の FPU システムと同様に、単方向かつ一定レートの伝送にも対応できる利点があり、周波数有効利用の観点からも、8K 映像素材伝送には TDD 方式が望ましい。

TDD 方式においては、送受信切替保護時間 (ガードタイム) を伝送距離に応じて適応的に可変させることで長距離伝送でも高い伝送効率を維持できる TDD 技術、移動中継で想定される広いダイナミックレンジ (60 から 70dB 程度を想定) をもつ受信信号電力に対応できる高度な信号回り込み抑制技術及び AGC (自動利得制御) 技術の開発が課題である。また、映像素材の移動中継においては、ロードレース等の複数の受信基地局での運用が不可欠であり、高度な TDD 中継

技術が要求される。このような複数の基地局での受信を想定した TDD 方式での中継技術はこれまでのハイビジョン（2K）用 FPU では、実現されておらず、実用化に向けたチャレンジングな課題である。

また、誤り訂正技術（FEC）のさらなる高度化ならびに誤り訂正技術と自動再送要求（ARQ）を組み合わせた高効率な HARQ 技術を新たに開発するとともに、スループット・遅延変化に対応するためのデータ伝送技術の開発にも取り組む必要がある。

#### イ チャンネル選定最適化技術の開発

周波数移行後の FPU で使用される周波数帯域である 2.3GHz 帯等は他の FPU や他の無線システム（レーダー、アマチュア無線など）との共用が前提となっている。互いの干渉を避けながら割り当てられた周波数資源を有効利用するため、空きチャンネルを検出するスペクトルセンシング技術及び複数の空きチャンネルを束ねて利用することで伝送容量を飛躍的に増大させて 8K 映像素材の伝送を可能にするチャンネルアグリゲーション技術に取り組む必要がある。スペクトル検出の信頼性を高める手法、通信中であっても空きチャンネルを動的に利用するための技術及び複数の周波数帯にまたがって無線周波数を利用する技術の開発が課題である。

#### ウ 超高圧縮伝送技術の開発

8K 映像素材は、これまでの映像素材に比べ格段に情報量（40Gbps～140Gbps 程度）が多くなる。一方、周波数には限りがあり、周波数有効利用の観点からも、できる限り所要伝送レートを減らすことが望まれる。映像素材は、高画質・低遅延であることが必要であることから、これまでの圧縮方式（MPEG-4 AVC/H. 264）よりも最大 2 倍程度の高効率な圧縮方式を用いて、これら条件を満足するため、8K 映像素材を 100Mbps～200Mbps 程度に圧縮して伝送する技術を開発する必要がある。また、実用性の観点からは、放送用の中継車等に搭載可能なサイズと消費電力で装置化できることも重要である。

### 到達目標

#### ア 伝送容量可変技術の開発

##### （ア）次世代 MIMO-OFDM 技術の開発

伝搬路の状況に応じて変調方式や送信パラメータ、MIMO 伝送方式や送信電力配分、送受信アンテナ指向性を適応的に変更することのできる双方向 MIMO 技術を開発し、移動局から受信基地局への上り回線において、最大で従来のハイビジョン（2K）用 FPU の 1.5 倍程度の伝送容量の向上を図る。また、伝送路情報を共有するための最適なフィードバック手法を開発する。

##### （イ）高効率時分割複信技術の開発

8K 映像の移動中継で想定される広いダイナミックレンジ（60 から 70dB 程度を想定）をもつ受信信号電力に対応できる信号回り込み抑制技術や AGC（自動利得制御）技術、ロードレース中継など複数の受信基地局での運用を可能にする TDD 中継技術を開発する。

TDD 方式において、ロードレース中継などにおける 10km 程度の長距離伝送でも伝送効率を下げないように送受信切替保護時間（ガードタイム）を伝送距離に応じて適応的に可変させる適応制御技術、高度な誤り訂正技術ならびに誤り訂正技術と自動再送要求を組み合わせた高効率な HARQ 技術を新たに開発するとともに、スループット・遅延変化に対応するためのデータ伝送技術を開発する。

#### イ チャンネル選定最適化技術の開発

レーダー、アマチュア無線及び他の FPU などの共用する無線システムの信号を検出し、互いの干渉を避けながら空きチャンネルを推定し、複数のチャンネルを束ねて使用することにより 8K 映像素材を伝送する技術を開発する。

#### ウ 超高圧縮伝送技術の開発

ハイビジョン（2K）に比べて格段に情報量が多くなる 8K 映像を HEVC 符号化方式によって、これまでの圧縮方式（MPEG-4 AVC/H. 264）よりも最大 2 倍程度高効率に符号化し、100Mbps～200Mbps 程度に圧縮する技術を開発する。無線伝送速度を最大限に利用するために、圧縮後のビットレートを可変とすることができる可変レート・コーデックを開発する。

最終的に上記の技術を用いたシステムにより、既存の FPU システムと比べ、伝送容量を最大 3 倍程度向上させる。また、移動中継を想定した実証実験を実際の伝搬環境で行い、総合特性を評価する。

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 26 年度>

#### ア 伝送容量可変化技術の開発

##### （ア）次世代 MIMO-OFDM 技術の開発

伝搬環境の高精度な推定方法、伝送路情報共有のためのフィードバック手法、双方向 MIMO に適した OFDM 信号形式や送信電力配分、送受信ビーム制御方式などの基礎検討を行い、計算機シミュレーションでその性能ならびに課題の抽出を行う。

双方向 MIMO 伝送方式や変調方式、時分割複信方式を評価するための基礎検討用プラットフォームとしてのデジタル信号処理装置を設計・試作する。

#### (イ) 高効率時分割複信技術の開発

送受信切替保護時間（ガードタイム）を伝送距離・伝搬遅延に応じて適応的に可変させることのできる TDD 技術、送信信号の回り込みを抑制する技術、広いダイナミックレンジの受信信号電力に対応する AGC 制御技術を検討し、各技術の有効性を評価するための装置を試作する。また、高度な誤り訂正技術ならびに誤り訂正技術にリアルタイム伝送に適した自動再送要求を組み合わせた再送方式（HARQ 技術）の調査・検討を実施し、ネットワークシミュレータ等で再送効率、実効スループットならびに伝送遅延量を評価する。

#### イ チャンネル選定最適化技術の開発

干渉波としてレーダー、アマチュア無線及び他の FPU などを想定し、それらの干渉波を検出するアルゴリズムを検討する。計算機シミュレーションによって、検討したアルゴリズムの動作ならびに推定精度を評価する。

#### ウ 超高圧縮伝送技術の開発

8K 映像素材を符号化する HEVC 符号化方式のエンコーダならびにデコーダについて計算機シミュレーションを実施し、映像品質をはじめとする符号化性能を評価する。

可変レートの符号化アルゴリズムを検討し、計算機シミュレーションを実施し、そのハードウェア実現性を評価する。

### <平成 27 年度>

#### ア 伝送容量可変技術の開発

##### (ア) 次世代 MIMO-OFDM 技術の開発

伝搬環境に応じた変調方式、送信電力配分や送受信ビームの指向性の適応制御について、移動環境における双方向 MIMO 伝送に適した方式とパラメータの検討・設計を行う。設計したアルゴリズムを実験装置に実装してハードウェア動作の検証、個々の制御方式の評価・検証を行う。

##### (イ) 高効率時分割複信技術の開発

送信局が広いエリアにわたって移動することを想定した TDD 中継技術を検討する。広いエリアに配置された複数の基地局から、伝送路状況の良好な基地局を選択する方式や、経路長の違いを考慮した送信タイミング制御方式を検討し、検討方式の有効性を評価するための実験装置を試作する。また、誤り訂正技術にリアルタイム伝送に適した自動再送要求を組み合わせた再送方式（HARQ 技術）を試作装置に実装し、誤り訂正能力、実効スループットや遅延の影響を評価する。

#### イ チャネル選定最適化技術の開発

干渉信号を検出し、利用可能なチャネルの選定を行うための高周波部と信号処理部を備えた実験装置を試作し、基本動作を評価する。また、利用可能な2つのチャネルを束ねて伝送レートを2倍に向上させる方式を検討する。

#### ウ 超高圧縮伝送技術の開発

前年度の検討を元に、FPGA (Field-Programmable Gate Array) 等の信号処理デバイスを使った符号化圧縮装置ならびに復号装置を試作・動作評価を行う。また、圧縮符号化による遅延量の評価を実施し、映像品質と処理遅延量の関係についても評価を行う。

### <平成28年度>

#### ア 伝送容量可変技術の開発

##### (ア) 次世代 MIMO-OFDM 技術の開発

伝搬環境推定、適応変調、適応電力制御、適応ビーム制御技術を統合した伝送実験装置を試作し、映像素材伝送システムにおける双方向 MIMO-OFDM 技術の伝送特性を評価する。

##### (イ) 高効率時分割複信技術の開発

上記ア(ア)で検討した双方向 MIMO-OFDM 技術と、前年度までに検討した TDD 技術、TDD 中継技術や再送方式 (HARQ 技術) を統合した伝送装置を試作し、フェージングシミュレータを用いた室内測定系で評価する。

#### イ チャネル選定最適化技術の開発

レーダーやアマチュア無線、他の FPU などの干渉がある環境下で、干渉信号検出の動作ならびに推定精度を評価する。また、利用可能な複数のチャネルを束ねる方式を検証するための装置を試作し、評価する。

#### ウ 超高圧縮伝送技術の開発

試作した符号化圧縮装置を伝送装置に接続し、伝送装置と接続した場合の基本動作の検証ならびに可変レート動作の検証を行う。

### <平成29年度>

#### ア 伝送容量可変技術の開発

##### (ア) 次世代 MIMO-OFDM 技術の開発

次世代 MIMO-OFDM 技術と高効率時分割複信技術、チャネルアグリゲーション技術を統合し、実際の伝搬環境で総合伝送特性を評価する。

上記実験の結果より、双方向 MIMO-OFDM 各要素技術やシステムのパラメータを最適化する。

符号化圧縮伝送装置を含めたシステムを次世代映像素材無線伝送システムとして統合する。ロードレース中継などの実際の移動中継を想定した実証実験を実施し、8K映像素材伝送を実証する。

(イ) 高効率時分割複信技術の開発

上記ア（ア）で統合して試作した伝送装置の評価結果を元に、送信タイミング制御方式や再送要求に関するパラメータを見直し、全体の特性の最適化を図る。また、最適化された伝送装置の評価を実証実験で検証する。

イ チャンネル選定最適化技術の開発

双方向MIMO-OFDM、TDD複信技術により、伝送容量を最大1.5倍程度向上させ、利用可能な2つのチャンネルを束ねるチャンネルアグリゲーションにより、最大3倍の伝送容量を達成する。

ウ 超高圧縮伝送技術の開発

実無線環境での符号化圧縮伝送装置の動作、可変レート符号化の動作検証ならびに、符号化性能を評価する。

5. 実施期間

平成26年度から29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。特に、2020年（平成32年）の8K本放送開始に向けて、8K映像伝送を実現するFPUをオリンピックで使用するために必要な伝送実験や製品展開等の実用化への取組を行うものとする。なお、その具体的な活動計画・実施方策については、提案書に記載すること。

(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＞

## 高信頼・低遅延ネットワークを実現する端末間通信技術の研究開発

### 1. 目的

スマートフォンの普及と大容量セルラシステムや高速 Wi-Fi の導入に伴い、ユーザの利用形態が従来の電子メールやウェブブラウジングから、ストリーミングや SNS に変化している。多くのスマートフォンには GPS 情報の取得機能が搭載されており、ナビゲーションやルート検索サービスに留まらず、近年では、位置情報を用いたサービスと SNS、広告配信、e コマースなどを組み合わせたサービスへの注目も高まっている。また、端末を保持した車両や人の衝突防止や、初対面の人同士のコミュニケーション支援など、低遅延での接続が必要不可欠なサービスの増加が予想される。こうしたサービスにおいてユーザ同士が通信を行う場合には、ユーザの端末は近距離に位置していることが多い。

従来のセルラシステムは、ユーザ同士が時間や場所に依らず通信ができることを主たる目的として構築されたため、通信を行う際に基地局を介する必要がある。しかし、昨今需要が高まっている近距離ユーザ同士の通信（例えば前述の衝突防止やコミュニケーション支援に加えて、イベント会場などでのユーザ同士のデータ交換や、近隣のリアルタイム広告配信など）を必要とするサービスについては、通信を行う上で基地局を介することなく、端末間の直接通信によりサービスの実現が可能である。このような近距離ユーザ同士で完結する通信トラヒックは、年率 2 倍程度で大幅に増えることが予想されており、これらのトラヒックを効率良く収容するには端末間通信の導入が不可欠である。端末間での直接通信を実現すれば、従来のセルラシステムの通信の一部を端末間通信で代替可能になることに加えて、基地局を介する必要が無いため遅延の短縮が可能となる。

一方で、国際的な標準化動向においては、平成 25 年に入りセルラ系の標準化団体において安全緊急非常通信用途での端末間通信技術の標準化が開始されているものの、数多くのユーザが一般通信用途で様々なサービスを利用することは想定されていない状況にある。

こうした背景のもと、基地局と端末の間で通信を行う既存のセルラ通信の周波数のひっ迫緩和等により周波数の有効利用に資する、高信頼・低遅延ネットワークを実現する端末間通信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 25 年 6 月 14 日 閣議決定）

「IV. 利活用の裾野拡大を推進するための基盤の強化 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。



### 3. 目標

既存のセルラシステムと共存して使用される端末間通信において、以下を可能にする技術を確立する。また、平成 29 年頃に国際標準策定を目指す。

- ・都市部における現行のセルラシステム並みのユーザ密度であっても、必要なときに、確実に接続ができる高信頼性の獲得

- ・都市部における現行のセルラシステム並みのユーザ密度のとき、端末が既存のセルラ通信のみを行っているときと比較して、端末間通信と既存のセルラ通信が混在しているときの周波数利用効率を 2 倍に増大させる。(端末間通信からセルラ通信が干渉を受けることによるセルラ通信の容量減も含む)

- ・遅延にクリティカルなサービスを利用している端末は、遅延時間を 10 ミリ秒以下に短縮、それ以外の端末は現行のセルラシステムと同等以上の通信速度（スループット）（例えば「写真の授受や狭帯域動画通信が可能な伝送速度」）を達成する。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

本研究開発では、既存のセルラ通信と周波数資源を共用する端末間 (D2D: Device to Device) 通信を対象とし、高信頼性、高い周波数利用効率及び低遅延での情報伝送を実現するための技術課題解決に向け、D2D 通信対象端末検出技術、D2D 通信干渉回避技術、D2D 通信管理技術を開発する。

#### (2) 技術課題および到達目標

##### 技術課題

##### ア D2D 通信対象端末検出技術の開発

D2D 通信を行う際に通信可能な端末を D2D 通信端末が単独で検出するためには、全ての D2D 通信端末が通信相手の検出信号を発射する必要がある。しかし、D2D 通信対応端末が多数存在する環境において、それぞれの端末が検出信号の送受信を行うと、信号の衝突等により周波数利用効率の劣化が生じるおそれがある。

##### イ D2D 通信干渉回避技術の開発

既存のセルラ通信に使用されているリソースと D2D 通信に使用するリソースを予め別に設定すると、互いの干渉は発生しにくいですが、他方で既存セルラ通信に割当て可能なリソースが減少し、総合的に周波数利用効率が劣化してしまう。そのため、高い周波数利用効率を実現するためには、既存のセルラ通信と D2D 通信で、使用するリソースを共用する必要があるが、リソースを共用すると干渉が発生するおそれがある。

##### ウ D2D 通信管理技術の開発

一般通信用途のサービスで D2D 通信を実現するためには、移動による端末間距離の変化時、都市部やイベント会場等の端末密集時・トラヒック混雑時等、D2D 通信が困難と思われる通信環境においても通信の途絶が発生せず、確実な通信を実現することが課題となる。また、低遅延での D2D 通信を実現するため、再送回数を少なくする制御手法の開発が課題となる。

#### 到達目標

##### ア D2D 通信対象端末検出技術の開発

D2D 通信端末が多数存在する環境下においても周波数利用効率の劣化が生じないようにするため、基地局から提供される補助的な情報等、ネットワーク制御の一部を利用した端末検出技術を開発する。

##### イ D2D 通信干渉回避技術の開発

セルラ通信と D2D 通信のリソース共用による周波数利用効率の低下回避と干渉回避の両立を実現するため、以下の項目について開発を行う。

- (a) 周波数を共用する端末の組合せ選択手法及び組合せの選択に必要な情報の取得方法
- (b) 同一セル内外における通信について条件ごとに個別検討を行い、干渉による周波数利用効率の劣化を抑制する基地局制御による無線リソース割当手法
- (c) (a) (b) の検討結果を用いた動的制御手法

##### ウ D2D 通信管理技術の開発

端末の移動に伴う通信断の回避、端末密集時やトラヒック混雑時における D2D 通信及び低遅延通信を実現するため、以下の項目について開発を行う。なお、本管理技術は想定するサービスに応じた性能が得られるものとする（遅延にクリティカルなサービスでは遅延時間 10ms 以下、それ以外のサービスでは現行のセルラシステムと同等以上の通信速度を達成する）。

- (a) 端末の移動に伴う通信断を回避する通信管理手法及び端末密集時やトラヒック混雑時における端末間通信を実現する管理手法
- (b) 低遅延通信の実現に向け、送受信処理時間を短縮するための信号処理の簡易化技術、基地局による負荷の少ないリソース管理の制御手法、再送が発生しにくい変調方式及び符号化方式
- (c) D2D 通信を行うユーザ端末の移動管理技術、具体的には基地局の負荷状況に応じて D2D 通信とセルラ通信の切替えタイミングを制御する手法や、データ送受信時間短縮技術

なお、上記の目標を達成するにあ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26年度>

ア D2D 通信対象端末検出技術の開発

- ・技術課題の基本検討
- ・検討結果の機能評価ソフトへの実装、及び評価
- ・端末間通信統合評価システムの試作
- ・標準化活動（セルラ系標準化団体を想定）

イ D2D 通信干渉回避技術の開発

- ・技術課題の基本検討
- ・検討結果の機能評価ソフトへの実装、及び評価
- ・端末間通信統合評価システムの試作
- ・標準化活動（セルラ系標準化団体を想定）

ウ D2D 通信管理技術の開発

- ・技術課題の基本検討
- ・検討結果の機能評価ソフトへの実装、及び評価
- ・端末間通信統合評価システムの試作
- ・標準化活動（セルラ系標準化団体を想定）

<平成27年度>

ア D2D 通信対象端末検出技術の開発

- ・端末間通信統合評価システムでの初期評価
- ・端末間通信統合評価システムの機能拡張
- ・標準化活動（セルラ系標準化団体を想定）

イ D2D 通信干渉回避技術の開発

- ・端末間通信統合評価システムでの初期評価
- ・端末間通信統合評価システムの機能拡張
- ・標準化活動（セルラ系標準化団体を想定）

ウ D2D 通信管理技術の開発

- ・端末間通信統合評価システムでの初期評価
- ・端末間通信統合評価システムの機能拡張
- ・標準化活動（セルラ系標準化団体を想定）

<平成28年度>

- ア D2D 通信対象端末検出技術の開発
- ・ 端末間通信統合評価システムの改修
  - ・ 端末間通信統合評価システムでの総合評価
  - ・ 標準化活動（セルラ系標準化団体を想定）

- イ D2D 通信干渉回避技術の開発
- ・ 端末間通信統合評価システムの改修
  - ・ 端末間通信統合評価システムでの総合評価
  - ・ 標準化活動（セルラ系標準化団体を想定）

- ウ D2D 通信管理技術の開発
- ・ 端末間通信統合評価システムの改修
  - ・ 端末間通信統合評価システムでの総合評価
  - ・ 標準化活動（セルラ系標準化団体を想定）

5. 実施期間

平成26年度から28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33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＞

## 140GHz 帯高精度レーダーの研究開発

### 1. 目的

ミリ波レーダーは、車の衝突回避等を目的とする ITS（高度道路交通システム）用途で実用化されているのみならず、物流や検査、建設機器、災害対応等の産業分野でも、比較的近い距離を走査して車両や機械の自動化を実現する「高精度センサ」としての期待が高い。特に、ロボットや無人建機等が安全に自律的に稼働するためには、周囲の状況を高精度に把握する必要がある。具体的には、水蒸気や粉塵の中でも作業者や落下物等を検知可能な分解能 10cm 以下の高精度な 3 次元測位が必要であり、ミリ波帯を利用した従来よりも高解像度なレーダーが望まれている。

しかし、高い分解能と高精度な 3 次元測位を可能とするレーダーシステムを、ロボット等を実装可能な小型なモジュールで実現するためには、数 GHz 超の帯域幅と 100GHz 超のミリ波帯におけるレーダー技術の確立が不可欠である。既に欧州では、高ミリ波レーダーの方式やデバイス技術の開発に取り組む研究開発プロジェクトが実施されており、国際競争力確保のためにも、新たな周波数帯域におけるレーダー技術開発が急務である。

そこで、将来の広帯域活用が期待される高ミリ波の 140GHz 帯を用いた高精度レーダー技術を確立し、社会要請が強まっている安全支援システムにおいて実用化することで、国際競争力の強化に資するとともに、高い周波数の利用を促進する。

### 2. 政策的位置付け

- ・世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日 閣議決定）

「IV. 利活用の裾野拡大を推進するための基盤の強化 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。

- ・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）

「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」において、電波の有効利用を一層推進する観点から、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ことが必要である旨の記載あり。

### 3. 目標

10m 以下の近距離において人体よりも小さな対象物（10cm 以下の物体）の高精度な 3 次元走査を可能とする 140GHz 帯レーダーシステムを実現する。

## 4. 研究開発内容

### (1) 概要

高精度な 3 次元走査を可能とする 140GHz 帯レーダーシステムの実現に向け、高速 3 次元走査レーダー技術、マルチレーダー統合検知技術の開発及び広帯域レーダー信号処理技術の開発を行う。

### (2) 技術課題および到達目標

#### 技術課題

#### ア 高速 3 次元走査レーダー技術の開発

現在のミリ波レーダーは、主に、数十 m 以上先の対象物を距離と水平方向の 2 次元走査で検知している。しかし、高精度センサとして 10m 以下の近距離で検知対象物を特定する用途では、垂直方向を加えた 3 次元の走査を実現する必要がある。また、様々な機器の自動化を実現するためには、レーダー走査に係る処理時間への要求が厳しいことから高速な電子走査が必須となる。

#### イ マルチレーダー統合検知技術の開発

従来のミリ波レーダー技術では、反射波の信号強度より反射物体の大きさを推定する方法を用いて検知対象物を特定することが一般的である。しかし、レーダーの近傍ではアンテナビームが対象物の一部だけにしか照射できないため、反射強度が物体の大きさに依存しなくなる。したがって、近距離において対象物を分離して検知するためには、空間解像度を高めて物体の形状をイメージングする必要がある。例えば、距離 5m 程度の近傍において 10cm 以下の空間解像度を得るためには、縦横それぞれ精度 1 度以下の角度推定が必要となる。

#### ウ 広帯域レーダー信号処理技術の開発

実用化されているミリ波レーダーユニットは、アンテナと RF 回路の実装基板、信号処理部や電源回路及び筐体のレドムやコネクタ等で構成されている。近距離を検知するセンサデバイスは、高精度な 3 次元走査だけでなく設置の容易性が必須要件であり、デバイスの大きさを既存の車載カメラ以下で超音波センサ等と同等の 10mm 角程度にすることが求められる。

#### 到達目標

#### ア 高速 3 次元走査レーダー技術の開発

3 次元の空間領域で地物等の強反射を抑圧しつつ対象物を検出するため、距離・水平方向・垂直方向の高速な電子走査を実現する送受信マルチビーム化のための送受信アンテナ走査方式の開発を行う。具体的には、ミリ波帯への適用が難しい MIMO 技術を活用した MIMO レーダー時空間信号処理技術を開発する。また、複数搬送波のレーダー変調波で広帯域チャネルを構成する技術を開発することにより、至近距離から 10m 程度の検知範囲を確保し、10cm 以下の高い距

離分解能を実現する。

イ マルチレーダー統合検知技術の開発

高速走査ではあるが単体では空間解像度が粗い3次元走査レーダーを複数配置し、これらのレーダーからの信号を組み合わせることによる超分解能イメージングによって電波画像の解像度を向上させるマルチレーダー統合化技術と、レーダーが搭載される機械の移動等を利用する合成開口の効果を加えることで角度分解能を高めるドップライメージング処理技術を開発することにより、距離5m程度の近傍において10cm以下の空間解像度を実現する。

ウ 広帯域レーダー信号処理技術の開発

140GHz帯で電子走査を可能にするアレイアンテナとRF回路の一体実装を指向した140GHz帯レーダー送受信回路技術を開発する。具体的には、レーダー変調波を140GHz帯に周波数変換する送信部と対象物からの反射波をベースバンド信号に周波数変換する受信部などを集積化したトランシーバー回路技術を開発する。また、高距離分解能を実現するレーダー方式開発として、圧縮サンプリング等の広帯域なベースバンド信号を効率的に処理する広帯域マルチキャリア信号処理技術を開発する。

(例)

<平成26年度>

ア 高速3次元走査レーダー技術の開発

- ・シミュレーションによる時空間信号処理方式の開発と、試作装置開発によるミリ波MIMOレーダーとしての原理検証

イ マルチレーダー統合検知技術の開発

- ・検知対象物の散乱断面積等に関する実験データの取得と、マルチレーダーの統合により高い空間解像度を実現するためのシステムアーキテクチャ設計

ウ 広帯域レーダー信号処理技術の開発

- ・140GHz帯集積回路設計の設計モデル開発、広帯域信号処理の要素回路設計とチップ試作評価

<平成27年度>

ア 高速3次元走査レーダー技術の開発

- ・広帯域マルチキャリアレーダー方式の開発、ミリ波帯の試作装置開発により10cm以下の距離分解能を達成

イ マルチレーダー統合検知技術の開発



- ・マルチレーダー統合による超分解能イメージングのアルゴリズムを開発し、電波画像の高解像度化を実証

ウ 広帯域レーダー信号処理技術の開発

- ・140GHz 帯の要素回路及び広帯域信号処理回路の開発設計と、チップ試作による技術実証

<平成28年度>

ア 高速3次元走査レーダー技術の開発

- ・時空間信号処理方式と広帯域マルチキャリアレーダー方式を用いた高速3次元走査技術として、140GHz 帯の高精度 MIMO レーダー技術を実証

イ マルチレーダー統合検知技術の開発

- ・ドップライメージング処理を含むマルチレーダー統合化技術を開発し、角度推定精度1度以下の高空間解像度を達成

ウ 広帯域レーダー信号処理技術の開発

- ・MIMO レーダーに対応した140GHz 帯トランシーバー回路及びマルチキャリアレーダーに対応した広帯域信号処理回路の開発設計とチップ試作による回路技術の実証

5. 実施期間

平成26年度から28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32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＞

## 狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発

### 1. 目的

ミリ波レーダーは、自動車の衝突回避等を目的とする ITS（高度道路交通システム）用途での実用化に加え、踏切安全監視・交差点周辺監視や車両前方および周辺監視による衝突被害回避を目的とした次世代車載レーダー、更には、物流検査や建設機器等の産業分野における様々な用途への導入検討が加速している。

ミリ波レーダーは、車の衝突回避等を目的とする ITS（高度道路交通システム）用途で実用化されているのみならず、物流や検査、建設機器、災害対応等の産業分野への応用の期待が高い。

特に、踏切安全監視・交差点周辺監視や車両前方および周辺監視による現在よりも高度な衝突被害回避等の用途への導入にあたっては、人物の分離検知を可能とする高分解能性が求められるため、広帯域を利用したレーダー技術の研究開発が活発に行われている。しかしながら、広帯域を利用すれば内部雑音が増加し、その状況で検知距離性能を高めるためには高い送信ピーク電力が必要となり、対応するハードウェアの高コスト化や干渉の問題を招く恐れがある。また、既存の方式では、複雑な電波環境での多目標対処能力や遠近を両立可能とする能力に課題があり、新しい変復調方式に基づくミリ波レーダーシステム（79GHz等）の開発が必要となっている。さらに、道路交通や鉄道の安全監視システム等の実シーンにレーダーを適用する場合、多数の不要反射波環境の中で多数の人や車を検知する必要がある。

このため、本研究開発では、電波の往復時間のみでなく送信周波数間の位相差計測と複合した新たな変復調技術や時空間信号処理技術を開発することで、狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダーを確立し、周波数資源のより一層の有効活用に資することを目的とする。

### 2. 政策的位置付け

- ・世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日 閣議決定）

「IV. 利活用の裾野拡大を推進するための基盤の強化 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。

- ・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）

「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」において、電波の有効利用を一層推進する観点から、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ことが必要である旨の記載あり。

### 3. 目標

レーダーでは、狭帯域化することで分解能が反比例して悪化する。一方で最大検知距離は電波の往復伝搬損失から比例して延伸するわけではなく微小な遠距離化にとどまる。したがって狭帯域にて最大検知距離と距離分解能の比を向上させることは難しい技術課題である。本研究開発では、従来手法（パルス圧縮レーダー）に比べ半分以下の占有帯域幅で、送信ピーク電力と観測時間を同等にした従来の手法と同等の最大検知距離と距離分解能の比を得ることが可能で、1 m～数十mの距離の物体を検知可能な狭帯域・遠近両用高分解用レーダーシステムを実現し、さらにその小型化技術を開発する。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダーシステムの実現に向け、ア. 狭帯域・遠近両用高分解能レーダー変復調技術、イ. 時空間信号処理技術、ウ. 小型レーダーモジュール技術の開発を行う。

#### (2) 技術課題および到達目標

##### 技術課題

##### ア 狭帯域・遠近両用高分解能レーダー変復調技術の開発

高分解能を得るためには広帯域信号の送受信が必要であるが、広帯域化することで受信機雑音が増加し検知距離が減少してしまうという課題がある。このため、人物の分離検知を可能とする高い分解能と遠距離性の両立を狭帯域にて実現する新たな変復調方式を開発する必要がある。

##### イ 時空間信号処理技術の開発

高分解能レーダーでは、人や車といった検知対象目標のみならず地面や側方構造物からの反射による静止不要反射波であるクラッタ（Clutter）や他レーダーからの直接波である干渉波などの各種不要波が多数計測される。このような複雑な電波環境に対応するため、不要波抑圧性能をより強固なものとする必要がある。

また、検知対象の目標をより高信頼性にて検知可能とするためには、多数の検知目標が発生した状況でも対応可能な目標追尾技術の開発が必要となる。

さらに、レーダーを車載センサや踏切内の監視センサに適用する場合、自動で目標を検知できることに加え、検知される目標（自動車、人物、自転車、小動物等）を識別できるようにする必要がある。

##### ウ 小型レーダーモジュール技術の開発

逡倍方式で生成されたローカル信号及びRF信号には多数の不要波が混在し、

目標物の検知が困難となる可能性がある。このことから、デバイスでの不要波抑圧に加え、ミリ波モジュール上で不要波抑圧を図り、外部への不要波放射を抑える必要がある。

また、レーダーシステムの汎用性、普及性を考慮すると 79GHz 帯等での RF/IF 部の集積化技術が必要である。

## 到達目標

### ア 狭帯域高分解能遠近両用レーダー変復調技術の開発

送信ピーク電力を同等にした従来手法（パルス圧縮レーダー）に比べ、半分以下の占有帯域幅で、従来と同等の最大検知距離と距離分解能の比を実現するため、以下の変復調技術を開発する。

#### ① 多周波ステップ CPC 方式

時間差でなく、位相差を使った新しい測距原理による変復調方式であり、送信周波数を時分割で切り替え、かつそれらを繰り返す送信シーケンスを用いることにより、狭い受信機帯域幅にて遠距離性を確保しつつ高距離分解能化する。

#### ② PC-HPRF (Phase Coded High Pulse Repetition frequency) 方式

パルス間周期符号 (PC) 化したインパルスを用いた短い送信間隔 (HPRF) で用いる変復調方式であり、インパルスによる高距離分解能を備え、パルス間のコヒーレントな積分処理により高い積分利得を得ることにより遠距離性を確保する。

### イ 時空間信号処理技術の開発

不要波抑圧技術として、アレーアンテナを備えるレーダーにより計測された実データを解析し各種環境でのクラッタの特性を研究・把握した上で、アレーアンテナによる時空間信号処理アルゴリズムを開発する。具体的には、見通しのよい道路や市街地等、各種道路環境にて実時間動作可能な高分解能遠近両用レーダー信号処理装置で計測した時空間不要波信号の基礎特性を評価し、多周波ステップ CPC 方式に適合したアルゴリズムを開発することで、パルストップラフィルタとビームフォーミングを組み合わせた従来法に比べ、信号対不要波比が 5dB 以上改善されることをシミュレーションにより検証する。

また、検知されたデータの時間方向の相関性から、将来位置の予測を行う目標追尾技術を開発する。具体的には、実時間動作可能な高分解能遠近両用レーダー信号処理装置の出力である目標検知データを基に 10 反射物（移動および静止物）以上の同時追尾を実時間の処理で実現可能とする。

また、自動検知前のレーダーの生の波形から目標の有無を自動判断して検知し、目標識別に適した特徴量を判定し、目標が何であるのかを認識する目

標認識技術を開発する。具体的には、レーダーの生波形から特徴量を抽出することで、車、人、自転車を分離する基礎技術を確立し、人と車の分離成功確率 80%以上を目標とする。

ウ 小型レーダーモジュール技術の開発

ミリ波モジュール上で不要波抑圧を図り、外部への不要波放射を抑える狭帯域バンドパスフィルタを実現するとともに、ミリ波レーダーについて、狭帯域バンドパスフィルタ及び上記技術課題ア、イで開発した技術を集積回路に実装する技術を確立し、レーダーモジュールを開発試作する。

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26年度>

ア 高分解能遠近両用レーダー変復調技術の開発

レーダー実験装置を用いて、高分解能遠近両用レーダー信号処理装置の基本設計に必要な技術の開発を実施。

イ 時空間信号処理技術の開発

実環境でデータを取得し、車載環境における時空間データの基本特性について解析。

ウ 小型レーダーモジュール技術の開発

アンテナ/RF素子の性能評価、各種定量化ならびに設計手法を確立。

<平成27年度>

ア 高分解能遠近両用レーダー変復調技術の開発

高分解能遠近両用レーダー信号処理装置及び試験装置を製造。

イ 時空間信号処理技術の開発

解析結果に基づき時空間信号処理アルゴリズムを開発。

ウ 小型レーダーモジュール技術の開発

アンテナユニット、RFモジュール、IF回路、およびI/F部からなる、本研究開発の技術を搭載したレーダジュールを開発。

<平成28年度>

ア 高分解能遠近両用レーダー変復調技術の開発

高分解能遠近両用レーダー信号処理装置を用いて、高分解能かつ遠近両用特

性について評価検証し、到達目標を達成していることを確認。

#### イ 時空間信号処理技術の開発

高分解能遠近両用レーダーでの計測データ、およびシミュレーションにより時空間信号処理の評価検証を行い、到達目標を達成していることを確認。

#### ウ 小型レーダーモジュール技術の開発

開発した小型レーダーモジュールを、上記ア. の高分解能遠近両用レーダー信号処理装置と接続させ、高分解能かつ遠近両用特性に関する到達目標を達成可能であることを実環境にて評価検証し、到達目標を達成していることを確認。

### 5. 実施期間

平成26年度から28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33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＞

## ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発

### 1. 目的

現行の新幹線や、建設が進められているリニアモーターカーは移動速度が～500km/hと大きく、また、1000人程度の乗客が一列車に集中することから、公衆網を利用した既存の移動体通信システムでは、乗客が満足する回線速度を実現する事は困難な状態にある。今後、スマートフォンやクラウドコンピューティングが社会基盤として益々重要性を増してくるため、高速鉄道の中でも安定したブロードバンド環境の供給は必須である。

また、高速鉄道上で Gbps 級の高速通信を実現するためには、マイクロ波帯に比較して広帯域な周波数割り当てが行われているミリ波帯の利用を検討すべきであるが、一方で周波数が高い分、伝搬減衰が大きくなるためミリ波帯だけで中・長距離の通信システムを構成するのは現実性に欠ける。

これらの状況を受け、高速鉄道が一定の軌道の上を移動するという点を利用し、軌道に沿って敷設した既存の光ファイバ網と、指向性・広帯域性に優れたミリ波帯の電波資源を組み合わせる事により、高速移動体に向けたブロードバンド接続手段を実現するための基盤技術を確立し、周波数ひっ迫緩和と高い周波数の利用を促進する。

### 2. 政策的位置付け

- ・日本再興戦略（平成 25 年 6 月 14 日閣議決定）

「4. ④世界最高レベルの通信インフラの整備」において「圧倒的に速く、限りなく安く、多様なサービスを提供可能でオープンな通信インフラを有線・無線の両面で我が国に整備することで、そのインフラを利用するあらゆる産業の競争力強化を図る」旨の記載あり。

- ・世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 閣議決定）

#### IV 利活用の裾野拡大を推進するための基盤の強化

#### 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携

上記項目において、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ことが必要であると記載されている。

- ・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）  
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

上記項目において、電波の有効利用を一層推進する観点から、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ことが必要であると記載されている。

## 3. 目標

90GHz 帯等の複数のミリ波帯による高速移動用バックホール技術を確立し、移動速度 200km 以上の列車内に対し 1Gbps 伝送環境を実現する。また、時速 500km で走行するリニアモーターカーに対しても、200km/h 速度域での走行実験の結果やシミュレーションから 1Gbps 伝送環境の実現可能性を検討する。

さらに、本研究課題で創出される技術成果を基に、IEC 等の国際標準規格への提案を行い、システムの国際的な普及の観点から APT などアジア域内の国際標準化組織でも開発技術の紹介を積極的に行う。

## 4. 研究開発内容

### (1) 概要

新幹線等の高速移動体に向けたブロードバンド接続手段実現の為に、以下の課題(ア)(イ)(ウ)に関する基盤技術開発を行う。具体的には

(ア) 90GHz 帯等の複数のミリ波帯と光ファイバを利用した分布アンテナシステムを組み合わせた無線伝送技術 (イ) 分布アンテナシステムに適した RoF 技術、光信号・ミリ波信号の切り替え技術 (ウ) 鉄道システムに適用するためのシステム統合技術及び鉄道環境試験技術に関して研究開発を実施する。

### (2) 技術課題および到達目標

#### 技術課題

##### ア 高速移動用バックホール実現のための無線技術の開発

高速移動用バックホール実現のためのデジタル無線通信の信号は、ギガビット／秒クラスの転送速度であるため、その変調信号の占有帯域幅は従来の通信方式に比較して極めて広大なものである。また、キャリア周波数が非常に高く波長の短い 90GHz 帯の信号を取り扱う必要がある。これらの特性から、精度を維持しながら通信の品質を担保することはきわめて困難である。ここでは従来の LTE 等では達成できない 1Gbps 以上の速度を扱える運用機器としての無線設備を高精度に構築すると共に、機器性能の確認や伝搬特性の確認を行うためベースバンド I/Q / 中間周波数 / 90GHz 間の周波数変換を行う専用の周波数変換システムの開発が必要となる。

また、高速移動体を対象としつつも高ビットレートのデータ伝送することにより、従来のハンドオーバー技術では時間オーバーヘッドの増大や装置コストの大幅な増大を招くことから、新たなアクセス制御方法の構築が必要である。

#### イ 高速移動用バックホール実現のための RoF 技術の開発

中央局舎で発生させた多チャンネル高速光信号を、光ファイバネットワークを介して線路側装置に分配した後、効率的にミリ波帯電波信号(以下、ミリ波信号)へ変換するためには、光領域での高度な変復調をシステム要求仕様にあわせて実現することが課題になる。また、線路側装置への配信光信号を適応的に切り替え、光信号・ミリ波信号を効率的に変換するためには、光チャンネル切り替え技術・相互変換技術等の要素技術のみならず、光信号配信方式の検討も必要になる。さらに、線路側装置から中央局舎への上り信号系では装置の小型化に加え、環境負荷の小さい要素技術および装置の実現が課題となる。

#### ウ 高速鉄道環境でのシステム統合技術及び鉄道環境試験技術の開発

地上と 200km/h 以上の速度で走行する列車との間で Gbps オーダーの大容量のデータ伝送を行うシステムの設計・開発を進めるうえで、地上～移動体間の電波伝搬特性(減衰特性、フェージング、遅延プロファイル等)と、無線伝送品質(ビット誤り率、フレーム損失率、伝送遅延等)を把握する必要があるが、これまで 90GHz 帯における対移動体電波伝搬特性や伝送品質を鉄道環境で実測した例は無い。また、対列車通信システムのサービスエリアは、線路幅方向が十数 m 程度であるのに対して線路方向には数十 km～数百 km と極端に細長いため、多数の地上局が線状に並ぶ形態となり、移動局を追跡して確実に接続するためのネットワーク制御技術が必要である。さらに、今後の携帯電話・スマートフォンの進展を考えると、列車内でも 60GHz 帯等のミリ波帯を使用した乗客への情報伝送も普及すると考えられる。列車内空間におけるミリ波の電波伝搬に関しては未だ本格的な検討が行われていないのが現実であるため、実利用状態でのミリ波の伝搬現象を把握することも必要となる。

## 到達目標

### ア 高速移動用バックホール実現のための無線技術の開発

鉄道環境で安定的な通信を可能にするアンテナ・送受信機、及びそれらの信号品質を評価するシステムを開発する。鉄道環境固有の耐振動性、耐候性を満足するハードウェア要件や設置条件を明確にし、試作するハードウェアに適用する。下記の研究課題①RF・BB回路の研究と①の成果を評価するための②伝送品質評価技術の研究、更には③移動アクセス制御方式の三研究課題を組み合わせる事で、高速鉄道に適した柔軟なネットワーク構成を実現するための基本技術を開発する。

#### ① 車載無線装置・線路側無線装置用のRF・BB回路部の研究

高速移動体と基地局間の安定な無線接続を実現するためのアンテナを含むRF回路部を開発する。車載側の無線装置では1Gbpsの高速伝送に適したBB回路部を実現する。また、線路側の装置では課題イで実現される光ネットワークからの信号とのI/Fを実現する。車載側線路装置、線路側線路装置共に、現実の使用条件に耐える環境性能や設置条件についても検討し基本技術を確立する。

#### ② 車載無線装置・線路側無線装置用の伝送品質評価技術の研究

広帯域でGbps級の高速無線伝送を、高速移動体を対象として行うためには、無線伝送品質の評価技術から構築する必要がある。無線部の周波数特性を補償する信号生成技術や受信信号の同期検出・復調・複合を高速で行うアルゴリズムを開発し信号品質評価技術を確立する。

#### ③ 移動アクセス制御技術に関する研究開発

近距離高速通信に向けて開発が進んでいる60GHz帯のミリ波通信規格(IEEE802.15.3c, IEEE802.11ad等)は室内閉空間に端末が面状に配置される事を想定している。これらのミリ波規格を拡張・発展させ、線状に端末(線路側無線装置と移動する車載側装置)が配置される場合への適用を検討し高速移動体でのアクセス制御技術を確立する。

## イ 高速移動用バックホール実現のための RoF 技術の開発

光ファイバ通信技術と高速モバイル通信技術は普及が進んでおり、毎秒 100 メガビット程度までのモバイル通信では基地局への光配信技術が実用化されている。しかしながら、毎秒 1 ギガビットを超えるようなミリ波無線信号に対しては十分であるとは言えない。本研究開発では、システム総容量 10Gbps 以上の高速移動用バックホールの実現性実証を目標とし、特に、高速多値変復調技術、大容量ミリ波信号光配信技術、広帯域光＝ミリ波変換技術の開発に注力し、下記①②③④技術課題を統合した光ネットワークを介したミリ波信号配信技術を開発する。

### ① 大容量多値変復調技術の開発

限られた周波数帯域で高速な信号伝送を行うための高周波数利用効率信号（周波数利用効率 2 bit/s/Hz 以上）の発生・復調を行う技術を開発する。「③光＝高周波相互変換技術の開発」で開発した技術を利用し、変換されたミリ波信号の変復調技術の検証もあわせて行う。また、ミリ波帯で広帯域動作特性に優れた、多値変復調技術へ適用可能な光変調技術およびミリ波から光信号への変換技術の開発も行う。

### ② 光信号分配ネットワーク技術の開発

光ネットワークを介して高速移動体へミリ波信号を配信するためには、中央局側装置で高速移動体の位置を把握して光配信する技術が必要となる。そこで、配信光を複数の線路側装置へ向けて高速（100 ミリ秒以下）に切り替える技術、および、複数（2 つ以上）のミリ波帯周波数チャンネルを切り替える技術の開発を行う。また、「③光＝高周波相互変換技術の開発」を利用するミリ波信号光分配ネットワーク構成の検討とその実現性を検証する。

### ③ 光＝高周波相互変換技術の開発

多数の線路側装置へ独立した光信号を配信するために、多チャンネル光信号を収容可能な、光周波数帯域 10THz 以上を有する光増幅技術の開発を行う。また、複数（2 つ以上）のミリ波周波数帯を同時変換するためのマルチバンド信号対応高繰返し光パルス光源技術や多波長光源技術、90GHz 超の周波数応答を有する光検波技術を確立する。特に光デバイスの集積化に加え全般的に耐環境性に優れたデバイス技術の開発を行う。

### ④ 光通倍による通信技術の開発

線路側装置は数が膨大となることから、低コストでの実現が必要となっている。レーダー等で用いられている通倍方式は安価かつ容易にミリ波を送信でき、送信機の構造が簡素であることから低コストで実現可能であるが、複雑な無線信号を送信することができない。そこで低コストかつ高度な変調方式を可能と

する技術の確立を行う。

#### ウ 高速鉄道環境でのシステム統合技術及び鉄道環境試験技術の開発

200km/h 以上の速度で移動する高速移動体に乗車したユーザーと地上間で 1Gbps オーダーの高速通信システムの実証を行うためには、地上局と列車間及び列車内での電波伝搬特性を明確にする事が重要になる。さらに高速鉄道に固有のアクセス制御方式の実現も必要になる。下記の研究課題①と②で伝搬特性の研究を行い、多数のアンテナが線状に並んだエリアを高速に列車が通過する状況においても、列車を追跡して確実に接続するための研究課題③を組み合わせシステム統合技術を構築する。

##### ① 対列車伝搬特性

対列車通信システムを構築するためには、鉄道環境における対移動体の電波伝搬特性ならびに雑音・干渉環境を考慮して回線設計を行う必要がある。そこで本課題では、(1) 鉄道環境における対移動体電波伝搬特性の把握、(2) 無線回線設計を支援するためのシミュレーション技術の開発、(3) 標準無線回線設計案の検討、(4) 実際の鉄道線路を利用した実験による回線設計の妥当性と伝送品質の確認を行う。

##### ② ユーザー向け列車内伝搬特性

列車内の座席や通路における利用を想定し、超高速なビデオオンデマンドやインターネットアクセスを提供する無線通信システムを実現する。超高速通信が可能な 60GHz 帯および比較的伝搬特性の良い 2.4G/5GHz 帯の列車内アクセスポイントを用いて最適な列車内エリア構築を行う必要がある。これらシステムの開発により、実車走行試験にて実証する。

##### ③ ネットワーク制御

高速で移動する列車を追跡し、確実に接続するためにはネットワーク制御技術の確立が必要である。具体的には、高速ハンドオーバー(経路切替/位置登録)、アプリケーション毎の接続方式、閉塞制御方式、移動局管理方式、無線制御方式などについて適用検討を行い、実運用に耐えうる制御方式の確立を行う。

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、以下を想定している。

#### ア 高速移動用バックホール実現のための無線技術の開発

##### <26年度>

- ・送受信機のシステム要件を確定すると同時に、原理試作用の IF/RF 周波数変換器を試作する。
- ・近距離超高速無線技術と RoF 技術を効率的に融合させて運用する為、両者の特徴を生かした新しい移動アクセス制御技術の基本アーキテクチャを開発する。
- ・高速移動による大きなスペクトラム変動の予想される信号測定精度向上のため、パケット信号の同期方式検出アルゴリズムの精度向上（トレーニング期間の最適化等）および等価方式精度向上（MMSE 受信等価により静止時での変調精度 3%台目標）を計る。

##### <27年度>

- ・ミリ波通信端末とアクセスポイントを用いて、端末移動時の基本パラメータを取得する。
- 各種無線パラメータの変更設定が容易な信号発生機器を用い、移動時の伝搬特性の取得、同期補足品質の測定、パケット誤り率の測定から、高速移動体特有の課題を抽出する。
- ・伝搬パラメータ抽出自動化ツールおよびアンテナダイバーシティのソフトウェア処理（非実時間）を実現する。
  - ・実測した高速移動時の電波伝搬特性をミリ波無線評価システムにも導入し、無線区間切替時の挙動の動態掌握の精度を向上させる。

##### <28年度>

- ・試作無線機（1対向）を利用し通信実験を年度前半に行い、年度内に課題ウと連携し在来線（もしくは同等の伝搬環境を模擬できる実験環境）において通信実験を行う。
  - ・伝搬特性の実時間計測の実現の為に BER/PER の計測をハードウェア統計処理で行える環境を構築する。
- 処理アルゴリズムの FPGA 化または GPU アクセラレータによる高速信号計測処理で、次年度以降の計測評価に備える。
- ・計測用 RF の集積度を向上させ、可搬形の車載型プロトタイプとし伝搬状況掌握の為に走行伝搬計測を行う。

##### <29年度>

- ・課題イで開発された光信号配信技術を活用し、複数の線路側装置での連携検証を実施する。
- ・機器劣化特性の抽出と等価補正項を提供し信号補正や等価により性能の向上を可能とする。
- ・周波数多重方式（チャンネル・ダイバーシティを含む）や無線区画間周波数再利用方式のリソースの有効利用率向上を研究する。

#### <30 年度>

- ・29 年度までに作成したハードウェアの耐候・耐振動性能の実証データを取得する
- ・課題イ、ウと連携して走行実験で信号品質の評価を行う

### イ 高速移動用バックホール実現のための RoF 技術の開発

#### <26 年度>

- ・高い周波数利用効率を実現する光信号の発生・復調の検討を行う。具体的にはミリ波帯において 1GHz 帯域幅以下で 1Gbps を超える容量を実現する光変復調技術の原理実証を行う。
- ・ギガビット級ミリ波通信を効率的に実現するための広い光周波数帯域で変調動作が可能な光変調デバイスの材料構造等設計および評価を行う。
- ・中間周波数下方変換形態信号による光信号配信ネットワーク構成の検討を行う。30GHz 帯ミリ波信号を周波数上方・下方変換することにより 90GHz 帯ミリ波信号と接続するため周波数変換技術の設計と 2 セル構成以上での基礎原理の実証を行う。
- ・マルチバンドミリ波帯信号を収容する光配信トポロジの検討を行う。
- ・光周波数帯域幅 10THz 以上を達成する光＝ミリ波変換デバイスのための材料検討および設計を行い、試作・評価を行う。
- ・90GHz 以上の周波数差を高精度かつ 0.1dB 以下の高安定に生成する多波長光キャリア光源技術の設計を行う。
- ・90GHz 超高速高感度光＝ミリ波変換器の基本設計と試作半導体プロセス検討を実施する
- ・通倍に適したミリ波帯位相変調信号生成の技術開発

#### <27 年度>

- ・波長多重信号配信へ向けた多チャンネル大容量光信号発生の原理検証を行う。光周波数利用効率 2 bit/s/Hz 以上を実現する 8 チャンネル以上の光多チャンネル光信号の発生を検証し、総容量毎秒 10 ギガビット以上を実現する。
- ・広帯域動作向けに設計された材料構造等を用いた光変調要素技術の試作と、



高周波特性および広帯域動作特性の基礎的な評価を行う。光変調素子と増幅器等を集積した光集積デバイス構造の検討も併せて行う。

- ・ 複数周波数にまたがるマルチバンドの信号を効率的に分配・伝送するための高精度な光局発信号の発生技術の検討を行う。周波数確度 100ppm 以下、レベル確度 0.1dB 以下を目標とする。
- ・ 直接無線周波数変換形態を利用する光信号配信ネットワークの検討を行う。光信号から 90GHz 帯ミリ波を直接変換・発生するネットワークの回線設計と 2セル構成以上での原理実証を行う。
- ・ 検討・設計した光周波数帯域幅 10THz 以上を達成する半導体材料を用いる光増幅デバイス構造の設計を行い、試作・評価を行う。90GHz 以上のビート周波数を有する高精度多波長レーザの原理評価を行う。
- ・ 高速高感度光＝ミリ波変換素子を試作し基本特性の取得を行い、90GHz 超の帯域が得られる最適構造の設計指針を得る。
- ・ 遜倍に適したミリ波多値変調信号生成の技術開発

#### <28 年度>

- ・ 総容量毎秒 10 ギガビットを実現する光・ミリ波信号伝送向け多チャンネル・多値変復調技術の検討を行う。
- ・ 上り信号系にも適用可能な高効率変調技術の検討を行う。
- ・ 高効率光変調デバイスの設計と試作および高周波特性等の評価、および、超高周波直接光変調デバイスの検討を行う。併せて、耐環境性能を考慮した光デバイス実装方式の検討を行う。
- ・ 直接無線周波数変換および中間周波数下方変換形態信号を両用する光信号配信ネットワークの設計を行う。
- ・ 列車移動に伴う適応的な周波数・波長割り当てを行うため、高コヒーレンシを保つ周波数・波長の変換技術の開発を行う。
- ・ 波長空間における光周波数利用効率の向上を目指した、高速な光周波数切り替え技術の開発を行う。具体的には、適応する無線搬送波に対応した周波数間の切り替えをマイクロ秒オーダーで行う技術の開発を行う。
- ・ 光周波数帯域幅 10THz 以上を達成した光増幅デバイス構造について、耐環境性能を評価し、改善するためのパラメータを抽出する。
- ・ 90GHz 以上のビート周波数を有する高精度多波長光源技術の簡易化・小型化のための設計を行う。
- ・ 広帯域化検討を反映させた高速高感度光検出素子を試作し評価を行う。90GHz 超においても高感度特性が得られるよう最適構造の設計指針を得る。
- ・ 光遜倍器を用いた通信方式の検証

#### <29 年度>

- ・ ミリ波信号伝送技術の更なる大容量化の検討を行う。周波数横断が可能なマルチバンド変復調技術を設計し、90GHz 帯で 10Gbps、30GHz 帯で 1Gbps を実現する高効率変復調技術の検討を行う。
- ・ 40GHz 級の広帯域特性を有するミリ波直接光変調デバイスの試作と実装を行う。高周波特性および広帯域特性評価をもとに材料と構造の最適化の検討も併せて行い最適設計の指針を得る。
- ・ 光信号切り替え技術を用いたセル追跡の実証を行う。具体的には隣接セル間への光信号配信を保ちつつ 100 ミリ秒以下での 8 セル適時切り替えを実証する。
- ・ 変換後周波数揺動が原信号と同等もしくは周波数揺動が 100ppm 以下である技術を開発する。
- ・ 光周波数帯域幅 10THz 以上および耐環境特性を有するデバイスを相互変換システムへ実装し、問題点の抽出とその改善を行う。小型化した 90GHz 以上のビート周波数を有する高精度多波長光源技術の試作及び評価を行う。
- ・ 光＝ミリ波変換素子の特性改善および 90GHz 超で高変換効率・高出力化が得られる実装技術の設計および開発を行う。
- ・ 光逓倍器によるミリ波通信システムの構築

#### <30 年度>

- ・ 更なる大容量化へ向けた多バンド高効率変復調技術の開発を行う。多数の周波数バンドと空間多重化技術を用いることにより 40Gbps を超える大容量通信の原理実証を行う。
- ・ ギガビット級光＝ミリ波通信用光変調デバイスのモジュール試作と動作試験を行う。
- ・ 光周波数帯域幅 10THz 以上、耐環境特性を有するデバイスについてシステムに組み込みその性能を評価する。小型化した 90GHz 以上のビート周波数を有する高精度多波長光源をシステムに組み込みその評価を行う。
- ・ 高速高感度光＝ミリ波変換素子の特性改善および耐環境特性の取得を行う。
- ・ 統合システムとの連携実証を行う。
- ・ 光逓倍ミリ波通信システムの実証試験

#### ウ 高速鉄道環境でのシステム統合技術及び鉄道環境試験技術の開発

##### <26 年度>

- ・ トンネル以外の区間における無線回線設計作業に適用できる 90GHz 帯用対列車無線通信品質シミュレータを開発し、実験線環境における電波伝搬実験との比較検証を行う。
- ・ 60GHz 帯の列車内伝搬をシミュレーションおよび実測にて評価し、従来の 2.4G/5GHz 帯の Wi-Fi システムと比較して座席利用時におけるスループットが 20 倍以上となるエリア率を 99%以上とするアクセスポイント設置要件を設計する。

- ・統合システムの要件定義を行う

#### <27年度>

- ・トンネル内の伝搬モデルを検討し、H26年度に開発したシミュレータに実装するとともに、実験環境における実験結果との比較検証を行う。
- ・列車内にて60GHz帯無線システムと従来の2.4G/5GHz帯のWi-Fiシステムとを併用し、ユーザの持ち込み端末の列車内移動に応じて最適に切り替えて通信可能なネットワークシステムの方式を作成する。
- ・ネットワーク制御方式の検討・比較を行う。

#### <28年度>

- ・課題アで開発された試作無線機（1対向）を利用し、在来線（もしくは同等の伝搬環境を模擬できる実験環境）において電波伝搬特性および伝送品質の測定試験を行い、シミュレータの検証を行ったうえで、実験結果とシミュレータを用いて基本的な回線設計を行う。
- ・列車内にて60GHz帯無線システムと従来の2.4G/5GHz帯のWi-Fiシステムとを併用し、ユーザの持ち込み端末の列車内移動に応じて最適に切り替えて通信可能なネットワークシステムを試作し検証する。
- ・高速ハンドオーバー（経路切替/位置登録）、アプリケーション毎の品質目標（上位NWとの接続）、閉塞制御方式、移動局管理方式、無線制御方式、パケットのカプセル化、NW内ルーティングの影響、ルートの冗長性、階層構成、アドレス体系（IP）の検討を行う。

#### <29年度>

- ・課題ア、イで開発された試作無線機ならびにバックホールを利用し、在来線（もしくは同等の伝搬環境を模擬できる実験環境）において電波伝搬特性および伝送品質の測定試験を行い、基地局間ハンドオーバー時間、エンドーエンド間でのスループットを確認するとともに、当該実験線区全線にわたるシミュレーションを実施し、シミュレータと実験結果との比較検証を行う。さらに、シミュレータを用いて、H30年度に実施する高速走行試験を前提としたプロトタイプシステムの回線設計を行う。
- ・ユーザ向け列車内無線システムを開発し、60GHz帯モバイル端末を用いてシミュレータや実車走行試験による検証を行う。
- ・シミュレータによるネットワーク制御技術の検証、実車走行試験による検証を行う。

#### <30年度>

- ・H29年度までに開発・統合されたプロトタイプシステムを、新幹線（もしくは200km/h以上の速度で移動体が走行できる環境）において電波伝搬特性および伝

送品質の測定試験を行い、システムの実現性を実証する。

- ・高速移動用バックホールとの連携実証を行い、60GHz 帯システムと 2.4G/5GHz 帯の Wi-Fi システムとの最適切替方式によりユーザスループットが 50%以上向上することを検証する。

- ・実車走行試験によるネットワーク制御技術の検証、高速車両による検証を行う。

## 5. 実施期間

平成26年度から30年度までの5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「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＞

## 次世代衛星移動通信システムの構築に向けたダイナミック制御技術の研究開発

### 1. 目的

産業活動のグローバル化や、大規模震災等の災害対策をはじめとする国民の安心・安全の確保において、衛星通信、とりわけ海外事業者の通信サービスの国内展開を含め、衛星移動通信サービスへのニーズが高まっている。ところが、電波の回り込みや指向性の点から衛星移動通信に適した比較的低い周波数帯の移動体通信用の周波数帯（L帯やS帯等）には新たなサービスに割り当てられる周波数帯はほとんどない。限られた帯域において最大限の回線を収容する技術の開発により災害時の機動的な運用も可能な次世代の衛星移動通信システムを構築し、周波数の利用効率を向上させることが必要である。

収容回線数を大幅に拡充するための有効な手法として、「地上／衛星共用携帯電話システム技術の研究開発」において確立したマルチビーム形成技術による大型アンテナを用いた周波数の繰り返し利用技術があり、当該技術によりスループットを大幅に向上させ、周波数利用効率を大幅に向上させることが可能である。

一方、大型アンテナを搭載した技術試験衛星Ⅷ型（ETS-Ⅷ）「きく8号」による実験において、地球による「食」の時間帯において大型アンテナが受けた熱環境の変化によりアンテナ鏡面に歪みが生じ、ビームの指向方向が東方向に約0.15度変化したことが観測されている。

この現象は、周波数の有効利用の観点から、大型アンテナによる次世代衛星移動通信システムのビーム配置を設計する際に無視できず、現状のままではアンテナ鏡面の歪みを考慮してマージンを大きく見積もった効率の悪いビーム配置を採用することとなり、収容回線数を十分に確保できずに周波数利用効率の低下を招くことが懸念されている。

本研究開発では、衛星搭載の大型アンテナ形状の歪みによる地上のビーム形状の変形等を動的に補償する仕組みを研究開発し、収容回線数を大幅に拡充した次世代の衛星移動通信システムの構築のために必要なビーム形状安定化技術を確立し、周波数有効利用に資することを目的とする。

### 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日電波有効利用の促進に関する検討会）

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、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ことが必要」旨が記載されている。

○宇宙基本計画（平成 25 年 1 月 25 日宇宙開発戦略本部決定）

第 3 章 宇宙開発利用に関し政府が総合的かつ計画的に実施すべき施策

C. 通信・放送衛星

（4）5 年間の開発利用計画

① 国際競争力強化のための技術実証の推進

打ち上げ後の需要の変化に対応可能な技術の開発・実証の必要性について、デジタルビームフォーミング技術およびデジタルチャネライザ技術を例示しつつ記載がされている。

○世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日閣議決定）

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

① 命を守る災害関連情報の提供等、防災・減災体制の構築

「平時にも活用可能な防災・減災情報を提供する情報通信端末の整備なども含め、多様なメディアを活用した重層的な情報収集・伝達体制を構築」が記載されている。

○大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方について 最終取りまとめ

（平成 23 年 12 月 27 日大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会）

第 6 章 アクションプラン

1. 国等が中心となり取り組むべき事項

「地上通信インフラの被災時にニーズに応じた衛星通信の回線確保を円滑に図るための研究開発に取り組む。」が記載されている。

### 3. 目標

次世代衛星移動通信サービスを実現するために、デジタル中継器による周波数繰返し利用可能なマルチビームシステムを安定かつ効率的に運用できるシステム技術を開発し、ビーム形状安定化技術を確立する。本技術により、隣接するビームの重複エリアを 1 / 2 程度に軽減し、収容可能なユーザ数を従来の 2 倍程度に増加させることで、周波数利用効率を 2 倍程度向上させることを目標とする。

### 4. 研究開発内容

#### （1）概要

次世代衛星移動通信システムを実現するために必要な、衛星搭載の大型アンテナ形状の歪みなどによる地上のビーム形状の変形や不安定化を動的に補償することにより運用の安定性確保と周波数の有効利用を実現するビーム形状安定化技術の確立のために、地上のフットプリント計測システム、アンテナ形状の計測技術、給電部の励振分布制御技術の研究開発を実施する。

## (2) 技術課題および到達目標

### 技術課題

次世代衛星移動通信システムは、衛星端末の小型化・低消費電力化が必要で、衛星側のアンテナ利得を大きく確保できる大型アンテナが必要である。

一方、太陽からの熱や構造的な変形の影響による大型アンテナの歪みは、地上のビーム形状の変形や不安定化を招くことが確認されている。この歪みを見込んでマルチビームの配列を設計しようとする、本来1ビームでサービスしたいエリアより相当大きなビームを互いに重なるように配置してマージンを取るなどの必要が生じ、周波数の利用効率を低下させるという問題がある。そこで、劣化した地上のビーム形状をダイナミックに補正し、常に安定した形状のビームを維持するビーム形状安定化技術の確立が必要である。

大型アンテナの歪み等による鏡面形状の変形に伴うビームの劣化等を常に補償・制御することが可能なビーム形状安定化技術を確立するため、以下の研究開発を行う。

- ア 地上のフットプリント計測システムの開発
- イ アンテナ形状の計測技術の開発
- ウ 給電部の励振分布制御技術の開発

### 到達目標

大型アンテナは熱変形等を受けると歪みが生じ、形成されるビームの特性に影響する事がわかっている。大型アンテナを搭載し、30ビーム程度またはそれ以上のマルチビームにより日本国内及び排他的経済水域をサービスエリアとする運用が想定される次世代衛星移動通信システムにおいて、海洋である排他的経済水域よりも日本国内の陸上における所望のビーム特性を高い精度で維持する技術が必要となる。

特に本研究開発では、静止軌道上にある衛星が地球による食によって生じるアンテナの熱変形等を想定して取組むものとし、ビーム変形の主要因である鏡面形状の変形を10分の1波長（2ギガヘルツの場合1.5センチメートル程度）の精度でモニターし、その影響をダイナミックに補償する給電システムを実現することにより、常に安定な地上のビーム形状を維持する技術を確立する。

#### ア 地上のフットプリント計測システムの開発

衛星からのビームを地上で受信し、当該地点の受信状態を測定する計測器を開発し、基本的な機能・性能の確認を行う。さらに、ネットワークを介してメッシュ状に設置（概ねビーム直径の1/10以内の誤差でフットプリントを計測できるよう、適切な設置箇所を検討して設置すること）された各計測器を統合制御し、各計測器からの計測データを集約・解析することで地上のビーム形状（フットプリント）をリアルタイムで明らかにするシステムを開発し、30ビ



ーム程度又はそれ以上のマルチビームを日本国内の陸上で計測する実用システムに求められる機能・諸元を検証する。

#### イ アンテナ形状の計測技術の開発

大型建造物の画像等による3次元計測アルゴリズムの試作と最適化を実施するとともに、大型アンテナ（30m級を想定）に対応した大型鏡面形状計測システムの試作と遠隔計測試験を行い、S帯のマルチビーム衛星のビーム補正のために必要な鏡面形状の計測精度（10分の1波長。2ギガヘルツの場合1.5センチメートル程度）を確保するための計測技術を確立する。

#### ウ 給電部の励振分布制御技術の開発

最適化された地上のビーム形状、及び、励振分布制御に適した給電素子の個数並びに構成を踏まえるとともに、鏡面形状の計測データに基づき、かつ、消費電力の増大を招かないように配慮し、ダイナミック制御のためのアルゴリズム検討を行い、デジタルビーム形成およびチャネライジング機能を有するデジタル中継器で動作する励振制御機能の試作を行うとともに、形成されるビームの形状等を評価するためのビーム形成シミュレータの試作を行う。

#### エ 総合評価

アンテナ形状の計測、給電部の励振分布制御及び地上のフットプリント計測の3処理をまとめて順次実行する統合的な鏡面計測・補償実験システムを試作し、鏡面形状の計測データに基づく地上のビーム形状制御実験を行い、春と秋の地球食の期間中（1～2か月程度）において定期的に毎日繰り返して発生する大型アンテナの熱変形の過程に追従できるかどうか等の総合的な検証を行う。

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。

（例）

<平成26年度>

#### ア 地上のフットプリント計測システムの開発

地上のビーム形状（フットプリント）計測システムおよび収集・解析システムプロトタイプを開発する。

#### イ アンテナ形状の計測技術の開発

大型建造物の画像等による3次元計測システムの試作を行い、鏡面形状の計測アルゴリズムの試作と最適化を実施する。

#### ウ 給電部の励振分布制御技術の開発

地上のビーム形状最適化の方式検討を行うとともに、鏡面計測データに基づく給電部のダイナミック制御のためのアルゴリズム検討・試作を行う。

<平成27年度>

#### ア 地上のフットプリント計測システムの開発

地上のビーム形状（フットプリント）計測システムを開発し、計測ネットワークとして設置、展開を行い、計測実験を行う。

イ アンテナ形状の計測技術の開発

鏡面形状計測システムの試作を行い、計測試験を行う。

ウ 給電部の励振分布制御技術の研究

励振分布を最適化したビーム形成を模擬するビーム形成シミュレータを試作するとともに、デジタルビーム形成およびチャネライジング機能を有するデジタル中継器に実装するロジックを試作する。

<平成28年度>

エ 総合評価

鏡面計測・補償実験システムを製作し、鏡面形状計測データに基づく地上のビーム形状制御実験を行い、制御性能の評価を行うとともに総合評価を行う。

5. 実施期間

平成26年度から平成28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33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＞

未利用周波数帯への無線システムの移行促進に向けた基盤技術の研究開発

～ テラヘルツ波デバイス基盤技術の研究開発

—300GHz 帯増幅器技術— ～

## 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、既存の無線通信に割り当てられている周波数帯では急速に伝送容量がひっ迫することが予想されている。加えて、今後は ITS や電子タグ等の次世代の ICT サービスにより更なる電波利用の拡大が見込まれることから、通信容量を確保することは喫緊の課題となっており、その解決策として未利用周波数帯の活用が求められている。

近年、ミリ波帯を利用するための研究開発が実施されているが、伝送速度は毎秒十ギガビット (Gbps) 級以下であり、超高精細画像の非圧縮リアルタイム無線伝送や大容量データの瞬時転送を実現するための毎秒数十 Gbps 級の伝送速度を実現するには、更に周波数の高いテラヘルツ波帯を用いる必要がある。テラヘルツ波帯は、ミリ波と光波の中間の周波数帯に位置し、ミリ波帯に比べ周波数が高いため、簡易な変調方式や広帯域幅を用いて超高速伝送が可能になるとともに、ミリ波帯に比べ波長が短いため、通信機器をより小型化できる可能性が高い。一方、光波の場合、レーザーでは高指向性により位置決めにかかる時間がかかる、LED では高速変調が難しい、といった問題点があるが、テラヘルツ波帯はこれらの問題を同時に克服しうる。しかし、現時点では未利用周波数帯であるテラヘルツ帯について、送受信技術、アンテナ技術などは確立しておらず、当該周波数帯における技術の確立が期待されている。

そのため、本研究開発では、世界的に周波数分配が行われていない 275 - 370GHz のテラヘルツ帯を用いて、毎秒数十 Gbps 級の超高速伝送を可能とする無線通信基盤技術を確立する。当該技術により新たな電波資源を開拓し、周波数の有効利用や既存業務の高い周波数への移行を促進するとともに、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）

同報告書において、「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。」とされている。

- ・情報通信審議会 中間答申「イノベーション創出実現に向けた情報通信技術政策の在り方」（平成 25 年 1 月 18 日付け諮問第 19 号）

同中間答申中、「5 今後取り組むべき技術分野 5.3 基盤技術 ④通信技術・ネットワーク技術」の項目において、「テラヘルツなど、現在未利用の高い周波数の開拓をはじめとする、無線通信技術の高速化、安定化技術」が掲げられている。

- ・科学技術イノベーション総合戦略～新次元日本創造への挑戦～（平成 25 年 6 月 7 日 閣議決定）・平成 26 年度科学技術重要施策アクションプラン（平成 25 年 7 月 31 日総合科学技術会議決定）

本研究開発は、「テラヘルツ波の利用による超高速・低消費電力無線技術および高効率高周波デバイス技術の研究開発」として平成 26 年度科学技術重要施策アクションプランに特定された。

### 3. 目標

本研究開発では、300GHz 帯の周波数の電波を使用するデータ伝送速度数十（20～40）Gbps 級の無線通信において、20dB 以上の利得、1W以上の出力を実現する大出力増幅器技術を確立する。本技術を用いてビル間通信を実現することを想定し、少なくとも数 10m 以上の無線通信を実証する。加えて、無線通信装置の設置面積の縮小のために、A4 サイズの増幅器を実現する小型化技術を確立する。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

すでに、総務省委託研究開発「超高周波搬送波による数十ギガビット無線伝送技術の研究開発」（平成 23～27 年度）において、InP 化合物半導体を用いた 300GHz 帯の無線通信技術の開発が進められている。当該研究開発は、300GHz 帯の周波数の電波を使用し、数十（20～40）Gbps 級の伝送速度の無線通信を世界に先駆けて実現するものであるが、送信機の出力が小さいため伝送距離が数mに制限される。そこで、本研究開発「テラヘルツ波デバイス基盤技術の研究開発」のうちの課題「300GHz 帯増幅器技術」では、少なくとも数 10m 以上の無線通信を実現するために、300GHz 帯の周波数の信号増幅を行う小型増幅器技術を確立する。

#### (2) 技術課題及び到達目標

目標を達成するに当たり、いくつかの異なる技術的な方法が考えられる。以下は現時点で想定される方法のうちの一つであり、その技術課題、到達目標を示す。

#### **技術課題**

##### 真空管増幅器技術

300GHz 帯において高利得かつ高出力の小型真空管増幅器技術を確立する。

300GHz 帯の周波数の電波に対応するために、微細加工技術であるマイクロメートルオーダーの加工精度を有する MEMS 製造技術を使用して、超小型の遅波回路を開発し、あわせて高電圧電源モジュールの小型化技術を確立する。また、300GHz 帯の周波数の電波を使用するデータ伝送速度 20~40Gbps の無線通信システムに、開発された真空管増幅器を適用し、少なくとも数 10m 以上の伝送距離の無線通信を実証する。なお、実証実験で使用する 300GHz 帯の無線通信システムには、「超高周波搬送波による数十ギガビット無線伝送技術の研究開発」の研究開発成果を活用する予定である。

#### 到達目標

300GHz 帯において、データ伝送速度 20~40Gbps の無線通信を少なくとも数 10m 以上の伝送距離で実現するための小型増幅器を開発する。小型増幅器は、300GHz 帯における数 10GHz の周波数帯域幅で、20dB 以上の利得、1W クラスの出力を目標とする。また、実証実験を実施し、少なくとも数 10m 以上の伝送距離で 300GHz 帯の無線通信を実証する。

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。

(例)

#### <平成 26 年度>

##### 真空管増幅器技術

- ・ MEMS 真空管増幅器の設計、微細加工、測定評価を行うための環境整備
- ・ 高周波回路の設計及び微細加工・精密組立技術の開発
- ・ 高電圧電源回路モジュールの小型化検討

#### <平成 27 年度>

##### 真空管増幅器技術

- ・ 微細加工技術・精密組立技術の改良
- ・ MEMS 真空管を構成する高周波回路の部分品の試作及び基本特性の確認
- ・ 増幅器を駆動するための高電圧電源回路モジュール用変圧部品の試作及び MEMS 真空管を駆動可能な高電圧を発生できることの確認

#### <平成 28 年度>

##### 真空管増幅器技術

- ・ 微細加工技術・精密組立技術の改良
- ・ MEMS 真空管用高周波回路部品の組立評価を行い、300GHz 帯で 20dB 以上（出力 1W クラス）の利得を有することを確認
- ・ 高電圧電源回路モジュールの試作
- ・ 実証実験用無線通信システムの伝送性能評価

<平成29年度>

真空管増幅器技術

- ・ MEMS 真空管増幅器の試作及び性能評価
- ・ 開発した試作真空管増幅器と実証実験用無線通信システムの結合
- ・ データ伝送速度 20~40Gbps の無線通信の数 10m 以上の伝送実証実験の実施

## 5. 実施期間

平成26年度から平成29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機関・団体等への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、国際標準化機関・団体等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、国際標準化機関・団体等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34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) 提案及び研究開発に当たっての留意点

① 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技術課題と到達目標を明記することとし、この際に具体的な評価項目(出力強度、利得、伝送距離、サイズ等)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、開発しようとする技術と従来の技術との差異を詳細に明確化した上で、技術課題及び目標達成に向けた研究方法、設計上の課題と解決方法、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。

② 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。

- ③ 「テラヘルツ波デバイス基盤技術の研究開発」の各課題間の連携のために、総務省が別途指示する会合において、本研究開発の進捗状況や成果について説明し、有識者及び他の受託機関と意見交換等を行う旨を提案書に記載すること。
- ④ 本研究開発においては、「超高周波搬送波による数十ギガビット無線伝送技術の研究開発」の研究開発成果の活用を求めることがある。
- ⑤ 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。
- ⑥ (1)①及び(1)②をより確実に実現するためには、テラヘルツ波帯の周波数を利用する研究開発分野全体の研究開発動向及びユーザーのニーズを把握し、標準化・実用化への適切な方向性を見極める必要がある。そのため、本分野の研究開発をテーマにした産学官によるコンソーシアム等に参加し、他の研究開発機関との間で、方向性及び目標について議論することが望ましい。よって、提案書には、本分野のコンソーシアム等への主体的な参加及びその活動への主体的な協力を行う旨を記載すること。

### (3) 研究開発成果の情報発信

- ① 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、実用に向けて必要と思われる研究開発課題への取組も実施し、その活動計画・方策については具体的に提案書に記載すること。
- ② 研究開発成果については、原則として、総務省としてインターネット等により発信を行うとともに、マスコミを通じた研究開発成果の発表、講演会での発表等により、広く一般国民へ研究開発成果を分かりやすく伝える予定であることから、当該提案書には、研究成果に関する分かりやすい説明資料や図表等の素材、英訳文書等を作成し、研究成果報告書の一部として報告する旨の活動が含まれていること。さらに、総務省が別途指示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旨を提案書に記載すること。
- ③ 本研究開発による成果を論文発表、プレス発表、製品化、Web サイト掲載等を行う際には「本技術は、総務省の委託を受けて実施した「テラヘルツ波デバイス基盤技術の研究開発」による成果です。」という内容の注記を発表資料等に都度付すこととする旨を提案書に明記すること。



# ＜基本計画書＞

未利用周波数帯への無線システムの移行促進に向けた基盤技術の研究開発  
～ テラヘルツ波デバイス基盤技術の研究開発  
—300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術— ～

## 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、既存の無線通信に割り当てられている周波数帯では急速に伝送容量がひっ迫することが予想されている。加えて、今後は ITS や電子タグ等の次世代の ICT サービスにより更なる電波利用の拡大が見込まれることから、通信容量を確保することは喫緊の課題となっており、その解決策として未利用周波数帯の活用が求められている。

近年、ミリ波帯を利用するための研究開発が実施されているが、伝送速度は毎秒十ギガビット (Gbps) 級以下であり、超高精細画像の非圧縮リアルタイム無線伝送や大容量データの瞬時転送を実現するための毎秒数十 Gbps 級の伝送速度を実現するには、更に周波数の高いテラヘルツ波帯を用いる必要がある。テラヘルツ波帯は、ミリ波と光波の中間の周波数帯に位置し、ミリ波帯に比べ周波数が高いため、簡易な変調方式や広帯域幅を用いて超高速伝送が可能になるとともに、ミリ波帯に比べ波長が短いため、通信機器をより小型化できる可能性が高い。一方、光波の場合、レーザーでは高指向性により位置決めにかかる時間がかかる、LED では高速変調が難しい、といった問題点があるが、テラヘルツ波帯はこれらの問題を同時に克服しうる。しかし、現時点では未利用周波数帯であるテラヘルツ帯について、送受信技術、アンテナ技術などは確立しておらず、当該周波数帯における技術の確立が期待されている。

そのため、本研究開発では、世界的に周波数分配が行われていない 275 - 370GHz のテラヘルツ帯を用いて、毎秒数十 Gbps 級の超高速伝送を可能とする無線通信基盤技術を確立する。当該技術により新たな電波資源を開拓し、周波数の有効利用や既存業務の高い周波数への移行を促進するとともに、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)

同報告書において、「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。」とされている。

- ・情報通信審議会 中間答申「イノベーション創出実現に向けた情報通信技術政策の在り方」（平成 25 年 1 月 18 日付け諮問第 19 号）

同中間答申中、「5 今後取り組むべき技術分野 5.3 基盤技術 ④通信技術・ネットワーク技術」の項目において、「テラヘルツなど、現在未利用の高い周波数の開拓をはじめとする、無線通信技術の高速化、安定化技術」及び「センシングなど、電波を通信以外に利用する技術」が掲げられている。

- ・科学技術イノベーション総合戦略～新次元日本創造への挑戦～（平成 25 年 6 月 7 日 閣議決定）・平成 26 年度科学技術重要施策アクションプラン（平成 25 年 7 月 31 日総合科学技術会議決定）

本研究開発は、「テラヘルツ波の利用による超高速・低消費電力無線技術および高効率高周波デバイス技術の研究開発」として平成 26 年度科学技術重要施策アクションプランに特定された。

### 3. 目標

本研究開発では、300GHz 帯の周波数の電波を使用する、無線通信用のシリコン半導体 CMOS トランシーバ技術を確立し、見通し距離 1 m 程度において、40～100Gbps 級のデータ伝送速度の高品質無線通信を実証する。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

すでに、総務省委託研究開発「超高周波搬送波による数十ギガビット無線伝送技術の研究開発」（平成 23～27 年度）において、InP 化合物半導体を用いた 300GHz 帯の無線通信技術の開発が進められている。当該研究開発は、300GHz 帯の周波数の電波を使用し、数十（20～40）Gbps 級の伝送速度の無線通信を世界に先駆けて実現するものであるが、化合物半導体デバイスを用いるため、広く用いられている低コストの CMOS デジタル回路との一体集積化や量産化は困難である。そこで、本研究開発「テラヘルツ波デバイス基盤技術の研究開発」のうちの課題「300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術」では、CMOS デジタル回路とトランシーバの一体集積化や、小型で低コストのデバイス開発を可能とするために、300GHz 帯無線通信用のシリコン半導体 CMOS トランシーバ技術を確立する。また、本技術を用いて、40～100Gbps 級の通信を実現する無線通信システムを開発する。

#### (2) 技術課題及び到達目標

目標を達成するに当たり、いくつかの異なる技術的な方法が考えられる。以下は現時点で想定される方法のうちの一つであり、その技術課題、到達目標を示す。

**技術課題**

### 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

シリコン半導体 MOS トランジスタ集積回路技術によって、300GHz 帯の周波数の電波を使用するデータ伝送速度 40~100Gbps 級の近距離無線通信（機器内~1m 程度）を実現するためのトランシーバ技術を確立する。

また、開発されたトランシーバを適用して、アンテナを含む近距離無線通信システムを開発し、40~100Gbps 級のデータ伝送速度を実証する。

### 到達目標

#### 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

##### ア 近距離無線通信用 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

微細 CMOS を用い、増幅回路、周波数変換回路（ミキサ）、発振回路、受動回路などの要素回路を開発する。また、これらの要素回路を集積化した 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバのフロントエンド部を実現する。

##### イ 300GHz 帯の周波数の電波を使用する近距離無線通信システムの開発及び通信実験による機能実証

300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバのフロントエンド部を用いて、近距離無線通信システムを開発する。また、実証実験を行い、データ伝送速度が 40~100Gbps 級であることを実証する。

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。

（例）

#### <平成 26 年度>

##### 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

##### ア 近距離無線通信用 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバの設計技術を開発し、トランシーバのフロントエンド部を構成する要素回路の試作と特性評価を行う。

##### イ 300GHz 帯の周波数の電波を使用する近距離無線通信システムの開発及び通信実験による機能実証

300GHz 帯の周波数の電波を使用する近距離無線通信システムの設計を行う。

#### <平成 27 年度>

##### 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

##### ア 近距離無線通信用 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバの要素回路を集積化したフロントエンドチップの試作と特性評価を行う。

##### イ 300GHz 帯の周波数の電波を使用する近距離無線通信システムの開発及び通信実験による機能実証

300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバのフロントエンドチップを用

い、近距離通信における 10Gbps の伝送性能を実証する。

<平成 28 年度>

300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

ア 近距離無線通信用 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

微細 CMOS プロセスに対応した 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバの設計技術を開発し、25Gbps 伝送に対応するトランシーバのフロントエンド部を構成する要素回路の試作と特性評価を行う。

イ 300GHz 帯の周波数の電波を使用する近距離無線通信システムの開発及び通信実験による機能実証

40~100Gbps のデータ伝送に対応する近距離無線通信システムの信号処理部を開発する。

<平成 29 年度>

300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

ア 近距離無線通信用 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

25Gbps の伝送に対応する微細 CMOS を用いた 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバのフロントエンドチップの試作と特性評価を行う。

イ 300GHz 帯の周波数の電波を使用する近距離無線通信システムの開発及び通信実験による機能実証

300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバのフロントエンドチップを用い、近距離通信における 25Gbps の伝送性能を実証する。

<平成 30 年度>

300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

ア 近距離無線通信用 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバ技術

微細 CMOS を用い、増幅回路、周波数変換回路（ミキサ）、発振回路、受動回路などの要素回路を集積化した 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバのフロントエンド部を実現する。

イ 300GHz 帯の周波数の電波を使用する近距離無線通信システムの開発及び通信実験による機能実証

微細 CMOS による 300GHz 帯シリコン半導体 CMOS トランシーバのフロントエンド部を用い、40~100Gbps 級の近距離無線通信システムを開発し、伝送性能の実証を行う。

5. 実施期間

平成 26 年度から平成 30 年度までの 5 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機関・団体等への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、国際標準化機関・団体等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、国際標準化機関・団体等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) 提案及び研究開発に当たっての留意点

① 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技術課題と到達目標を明記することとし、この際に具体的な評価項目(伝送速度、誤り率等)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、開発しようとするトランシーバの仕様(送受信電力、雑音指数、利得等)を具体的に設定し、その実現に必要となる研究開発項目ごとに数値目標を定めること。また、開発しようとする技術と従来技術との差異を明確化した上で、技術課題及び目標達成に向けた研究方法、設計上の課題と解決方法、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。

② 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。

③ 「テラヘルツ波デバイス基盤技術の研究開発」の各課題間の連携のために、総務省が別途指示する会合において、本研究開発の進捗状況や成果について説明し、有識者及び他の受託機関と意見交換等を行う旨を提案書に記載すること。

④ 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。

⑤ (1)①及び(1)②をより確実に実現するためには、テラヘルツ波帯の周波数を

利用する研究開発分野全体の研究開発動向及びユーザーのニーズを把握し、標準化・実用化への適切な方向性を見極める必要がある。そのため、本分野の研究開発をテーマにした産学官によるコンソーシアム等に参加し、他の研究開発機関との間で、方向性及び目標について議論することが望ましい。よって、提案書には、本分野のコンソーシアム等への主体的な参加及びその活動への主体的な協力を行う旨を記載すること。

### (3) 研究開発成果の情報発信

- ① 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、実用に向けて必要と思われる研究開発課題への取組も実施し、その活動計画・方策については具体的に提案書に記載すること。
- ② 研究開発成果については、原則として、総務省としてインターネット等により発信を行うとともに、マスコミを通じた研究開発成果の発表、講演会での発表等により、広く一般国民へ研究開発成果を分かりやすく伝える予定であることから、当該提案書には、研究成果に関する分かりやすい説明資料や図表等の素材、英訳文書等を作成し、研究成果報告書の一部として報告する旨の活動が含まれていること。さらに、総務省が別途指示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旨を提案書に記載すること。
- ③ 本研究開発による成果を論文発表、プレス発表、製品化、Web サイト掲載等を行う際には「本技術は、総務省の委託を受けて実施した「テラヘルツ波デバイス基盤技術の研究開発」による成果です。」という内容の注記を発表資料等に都度付すこととする旨を提案書に明記すること。