

# ＜基本計画書＞

## 膨大な数の自律型モビリティシステムを支える 多様な状況に応じた周波数有効利用技術の研究開発

### 1. 目的

我が国が超高齢化と労働人口減少を迎える中、過疎地も含めた高齢者の安全・安心な生活や観光、土木、福祉等の多様な経済活動の生産性確保等を図るため、高信頼・高精度な自動走行を実現する自律型モビリティシステム<sup>※1</sup>（自動走行技術、自動制御技術等）の実現が期待されており、主要国でも官民を挙げた大規模プロジェクトが始動している。

自律型モビリティシステムの実現のためには、移動体（電気自動車、電動車いす、自律ロボット等）自身に搭載するセンサーだけでなく、高度な自己位置推定や周辺環境認知を可能とする高度地図データベース等の情報を、遅延なくリアルタイムに収集・把握する通信技術の確立が極めて重要で必要不可欠である。

一方で、現在日本で走行している約 8,000 万台の車を含めた膨大な数の移動体が、無線通信を介して、大容量の情報をリアルタイムにやり取りするようになった場合には、膨大な通信需要が生じることが想定されるため、限られた電波資源を最大限有効利用するための技術の確立も必要不可欠である。

このように多様な分野への展開が期待されている自律型モビリティシステムを支える通信技術を確立するため、高度地図データベース等の多様で大容量な情報について、膨大な数の移動体との間でリアルタイムなやり取りを可能とする技術を確立するとともに、限られた電波資源を最大限に有効利用するための技術を確立することが必要であることから本研究開発を実施する。

※1) 自律型モビリティシステム：様々なセンサー情報等も活用し、ICT 基盤技術と連携して、自動走行技術、自動制御技術等を活用した高信頼・高精度な移動を実現する車両、電動車いす、ロボット、無人建機、小型無人機等

### 2. 政策的位置付け

- ・「電波政策 2020 懇談会報告書」（平成 28 年 7 月 15 日）

「第 2 章. 3. (2) ②次世代 ITS の実現に向けて解決すべき課題」において、「現在、日本では約 8,000 万台の車が走行しているが、これらを含めた移動体が常時ネットに接続されて高度地図データベースを活用する移動体に置き換わってくるにつれて、地図等の大容量データや歩行者位置情報等の低遅延通信を多くの車とやりとりするようになり、電波のひっ迫要因となってくることが考えられる。これに対応するため、車の通信環境等を検知し、700MHz 帯高度道路交通システム、狭域通信システム (DSRC)、携帯電話システム、WiFi 等を最適に活用するなど、ITS に利用される電波を有効に活用していくことが重要となってくる」とされている。

- ・「新たな情報通信技術戦略の在り方 第 2 次中間答申」（平成 28 年 7 月 7 日）

「第 4 章. 第 1 節. I. (1) 先進的な IoT への取組の重要性」においては、「自動

走行等の領域（移動系 IoT）においては、通信のリアルタイム性、確実性、安全性等を確保し、人々が安心してサービス利用することが可能な IoT プラットフォームを整備することが必要である」とされている。

- ・「日本再興戦略改訂 2016」（平成 28 年 6 月 2 日閣議決定）

「第 2. I. 1. (2) i) イ) 無人自動走行を含む高度な自動走行の実現に向けた環境整備」において、「官民 ITS 構想・ロードマップ 2016」に基づき、2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会までに、無人自動走行による移動サービスや高速道路での自動走行が可能となるよう、来年までに必要な実証を可能とする制度やインフラ面の環境整備を行う」とされている。

- ・「科学技術イノベーション総合戦略 2016」（平成 28 年 5 月 24 日閣議決定）

「第 2 章 (1) II. ii) 高度道路交通システム」においては、「Society5.0 の実現に向け、自動走行システムに関する研究開発を、本格的な「サイバーフィジカルシステム」の実現に向けた中核的な取組と位置付け、ダイナミックマップが様々なデータを地図基盤上に統合化するための共通プラットフォームとなるよう検討する。更に他分野との連携を積極的に進めるため、データ仕様やフォーマット等に関する情報共有・検討等を通じたユースケースの具体化、課題抽出等に取り組むこととする。自動走行システムの実現やそのデータ利活用については、様々な行政分野にまたがる取組であることから、SIP と各省庁取組等の緊密で効果的な連携が欠かせない」とされている。

### 3. 目 標

自律型モビリティシステムを支える通信技術として、限られた電波資源を最大限に有効利用しながら、高度地図データベース等の多様で大容量な情報をリアルタイムにやり取り可能とする技術を確立する。

このため、分散型のデータ処理等による高効率な通信処理技術や、複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術、大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術を確立し、これら複数の技術を組み合わせて協調制御を可能とすることで、2 倍以上の周波数利用効率向上を目指す。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

本研究開発では、LTE 等の携帯電話システム (700/800/900MHz 帯、1.5/1.7/2GHz 帯) や無線 LAN システム (2.4GHz 帯等) をはじめとする様々な無線システムを高度に利用して、膨大な数の移動体が多様な状況に応じて確実に対応出来るよう、限られた電波資源を最大限に有効利用しながら、高度地図データベース等の多様で大容量な情報について、膨大な数の移動体との間でリアルタイムなやり取りを可能とする自律型モビリティシステムを支える通信技術を確立するため、以下の区分により研究開発を実施する。

ア 分散型のデータ処理等による高効率な通信処理技術

イ 複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術

ウ 大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術

なお、各技術の研究開発成果については、膨大な数の自律型モビリティシステムを支える多様な状況に応じた周波数有効利用技術として統合する必要があることから、いずれの技術の研究開発実施者も相互に連携・協力して実施するとともに、本研究開発全体の取りまとめを行う実施者を定めるものとする。

また、自動車だけでなく電動車いすや自律ロボット等の多様な分野における社会実装を目指し本研究開発成果が様々なユーザにとって利用可能なものとするため、インターフェイスをオープンにすること等を見据えて、スマート IoT 推進フォーラムの下に設置された自律型モビリティプロジェクト等におけるユーザ側のニーズに関する議論も踏まえつつ、本研究開発成果の有用性および実用性の検証を実施する。

更に、これらの研究開発成果を広く展開することで自動走行技術や自動制御技術等の早期の社会実装にも寄与するため、国内および海外の動向を調査し、実用化や国際標準化を目指した取組を推進する。

## (2) 技術課題および到達目標

### ア 分散型データ処理等による高効率な通信処理技術

#### 技術課題

自律型モビリティシステムは、広域での制御が必要とされる一方、その制御には局所的かつ緻密な情報を必要とする特性を持つことから、様々な速度で走行する膨大な数の移動体を局所的に緻密かつ正確に制御するために、多様で大容量な情報（自身や周辺の移動体の位置・移動方向・速度、無線の混雑状況、人や他の移動体等と共存するための情報等）のやり取りを遅延なくリアルタイムで効率的に行う必要がある。

また、自律型モビリティシステムの無線通信においては、例えば、高速道路を高速で長距離移動する場合、信号待ちの交差点や通勤ラッシュ等の交通量密度が過密（通勤ラッシュ時で 1000 台/km<sup>2</sup>程度）になる場合、歩行空間において電動車いす等の多数の移動体が多数の人々と併走する場合等のような利用シーンにおいて、無線通信の衝突・電波の干渉によって大幅なスループットの低下や通信不全等を招くことが考えられる。

このため、多様な状況に応じたモデルを明確にした上で、局所的な分散型データ処理やそれら分散型データ処理の広域での協調制御を可能とする高効率な通信処理技術について、その有用性および実用性を検証しながら研究開発を進めることが重要となる。

これらを踏まえ、携帯電話システムや無線 LAN システム等の無線システムにおける高効率な通信処理技術として、局所的な複数の分散型データ処理の協調制御を可能とするエッジサーバ技術を確立するとともに、広域にまたがって様々な速度で走行する移動体の追従を可能とするエッジサーバ間ハンドオーバー技術、および、広域で無線通信の負荷分散、局所的なデータ処理、リアルタイムのレスポンス等を可能とするエッジコンピューティング技術を確立する。

加えて、道路交通環境を走行する高速の移動体（電気自動車）と歩行空間を走行する低速の移動体（電動車いす、自律ロボット等）のそれぞれに鑑み、自動走行や自動

制御に必要となる位置把握精度を確保しつつ、前述のような様々な利用シーンに確実に対応出来るように、多様で大容量な情報から必要な情報のみを取捨選択や加工処理する等、移動体やエッジサーバ、周辺環境検知センサー等において分散型で高効率なデータ処理を可能とする技術を確立する。

更に、本研究開発では以下の技術を確立し高度に連携させることで、通信トラヒックの抜本的な削減を図り、周波数占有時間を低減することで周波数利用効率の向上を図る。

- ・ 複数の分散型データ処理の協調制御を可能とするエッジサーバ技術
- ・ 広域にまたがって様々な速度で走行する移動体の追従を可能とするエッジサーバ間ハンドオーバー技術
- ・ 広域で高効率な通信処理を可能とするエッジコンピューティング技術
- ・ 多様で大容量な情報から必要な情報のみを取捨選択や加工処理する等、様々な利用シーンを想定した移動体やエッジサーバ、周辺環境検知センサー等における複数の分散型データ処理技術

## 到達目標

自律型モビリティシステムの実現のために対応が求められる交通環境の目安<sup>※2</sup>において、様々な利用シーンを想定してそれらに確実に対応出来るように、携帯電話システムや無線 LAN システム等の無線システムにおいて、移動体やエッジサーバ、周辺環境検知センサー等における複数のデータ処理技術と、広域で高効率な通信処理を可能とするエッジコンピューティング技術を組み合わせることによって、自動走行や自動制御を実現する上で求められる位置把握精度（高速の移動体では誤差 30cm 程度、低速の移動体は誤差 5 cm 程度）の確保を実現し、広域にまたがって様々な速度で走行する膨大な数の移動体の多様な状況に応じた正確な対応を可能とする。

更に、移動通信分野においては、直近 10 年において約 2 倍に無線局数が増加しており、今後も更なる電波利用の拡大が予想されていることから、通信トラヒック量を 1/2 に削減することで、周波数占有時間を低減し、周波数利用効率について 2 倍以上の向上を実現する。

※2) 自律型モビリティシステムの実現のために対応が求められる交通環境の目安：100km/h, 128 台/km<sup>2</sup>

出典：「新たな情報通信技術戦略の在り方 第 2 次中間答申」第 4 章 第 1 節「スマート IoT 推進戦略」[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000428749.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000428749.pdf)

参考) 「東京都における交通量密度：128 台/km<sup>2</sup>」

出典：情報通信審議会 情報通信技術分科会 UWB 無線システム委員会（第 10 回）配布資料のうち委員会報告

## イ 複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術

### 技術課題

自動走行に必要な不可欠な高度地図データベースは、道路情報と道路上の物体に関する

る高精度な地図情報（以下、「高精度な地図情報」という。）と、交通状況や他の車、バイク、歩行者等の状況に応じて変動する情報（以下、「変動情報」という。）を時間的・空間的に統一して扱う三次元空間情報である。

現在、日本では約 8,000 万台の車が走行しているが、これらを含めた移動体が常時ネットワークに接続されて高度地図データベースを活用する移動体に置き換わることを想定すると、様々な種類かつ膨大な数の移動体（電気自動車、電動車いす、自律ロボット等）に対して多様で大容量かつ高精度な地図情報や変動情報を効率良く配信することを可能とする技術が必要不可欠である。

これらのことから本研究開発では、課題アに記した自律型モビリティシステムおよびその無線通信の特性や利用シーン等も踏まえ、携帯電話システムや無線 LAN システム等の特性の異なる複数の無線システムを周囲の無線環境や移動体の状況といった情報を活用しながら高度に連携することや、高度地図データベースの更新並びに移動体に対する高精度な地図情報および変動情報の配信について、限られた電波資源を最大限に有効活用しつつ実現するため、以下の技術を確立する。

- ・ 携帯電話システムや無線 LAN システム等の複数の無線システムを、移動体の状況（位置や速度、移動方向、周囲の無線環境等）に応じて適時適切に切り替える技術
- ・ 移動体が周辺環境等を検知し収集するプローブ情報（位置、速度、移動方向、交通状況等）を用いて、必要最小限のトラフィック量で高度地図データベースを効率的に更新する技術
- ・ 移動体の状況（位置、速度、移動方向、周囲の無線環境等）やデータの用途や容量に応じて、高精度な地図情報や変動情報を効率的に配信する技術

#### 到達目標

自律型モビリティシステムの実現のために対応が求められる交通環境の目安において、携帯電話システムや無線 LAN システム等の複数の無線システムを高度に連携させて、移動体から収集される最大 2Mbps 程度のプローブ情報（位置、情報や速度、移動方向、交通状況、動画像等）を用いて必要最小限のトラフィック量で高度地図データベースを効率的に更新し、移動体の状態（位置、速度、移動方向、周囲の無線環境等）やデータの用途や容量に応じて、高精度な地図情報や変動情報を効率的に配信する技術を確立する。

更に、現在 8000 万台程度存在する自動車が、今後、無線通信システムに接続される自動車に置き換わっていくと考えられ、無線通信システムにおいて、これらの自動車を円滑に收容していく必要があることから、これら複数の無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術を確立することにより、無線アクセス区間における通信トラフィック量を 1/2 に削減することで、単位周波数帯幅あたりの收容台数について 1.5 倍以上の向上を実現する。

#### ウ 大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術

##### 技術課題

多様な分野への展開が期待されている安全・安心な自律型モビリティシステムの無

線通信において、例えば、「自動走行に必要な情報の不達（大量パケットの送信が原因のネットワーク機能不全（DoS 攻撃）等）」や「自動走行に必要な情報に対する攻撃（なりすまし端末やマルウェアに感染した端末によるパケットの改ざん等）」等による大量の異常トラヒック発生に起因した大幅なスループットの低下や通信不全等の重大な脅威について、異常な情報の送信やトラヒック量を検知・判断することで確実に回避することは、安全確保の観点並びに周波数有効利用の観点からも極めて重要な技術課題である。

このため本研究開発では、携帯電話システムや無線 LAN システム等の無線システムにおいて、以下の技術の有用性および実用性を検証しながら研究開発を進めるとともに、大量の異常トラヒックの検知からネットワークの部分的な遮断、安全動作への移行までの一連の技術の協調的な制御を可能とすることで、限られた電波資源を最大限に有効利用するために課題アおよびイで確立する技術の効果を高く保ちながら、多様な状況に応じて確実に対応可能な自律型モビリティシステムの高信頼化を実現する。

- ・ 移動体とエッジサーバ等との間における大量の異常トラヒックとその発生範囲を早期に検知・判断する技術
- ・ 大量の異常トラヒック発生範囲に応じて移動体の隔離やネットワークの部分的な遮断等を瞬時に行うことで、異常を伴う大量の不要通信を抑制する技術
- ・ 移動体の隔離やネットワークの部分的な遮断等を行った際に、移動体を追隨しての正常なネットワークへの接続や手動運転への切り替え通知等の安全動作への移行を可能とする技術

#### 到達目標

携帯電話システムや無線 LAN システム等の無線システムにおいて、移動体とエッジサーバ等との間におけるトラヒックをモニタリングし、DoS 攻撃等の大量の異常トラヒックとその発生範囲を早期に検知・判断する技術を確立するとともに、当該範囲に応じて移動体の隔離やネットワークの部分的な遮断等を瞬時に行うことで、異常を伴う大量の不要通信を抑制することにより、課題アおよびイで確立する技術を活用して無線アクセス区間における通信トラヒック量の 1/2 以下の削減を保つことで、周波数利用効率について 2 倍以上の向上を実現する。

更に、大量の異常トラヒックの検知・判断に基づく移動体の隔離やネットワークの部分的な遮断等を行った際に、自律型モビリティシステムの実現のために対応が求められる交通環境の目安において、移動体を追隨しての正常なネットワークへの接続や手動運転への切り替え通知等の安全動作への移行を可能とし、多様な状況に応じて確実に対応可能な自律型モビリティシステムの高信頼化を実現する。

なお、上記の目標を達成するに当たっての毎年度の目標については、以下の例を想定しているが、提案する研究計画に合わせて設定して良い。

(例)

<平成29年度>

ア 分散型のデータ処理等による高効率な通信処理技術

- ・複数の分散型データ処理技術の協調制御を可能とするエッジサーバ技術
- ・広域にまたがって様々な速度で走行する移動体を追従するエッジサーバ間でのハンドオーバ技術
- ・広域で高効率な通信処理を可能とするエッジコンピューティング技術
- ・様々な利用シーンを想定した移動体やエッジサーバ、周辺環境検知センサー等における複数のデータ処理技術

イ 複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術

- ・携帯電話システムや無線LANシステム等の複数の無線システムを、移動体の状況に応じて適時適切に切り替える技術
- ・必要最小限のトラフィック量での高度地図データベースの更新技術
- ・移動体の状況やデータに応じた高度地図データベースの効率的な配信技術

ウ 大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術

- ・自律型モビリティシステムの無線通信に係る異常トラフィックの検知・判断技術
- ・異常トラフィックの発生範囲に応じたネットワークの部分的な遮断技術
- ・正常なネットワークへの再接続や手動運転への切り替え通知等の安全動作への移行技術

<平成30年度>

ア 分散型のデータ処理等による高効率な通信処理技術

- ・様々な利用シーンを想定した複数のデータ処理技術や通信処理技術の協調技術
- ・課題イおよびウにおいて確立した技術も含めた本研究開発全体の協調技術
- ・実車・通信システム・計算処理基盤を含むテストベッド環境の構築
- ・実環境に即したテストベッド環境における本研究開発全体の協調技術の検証

イ 複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術

- ・複数の無線システムを組み合わせた高度地図データベースの効率的な更新・配信協調管理技術
- ・実車走行等の実環境を模した環境における課題内各要素技術の協調技術の検証

ウ 大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術

- ・大量の異常トラフィックの検知からネットワークの部分的な遮断、安全動作への移行までの協調技術
- ・実車走行等の実環境を模した環境における課題内各要素技術の協調技術の検証

## 5. 実施期間

平成29年度から平成30年度までの2年間

## 6. その他 特記事項

### (1) 特記事項

- ① 本研究開発は、平成 28 年度総務省委託研究開発「自律型モビリティシステムの開発・実証」を実施する中で、自律型モビリティシステムは、伝送容量に限りがある無線通信を介して膨大な数の移動体との間で高度地図データベース等の多様で大容量な情報をリアルタイムでやり取りする必要があるため、周波数の有効利用を図りながら自動走行を支える技術を確認することが不可欠であることが明らかとなったことを踏まえ、実施するものである。

## (2) 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および終了後、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・団体およ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」および平成 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。

## (3) 提案および研究開発に当たっての留意点

- ① 提案に当たっては、基本計画書に記載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、技術課題や到達目標の達成に向けた前提条件、達成までの根拠やモデル、研究方法、実用的な成果を導出するための実施計画および年度目標について具体的に提案書に記載すること。
- ② 目標の達成に向けた適切な研究成果の取扱方策（研究開発課題の分野の特性をふまえたオープン・クローズ戦略を含む）については、研究成果が様々なユーザにとって利用可能なものとするため、インターフェイスをオープンにする等も含めて提案書に記載すること。また、本研究開発成果を確実に展開し、目標を達成するため、事業化目標年度、事業化に至るまでの実効的な取組計画（事業化および標準化活動、体制、資金等）についても具体的に提案書に記載すること。その際、自動走行技術、自動制御技術および関連技術に関する技術開発動向や市場動向を踏まえ、本研究開発成果を活用した製品やサービスの国際的な普及展開、国際的な標準化活動および相互接続性確保のための活動について、具体的な取組計画とすること。
- ③ 複数機関による共同研究を提案する際には、研究開発全体を整合的かつ一体的に



行えるよう参加機関の役割分担を明確にし、研究開発期間を通じて継続的に連携するための方法について具体的に提案書に記載すること。

- ④ 技術検証の提案に当たっては、自動走行技術の早期の社会実装、普及を実現し、観光、土木、福祉等の多様な分野へ展開するため、研究開発成果の検証、評価、改良の実施等を可能な限り行う提案とすること。また、研究開発成果の組み合わせや改良を第三者が自由に行えるような成果提供方策および研究開発終了後にも研究開発成果の継続的な改善を可能とする方策を提案すること。
- ⑤ 本研究開発は総務省施策の一環として取り組むものであることから、総務省が受託者に対して指示する、研究開発に関する情報および研究開発成果の開示、関係研究開発プロジェクトとのミーティングへの出席、シンポジウム等での研究発表、共同実証実験への参加等に可能な限り応じること。
- ⑥ 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、情報通信審議会の下に設置された技術戦略委員会や、SIP・自動走行システム推進委員会の下に設置されたシステム実用化WG、スマートIoT推進フォーラムの下に設置された自律型モビリティプロジェクト等における必要な検討事項の議論を十分に踏まえながら研究開発を進めること。
- ⑦ 研究開発の実施に当たっては、必要に応じ、本基本計画書に記載されている技術課題に関連する他省庁の取組と連携するほか、内閣府が策定した「自動走行システム研究開発計画」([http://www.sip-adus.jp/sip/file/sip\\_2016\\_plan.pdf](http://www.sip-adus.jp/sip/file/sip_2016_plan.pdf))に含まれる研究開発テーマ（例：地図情報の高度化技術（グローバルダイナミックマップ）の開発）に係る実施施策と連携を図ること。また、平成27年度総務省委託研究開発「ICTを活用した次世代ITSの確立」や平成28年度総務省委託研究開発「IoT共通基盤技術の確立・実証」およびそれらの継続事業との連携も図ること。なお、本件について不明点がある場合は、本研究開発の担当課室まで問い合わせること。

#### （４）人材の確保・育成への配慮

- ① 研究開発によって十分な成果が創出されるためには、優れた人材の確保が必要である。このため、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備に関して具体的に提案書に記載すること。
- ② 若手の人材育成の観点から、可能な限り本研究開発の概要を学会誌の解説論文で公表する等の将来の人材育成に向けた啓発活動についても十分に配慮すること。

## <基本計画書>

### 地上テレビジョン放送の高度化方式に対応したSFN方式による中継技術に関する研究 開発

(「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」の追加研究課題)

#### 1. 目的

我が国においては地上テレビジョン放送で使用できる周波数は非常に逼迫している状況にあるが、2020年オリンピック・パラリンピック東京大会が開催されることもきっかけに、超高精細度放送やスマートテレビ等の機能を活用した新たな放送サービスに対する視聴者のニーズが高まっているところである。

また欧米の標準化機関である DVB や ATSC においても第 2 世代地上デジタルテレビジョン放送の研究開発が進められ、一部の国や地域においては超高精細度放送の試験放送の実施、本放送の計画等が策定されている。

我が国においても、「世界先端 IT 国家創造宣言(平成 27 年 6 月閣議決定)」に「次世代放送・通信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」として「2020 年には、4K・8K 放送が普及し、多くの視聴者が市販のテレビで 4K・8K 番組やスマートテレビに対応したサービスを楽しむことができる環境を実現」と記載されており、「4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合第二次中間報告(平成 27 年 7 月 30 日公表)」においては「地上放送における 4K・8K の実現には技術やコスト等の解決すべき課題は多い。このため、より効率的な伝送を実現すべく、速やかに総合的な研究開発の取組を進める。」旨記載されている。

さらに、「放送を巡る諸課題に関する検討会 第一次とりまとめ(平成 28 年 9 月 9 日公表)」においては、「地上テレビジョン放送の高度化については、必要な研究開発を着実に進め、前向きに検証を行っていくことが重要であり、今後はその課題等について、関係者・有識者の知見を糾合する形で検討を進めることが適当である。」旨記載されている。

こうした背景から、国として地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発に早期に着手し、超高精細度地上放送を可能とする伝送容量拡大技術や伝送効率向上技術等の確立により周波数の有効利用の一層の向上に資することを目指して、平成 28 年度から「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」において、放送システムを構築する上で基本となる親局からの送信技術に関する研究開発を実施している。

逼迫している地上テレビジョン放送用周波数帯で、超高精細度地上放送を実現するためには、親局からの送信技術の確立とともに、同一の周波数を繰り返し利用する SFN (Single Frequency Network) 方式による中継技術を実現し、親局および多数の中継局により放送エリアの確保・拡大を図ることが必要不可欠である。

このため、平成 28 年度から実施中の研究開発で開発される新たな伝送方式において、SFN 方式による中継技術を実現するための研究開発を実施する。

さらに本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の強化を図る。

## 2. 政策的位置づけ

- ・「世界最先端 IT 国家創造宣言」（平成 27 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

#### 3. IT を利活用した安全・安心・豊かさが実感できる社会

##### （6）次世代放送・通信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

「4K 放送については 2015 年、8K 放送については 2018 年の実用放送開始を目指す。」および「放送に関わる事業者が目標やアクションプランを共有・実行するための体制整備や、実用化に必要な技術面・制度面のルールの策定・公開、国際標準化および技術検証などの環境整備を行い、コンテンツやアプリケーションの提供を行う意欲を持つ者なら誰でも参加できる、新しいオープンなメディア空間を創造し、2020 年には、4K・8K 放送が普及し、多くの視聴者が市販のテレビで 4K・8K 番組やスマートテレビに対応したサービスを楽しむことができる環境を実現する。」旨を記載。

- ・4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合 中間報告（平成 26 年 9 月 9 日公表）

#### 8 今後の検討課題

##### （5）その他

「4K・8K も含め地上放送の高度化に係る技術的な可能性を検証するために、適切な機会をとらえて、都市部における地上波による伝送実験等を検討する」旨を記載。

- ・4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合 第二次中間報告（平成 27 年 7 月 30 日公表）

#### 5 検討課題と基本的考え方

##### （6）地上放送に関する取り組み

「地上放送における 4K・8K の実現には技術やコスト等の解決すべき課題は多い。このため、より効率的な伝送を実現すべく、速やかに総合的な研究開発の取組を進めて、その上で、技術的な可能性を検証するために、都市部における地上波によるパブリックビューイング向けなどの伝送実験等を検討する」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 26 日公表）

#### 2 我が国における電波利用の将来

##### ③ 超高精細度テレビジョン放送等の実現

「超高精細度テレビジョン放送のための素材伝送の進展や、東京オリンピック・パラリンピック等に向けた対応状況等も踏まえながら圧縮伝送技術を開発するなど、周波数の有効利用を図ることが必要である。」旨を記載。

- ・放送を巡る諸課題に関する検討会 第一次とりまとめ（平成 28 年 9 月 9 日公表）

### 第3章 今後の具体的な対応の方向性

#### (1) 新サービスの展開

#### ③ 今後の地上テレビジョン放送の高度化に係る展開

「地上テレビジョン放送の高度化については、必要な研究開発を着実に進め、前向きに検証を行っていくことが重要であり、今後はその課題等について、関係者・有識者の知見を糾合する形で検討を進めることが適当である。」旨を記載。

### 3. 目標

本研究開発は、逼迫している地上テレビジョン放送用周波数帯で超高精細度地上放送を実現するため、平成28年度から実施中の「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」で開発される、不均一コンスタレーションによる最大4096QAMなどの超多値変調技術、最大32KまでのFFT (Fast Fourier Transform) サイズの拡大、セグメント構造の見直しによる帯域幅の拡大、および、水平偏波・垂直偏波を使った偏波MIMO (Multiple Input Multiple Output) の他、可変長パケットによる多重フレーム構成等を採用した新たな伝送方式（以下、「新たな伝送方式」という。）において、同一の周波数を繰り返し利用するSFN方式による中継技術を実現し、親局および多数の中継局により放送エリアの確保・拡大を図ることにより、災害時にも強い移動体向けや固定向けの柔軟なサービスが可能である現行の地上テレビジョン放送の特徴を継承しながら、周波数の利用効率を現行の約7倍程度<sup>※1</sup>向上することにより、周波数の有効利用の一層の向上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。

(※1) 現行の地上テレビジョン放送と比較して伝送容量で約4倍、更に本追加研究課題により、MFN (Multi Frequency Network) 中継局の削減による周波数の利用効率の向上で最大約1.7倍<sup>※2</sup>の合わせて約7倍。

(※2) 現行の地上テレビジョン放送では、特に周波数逼迫度合いの高い関東広域、大阪広域、瀬戸内地域において、SFNを構成する中継局の割合は約44%となっている。つまり、SFN効果によって、MFN中継局が56%まで削減出来る（MFN中継局用の周波数が100ch必要だったとすると、SFN効果によって56chに削減出来る）ことから、その周波数利用効率は最大約1.7倍。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

本研究開発においては、逼迫している地上テレビジョン放送用周波数帯で超高精細度地上放送を実現するため、「地上放送高度化方式に対応したSFN方式による中

継技術に関する研究開発」の開発として、送信ネットワークの同期化技術の検討・開発および SFN 時の移動受信・固定受信特性の確認や受信エリアの検証等を行う。

## (2) 技術課題および到達目標

### 技術課題

ア 地上放送高度化方式に対応した SFN 方式による中継技術に関する研究開発  
放送システム全体の構築には中継伝送を行うことが必要となるが、逼迫している地上テレビジョン放送用周波数帯で超高精細度地上放送を実現するためには、新たな伝送方式において、同一周波数を繰り返し利用する SFN 技術の開発、検証が重要である。

新たな伝送方式において、高度広帯域衛星デジタル放送に採用された IP と親和性の高い多重化技術である MMT (MPEG Media Transport) を用いる場合、SFN 方式による中継伝送を実現するためには、可変長パケットである MMT に対応した、送信ネットワークの同期化技術が必要である。このため、超高精細度地上放送において光ファイバ等の中継回線により SFN を構築するための次世代地上放送多重フレームの検討・開発を行うとともに、同多重フレーム構造を用いた送信ネットワーク同期化技術の検討・開発を行う。さらに、上記検討・開発を反映した実験試験局を置局し、様々な電波伝搬環境において、新たな伝送方式による SFN 時の移動受信・固定受信特性の確認や受信エリアの検証を行う。

加えて、新たな伝送方式に対応した放送波中継技術に関する検討を行う。

### 到達目標

下記アの到達目標を達成することにより、SFN 方式による中継技術を確立し、親局および多数の中継局により放送エリアの確保・拡大を図ることで、逼迫している地上テレビジョン放送用周波数帯で、超高精細度地上放送を実現することを可能とする。

ア 地上放送高度化方式に対応した SFN 方式による中継技術に関する研究開発

新たな伝送方式において、高度広帯域衛星デジタル放送に採用された IP と親和性の高い多重化技術である MMT を用いる場合、ISDB-T 方式における MPEG-2 TS のような固定長パケットではなくなることから、SFN を機能させるため信号を中継局に送る際の多重フレーム構成に関する検討・開発を行うとともに、同多重フレーム構造を用いた送信ネットワーク同期化技術の検討・開発を行う。

また、上記検討・開発により新たな多重フレーム構造を適用した装置を開発するとともに実験試験局の送信諸元の検討を行い、実験試験局を置局し、都市部などマルチパス等の影響を受ける複雑な伝搬路と比較的良好な伝搬路において、新たな伝送方式による SFN 機能について検証し、SFN を成立させるための条件を明らかにする。

さらに、親局からの放送波を直接受信して中継を行う放送波中継において、マ

ルチパス、同一チャンネル干渉等で劣化する放送信号の品質を改善し、多段中継を実現するため、新たな伝送方式に対応した信号補償技術の検討・評価を行う。

上記各取組の実施により、新たな伝送方式に対応した SFN 方式による中継技術を確立する。

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が、提案する研究計画に合わせて設定して良い。

(例)

<平成 29 年度>

- ア 地上放送高度化方式に対応した SFN 方式による中継技術の検討および検証
- ・ 送信ネットワーク同期化技術の検討・開発
  - ・ 新たな伝送方式に対応した放送波中継技術の検討・評価
  - ・ 実験試験局送信諸元の検討
  - ・ 実験試験局整備

<平成 30 年度>

- ア 地上放送高度化方式に対応した SFN 方式による中継技術の検証および確立
- ・ 送信ネットワーク同期化技術の評価
  - ・ 実験試験局整備
  - ・ 様々な電波伝搬環境における SFN 機能の検証

## 5. 実施期間

平成 29 年度から 30 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および終了後、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・団体およ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」および平成 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こと。また、従来技術との差異を明確にした上で、技術課題および目標達成に向けた研究方法、実施計画およ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、平成 28 年度から実施している「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」の進捗状況や課題、成果等を的確に把握するため、当該研究開発の実施者と緊密な連携を図ること。

また、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「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」の運営委員会に参加すること。

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。

おって、研究開発の実施に当たっては、様々な電波伝搬環境を踏まえた検証を行うこと。更に、置局する実験試験局については、現行の一般的な地上テレビジョン放送の放送エリアと同等程度の規模とし、現行の地上テレビジョン放送、エリア放送、特定ラジオマイク等の関係者との調整を十分に図った上で、地上テレビジョン放送の周波数帯で実施すること。

# ＜基本計画書＞

## 小型旅客機等に搭載可能な電子走査アレイアンテナによる 周波数狭帯域化技術の研究開発

### 1. 目的

近年、スマートフォンやタブレット端末の急速な普及に伴い、大型航空機等では衛星通信を活用したブロードバンドサービスの普及が進んでいる。

また、航空機需要は今後 20 年で 1 万 9 千機から 3 万 6 千機に増加すると見込まれ、特にリージョナルジェットと呼ばれる 50 名から 100 名程度の客席の小・中型航空機が増加することが予想されており、これらの航空機においても大型機と同様のブロードバンドサービスが求められており、航空機向けの衛星通信需要が大きく増加することが想定される。

このため、衛星通信システムの高速度と大容量化のために周波数の有効利用が必須の課題となっており、衛星通信アンテナの高性能化が求められている。衛星通信アンテナの高性能化には一般的にはアンテナ開口面積を大きくする必要があるが、従来の一般的な機械駆動型のアンテナでは小・中型航空機への搭載は困難となっている。

従って、本研究開発では、航空機への搭載性を損なわずに衛星通信アンテナの性能を改善する技術を確立し、変調方式をより多値化することで周波数利用効率を 30%以上改善し、周波数の有効利用に資することを目的とする。

### 2. 政策的位置付け

・「電波政策ビジョン懇談会報告書」（平成 26 年 12 月 26 日）

6GHz 以上の周波数帯について第 5 世代移動通信システムでの活用を念頭に、現在、固定・衛星系等で使われている 14GHz 帯/28GHz 帯等を対象に、諸外国の動向等を踏まえつつ、当該周波数帯の利用に関する研究・標準化等を進めた上で、移動通信システムに今後必要となる周波数幅を確定・確保していくことが適当としており、さらに逼迫する可能性がある衛星通信用周波数帯の一層の有効利用を図る必要がある。

・「電波政策 2020 懇談会報告書」（平成 28 年 7 月 15 日）

「ワイヤレス海外新市場の創出としてリージョナル航空機でも搭載可能な薄型・スケーラブルな衛星アンテナや周波数狭帯域効率化を図る技術開発を進める」および「衛星通信の高度化に向けた研究開発として、航空機によるブロードバンド環境の利活用ニーズが高まりつつある。」旨が記載されている。

### 3. 目標

移動体向け衛星通信を利用したブロードバンドサービスを提供する小・中型航空機において、衛星通信アンテナの搭載性を損なわずに電子走査アレイアンテナの性



能を改善する技術を確立し、高速多値変調(8PSK 以上)に対応した周波数狭帯域化を実現することで周波数利用効率を 30%以上改善し、周波数の有効利用に資することを目標とする。

#### 4. 研究開発内容

##### (1) 概要

大幅な需要増加が予想される小・中型航空機に搭載される移動体向け衛星通信を利用したブロードバンドサービス用アンテナには、データの高速化と大容量化の観点から高速通信かつ周波数利用効率が高い多値変調への対応が求められる。また、搭載性との両立の観点から薄型な形状で所要性能に応じてアンテナ開口サイズがスケラブルであることが求められる。その両方を兼ね備える衛星通信アンテナ技術に関する研究開発を実施する。

具体的には、図2のとおり、8PSK による多値化でチャンネル当たりの占有帯域を 3.6MHz 幅から 2.4MHz 幅と 33%の狭帯域化を実現することでチャンネル数を増加させることが可能となる。



図1 小・中型航空機搭載用の薄型電子走査アレイアンテナ概念図

現状			多値化による 33%狭帯域化 周波数を効率的 に利用する	研究開発成果 適用後		
変調方式	DVB-S2 QPSK	FECLレート 2/3		変調方式	DVB-S2 8PSK	FECLレート 2/3
情報速度	4Mbps	(3.0sps)	情報速度	4Mbps	(2.0sps)	
占有帯域	3.6MHz	sps × 1.2	占有帯域	2.4MHz	sps × 1.2	
要求C/N	3.5dB		要求C/N	7.4dB		
アンテナサイズ	40cm	等価開口径	アンテナサイズ	60cm	等価開口径	
アンテナ利得	40dBi		アンテナ利得	43dBi		

図2 周波数の効率的利用の具体化

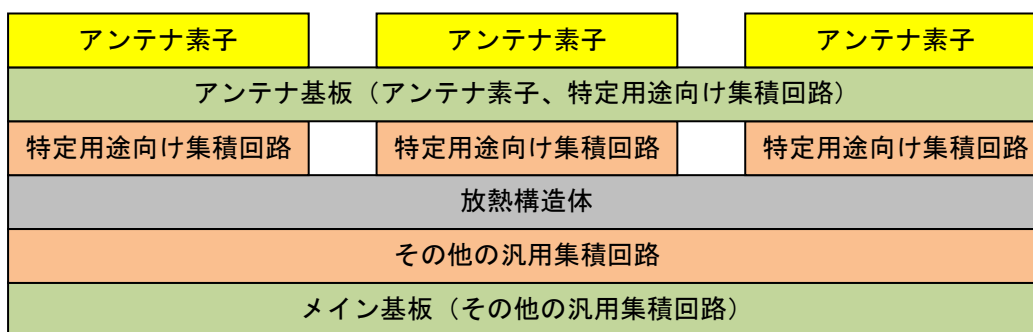


図3 電子走査アレイアンテナ断面概念図

(2) 技術課題および到達目標

**技術課題**

ア. 高速多値変調(8PSK 以上)対応の薄型化に適した電子走査アレイアンテナシステム構成の基礎研究開発

従来の航空機搭載用の衛星通信アンテナとしては、機械駆動式の開口アンテナと従来型の電子走査アレイアンテナがある。機械駆動式の開口アンテナは従来型の電子走査アレイアンテナと比較し、アンテナ開口面を機械的に駆動してアンテナ指向方向を走査する方式のため、アンテナ開口が駆動により掃引する体積よりアンテナサイズを小型化できない。また従来型の電子走査アレイアンテナは電子走査型のため機械駆動式の開口アンテナに比べて薄型化が可能であるが、従来の電子走査アレイアンテナは、アンテナ素子と RF モジュールおよび低損失伝送線路(導波管等)を用いる等の構成が考えられ、更なる薄型化への課題や開口サイズを容易に変更できないという課題がある。これらの課題を克服するために、薄型かつ開口サイズがスケラブルであり、EIRP 密度を高く設定する事でサイドローブを下げ、高速多値変調に有利な電子走査アレイアンテナの技術開発が周波数利用効率向上には不可欠である。そのために、将来の衛星並びに衛星地上局側の通信方式の動向に配慮し、新たに高速多値変調(8PSK 以上)対応の薄型化に適した電子走査アレイアンテナシステム構成を検討する必要がある。

以下に主な検討項目を記載する。

- ① 電子走査アレイアンテナのシステム方式ならびに構成の基礎検討
- ② アンテナ、RF 部、ベースバンド部の各機能と仕様検討
- ③ 電子走査アレイアンテナの軸外輻射特性検討ならびに低仰角での利得低下の改善検討（広角輻射特性）
- ④ アレイアンテナシステム各部の合成回路部等の薄型化実現方法の検討

イ. RF 部の小型、薄型化に最適な特定用途向け集積回路(ASIC)を含めた構成検討（移相器、増幅器、直交変調器、発振回路、位相同期回路等）

高速多値変調(8PSK 以上)対応の薄型化に適した電子走査アレイアンテナシステムの実現において、従来の電子走査アレイアンテナの RF モジュールおよび低

損失化のために導波管等の低損失伝送線路を用いる等の構成ではなく、薄型化に適した構成を実現するための技術開発が不可欠である。そのため、RF 部の小型、薄型化に最適な特定用途向け集積回路(ASIC)を含めた構成検討が必要である。

以下に主な検討項目を記載する。

- ① RF 部の特定用途向け集積回路(ASIC)の集積範囲ならびに構成検討
- ② 高速多値変調(8PSK 以上)信号に対応するための低歪回路の検討
- ③ 放熱構造体の小型、薄型化のための高効率化等の低消費電力化検討

#### ウ. 航空機—衛星間のアクセス方式の検討

上記で開発するアンテナシステムの更なる周波数利用効率を高め、効率的に活用するために、航空機—衛星間のアクセス方式を検討する必要がある。

以下に主な検討項目を記載する。

- ① 航空機—衛星間通信に特化した技術的要件の検討
- ② 複数の航空機に対するハンドオーバー技術を含めたアクセス方式の検討

#### 到達目標

- ア. 高速多値変調(8PSK 以上)対応の薄型化(3cm 以下を目安)に適した電子走査アレイアンテナシステムの実現
- イ. アンテナ素子間(Ka 帯で 5mm 程度を目安)に実装可能な RF 部の専用特定用途向け集積回路(ASIC)の実現
- ウ. 技術的および国際的な動向を踏まえた上で、周波数利用効率を高めるべくハンドオーバーを含む航空機—衛星間アクセス方式の決定
- エ. その他の到達目標として、主要性能を表 1 に示す。

表 1 Ka 帯の搭載システムでの主要性能目標

	項目	目標値	備考
送信	周波数帯域	29.5GHz-30.0GHz	ESIM 利用帯域※1
	瞬時帯域幅※2	100MHz 以上	※3
	変調方式	8PSK 以上	
	EIRP	44dBW 以上@EL 30deg	
	偏波	右旋円偏波、左旋円偏波切替え可能	
	仰角範囲	下限(a) : 30deg 以下 上限(b) : 90deg	$a \leq \text{仰角} \leq b$
受信	周波数帯域	19.7GHz-20.2GHz	ESIM 利用帯域※1
	瞬時帯域幅※2	100MHz 以上	※3、※4
	変調方式	8PSK 以上	※4
	G/T	10dB/K 以上@EL 30deg	
	偏波	右旋円偏波、左旋円偏波切替え可能	
	仰角範囲	下限(a) : 30deg 以下 上限(b) : 90deg	$a \leq \text{仰角} \leq b$

- ※1:ESIM(Earth Stations in Motion):決議 156(WRC-15)にて脚注 5.527A に地域共通で、Ka 帯移動体向けに上り 29.5-30.0GHz / 下り 19.7-20.2GHz の周波数が割り当てられた。
- ※2:瞬時帯域幅:アンテナが送信あるいは受信できる変調信号の帯域幅の限界値
- ※3:HTS やメガコンステレーション計画では、TDM 方式が趨勢であり、受信において瞬時帯域の広帯域化が求められている。
- ※4:瞬時帯域幅 100MHz、8PSK、FEC レートが 1/2 を想定すると、情報速度は最大 150Mbps となる。
- ※5:重量、消費電力については、研究開発において、航空機メーカーとも協議の上搭載可能な目標値を設定すること。

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、以下の例を想定している。

(例)

<平成 29 年度>

ア. 高速多値変調(8PSK 以上)対応の薄型化に適した電子走査アレイアンテナシステム構成の基礎研究開発

送信用薄型電子走査アレイアンテナの要素開発と基礎検証の実施

① 送信用全体システム方式ならびに構成の基礎検討

- ・航空機搭載可能な重量、供給される電力など、送信システムの搭載条件の明確化

- ・QPSK、8PSK 等の想定される変調方式毎のシステムレベルダイヤの検討

- ・アンテナ、RF 部、ベースバンド部の各機能と仕様検討(ロールオフ率、フィルタ特性、位相雑音、線形性などを含む)

② 開口サイズのスケラビリティを考慮した送信アンテナ方式検討

③ シミュレーションによる広角輻射特性の改善、軸外輻射特性検討

④ 送信用 16 素子以上の要素試作による基本性能確認

イ. RF 部の小型、薄型化に最適な特定用途向け集積回路(ASIC)を含めた構成検討  
高速多値変調(8PSK 以上)対応の特定用途向け集積回路(ASIC)の構成検討と要素試作ならびに汎用集積回路(IC)を適用した回路検討

① RF 部の特定用途向け集積回路(ASIC)用の高周波動作、高効率動作等に適した半導体プロセス検討

② RF 部の特定用途向け集積回路(ASIC)の構成検討

③ RF 部の特定用途向け集積回路(ASIC)の要素試作設計

④ ベースバンド部の汎用集積回路(IC)を用いた高速多値変調対応の部分システム検討・基本性能確認

ウ. 航空機-衛星間のアクセス方式の検討

① 航空機-衛星間通信のための特性解析および技術的要件の検討

② 航空機搭載への技術的要件の検討

③ 変復調を含むアクセス方式の検討

<平成 30 年度>

ア. 高速多値変調(8PSK 以上)対応の薄型化に適した電子走査アレイアンテナシステム構成の基礎研究開発

受信用薄型電子走査アレイアンテナの要素開発と基礎検証の実施

- ① 受信用全体システム方式ならびに構成の基礎検討
  - ・ 航空機搭載可能な重量、供給される電力など、受信システムの搭載条件の明確化
  - ・ QPSK、8PSK 等の想定される変調方式毎のシステムレベルダイヤの検討
  - ・ アンテナ、RF 部、ベースバンド部の各機能と仕様検討（ロールオフ率、フィルタ特性、位相雑音、線形性などを含む）
- ② 開口サイズのスケーラビリティを考慮した受信アンテナ方式検討
- ③ シミュレーションによる広角輻射特性、軸外輻射特性検討
- ④ 受信用 16 素子以上の要素試作による基本性能確認

イ. RF 部の小型、薄型化に最適な特定用途向け集積回路(ASIC)を含めた構成検討  
高速多値変調(8PSK 以上)対応の RF 部特定用途向け集積回路(ASIC)の要素試作、ならびに集積化設計

- ① 送信用、受信用特定用途向け集積回路(ASIC)の要素試作の評価・改善検討（高効率化等の低消費電力化を含む）
- ② 送信用、受信用特定用途向け集積回路(ASIC)の要素試作の集積化検討、特定用途向け集積回路(ASIC)試作設計

ウ. 航空機-衛星間アクセス方式のための検討

実際の環境を考慮した通信特性評価

<平成 31 年度>

ア. 高速多値変調(8PSK 以上)対応の薄型化に適した電子走査アレイアンテナシステム構成の基礎研究開発

送信用電子走査アレイアンテナのサブアレイ部分試作開発

- ① 要素試作を用いたサブアレイ部分試作に向けた改善検討（軸比、軸外輻射、広角輻射特性等）
- ② サブアレイのアンテナ素子部分(64 素子以上)試作開発・評価
- ③ 汎用集積回路(IC)を用いたベースバンド部の改善設計・評価
- ④ 各部分試作結果を用いたサブアレイシステムの模擬検証（アンテナ、RF 部、ベースバンド部の部分試作）

イ. RF 部の小型、薄型化に最適な特定用途向け集積回路(ASIC)を含めた構成検討  
高速多値変調(8PSK 以上)対応の RF 部特定用途向け集積回路(ASIC)試作の評

価・改善設計

- ① 送信、受信用特定用途向け集積回路(ASIC)試作の評価
- ② 送信、受信用特定用途向け集積回路(ASIC)試作の改善設計  
(高効率化等の低消費電力化を含む)

- ウ. 航空機-衛星間のアクセス方式の検討  
ハンドオーバーを含むアクセス方式の検討および机上評価

<平成 32 年度>

- ア. 高速多値変調(8PSK 以上)対応の薄型化に適した電子走査アレイアンテナシステム構成の基礎研究開発

1. 送信用電子走査サブアレイアンテナを用いたサブシステム検証
  - ① 高速多値変調対応の特定用途向け集積回路(ASIC)の改善試作評価
  - ② サブアレイアンテナ(64 素子以上×N 以上)の設計・評価によるスケールビリティ検証
  - ③ サブアレイアンテナシステムの高速多値変調(8PSK 以上)対応による周波数狭帯域化検証
  - ④ 電波暗室等によるサブアレイアンテナ特性評価サブアレイシステムの検証(アンテナ、RF 部、ベースバンド部の組合せ検証)
2. 受信用電子走査サブアレイアンテナ(64 素子以上×N 以上)を用いたサブシステム部分試作の検証
  - ① 高速多値変調(8PSK 以上)対応の特定用途向け集積回路(ASIC)の改善試作評価
  - ② サブアレイアンテナ部分試作(64 素子以上×N 以上)の設計・評価
  - ③ 汎用集積回路(IC)を用いたベースバンド部の開発・評価
  - ④ 各部分試作結果を用いたサブアレイシステムの模擬検証  
(アンテナ、RF 部、ベースバンド部の部分試作)

- ウ. 航空機-衛星間のアクセス方式の検討  
① シミュレーションによるシステム試験の実施

5. 実施期間  
平成 29 年度から 32 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および終了後、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・団体およ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」および平成 37 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への取組

本研究開発の成果を研究機関中および終了後速やかに関連する学会、研究会において発表や公知を行うことで、得られた成果に関する情報発信し周知を行うものとする。その活動計画・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、従来技術との差異を明確にした上で、技術課題および目標達成に向けた研究方法、実施計画およ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＞

## 90GHz 帯協調制御型リニアセルレーダーシステムの研究開発

### 1. 目的

近年、世界的な航空需要の高まりによって主要空港の離発着枠は限界を迎えつつあるが、その状況においても航空機の安全な離発着を実現するためには、滑走路面に落下したボルトなど異物を監視・除去することが不可欠であり、検知精度を高めるため、ミリ波帯レーダーを用いた異物検知システムの検討が欧米を中心に進んでいる。

ミリ波帯レーダーにおいて、微小な対象を高精度で検知するためには広い周波数帯域が必要となるが、複数の滑走路を有する拠点空港では、このような異物検知システムを複数台同時に運用する必要があり、さらには、主要鉄道ターミナルやその他の重要インフラにも適用が検討されており、小規模なエリアで複数の同一レーダーシステムを運用する際の相互の干渉抑制を実現し、既存の距離分解能は維持しつつ、周波数帯域の共用を可能とする技術の開発が不可欠となっている。

これまでの研究開発において、光ファイバー無線技術をベースとした線状に長く伸びるセル（リニアセル）を用いて、90GHz 帯において空間域・周波数域・時間域のすべてで高度に輻射を制御し、滑走路の障害物検知を想定した測定範囲 3000m×60m 以上、精度 3 cm 以下、測定時間 10s 以下の高速・高精度イメージングを実現するリニアセルレーダーシステムの基盤技術を開発したところである。

本研究開発では、精密に同期がとれた電波発射技術、機械可動部によらない電子的な手法による高度なビーム制御技術、スペクトラム制御技術を開発し、同一施設内で複数の 90GHz 帯のレーダーシステムの共用を実現する。これにより、3cm 程度の距離分解能力を維持するための限られた周波数帯域の中で、同一施設内で、複数の異物検知や監視のためのシステムの共用を可能とし、電波の有効利用に資することを目的とする。

### 2. 政策的位置付け

- ・「電波政策 2020 懇談会報告書」（平成 28 年 7 月 15 日）

ワイヤレスビジネスの成長・海外展開に向けた検討における今後に向けた提言の中で、2020 年までに実現することとして、「リニアセル・センサーネットワークについては、数 cm の異物が検知できるシステムを開発し、国内外の主要空港での実装を図る。」旨が記載されている。

- ・「航空産業ビジョン」（平成 27 年 12 月 10 日 内閣官房 基幹産業化に向けた航空ビジネス戦略に関する関係省庁会議）

次世代航空交通システムにかかる研究開発として「世界的な航空交通需要の増加への対応や、より安全かつ効率的な運航の実現のため、航空機位置の高精度な把握、



空港周辺空域での異物検出や情報共有化等に資する次世代航空交通システムの研究開発・技術開発を推進する」旨が記載されている。

### 3. 目標

本研究開発は、複数の送受信機の同期制御・協調信号処理技術等の開発を行い、高度なビーム制御技術、スペクトラム制御技術の実現により、既存のリニアセルレーダーシステムの検知性能(滑走路の障害物検知を想定した測定範囲 3000m×60m 以上、精度 3 cm 以下、測定時間 10s 以下の高速・高精度イメージング)は維持しつつ、新たな周波数を割当てることなく同一施設内で 2 以上の 90GHz 帯リニアセルレーダーシステムの共用を可能とし、もって周波数周波数利用効率を 2 倍以上とすることで電波資源の有効利用に資する。これにより複数の滑走路を有する拠点空港等においても、所要周波数帯を拡張することなく、必要な距離分解能力を実現することが可能となる。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

2 本以上の平行滑走路をもつ主要空港等の同一施設内(現在運用されている航空機ほぼすべての離着陸が可能な滑走路長として 3km、ICAO の平行滑走路に関するマニュアル Doc9643 に規定された同時離着陸が可能な平行滑走路の設置規定 1.5km を想定)で、既存のリニアセルレーダーシステムの検知性能は維持しつつ、2 以上の 90GHz 帯リニアセルレーダーシステムが共用することを可能とするミリ波帯同期複数送受信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

##### ア ビーム同期制御技術の開発

従来のリニアセルレーダーではアンテナを 4 秒に 1 回機械的に回転させることでビーム方向を制御し、±45 度の範囲を走査していた。この場合、回転揺らぎによりビーム方向が不安定になることで数度程度の回転角度誤差が生じていた。また、機械駆動部の摩耗により数ヶ月おきにオーバーホールが必要なため維持管理コストの増大をまねいていた。機械駆動部の無いフェーズドアレイ技術を用いたアンテナが必要となるが 90GHz 帯で実現したものは存在しない。そこで、光技術を利用してアンテナを機械的に回転させることなく、安定した送受信ビーム方向の制御が可能なフェーズドアレイ技術が必要である。

##### イ 複数同時受信技術の開発

従来技術では複数のアンテナ装置と中央装置で滑走路全体をカバーすることは可能であったが、個々のアンテナ装置は、アンテナを中心として回転方向の分解能がビーム幅に制限されて距離 100 メートルの位置で数 m の誤差が発生し検知

距離が長くなるに従い誤差が増大するという課題があった。また、従来技術では巨大な主要空港で見られるような複数の滑走路が隣接して配置される場合に、各滑走路の監視システム間の干渉が発生する可能性があった。更に、滑走路の特定部分（例えば着陸帯周辺）のみ検知性能を上げたいなどの要求に対応できないと言う課題があった。これらを解決するためには、

- ① 多数のアンテナ装置の受信タイミングを正確に同期連動し、異なる方向から得られた情報を複合処理し、監視の必要な範囲に高い二次元的位置精度を実現する必要がある。また他アンテナ装置からの信号を検出した場合にはビーム制御により干渉を回避することもシステムの適用範囲を広げるためには、重要である。
- ② 地形起伏等の影響により位置精度が悪くなる場所があり、それを改善するためには受信機のみを追加配置することで、信号処理により位置精度を向上させることが必要である。
- ③ ①および②を連動させることで、検知範囲の特定部分のみ検知精度を向上させる受信技術が必要である。

#### ウ 周波数共用・干渉低減技術の開発

従来技術では、複数のアンテナ装置間の電波干渉を回避するため、当該レーダ一波周波数割当て帯域幅である 8GHz 幅全てを利用して時分割にて運用されている。将来的には複数の滑走路で多数のアンテナ装置を高密度に設置する必要があるが、アンテナ装置間の時分割による制御のみでは検知時間の増大により運用上必要な検知時間の要求を満たすことができず、周波数を分割による制御では、距離分解能の劣化を招いてしまうと言う課題があった。

このため、

- ① ビーム衝突を回避すると共に、検知時間を増大させることなく距離分解能を維持する技術が必要である。
- ② 環境反射の多いフィールドにおいても、所要周波数帯を拡張することなく高い距離分解能を維持して干渉を抑圧することが必要となる。

### 到達目標

#### ア 送信ビーム同期制御技術の開発

ビーム制御のための光技術による信号位相制御技術を用いて 10 以上の送信素子で信号の位相を制御するフェーズドアレイ技術を開発するとともに、ビーム制御を行うための 90GHz 帯信号分配ネットワーク技術を開発し、毎秒 10 回以上で走査が可能なネットワーク制御技術を確立する。さらにその上で、ビーム方向制御  $\pm 45$  度、角度繰り返し誤差 1 度以下のビーム走査が可能な送信方式を確立する。

#### イ 複数同時受信技術の開発

多数のアンテナ装置の受信タイミングを正確に同期連動し異なる方向から得られた情報を処理し、監視の必要な範囲に高い二次元的位置精度を実現する。また、受信機のみを追加して配置することで、信号処理により位置精度を向上させる。

#### ①複数同期受信技術

複数の受信機を 100 ナノ秒以下の誤差で同期させて受信信号処理が可能な技術を開発する。また光給電による 0.1 秒以下での高速起動が可能で電源不要な 90GHz 対応受信技術を用いて 2 以上の受信機からなる系を構築し光給電により電源不要で 90GHz に対応する受信機技術を開発する。また、光給電の送信機への適用についても検討する。

#### ②複数信号処理技術

複数の受信機らのデータを利用して二次元的位置精度を向上（二次元的位置精度 10cm 以下）させる信号処理技術を開発する。

#### ③性能評価システム

①および②の開発技術を統合し連動させて検証することにより、複数同期受信技術の性能評価を実施する。

### ウ 周波数共用・干渉低減技術の開発

複数の滑走路を有する主要空港においても、所要周波数帯を拡張することなく高い距離分解能を維持して干渉を抑圧する技術を開発する。

#### ①ビーム衝突回避技術・動的分解能切り替え技術の開発

他アンテナ装置からの信号を検出した場合にはビーム制御により 10 ミリ秒以内で干渉を回避する技術を開発する。また、各送信機から放射される電波のスペクトラムを協調制御し干渉を抑圧しながら監視箇所の障害物検知優先度に応じて使用周波数幅を動的に割り当てる技術を開発する。

#### ②統合システムの開発・評価

複数の送受信アンテナ装置の信号を同時並列に処理可能な光ファイバー無線による統合システムを開発する。実際の空港設備において地形形状や既設の反射物等の測定精度への影響等も考慮した評価を行うほか、空港よりも環境反射の多いフィールド（例えば鉄道環境）への技術展開についても実環境における評価を行う。なお、空港面における評価では、欧州等にて標準化されている異物検知システムの要件への適合性についても評価すること。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度ごとの目標については、以下の例を想定しているが、提案する研究計画に合わせて設定して良い。

(例)

<平成 29 年度>

ア ビーム同期制御技術の開発

- ・ 2 以上の送信素子を制御可能な光技術による信号位相御のための原理検証を実施する。
- ・ 2 以上の送信素子を制御可能なネットワーク構成を設計する。

イ 複数同時受信技術の開発

- ・ 2 以上のアンテナ装置の同期動作に対応した信号処理装置を開発する。
- ・ 複数の受信機を正確に同期させるための同期方式を検討し、2 以上の受信機で同期精度を検証する。
- ・ 給電用光を制御することで、必要な受信機を 1 秒以下で起動することを可能とする機構を開発する。
- ・ 2 以上のアンテナ装置からの信号を用いて、二次元の検知精度を向上するための信号処理アルゴリズムを構築する。

ウ 周波数共用・干渉低減技術の開発

- ・ 統合システム評価のため、システム要素の定義と全体システムの概念設計を行う。
- ・ 他アンテナ装置からの不要放射を検出するための原理確認実験を行う。
- ・ 2 以上の複数のアンテナ装置で、同じ周波数帯を共有するための周波数掃引方式の原理実証実験を行う。

<平成 30 年度>

ア ビーム同期制御技術の開発

- ・ 前年度の光技術による信号位相御のための原理検証装置を拡張し、4 以上の送信素子で、ビーム同期制御技術を検証する。
- ・ 毎秒 1 回以上の走査が可能なネットワーク技術を実証する。

イ 複数同時受信技術の開発

- ・ 検知精度向上を実現するためのアンテナ局の設置設計を行い、協調型リニアセルシステムのプロトタイプを構築する。
- ・ 同期精度 10 マイクロ秒以下を実現する。
- ・ 光給電による電源不要 90GHz 対応受信技術を用いて 2 以上の受信機からなる系を構築し光給電素子の適用性を確認する。
- ・ 前年度のアルゴリズムを FPGA 実装し、検知精度向上のリアルタイム処理を実現する。

ウ 周波数共用・干渉低減技術の開発

- ・ 他アンテナ装置からの強い信号に耐える受信機構造を開発する。さらに協調型リニアセルシステム用の管制側機能を構築し、最終年度の実証実験に向けたシステム要素の抽出を行う。
- ・ 前年度に実施した不要波検出実験を基に、課題アで検討したビーム制御技術

と連携し干渉を回避する基盤技術を開発する。

- ・ 距離分解能などのレーダー性能をアンテナ装置毎に可変する機構を開発する。

<平成 31 年度>

ア ビーム同期制御技術の開発

- ・ 10 以上の送信素子で、前年度の光技術による信号位相御のための原理検証装置を用いたビーム同期制御技術を検証する。
- ・ 毎秒 10 回以上の走査が可能なネットワーク技術を実現する。

イ 複数同時受信技術の開発

- ・ 前年度までの成果を統合するとともに、4 以上のアンテナ装置を有する協調型リニアセルシステムの性能評価を行う。
- ・ 同期精度 100 ナノ秒以下を実現し、光給電による 0.1 秒以下での高速起動可能な受信機との組み合わせを実現する。
- ・ 複数のアンテナ装置の情報を元に、2 次元的な位置精度向上処理の有効性を評価する。

ウ 周波数共用・干渉低減技術の開発

- ・ 複数滑走路を想定し、所要周波数帯を拡張することなく高い距離分解能を維持して干渉を抑圧できることを実証する。
- ・ 前年度までに実施した不要波検出・干渉回避技術を用いて、障害物によるリスクが高い箇所に高い分解能を動的に割り当てる技術を検証する。

5. 実施期間

平成 29 年度から 31 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および終了後、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・団体およ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」および平成 36 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。

### ④研究開発成果のオープンな利用促進

本研究開発成果が広く一般での利活用に寄与していくために、可能な限り特定の機器および技術への依存を排除し、基礎的な技術に関しては容易に利用可能な技術を採用することを検討すること。

## (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、技術課題および目標達成に向けた研究方法、実施計画およ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。

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。また、本研究開発においては原則として技術課題ウ②の実施者が、研究開発課題全体の取りまとめを行うものとする。(ただし、各技術課題の実施者間の調整により変更可能)

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、空港関係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。

本研究開発は、国が実施する関連施策と連携して進めることが想定されるため、総務省が受託者に対して指示する、研究開発に関する情報および研究開発成果の開示、関係研究開発プロジェクトとのミーティングへの出席、シンポジウム等での研究発表、共同実証実験への参加等に可能な限り応じること。

# ＜基本計画書＞

## 大電力ワイヤレス電力伝送システムの漏えい電磁界低減化技術の研究開発

### 1. 目的

高周波の電界又は磁界を活用して非接触で電力供給を行うワイヤレス電力伝送（WPT: Wireless Power Transmission）が、スマートフォン等の電子機器を簡便に充電する手段として利用が進んでいるが、近年では、その利点から電気自動車（EV: Electric Vehicle）に給電する手段としても注目されており、実用化や国際標準化に向けた取組が活発化している。

また、我が国においては、環境・エネルギー制約を克服するため、EV等の次世代自動車について、「2030年までに新車販売に占める次世代自動車の割合を5から7割とすることを旨とする」（日本再興戦略2016）との目標を掲げていることから、EV用WPTに対するニーズは今後大きくなっていくものと考えられる。

こうした背景から、総務省ではEV用WPTシステムの円滑な導入に向け、情報通信審議会の下、EV用WPTシステムと他の無線局との共存、電波防護指針への適合性等を検証し、国際的な基準との調和を図りつつ、放射される電磁界の許容値、その測定方法等の所要の制度整備を行ったところである。これにより、利用周波数が79-90 kHzで伝送電力が7.7 kWまでのEV用WPTシステムについては、一定の技術的条件（利用周波数帯における発射および不要発射による磁界強度が10 mの距離において68.4 dB $\mu$ A/m以下等）を満たす場合には、電波法（昭和25年法律第131号）第100条に規定する個別の許可が不要となった。

しかし、これらの規定は普通自動車を前提としたものであり、バス、トラック等の大型車両については適正に評価する方法が確立されていない。また、短時間で大型車両への充電を可能とするため、数十～百 kW超に大電力化したEV用WPTシステムの検討が始まっているが、従来の技術では、漏えい電磁界は伝送電力に比例して線形に増加することから、大電力WPTシステムが他の無線局の運用を阻害するおそれがある。

そのため、本研究開発では、大型車両に搭載された数十～百 kW超級のEV用WPTシステムを正確かつ簡易に評価する技術および漏えい電磁界の低減に関する技術を確立し、大電力WPTシステムと無線局の共存を実現するとともに、円滑な導入を可能とする環境を整備することを目的とする。

### 2. 政策的位置付け

・「電波政策2020懇談会 報告書」（平成28年7月15日）

「第3章 電波利用料の見直しに関する基本方針」の「(2) ② (オ) 電波資源拡大のための研究開発、周波数ひっ迫対策のための技術試験事務」において、「安心・安全な電磁環境の維持に向けたワイヤレス電力伝送（WPT）システム等の機器から発せられる漏えい電波の解析・低減技術、近年の測定器や無線設備

の多様化に対応し様々な機器から発射される電波が技術基準に適合していることを確認するために必要な測定技術の開発及び試験を実施する。」旨が記載されている。

- ・「電波政策ビジョン懇談会 最終報告書」（平成 26 年 12 月 26 日）

「第 1 章 2 我が国における電波利用の将来」において、「ワイヤレス電力伝送システムの円滑な導入のためには、システムからの漏えい電波が他の無線機器に与える影響や人体への安全性の確保等について十分に配慮することが必要である。」旨が記載されている。

### 3. 目標

本研究開発では、バス、トラック等大型車両の EV に給電する WPT システムの漏えい電磁界に関する測定モデルを構築し、高周波出力、電源端子における妨害波電圧、利用周波数による発射および不要発射による磁界強度等の測定方法を明確化する。また、大型車両に搭載する EV 用 WPT システムについて、従来の技術を用いて大電力した場合と比較して漏えい電磁界を数百分の一に低減し、100 kW 以上の大電力の伝送を実現する。

これらにより、大電力の WPT システムと無線局の共存を可能とし、新たな電波利用ニーズに対応するとともに周波数の共同利用を促進することにより、周波数の有効利用に資する。さらに、本研究開発の成果をもとに国際標準に向けた活動に早期に着手し、我が国の国際競争力の強化を図ることとする。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

大型車両の EV に給電する WPT システムについて、既存の無線局との共存を可能とし、円滑な導入を実現するため、大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界評価技術および大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界低減技術を確立する。

本研究開発における EV は電気を動力源の全部又は一部として用いる自動車をいい、大型車両は道路交通法（昭和 35 年法律第 105 号）で定める大型自動車および中型自動車等をいう。また、WPT は 79-90 kHz の周波数帯を利用する磁界結合方式（磁界共振結合方式）とし、伝送電力は 100 kW 以上（受電側の伝送電力量）、伝送効率は 80 %以上、送電側装置と受電側装置の距離は道路運送車両法（昭和 26 年法律第 185 号）の保安基準に規定する最低地上高やノンステップバスのニーリング機構を考慮して 100 mm 以上とする。

#### (2) 技術課題および到達目標

##### 技術課題

ア 大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界評価技術

大型車両の EV 用 WPT システムの漏えい電磁界の評価に当たっては、次の①～



③の課題がある。

- ① WPT の利用周波数の波長を  $\lambda$  としたとき、電磁波の放射源から  $\lambda/2\pi$  以下の領域は近傍界と呼ばれる領域となる（79-90 kHz の場合、放射源から数百 m の領域が近傍界となる。）が、近傍界は自由空間における特性インピーダンスが大きく異なるため、測定結果が周辺環境の影響を受けることとなる。例えば、漏えい電磁界の測定を行う電波暗室 その他試験設備の床面（基準大地面）は金属であるが、EV 用 WPT システムが運用される実環境の地面はアスファルト又はコンクリートであるため、電波暗室等と実環境の測定結果が大きく異なることが推測される。このため、EV 用 WPT システムの評価に当たっては、測定対象や測定環境を詳細に定義し、近傍界における電磁界の振る舞いを考慮した測定を行う必要がある。
- ② また、従来の WPT システムで利用されることの多いスパイラルコイルの漏えい電磁界の分布は等方的であるが、その他のコイルやシステム構成によっては非等方性となり、測定の方角によっては結果が大きく変動するおそれがある。
- ③ さらに、大型車両は全長が 10 m を超える場合があるが、一般的な電波暗室等では設備的な制約により測定に必要な距離が確保できないため、オープンサイト等の非常に大がかりな設備が必要となる。加えて、異なる複数方向の測定を行うため、測定のために車両を回転させる必要があるなど、測定に数日を要するのが通常であり、人的・経済的負担が非常に大きい。

そのため、これらの課題を解決し、大型車両の EV 用 WPT システムの漏えい電磁界を正確かつ簡易に評価する技術を確立する。

#### イ 大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界低減技術

WPT の利用周波数からの漏えい電磁界は、その伝送電力に比例して線形に増大していくことから、EV 用 WPT システムを大電力化した場合、従来の技術では、既存の無線局に電磁干渉を与えるおそれがある。例えば、伝送電力が 100 kW の WPT システムの利用周波数の漏えい電磁界は、現在の規定で許容される最大の伝送電力である 7.7 kW の WPT システムと比較して、理論値で約 20 dB 以上増大することが推測される。このため、安全率や製造時のばらつきを考慮すると 20 dB に数～十 dB 程度を加えた数十 dB（絶対値では数百分の一以上）の漏えい電磁界の低減が必要となる。

一般に漏えい電磁界の抑圧にはフィルタ挿入による不要波の減衰等の対策が取られるが、WPT の場合、挿入損失が増大して電力の伝送効率が低下することとなる。また、フィルタでは、利用周波数からの漏えい電磁界を抑圧することはできない（利用周波数にフィルタを適用した場合、電力伝送に必要な周波数そのものを抑圧することになり、電力伝送ができなくなる。）等の課題がある。

そのため、伝送効率を維持しつつ EV 用 WPT システムからの漏えい電磁界を効果的に低減する技術を確立する。

#### 到達目標

##### ア 大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界評価技術

大型車両の EV 用 WPT システムについて、①実環境を模擬した近傍界における漏えい電磁界の評価方法の確立、②漏えい電磁界の分布モデルの構築、③実車両を模擬した台車等の測定モデルの構築により漏えい電磁界の測定を行い、適切な測定条件や方法を明確化することで、一般的な 10 メートル級の電波暗室で、1 日以内で漏えい電磁界を正確かつ簡易に評価する技術を確立する。ここでは、実環境（アスファルトやコンクリート）での測定値と比較した漏えい磁界の測定誤差が、最大漏えい方向で±6 dB 以下となることとする。

なお、ここで検討する評価方法は、バスを中心に様々な車両を包括するものとするが、対象とする車両によって評価方法を細分化したほうがよい場合等、合理的な理由がある場合はこの限りではないものとする。

##### イ 大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界低減技術

伝送電力が 100 kW 以上の EV 用 WPT システムについて、伝送効率を維持しつつ漏えい電磁界を抑圧する具体的な方式を検討し、利用周波数帯における発射および不要発射による磁界強度を 10 m の距離において 68.4 dB $\mu$ A/m 以下に低減させる。このとき、利用周波数の高調波についてもあわせて考慮することとし、電波法施行規則（昭和 25 年電波監理委員会規則第 14 号）第 46 条の 2 第 10 号に規定するその他の技術的条件を同時に満たすこととする。

また、検討した方式による EV 用 WPT システムが、既存の無線局との共存を可能とする条件を満たすことを実験又は実験・シミュレーションの組合せにより検証する。

なお、漏えい電磁界を低減する方式の検討に当たっては、国際的な動向等に加えて、大電力の伝送に見合ったデバイスや装置での実用化が見込めること、大型車両の運用に対して大きな支障を与えない運用性、将来広く普及が望めるコストで導入可能と推測できる経済性等を十分に考慮するものとする。

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

（例）

<平成 29 年度>

##### ア 大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界評価技術

- ・測定モデルの基本検討
- ・簡易的な測定環境の構築

##### イ 大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界低減技術

- ・大型車両向けの EV 用 WPT システムの試作

#### <平成 30 年度>

- ア 大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界評価技術
  - ・測定モデルの詳細検討
  - ・測定モデルを組み込んだ測定環境の構築
- イ 大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界低減技術
  - ・漏えい電磁界の低減化方式の基本検討

#### <平成 31 年度>

- ア 大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界評価技術
  - ・測定環境を用いた漏えい電磁界の測定・解析
  - ・測定条件・方法の検証
- イ 大電力 EV 用 WPT システムの漏えい電磁界低減技術
  - ・漏えい電磁界の低減化方式の詳細検討
  - ・漏えい電磁界の低減化方式の実装・検証

### 5. 実施期間

平成 29 年度から 31 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および終了後、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、提案書には、提案先として想定する国際標準規格・機関・団体および具体的な標準化活動の計画を策定し、その内容を記載すること。

##### 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」および平成 36 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・実施方策を提案書に必ず具体的に記載すること。

また、本研究開発成果の適用が想定される大型車両等を運用する事業者（バス事業者、トラック事業者等）と協議会等を設置し、研究開発成果の普及展開に向けた活動を行うこととし、その活動計画・実施方策については、提案書に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ともに、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の説明等を行うこと。

### ④研究開発成果のオープンな利用促進

本研究開発成果が広く一般に利用されるために、可能な限り特定の機器および技術への依存を排除し、基礎的な技術については容易に利用可能な技術を採用することを検討すること。

## (2) 提案および研究開発に当たっての留意点

本研究開発の提案に当たっては、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するとともに、運用性や経済性に関する優位性を示した上で、技術課題および目標達成に向けた研究方法、実施計画およ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得るとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を受けるため、学識経験者、有識者等を含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、研究計画書の中に可能な限り具体的に記載すること。

# <基本計画書>

## Ka 帯広帯域デジタルビームフォーミング機能による 周波数利用高効率化技術の研究開発

### 1. 目的

近年の衛星通信分野における技術動向として、ハイスループット衛星<sup>1</sup>(High Throughput Satellite(HTS))に代表される通信容量の大容量化と並び、衛星通信サービス提供エリアを柔軟に変更する技術の重要性が注目されている。

地上通信回線網の整備の進展をはじめ、新たな通信アプリケーションの出現、空や海といったより広範な活動領域におけるブロードバンド環境へのニーズの増大、人口の移動・変動など、衛星通信の事業環境は常に変動に晒されており、変化のスピードは年を追うごとに早くなっている。一方で、衛星本体は通信事業において非常に高価な投資となるため、技術開発による長寿命化が図られてきた。静止軌道の商用通信衛星の一般的な寿命は現状で約 15 年であるが、今後は電気推進技術の適用による軌道制御の効率化や信頼性技術の向上によりさらなる長寿命化が予想される。

衛星通信事業におけるこうした状況下において、サービスエリア等が固定される従来技術による事業形態のみでは、衛星寿命に相当する期間継続して需要が見込まれなければ、ビジネスモデルの成立性の観点から新規のサービス展開や拡大がしづらくなり、電波資源の有効利用の観点からも非効率なものとなる。また、使用周波数帯の観点からは、Ku 帯までの比較的低い周波数帯については衛星先進国が占有しており、世界的にも周波数逼迫が懸念されているため、Ka 帯以上で広帯域を使用する衛星通信への関心が高まっている。

そういった現状に対し、現在実用化されている HTS の技術は、トラヒック要求の空間的変動に対応して通信資源を柔軟に配分することができないものとなっている。具体的には、現在の HTS ではサービスエリアを固定的な複数の衛星ビームによって覆うマルチビーム構成をとるため、ビーム配置を網羅的にする必要があり、周波数利用効率の観点からは非効率なものとなっている。一方、ビーム配置を柔軟に変更できるマルチビーム技術が実現すれば、ニーズに応じたリソース配分を柔軟に実施することで、一層の周波数利用効率向上に繋がる。また、ビーム配置の変更は短時間でできることも重要であり、少なくとも災害発生時に被災地域のトラヒック要求の増加に対して即応性があることが求められる。

柔軟に構成できるビーム(可変ビーム)も用いたマルチビーム機能を、Ka 帯を使用する大容量の HTS に適用するためには、従来技術であるアナログのアクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA)では回路規模が増大する上、ビーム形成の柔軟性に限界

---

<sup>1</sup> 高速のインターネットサービス等の衛星通信需要に対応するため、数十～百 Gbps 程度の大容量伝送を実現する通信衛星

があることから、デジタル信号処理で多数のビームを運用でき、アンテナ給電系でビームの形状や位置を軌道上で柔軟に変更可能な機能(エリアフレキシビリティ機能)を有するデジタルビームフォーミング(DBF)技術を確立する必要がある。

本研究開発により Ka 帯の広帯域伝送に対応した DBF 技術等を開発し、可変ビームも用いたマルチビーム機能を大容量の HTS に適用することで、周波数利用効率を向上させることに加え、衛星搭載機器の国際競争力の向上に資することを目指す。

## 2. 政策的位置付け

### ・日本再興戦略 2016(平成 28 年6月2日閣議決定)

「我が国宇宙産業の国際競争力を強化するため、H3 ロケットや次世代衛星の開発を推進する」旨が記載されている。

### ・宇宙基本計画(平成 28 年4月1日閣議決定)

「通信・放送衛星に関する技術革新を進め、最先端の技術を獲得・保有していくことは、我が国の安全保障及び宇宙産業の国際競争力の強化の双方の観点から重要である。このため、今後の情報通信技術の動向やニーズを把握した上で我が国として開発すべきミッション技術や衛星バス技術等を明確化し、技術試験衛星の打ち上げから国際展開に至るロードマップ、国際競争力に関する目標設定や今後の技術開発の在り方について検討を行い、平成 27 年度中に結論を得る。これを踏まえた新たな技術試験衛星を平成 33 年度を目途に打ち上げることを目指す」旨が記載されている。

### ・電波政策 2020 懇談会報告書(平成 28 年7月 15 日)

Ka 帯を利用した衛星通信技術の高度化に向けた開発として、「衛星通信に関する高速大容量化のニーズが高まる中で、従来の Ku 帯のシングルビームで日本全土をカバーするだけでは今後も増大し続ける高度化ニーズに対応しきれない可能性がある。そのため Ka 帯のマルチビーム化によって通信の高速大容量化や端末の小型化を実現するほか、トラヒックに応じて周波数帯域やビームの方向性を柔軟に変更するような衛星通信システムを実現するためのミッション技術を開発し、技術試験衛星に搭載することが適当である」旨が記載されている。

### ・新たな情報通信技術戦略の在り方<平成 26 年 12 月 18 日付け諮問第 22 号>中間答申(平成 27 年7月 28 日情報情報通信審議会)

「海洋・航空域での広域ブロードバンド通信を実現するため、2021 年以降の次期技術試験衛星の打ち上げに向けて衛星搭載機器や衛星通信システム、高機能地球局システム等の基盤技術を確立し、ユーザ当たり 100Mbps 級の宇宙・海洋ブロードバンド通信衛星システムを実現する」旨が記載されている。

### 3. 目標

衛星通信サービスにおけるエリアフレキシビリティ機能を有する DBF 技術を確立し、形状・位置を軌道上で任意に変更可能な複数のビームをアンテナ給電系により形成できるようにする。それにより、エリアフレキシビリティ機能をこれまでの技術で実現可能なアナログの APAA に換えて DBF で実現することで、周波数の利用効率を 2.5 倍程度に向上させ、周波数の有効利用を図る。なお、本研究開発は、成果を平成 33 年度打上予定の次期技術試験衛星に搭載し、静止軌道上で実証評価を行うことを目的として行う。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

周波数利用効率を向上させるため、通信エリアをユーザ局の位置・配置に合わせて柔軟に変更することが可能な複数のビームを形成するフレキシブルペイロード技術の研究開発を行う。ユーザ局としては、船舶や航空機などの移動体も想定し、それらの位置に合わせて容易に変更することも可能とする。

従来、このような可変ビームを実現する DBF 技術は L/S 帯のような低マイクロ波帯で研究開発が進み実用化されているが、これを Ka 帯の広帯域の HTS に適用する技術については、例えば、広帯域化に伴い帯域内偏差が大きくなるため、帯域内の端と端のチャンネルで異なる最適なアレー励振係数を生成するなど、偏差を補正する技術が必要となることなどから、国内、海外において未だ開発されていない。本研究開発では、ブロードバンド環境へのニーズに応え、かつ Ku 帯までの周波数帯が世界的に周波数逼迫を懸念されている状況にも対応するため、DBF 技術を Ka 帯の広帯域信号に適用する。また商用衛星搭載に当たっては必要電力、搭載重量等衛星本体へのリソース要求およびコストを考慮する必要があり、HTS としての高データ伝送性能を確保しつつ商用衛星搭載が可能となるアンテナ方式の選定を行う。機器製作に当たっては、衛星搭載に求められる環境条件を満足する機器の研究開発を行うものとする。

#### (2) 技術課題および到達目標

##### 技術課題

##### ア 全体構成検討・総合評価

トラヒック要求の空間的変動に十分に対応する可変ビームを実現するに当たり、必要となる衛星通信システムの具体的要件を明らかにし、最終的に研究開発成果として得られた可変ビームによる周波数利用効率向上を評価する必要がある。

そのためには、トラヒック要求の発生エリアの変化に対して柔軟にビーム照射領域を変更可能な可変ビーム実現のための要求仕様を検討し、この要求を実現

するための通信ペイロードの全体構成や、DBF プロセッサ部、アンテナ・RF 部に対する要求仕様への落とし込みを行うこととなるが、要求仕様検討に当たっては、地上系を含めた最新のビームフォーミング技術を調査して、要求仕様への反映を行う必要がある。

また、エリアフレキシビリティを有する衛星通信システムを実現するためには、可変ビームを実現するコンポーネント単体の研究開発に加えて、衛星全体として所望のビーム形状・切換時間等の仕様どおりに可変ビームを実現できるかといった、衛星搭載状態での機能・性能を評価する必要がある。このため、研究開発したコンポーネントを搭載した衛星を含む全体通信システムの検証を行う。同時に本研究開発の成果として、周波数利用効率向上の最終評価を行い、その妥当性の確認を行う。

さらに、衛星搭載中継器にフレキシビリティ機能を付与したことに伴い、これを運用する地上ネットワーク機器・端末としても、衛星通信のフレキシビリティ機能を実現するシステムの構築が必要となる。ビームの形状・位置が可変となるため、これを考慮してそのビームへの周波数割り当て等の制御を適応的に最適化する必要がある。地上ネットワーク系システムとして、従来のネットワーク管制システムおよびミッション管制システムに対して通信を最適化させる機能を付与し、周波数有効利用を実現するための構成・機能・性能等の検討を実施する。

#### イ DBF プロセッサ部の開発

衛星搭載用 DBF 方式では、給電素子に供給する通信信号の位相／振幅(励振係数)を制御することで可変ビームを実現する。この励振係数をトラヒック要求の発生エリアの変化に応じて適切に決定することが課題である。例えば、サービスエリアを複数のビームでカバーしている場合、サービスエリアに欠損を生じさせないためには、トラヒックに応じて1つのビームの形状を変化させるだけでなく、複数のビームの形状を適切に変化させるために最適な励振係数を生成する必要がある。さらに、ビーム形状を変化させた時に隣接するビームへ漏洩する電力を最小にするように励振係数を生成することも必要である。

#### ウ アンテナ・RF 部の開発

衛星搭載用可変ビームアンテナは、DBF プロセッサ部に加え、増幅器等を備える RF 回路部、アンテナ素子、そして反射鏡などの放射部が一体となり実現されるものである。そのため、DBF プロセッサ部の励振係数の制御に加えて、可変ビーム実現に最適となるアンテナ・RF 部の開発が課題となる。

衛星搭載用可変ビームアンテナにおいて所望のビーム可変性を得るためには、アンテナ全体構成の実現性検討が必要となる。具体的には、より少ない給電素子数で広角ビーム偏向特性が得られるアンテナ構成の検討を、「イ DBF プロセッ



サ部の開発」との整合を取りながら実施することが必要である。

また、この検討の結果得られた構成の給電素子群は、限られた衛星実装エリアに構築する必要があるため、RF フロントエンドや各給電素子に必要な電力の信号を供給するための増幅回路等の小型化・高密度実装化技術の実現が必要となる。

## 到達目標

### ア 全体構成検討・総合評価

トラヒック要求発生エリアの変化に対してフレキシブルにビーム照射領域を変更可能なフレキシブルペイロード実現のための衛星通信システム全体構成を検討し、DBF プロセッサ部、アンテナ・RF 部の要求仕様および通信ペイロードの総合評価内容を策定する。策定に際しては、次期技術試験衛星バスへの搭載を前提とする。本研究開発ではトータルスループット 100Mbps 以上を検証することとし、開発成果を拡張することで将来システムとしてトータルスループット 1Gbps 以上の性能を得ることを目標とする。想定する通信性能としては地球局(アンテナ径 65cm 程度)に対して伝送速度 30Mbps~100Mbps 程度を提供することとする。また、フレキシブルな衛星搭載中継器を運用する地上ネットワーク機器・端末に対し、衛星通信のフレキシビリティ機能を実現するための構成・必要要件等を明らかにする。

さらに、研究開発した DBF による可変ビームアンテナの衛星搭載ペイロードシステムを構築し、実機および必要に応じシミュレーションを併用して、総合試験による性能評価を実施し、研究開発成果として得られた可変ビームによる周波数利用効率向上を評価し、従来に比べ約 2.5 倍の周波数有効利用の効果があることを確認する。なお、災害時のトラヒック要求の変化に即応できるよう、1時間以内でビーム配置を変更できることとする。

### イ DBF プロセッサ部の開発

DBF を構成する乗算回路に設定する位相／振幅(励振係数)を算出するアルゴリズムを開発する。DBF で形成するマルチビームの数は 4 ビーム以上とし、本研究開発成果を拡張することで将来システムとして 10 ビーム以上の性能を得ることを目標とする。DBF の処理帯域は 100MHz 以上とする。さらに、当該アルゴリズムをにより算出された励振係数を設定する機能を実証する DBF プロセッサ部ハードウェアを製作し、評価検証を行う。この評価結果を用い、「ア 全体構成検討・総合評価」で明らかにされた要件に適合した DBF プロセッサ部を実現する。さらに、衛星搭載に向け DBF プロセッサ部が衛星搭載可能であることを検証する。

### ウ アンテナ・RF 部の開発

衛星搭載用可変ビームアンテナにおいて所望のビーム可変性を得るためのアンテナ全体構成を検討し、少ない給電素子数で如何にして広角ビーム偏向特性

が得られるかについて各種アンテナ構成方式よりトレードオフを行った上で、可変ビームアンテナの方式を設計する。ビーム偏向特性は、日本の排他的経済水域（EEZ）をカバーできるように静止軌道から±1.5 度以上の範囲を照射できることを目標とする。また、所望のマルチビームを形成するために、検討したアンテナ全体構成に実装する RF 回路部の小型化高密度化技術を開発する。

これらの設計・開発結果を実証するアンテナ・RF 部の衛星搭載プロトタイプを製作し、アンテナ・RF 部の単体試験を行う。さらに、衛星搭載に向けアンテナ・RF 部が衛星搭載可能であることを検証する。

なお、開発に当たっては、「イ DBF プロセッサ部の開発」の実施内容との整合性を取りながら開発を進めるものとし、また、次期技術試験衛星による実証および将来システムへの拡張性を考慮して実施する。

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が、提案する研究計画に合わせて設定して良い。

(例)

<平成 29 年度>

ア 全体構成検討・総合評価

- ・衛星通信システム全体構成検討
- ・DBF オンボードプロセッサ、可変ビームアンテナの要求仕様策定
- ・地上ネットワーク機器・端末の構成・必要要件等の検討

イ DBF プロセッサ部の開発

- ・DBF プロセッサの基本設計
- ・DBF プロセッサに設定する位相／振幅(励振係数)を算出するアルゴリズムの開発およびその評価検証

ウ アンテナ・RF 部の開発

- ・可変ビームアンテナの方式検討・設計
- ・RF 回路部の方式検討・基本設計

<平成 30 年度>

ア 全体構成検討・総合評価

- ・衛星通信ペイロードの全体構成や性能等に関する仕様の最終決定
- ・衛星搭載通信ペイロードシステムの構築への着手
- ・通信ペイロードの総合評価内容の策定

#### イ DBF プロセッサ部の開発

- ・DBF プロセッサの詳細設計および衛星搭載プロトタイプ製作

#### ウ アンテナ・RF 部の開発

- ・アンテナ・RF 部の詳細設計および衛星搭載プロトタイプ製作

#### <平成 31 年度>

#### ア 全体構成検討・総合評価

- ・DBF による可変ビームアンテナの衛星搭載ペイロードシステムの構築
- ・実機およびシミュレーションによる性能評価

#### イ DBF プロセッサ部の開発

- ・製作した衛星搭載プロトタイプと励振係数算出アルゴリズムを用いた DBF プロセッサの単体試験による性能評価
- ・DBF プロセッサ単体での宇宙運用環境試験による品質評価

#### ウ アンテナ・RF 部の開発

- ・アンテナ・RF 部の単体試験による性能評価
- ・アンテナ・RF 部単体での宇宙運用環境試験による品質評価

### 5. 実施期間

平成 29 年度から 31 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み

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および終了後、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・団体およ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」および実用化等を実現するために必要な取組を図ること。

特に本研究開発では、前述の宇宙基本計画における記載事項を踏まえ、本研究開発の成果による軌道上評価の終了後も、国内での高速な衛星通信による災害対

策の手段又は様々な用途での衛星通信テストベッドとして機能することを目指している。別途搭載予定の通信ペイロードと連携することを前提に研究開発を行うこと。

また、平成 33 年度を目途とした打ち上げ予定の新たな技術試験衛星およびその後の軌道上評価を踏まえて、更には商用衛星等への搭載を想定して平成 36 年度までの実用化・製品化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ともに、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こと。また、周波数利用効率に関する目標の実現方法(多値変調と省電力化のトレードオフ等を踏まえた有効な提案が望ましい。)を具体的に提案し、周波数利用効率の評価に際して使用するシステムモデルを決定する際には、周波数利用効率の評価基準や定量的な数値目標を明確にし、その妥当性の検討を実施すること。また、従来技術との差異を明確にした上で、技術課題および目標達成に向けた研究方法、実施計画およ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。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。また、本研究開発においては原則として技術課題アの実施者が、研究開発課題全体の取りまとめを行うものとする(ただし、各技術課題の実施者間の調整により変更可能)。

なお、本研究開発成果は次期技術試験衛星への搭載を想定することから、本研究開発の共同研究体制は次期技術試験衛星の衛星バス開発と密接に協力できるように考慮すること。

# ＜基本計画書＞

## 狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発

### 1. 目的

本格的な IoT 時代が到来し、製造、農業、流通、インフラなど様々な分野で IoT が利用されている。例えば、製造業の工場においては、製品の品質維持・管理等のため、ロボット、機械、工具などにセンサー等の IoT 機器を取り付け、機器や機械の稼働状況の把握や制御、作業の品質管理等が行われ始めており、一つの狭空間における無線システムの数は千以上に達している。一方で、工場内の狭い空間では IoT 機器間の電波の輻輳、産業機械が動作することによる雑音、電波遮蔽、運搬装置・無線システムの移動に伴う電波環境の変化等により、安定した通信を維持できなくなるなど、IoT の導入に向けた課題となっている。

また、こうした課題は、工場だけでなく、倉庫や病院、オフィス・テナントビルといった施設内の狭空間において、様々な IoT 機器がネットワークに接続され、多様かつ大容量の情報をやり取りするようになった場合にも発生する課題であり、狭空間における周波数の稠密利用を可能とする技術を確立し、狭空間でも安定した通信を実現することが求められている。

そのため、本研究開発では、工場等の多数の IoT 機器の導入が想定される狭空間における周波数の管理・最適化技術や狭空間における無線環境学習・分析・予測技術等を確立するとともに、それら技術を検証するための実証環境を構築する。

### 2. 政策的位置付け

- ・「電波政策 2020 懇談会報告書」(平成 28 年 7 月 15 日)  
「第3章. 3. (2)② 次期における電波利用料の用途」において、「周波数のひっ迫や混信を回避し、IoT の超多数同時接続、超低遅延化に対応するため、(中略)異なる電波利用システム間の混信を排除して周波数の共同利用を促進する技術の研究開発を実施することが必要である」旨が記載されている。
- ・「新たな情報通信技術戦略の在り方 第2次中間答申」(平成 28 年 7 月 7 日)  
「第4章. 第1節. III. (1) 公共・産業分野の先端 IoT を実現する社会的、産業的重要性」において、「ファクトリーオートメーションの分野において、生産ラインを構成する製造設備をネットワークに接続し、IoT の導入により稼働状況を管理、制御することで、プロセス革新を図る取組が推進されている」旨が記載されている。
- ・「日本再興戦略 2016」(平成 28 年 6 月 2 日 閣議決定)  
「第2. I. 1. (2) i) エ」において、「2020 年までに、センサー等で収集したデータを、工場間、工場と本社間、企業間など組織の枠を越えて活用する先進事例を 50 件以上創出し、国際標準を提案する。また、本年4月に共同声明を発出したドイツをはじめ、各国との連携を一層強化する」旨が記載されている。
- ・「科学技術イノベーション総合戦略 2016」(平成 28 年 5 月 24 日 閣議決定)

「第2章(1)Ⅲ. i)新たなものづくりシステム」において、「我が国では、摺り合わせ型の設計・生産スタイルと現場の迅速な対応力を武器に競争力のある製品を提供してきた。この強みを一層強化するため、各現場における問題を、サイバー空間を活用して設計・生産にフィードバックする技術、及び、各現場の対応を模擬するシミュレーション技術(製造機器動作、部品製造シミュレーター等)の開発を行う」旨が記載されている。

### 3. 目 標

工場等の狭空間における膨大な IoT 機器等の安定的な通信を支える無線通信技術として、狭空間における無線環境の監視による複数の周波数の動的な管理技術、無線環境全体の最適化を考慮しつつ用途の異なる無線システム間の無線通信の最適化を可能にする技術、無線環境の学習・分析・予測技術等を確立し、これら複数の技術を組み合わせることで、3倍以上の周波数利用効率向上を目指すとともに、それら技術を検証するための実証環境を構築する。

### 4. 研究開発内容

#### (1)概要

本研究開発では、工場内等の狭空間において千以上の無線システムが利用され、IoT 機器等の移動などにより電波伝搬環境が刻々と変化する環境を想定し、狭空間において無線センサーシステム(920MHz 帯等)や無線 LAN システム(2.4GHz 帯等)をはじめとする多種多様な無線システムをシステム間の独立性を担保しながら利用できるよう、限られた電波資源を最大限に有効利用しながら、動的に周波数を管理する技術、高効率かつ高精度に無線環境を監視する技術、狭空間における無線環境を考慮した上で無線システム間の輻輳を回避し、最適化する技術、無線環境学習・分析・予測技術等を確立するとともに、それら技術を検証するための実証環境を構築するため、以下の区分により研究開発を実施する。

- ア 狭空間における周波数の管理・最適化技術の確立
- イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立
- ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証

なお、各技術の開発にあつては、各区分の研究成果を周波数有効利用技術として統合して研究開発目標を達成するため、本研究開発全体の取りまとめを行う実施者を定めるとともに、各区分の研究開発実施者は相互に連携・協力して研究開発を実施する。

更に、これらの研究開発成果を広く展開することで、IoT による狭空間の通信システム管理技術の早期の社会実装にも寄与するため、国内および海外の動向を調査し、実用化や狭空間におけるエリアネットワークを対象とする国際標準化を目指した取組を推進する。

#### (2)技術課題および到達目標

- ア 狭空間における周波数管理・最適化技術

##### 技術課題

工場等においては、施設内を頻繁に移動するロボット等の様々な機器を正確に制御す

ることや、多数の機器に取り付けられたセンサーからの情報を効率的に収集・分析すること等が求められており、頻繁なロボット等の機器配置の移動やセンサーの数の増加に追従するためには、無線による通信を選択する必要がある。そのような工場等の狭空間においては、複数方式の無線システムおよび無線機器が多数存在することにより電波の輻輳が発生し、大幅なスループットの低下や通信の途絶が発生するという課題があり、機器等の頻繁な移動等により時々刻々と変化する無線環境を考慮した上で、無線システム間の輻輳を回避し、狭空間内全体の無線通信を最適化し、個々のアプリケーションに応じた許容遅延時間内で安定した通信を可能とする無線システムが必要である。

このため、工場等の様々な狭空間で利用される 920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯、60GHz 帯の周波数を利用する無線システムを管理・制御するため、狭空間における無線環境情報を収集し、無線システムの利用周波数やデータの送受信を管理し、無線システム間の無線通信を最適化する以下の技術を確立する。

- ・狭空間内における複数周波数の動的な管理技術
- ・狭空間内の様々な電波伝搬やその変化に応じた無線環境情報の収集・分析による監視技術
- ・狭空間内におけるアクティブセンシングのための空中線利得、空中線指向性可変技術
- ・複数の無線システムや個々のアプリケーションに応じた無線端末等の送信タイミングや送信パターン、周波数切り替え等の制御による輻輳回避技術

#### 到達目標

工場等の狭空間において利用可能な複数の周波数帯(920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯、60GHz 帯の中から少なくとも2つ以上の周波数帯)について、各周波数帯における周波数帯域使用率、送受信電界強度、データパケット損失といった周波数管理に必要な無線環境情報を少なくとも3つ以上収集し、それぞれの無線システムの周波数の利用状況を動的に監視し、収集された無線環境情報を基に端末とも連携しながら安定かつ円滑な通信環境が保たれるよう、狭空間内全体の通信状態の管理・制御を可能とする。

また、狭空間内での機器の移動等に伴う無線環境の空間的・時間的な変化等にも対応し、狭空間において利用される複数の用途の異なる無線システム間の輻輳を回避し、無線通信の最適化を可能とする。

以上の技術を確立し、周波数の利用帯域の削減およびデータ送信の再送を削減する相乗効果により周波数利用効率について3倍以上の向上を実現する。

#### イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立

##### 技術課題

工場等の狭空間においては機器の移動等が頻繁に発生し、電波伝搬に影響を及ぼす構造物や周辺環境が時々刻々と変化する。また、これら設備や機器に設置されるセンサー類は多種類かつ膨大であり、用途等に応じて異なる周波数や通信方式を利用している。このような状況で、効率的かつ安定的な無線通信を可能とするためには、狭空間における適切な場所から無線環境情報を収集し、またその情報を活用して狭空間の無線環境を推定して任意の場所・時刻における無線環境を分析・予測することで、最適な制御を自動で行う、

もしくは、現場ユーザが制御前後でどのような変化が起こるかを理解して切り替えを行う必要がある。

更に複数の周波数を同時に利用出来るようにするため、独立した無線システムに対して最適な周波数割当等を周波数管理技術により動的に行えるよう狭空間の周波数特性や電波伝搬特性を推定する必要があることから、無線環境の分析・予測技術のため無線環境のモデル構築を行う技術および電波伝搬特性の分析・予測のために狭空間から取得した複数の無線環境情報を学習し、より具体的な推定を行うためその学習結果を分析・予測手法にフィードバックする無線環境学習技術が必要である。

加えて、工場等の機器の頻繁な移動等に対応するため、施設管理者等の現場ユーザが、適切な無線機器やセンサーの配置や問題発生リスクが高い場所を特定し、迅速に問題解決に対応出来るよう、分析・予測結果が分かりやすいものとなるよう、ユーザビリティを工夫する必要がある。

そのため、課題アに記した周波数監視技術および管理技術によって収集された狭空間の無線環境情報から、無線環境を学習および分析し、狭空間内の任意の場所・時刻における無線環境の予測を行い、その結果の可視化を行うことにより、限られた電波資源を有効に活用しつつ動的な無線通信制御を行うため、以下の技術を確立する。

- ・無線環境分析・予測技術
- ・無線環境の予測・制御のための無線環境シミュレーションモデルを生成する技術
- ・無線環境の分析・予測精度向上のための実際の無線環境情報の学習技術
- ・無線の専門家でない現場ユーザのために意思決定支援のためのシミュレーションを行い、その結果を可視化するシミュレーション基盤技術

#### 到達目標

課題アに記した周波数監視技術および管理技術によって収集された少なくとも3施設以上の実際の狭空間の無線環境情報(ロボット・機器等の動作・移動等による電波伝搬の変化により発生するデータパケット損失や受信電界強度等)に基づき、無線環境を学習および分析し、狭空間内の任意の場所・時刻における無線環境の予測を行う技術および、この予測に基づいた無線システムの管理・制御を行うためのコンピューターシミュレーションモデルを少なくとも1つ以上確立する。

更に、狭空間における電波伝搬のコンピューターシミュレーションに対して、無線の専門家ではない現場ユーザが機器の移動等に伴う無線機器の設置場所変更、通信方式の変更等が容易に実施出来るよう、狭空間内における受信電界強度の時間変動や無線接続の安定性、通信の混雑度等を可視化する技術を確立する。

#### ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証型環境の構築・実証

##### 技術課題

課題アの周波数監視技術および管理制御技術等を取り入れた新たな無線システムを実際の狭空間に導入する際にはその無線システムの動作保証・評価のほか、既に他の無線システムが運用されている狭空間に導入する際には、それらの無線システム同士が相互に及ぼす影響を評価し、それぞれの無線システムが安定動作することを確認することが必要



である。

そのため、課題アにより開発された無線システムを狭空間に導入することを想定し、新設する無線システムの動作保証や評価、新設する無線機器が既設の他の無線機器に対して及ぼす影響および受ける影響の評価を行うため、以下の技術を確立する。

- ・無線システムの性能評価を定量的に評価する試験環境構築技術
- ・工場内に新設する無線システムが、既設の他の無線システムと互いに及ぼし合う影響を確認する工場内機器エミュレーション技術

#### 到達目標

特定の狭空間環境下における無線システムの性能評価を実現するため、少なくとも1つ以上の実際の狭空間において収集された無線環境情報およびその情報から生成されたモデルを用いて、対象となる無線環境を再現するためのエミュレータを構築する。なお、エミュレータの構築に当たっては、狭空間で利用される少なくとも1つ以上のアプリケーションを想定し、電波の反射、通信の混雑、データパケットの損失や受信電界強度の低下等が発生しても、課題アにより開発された無線システムが安定動作可能であること確認する環境を実現する。

なお、上記課題ア、イ、ウの目標を達成するにあたっての毎年度の目標については、以下に例示するが、提案する研究計画に合わせて設定すること。

(例)

<平成 29 年度>

ア 狭空間における周波数の管理・最適化技術の確立

- ・複数周波数の管理を可能とする無線プラットフォーム技術
- ・周波数およびその利用率の監視を可能とするセンシング技術の開発
- ・用途の異なる複数の無線システム間の輻輳回避を可能とする通信制御技術の開発

イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立

- ・局所空間の無線環境情報を用いた無線環境学習・分析・予測技術の開発
- ・無線環境の予測・制御を可能とする無線環境シミュレーションモデル生成技術の検討
- ・シミュレーション結果の可視化を可能とするシミュレーション基盤技術の検討

ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証

- ・工場内の新旧無線システム同士の相互作用の検証を可能とするエミュレーション技術の開発
- ・工場内機器と無線伝搬環境が受ける影響の相互作用の検証を可能とするエミュレーション技術の開発
- ・無線システムの性能評価を可能とする試験環境構築技術の検討

<平成 30 年度>

ア 狭空間における周波数の管理・最適化技術の確立

- ・複数周波数の管理を可能とする無線プラットフォーム技術の検証および改良

- ・狭空間における周波数監視システムの検証および改良
- ・複数無線システム間の輻輳回避技術の検証および改良
- イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立
  - ・無線環境学習・分析・予測技術の検証および改良
  - ・無線環境シミュレーション技術の開発
  - ・シミュレーション基盤技術の開発
- ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証
  - ・工場内機器エミュレーション技術の検証および改良
  - ・無線環境エミュレーション技術の検証および改良
  - ・試験環境構築技術の開発

<平成 31 年度>

- ア 狭空間における周波数の管理・最適化技術の確立
  - ・狭空間における周波数監視・管理・制御技術の検証
  - ・狭空間における周波数監視・管理・制御システムの統合
- イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立
  - ・無線環境学習・分析・予測技術の統合およびその評価
  - ・無線環境シミュレーション技術の検証
  - ・シミュレーション基盤技術の検証
- ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証
  - ・工場内機器エミュレーション技術と無線環境エミュレーション技術の統合実装および部分統合検証
  - ・試験環境構築技術の検証および統合実験を可能にする技術

<平成 32 年度>

- ア 狭空間における周波数の管理・最適化技術の確立
  - ・狭空間における周波数管理技術の統合試験技術およびその検証
  - ・狭空間における周波数監視・輻輳回避技術のシステム統合の実装および検証
- イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立
  - ・無線環境学習・分析・予測技術と無線環境エミュレータとの統合技術および検証
  - ・無線環境シミュレーション技術およびシミュレーション基盤技術のシステム統合を可能にする技術および検証
- ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証
  - ・工場内機器エミュレーション技術および無線環境エミュレーション技術の統合検証
  - ・試験環境構築技術のシステム統合の検証

**5. 研究開発期間**

平成 29 年度から 32 年度までの4年間

**6. その他 特記事項**

## (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および終了後、戦略的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・団体およ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」および平成37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。なお、研究開発を進めるに当たっては、基礎検討、研究・開発、市場への適応を並行して進め、研究開発成果を順次実用化するなど成果の早期展開を進めること。

### 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

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、技術課題や周波数利用効率等の到達目標の達成に向けた前提条件、達成までの根拠やモデル、研究方法、実用的な成果を導出するための実施計画および年度目標について具体的に提案書に記載すること。

② 研究成果が様々なユーザにとって利用可能なものとなるよう、目標の達成に向けた適切な研究成果の取扱方策(研究開発課題の分野の特性を踏まえたオープン・クローズ戦略を含む)を提案書に記載すること。

③ 複数機関による共同研究を提案する際には、研究開発全体を整合的かつ一体的に行えるよう参加機関の役割分担を明確にし、研究開発期間を通じて継続的に連携するための方法について具体的に提案書に記載すること。

④ 本研究開発は総務省施策の一環として取り組むものであることから、総務省が受託者に対して指示する、研究開発に関する情報および研究開発成果の開示、関係研究開発プロジェクトとのミーティングへの出席、シンポジウム等での研究発表、共同実証実験への参加等に可能な限り応じること。また、IoTの産学官による推進団体であるスマートIoT推進フォーラムとも必要に応じて連携を図ること。

⑤ 研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。また、情報通信審議会、総務省における各種検討会等の議論を踏まえながら研究開発を進めること。

- ⑥ 研究開発の実施にあたり不明点がある場合は、本研究開発の担当課室まで問い合わせること。

### (3) 人材の確保・育成への配慮

- ① 研究開発によって十分な成果が創出されるためには、優れた人材の確保が必要である。このため、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備に関して具体的に提案書に記載すること。
- ② 若手の人材育成の観点から行う部外研究員受け入れや招へい制度、インターンシップ制度等による人員の活用を推奨する。また、可能な限り本研究開発の概要を学会誌の解説論文で公表するなどの将来の人材育成に向けた啓発活動についても十分に配慮すること。これらの取組予定の有無や計画について提案書において提案すること。

# <基本計画書>

IoT 機器増大に対応した有無線最適制御型電波有効利用基盤技術の研究開発

## 1. 目的

多種多様な規格かつ莫大な数（2020 年には 500 億台以上と推測）の IoT 機器の普及に伴い、周波数のひっ迫や他のシステムとの混信への対応が必要である。これらの IoT 機器と接続する無線ネットワークにおいて、様々な事業者による柔軟なサービス提供を可能とするため、センサーネットワークのアプリケーションの特徴に基づく空間的・時間的に格段に緻密な電波利用を実現する有線・無線ネットワーク統合制御技術を確立する。

この技術により、IoT サービス毎の要件に合わせた有線・無線区間の最適制御を実現することで、センサーネットワーク（センサー端末からセンサー基地局まで）の周波数利用効率を 3 倍以上に向上させ、かつ、センサーネットワークを収容する無線システム（センサー基地局からセンサー基地局を束ねる無線基地局まで）の周波数利用効率を 3 倍以上に向上させることを目指す。また、国際標準を獲得することで、我が国の国際競争力の強化に寄与する。

## 2. 政策的位置付け

- 「世界最先端 IT 国家創造宣言」（平成 28 年 5 月 閣議決定）
    - II. 「国から地方へ、地方から全国へ」（IT 利活用の更なる推進のための 3 つの重点項目）
      - II - 2. 【重点項目 2】 安全・安心なデータ流通と利活用のための環境の整備
      - II - 2 - (1) 利用者志向のデータ流通基盤の構築
- [主な取組内容]
- (基盤を支える技術開発等)
- ・ データ流通基盤を支えるネットワーク等技術（第 5 世代移動通信システム（5G）、ソフトウェア制御、仮想化技術の活用等）の研究開発、国際標準化、総合実証及び社会実装を推進。また、低廉かつ高速のブロードバンド環境が利用できるよう事業者間の公正な競争条件の確保等、競争政策を促進する取組を推進。
- 「世界最先端 IT 国家創造宣言 工程表」（平成 28 年 5 月 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）
    - 2. 【重点項目 2】 安全・安心なデータ流通と利活用のための環境の整備
    - (1) 利用者志向のデータ流通基盤の構築
- (基盤を支える技術開発等)
- 総合的な IoT 技術の研究開発等の推進【総務省】

- 「電波政策 2020 懇談会 報告書」(平成 28 年 7 月 15 日)

1. 電波利用料の見直しに関する基本方針

- (2) 電波利用共益事務の在り方

- ② 次期における電波利用料の用途

- (ii) IoT の社会展開に向けた電波有効利用技術の研究開発・実証

IoT システムは、超多数同時接続、超低遅延といった特性が求められるとともに、膨大な IoT 機器等が電波を使いネットワークに接続され、それらがネットワークを介して制御される巨大なシステムとなっており、周波数のひっ迫や他のシステムとの混信への対応に当たっては、単体の無線システムについての検討のみならず、このような IoT システムの特性を踏まえたシステム全体を通じた有無線一体となった周波数有効利用技術の開発が必須である。

- 「周波数再編アクションプラン(平成 28 年 11 月改定版)」(平成 28 年 11 月 総務省)

新しい電波利用の実現に向けた研究開発等

- (2-2) 人を介さない機器間通信(M2M)の拡大

機器と機器間の通信である M2M システムやワイヤレスセンサーネットワークの飛躍的拡大により、人、様々な家電や設備、家、車、電車、インフラをはじめとしたあらゆる「もの」がワイヤレスでつながりうる社会が実現すると想定されることから、以下について取り組む。

- ① 920MHz 帯、2.4GHz 帯及び 5GHz 帯の電波を利用する IoT システムにおいて、IoT の超多数同時接続や低遅延化に対応するため、ネットワーク仮想化技術やプラットフォーム技術等を応用することにより、IoT 機器とネットワークの有線・無線一体となった IoT システム全体を最適に制御し、周波数の有効利用を図る技術等の研究開発を推進する。

3. 目標

多種多様な規格かつ莫大な数(2020 年には 500 億台以上と推測)の IoT 機器が接続される無線ネットワークにおいて、様々な事業者によるサービスの提供に対応するため、ネットワーク仮想化技術やプラットフォーム技術等を応用し、空間的・時間的に格段に緻密な電波利用を実現する有無線ネットワーク統合制御技術を開発・実証する。

これにより、IoT サービス毎の要件に合わせた有線・無線区間の最適制御を実現することが可能となる。IoT 機器が今後 2 倍以上の台数に増大し、それに伴う通信データ量に対応するための目標設定として、有無線区間のリソースの周波数占有時間の低減や動的割当等を図ることで、センサーネットワーク(センサー端末からセンサー基地局まで)の周波数利用効率を 3 倍以上に向上させるとともに、有無線変

換効率の向上と光ファイバ無線システムの大容量化等を図ることで、多数のセンサーネットワークを収容可能な無線システム（センサー基地局からセンサー基地局を束ねる無線基地局まで）の周波数利用効率を 3 倍以上に向上させることを目指す。

#### 4. 研究開発内容

##### (1) 概要

本研究開発では、有無線ネットワーク統合制御技術として、①多数の IoT サービスを収容する有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術、②多様な IoT サービスに適応する低遅延有無線プラットフォーム技術、③実環境評価を併用する有無線エミュレーション<sup>※1</sup>／シミュレーション技術を開発する。このうち、②多様な IoT サービスに適応する低遅延有無線プラットフォーム技術については、「イ 低遅延を保証する有無線プラットフォーム技術」、「ウ 短距離無線アクセスネットワークの大容量化技術」および「エ モバイルフロントホール／バックホールの通信リソース管理技術」に細分化し、①を「ア 有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術」、③を「オ 実環境評価を併用する有無線エミュレーション／シミュレーション技術」として、以下に掲げる 5 つの技術課題を研究開発対象とする。

- ア 有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術
- イ 低遅延を保証する有無線プラットフォーム技術
- ウ 短距離無線アクセスネットワークの大容量化技術
- エ モバイルフロントホール／バックホールの通信リソース管理技術
- オ 実環境評価を併用する有無線エミュレーション／シミュレーション技術

なお、各技術の研究開発成果については、IoT 機器増大に対応した有無線最適制御型電波有効利用基盤技術として統合する必要があることから、いずれの技術の研究開発実施者も相互に連携・協力して実施するとともに、本研究開発全体の取りまとめを行う実施者を定めるものとする。

また、開発した技術については、ITU 等の国際標準化機関・団体への有無線ネットワーク分野（コアネットワークおよび広域のエリアネットワークを対象）に関する標準化提案を行い、我が国の国際競争力の強化に資する。

（※1）ある装置やソフトウェア、システムの挙動を別のソフトウェアなどによって模倣し、代替として動作させること。

##### (2) 技術課題および到達目標

- ア 有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術

###### **技術課題**

従来の管理者の手動による仮想システムの構成変更は、サービスの多様化およびサービス提供サイクルの高速化に伴って実質的に困難となるため、抽象化リソースプールの運用・品質状況のデータ分析等の手段に基づく高度な解析を実現す

ることによりリソース割り当てアルゴリズムの強化を図り、電波利用をはじめとする効率の改善とサービス開発側ニーズへのダイナミックな対応を仮想システム自動制御として実現する必要がある。

このため、多種・多様な IoT サービスの品質要件や利用状況等に関するデータ分析に基づき制御モデルを継続的かつ動的に改善することにより、複数の無線アクセスシステムリソースを柔軟に割り当てし、電波利用効率等の物理リソース効率を IoT サービスの拡大・進展に適応可能とする抽象化リソースプールの自動制御技術を開発する。

#### 到達目標

多数多様な IoT サービスが混在しながら需要拡大する状況に応じて、センサーネットワークの仮想化に基づく多目的リユース技術の実現により IoT サービスが使用する周波数占有時間を 1/3 以下に低減することで、周波数利用効率を 3 倍以上とすることを目標とする。また、複数のセンサーネットワークを多重化して無線通信システムセッションへ集約することにより無線通信システムの周波数利用効率を 3 倍以上とすることを目標とする。

その実現にあたっては単に接続数を増加させるだけではなく、種類・数ともに膨大となる個々の IoT サービスにリソースを割り当てる制御動作の変更を、高度なデータ分析技術を活用することにより自動化し、管理コストの指数関数的増大を抑止可能なスケーラブルな仮想システム制御を実現する技術も併せて確立する。

### イ 低遅延を保証する有無線プラットフォーム技術

#### 技術課題

周波数資源のひっ迫や電波の混信を回避しつつ、IoT サービスの超多数同時接続性、超低遅延性といった多様な要求に対応するためには、膨大な IoT 機器からのトラヒックをいち早くバックホールネットワークに收容する、アンテナ張り出し構成の IoT 無線基地局と光アクセスネットワークを活用した有無線プラットフォームの実現が必要である。しかし、既存のネットワーク転送技術や有無線変換技術をそのまま適用すると、有無線プラットフォーム全体としての低遅延性の担保が困難であり、有無線フレームの再送制御やフレーム衝突・競合等により引き起こされる輻輳により、有無線プラットフォームによる時間的・空間的周波数利用効率の向上が十分に期待できないという課題がある。

これらの課題を解決するため、低遅延保証制御技術、過剰トラヒックの抑制技術、低遅延信号転送技術および低遅延の有無線変換のための波形符号化技術に基づくフロントホール技術より有無線プラットフォーム全体における過剰遅延を低減し、輻輳の抑制やサービスの確立等に係る信号の優先転送を実現することで、IoT トラヒックの多様な要求に応えつつ、同一周波数帯での単位面積当たりの同時接続数を飛躍的に増加する低遅延有無線プラットフォーム技術を開発する。



## 到達目標

低遅延性を満足しつつ、超多数同時接続などの多様な IoT サービスを効率的に收容する遅延保証型ネットワークの設計手法と、トラヒック特性を分析し、その結果に基づき、数マイクロ秒オーダーの処理遅延で優先度の高い信号を判別し転送する信号転送技術を確立する。また、MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) 伝送方式を含む多様な伝送方式の IoT 無線信号を高速・高効率にフロントホールに收容する、低遅延波形符号化・圧縮技術を確立する。

これらの技術を統合的に最適化することで、有無線プラットフォーム全体における遅延を 1 ミリ秒以下に低減し、無線通信規格に影響を及ぼすことなく、多様な要求の IoT トラヒックを收容可能な有無線プラットフォーム技術を確立し、同一周波数帯での単位面積当たりの同時接続数を既存技術の 3 倍以上に増加することを目標とする。

## ウ 短距離無線アクセスネットワークの大容量化技術

### 技術課題

電波減衰による通信品質劣化があるため、IoT 機器等の多数のデバイス群を効率的かつ簡便に接続する必要がある。既存の技術では、1 つのアクセスポイントで広いエリアをカバーするために、放射電力を大きくする必要があり、また、干渉による伝送速度の低下や再送が頻発し、電波利用効率の悪化が起こる。そこで、遅延を低減しつつ簡便な構成でシームレスなデータ伝送を実現するためには光ファイバ無線技術 (RoF: Radio over Fiber) の利用による無線波形転送 (無線信号をファイバ内でそのまま転送することで、遅延を抑えつつ、簡易に無線信号を長距離転送できる技術) が有効である。しかし、RoF を構成するための低コストの光-電気変換デバイスは単純なオンオフ信号形式向けに開発されているものがほとんどであり、高い線形性・高速性と簡便な構成を合わせ持つ送受信器が必要である。

これらの課題を解決し、高効率でかつ安価な無線アクセスネットワーク構成を実現するために、マルチモードファイバに代表される簡易接続性に優れた低コストの光ファイバを利用した RoF による有無線伝送技術の活用が期待される。ビル内、さらには自動車、列車内を含む異なる電波空間同士をシームレスかつ低遅延に低コストの光ファイバで接続する有無線中継光アクセスシステムが必要である。そのため、RoF システムの簡易設置化や大容量化による、有無線送受信変換技術によって、空間を伝搬する電波を抑制し無線信号を伝送距離や利用環境によらず高信頼に伝送するための技術を開発する。

### 到達目標

光ファイバ伝送のメリットを活かした、200m 以上で既存のフロントホール (10Gbps のデジタル伝送を用いたもの) の 3 倍以上の無線波形転送の能力をもつ光

ファイバ無線伝送システムおよび短距離での簡易接続性に優れる有無線伝送システムを開発し、フロントホール伝送および屋内配線伝送後の無線信号放射を想定した実証実験を行う。これにより無線信号を伝送距離や利用環境に依存せず伝送し、空間を伝搬する電波を抑制し、機器に与える電波の影響を低減することによって、壁などの遮蔽物が多く存在する環境における周波数利用効率を3倍以上に向上する。

また、光ファイバ伝送後の電波の質（占有帯域、スプリアス抑圧など）は、波形伝送において重要な要素である歪み（相互変調歪等）により劣化する。光ファイバの無線電波の波形伝送後の歪みは、空間に放射される無線電波そのものに影響し、スプリアス等の悪化による帯域劣化によって、電波共用利用の悪化が懸念される。そこで、低コストの光ファイバの曲げや接合部の不完全による歪みを解析し、実使用環境を反映した条件（定常モード励振、2ターン巻き）において曲げ半径5ミリメートルの際に増大する損失0.2dB以下、帯域劣化10%以下に抑圧するとともに、コネクタ接続における帯域劣化10%以下を目標とすることにより、光ファイバ伝送後の電波の質を確保する。

## エ モバイルフロントホール/バックホールの通信リソース管理技術

### 技術課題

移動通信網のバックボーンを担うモバイルフロントホール/バックホールを構成する装置（BBU(Base Band Unit)、EPC(Evolved Packet Core)、エッジサーバ等）を個別に制御した場合、サービス毎の要求やトラフィック状況に応じて通信リソースを物理的かつ固定的に提供することとなり、有無線ネットワークの通信リソースを効率的に利用することができず、新規サービスの追加やダイナミックなサービス要件変更時にも迅速に対応することができないという課題がある。これらの課題を解決するためには、モバイルフロントホール/バックホールの通信リソースを仮想化し、サービス毎に最適な通信リソースを割当て、運用することが必要となる。

そこで、モバイルフロントホール/バックホールの通信リソース管理技術として、モバイル端末の移動やサービス利用の変化に応じて最適な通信リソースをダイナミックに割り当てる管理・制御アルゴリズムおよびモバイルフロントホール/バックホールを構成する装置を集約する低遅延かつ高速割当て可能な有無線通信リソースプラットフォームを開発する。

### 到達目標

モバイルフロントホール/バックホールの通信リソースを統合的に管理するため、通信リソース管理技術を確立し、低遅延、大容量、多数同時接続等の異なる要求条件を持つサービスの収容効率を3倍以上にすることで、周波数利用効率を3倍以上に向上させることを目標とする。

また、仮想化されたモバイルフロントホール/バックホールにおいて、抽象化

リソースをダイナミックに物理リソースに変換し、割り当てる制御方式を実現し、新規サービス追加・サービス要件変更時の仮想ネットワークの構築をサブミリ秒以下で実現することを目標とする。

これらの管理技術を検証するために、有無線通信リソースプラットフォームを実装し、ダイナミックな制御に求められる数十マイクロ秒以下の切替速度を達成する。有無線通信リソースプラットフォームの実装に当たっては、10 マイクロ秒以下の速度での切替えが可能な物理リソースおよび多数接続が可能なモバイルフロントホールの実機を製作の上で動作・性能の検証を行う。

## オ 実環境評価を併用する有無線エミュレーション／シミュレーション技術

### 技術課題

有無線ネットワーク統合制御技術によって IoT サービスが提供される時代には、多種多様な規格かつ莫大な数の IoT 機器が無線ネットワークに接続されることから、周波数利用効率を増加させるためには、同一規格内および異なる規格間の干渉対策が不可欠である。各無線機器および無線ネットワークが具備すべき周波数利用効率の増加を目的とした干渉回避・抑圧技術の開発は、機器開発の段階において IoT サービスの利用シナリオに従って干渉計算を行い、その結果を機器、ネットワークの技術仕様へフィードバックして、収容端末数および遅延時間等の IoT サービス要件を満たすことを担保してから、製造過程へと移行することが求められる。この過程を短期間で行うためには、開発段階においても利用シナリオに従った被干渉環境を模擬して機器評価を行うエミュレーション／シミュレーション技術の確立が求められる。

このため、IoT サービスの利用シナリオ（無線機器の密度および移動等）およびサービスが提供される環境（地形や建物配置等）に基づき、再現性を確保しつつ想定される電波伝搬特性を模擬する電波伝搬モデルを開発し、このモデルを用いた干渉シミュレーション技術を開発する。また、無線ネットワークの動作をソフトウェア上で再構成可能とし、多種多様な規格を模擬するために無線機器の各種パラメータ（周波数帯域幅および収容端末数等）を設定することが可能な無線機器端末のエミュレーション技術を開発する。さらに、有無線ネットワーク統合システムとして評価を行うために、有無線ネットワーク統合エミュレーション／シミュレーション技術を確立する。なお、本研究開発では特に屋外で利用される技術に着目した無線技術を対象とする。

### 到達目標

多種多様な規格に対応可能なエミュレーション／シミュレーション技術を検証するため、電波伝搬特性や無線機器の性能に関して、実環境における測定値とエミュレーション／シミュレーション結果との比較を目的とした試験環境を、大規模なエミュレーション基盤を活用して構築する。このエミュレーション基盤としては、100m×100m の領域における電波伝搬特性を模擬して、2 種類以上の無線

システムから構成される 50 台の IoT 機器間の接続環境を検証する機能を提供することを目標とする。本試験環境では、各技術課題において開発する有無線統合ネットワーク技術の総合的な評価試験が実施可能であり、かつ、IoT サービス提供者又はサービス利用者が利用可能となる、有無線エミュレーション/シミュレーション基盤を整備する。

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が、提案する研究計画に合わせて設定して良い。

(例)

<平成 29 年度>

ア 有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術

- ・ IoT 仮想システムおよびこれを収容する物理システムのリソース消費動作に関するビッグデータの解析により、仮想システムへのリソース割り当てを動的に変更する技術の検討、開発および評価を行う。

イ 低遅延を保証する有無線プラットフォーム技術

- ・ IoT サービスのトラフィック特性を利用した制御技術の検討と開発および評価を行う。
- ・ 低遅延波形符号化・圧縮技術についての理論検討を行う。

ウ 短距離無線アクセスネットワークの大容量化技術

- ・ 低コスト光ファイバ等の基本特性、曲げ損失について検討を行う。
- ・ 低コスト光ファイバ等の波形伝送システムのモデル構築を行う。

エ モバイルフロントホール/バックホールの通信リソース管理技術

- ・ 通信リソース抽象化方式の検討を行う。
- ・ 抽象化リソース割当アルゴリズムの検討を行う。
- ・ 抽象化リソース-物理リソース変換方式の検討を行う。
- ・ 有無線連携制御アーキテクチャの検討を行う。
- ・ 有無線連携通信リソース割当のアルゴリズムの開発およびシミュレーション検証を行う。
- ・ 有無線通信リソースプラットフォームの設計を行う。
- ・ 小型高速波長可変トランシーバの設計を行う。

オ 実環境評価を併用する有無線エミュレーション/シミュレーション技術

- ・ 20 台以下の範囲で IoT 機器の数を可変し、10m×10m の領域の環境を模擬することが可能なエミュレーション技術を確立し、その性能を評価する。
- ・ 立体空間上での無線環境のシミュレーション基盤を試作する。

<平成 30 年度>

ア 有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術

- ・大規模システムの自動的自律的運用において、セキュリティ対策や障害対応・可用性まで含めたリソース効率化を実現するため、システム障害を容易に解析することのできるスケーラブルな管理制御プロセス技術の検討、開発および評価を行う。

イ 低遅延を保証する有無線プラットフォーム技術

- ・IoT サービスのトラヒック特性を利用した制御技術の機能拡張および評価を行う。
- ・低遅延波形符号化・圧縮技術の特性について理論解析を行う。

ウ 短距離無線アクセスネットワークの大容量化技術

- ・高 SHF 帯対応光-電気変換デバイスの開発を行う。
- ・低コスト光ファイバの曲げ損失特性、接続部における伝送劣化に関する検討を行う。

エ モバイルフロントホール／バックホールの通信リソース管理技術

- ・抽象化リソース割当アルゴリズムのソフトウェア開発を行う。
- ・有無線ネットワーク仮想化装置開発および検証環境構築を行う。
- ・有無線連携通信リソースのダイナミック割当アルゴリズムの開発およびシミュレーション検証を行う。
- ・有無線通信リソースプラットフォームの試作および動作検証を行う。
- ・小型高速波長可変トランシーバの試作を行う。

オ 実環境評価を併用する有無線エミュレーション／シミュレーション技術

- ・前年度までに開発したエミュレータを拡張し、100m×100m の領域において 2 種類以上の無線システムを同時に模擬して動作可能とする技術を確立することにより、開発した無線エミュレータで得られたデータを活用したエミュレーション／シミュレーションモデルを構築し、簡易的な無線技術の検証を実現する。

<平成 31 年度>

ア 有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術

- ・高度なデータ解析手法を活用することにより有無線ネットワークシステムの制御モデルをオンラインで再構成することにより、大量の IoT 仮想システム運用を利用状況に応じて効率化するスケーラブルな抽象化リソース自動制御技術の検討、開発および評価を行う。

イ 低遅延を保証する有無線プラットフォーム技術

- ・IoT サービスのトラヒック特性を利用した制御技術を用いたプラットフォーム技術の検証、評価を行う。
- ・低遅延波形符号化・圧縮技術について実験的検証、評価を行う。

ウ 短距離無線アクセスネットワークの大容量化技術

- ・高 SHF 帯対応光-電気変換デバイスの試作と評価を行う。
- ・曲げ不感ファイバ等の試作と特性評価を行う。

エ モバイルフロントホール/バックホールの通信リソース管理技術

- ・抽象化リソース割当制御の機能検証を行う。
- ・有無線連携通信リソースの最適割当の検証を行う。

オ 実環境評価を併用する有無線エミュレーション/シミュレーション技術

- ・前年度までに開発したエミュレータをさらに拡張し、台数に対してスケラブルにエミュレーション実行可能な技術を確立し、それにより 50 台の IoT 機器を同時に模擬する性能を有することを示す。
- ・前年度まで構築してきたエミュレータを大規模計算機群に適用し、利用者がより容易に無線シミュレーション/エミュレーションを利用できるよう研究開発を進める。

<平成 32 年度>

ア 有無線ネットワーク仮想化の自動制御技術

- ・開発した複数の IoT サービスが混在する仮想負荷環境およびシステム障害のエミュレーションにより、スケラビリティおよび可用性を評価する。

イ 低遅延を保証する有無線プラットフォーム技術

- ・課題オとの連携のもと、低遅延有無線プラットフォーム技術のテストベッド実証を行い、研究開発技術の総合評価を行う。

ウ 短距離無線アクセスネットワークの大容量化技術

- ・研究開発技術の総合評価として、課題オとの連携のもと、ビル内、さらには自動車等の実環境を想定した伝送実験時における無線アクセスネットワークでの波形品質の解析、SHF 帯光ファイバ無線システム実験および無線アクセスネットワークの大容量化技術との整合性の評価・検証を行う。

エ モバイルフロントホール/バックホールの通信リソース管理技術

- ・有無線通信リソースプラットフォームの高速動作検証を行う。

- ・有無線連携ネットワークの動的制御デモ環境構築および実証試験を行う。

#### オ 実環境評価を併用する有無線エミュレーション／シミュレーション技術

- ・前年度までに開発した無線シミュレーション・エミュレーション環境を拡張し、課題ア、課題イ、課題ウおよび課題エの有無線統合ネットワーク技術と連携することで、オープンなテストベットとして大規模シミュレーション／エミュレーション環境を整備する。

### 5. 実施期間

平成 29 年度から 32 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および終了後、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・団体およ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」および平成 37 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、技術課題および目標達成に向けた研究方法、実施計画およ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＞

IoT ワイヤレスセキュリティ通信における周波数有効利用技術に関する研究開発

## 1. 目的

全世界の IoT デバイスの数は、2015 年に約 158 億台であるが、2020 年には約 304 億台に達すると予測されているなど、IoT 時代には、通信ネットワークに接続される IoT ワイヤレスデバイスの急速な増加が見込まれている。これまでインターネット等のネットワークに接続していなかった機器が通信機能をもつことになり、多くの IoT 機器のマルウェア感染や乗っ取りが発生し、さらにその機器を悪用した DDoS 攻撃等の事例が多数発生している。また、HEMS 等の消費者向けサービスやコネクテッドカー等の自動車関連サービスに関連する IoT の脅威例も多数報告されている（※1）。加えて、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）のサイバー攻撃観測・分析システム（NICTER）において、2015 年に観測されたサイバー攻撃 545 億件のうち、約 4 分の 1 が IoT デバイスを狙った攻撃であり、IoT ワイヤレスデバイスにおけるサイバーセキュリティ対策は、より一層求められる。そのため、IoT ワイヤレスデバイスのセキュリティを確保するために、今後、IoT ワイヤレスデバイスの機器認証や IoT ワイヤレスデバイスが扱うデータ認証が重要となるが、データ認証に係る通信トラフィックの増大によって周波数がひっ迫すると考えられている。

さらに、官公庁や企業等を狙った DDoS 攻撃等のサイバー攻撃のトラフィック量は年々増加している状況にあり、サイバーセキュリティ対策が十分には施されていない IoT ワイヤレスデバイスが DDoS 攻撃等の踏み台にされると、ワイヤレスネットワーク上に膨大な不正通信トラフィックが流れることも懸念されている（※2）。

このような状況を踏まえ、本研究開発では、認証プロトコルのメッセージのデータ量を削減する技術、認証のやり直し回数を削減する技術、暗号データのサイズを削減する技術、ワイヤレスネットワーク上における DDoS 攻撃等の不正な通信トラフィックを軽量な実装で検知して抑制することで周波数のひっ迫を抑止する技術等の確立を行い、周波数の有効利用に資することを目的とする。

※1 「IoT セキュリティガイドライン Ver1.0」

[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000428393.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000428393.pdf)

※2 「CDNetworks Whitepaper WP-9 2014 年 DDoS 攻撃の動向と今後の見通し」

<http://www.cdnetworks.co.jp/data/whitepaper.html#wp-9>

## 2. 政策的位置付け

・サイバーセキュリティ戦略（平成 27 年 9 月 4 日 閣議決定）

5. 目的達成のための施策

5. 1 経済社会の活力の向上及び持続的発展

5. 1. 1 安全な IoT システムの創出

（4）IoT システムのセキュリティに係る研究開発・実証

「IoT システムの構成要素の特徴を加味した情報通信技術の開発・実証事業を行う」との記載あり。

- ・日本再興戦略 2016（平成 28 年 6 月 2 日 閣議決定）

## 第 2 具体的施策

### I 新たな有望成長市場の創出、ローカルアベノミクスの深化等

#### 1. 第 4 次産業革命の実現

##### (2) 新たに講ずべき具体的施策

##### ii) 第 4 次産業革命を支える環境整備

##### ⑥サイバーセキュリティの確保と IT 利活用の徹底等

##### ア) サイバーセキュリティの確保

「官民を挙げた取組を進め IoT システム対策、研究開発、国際ルール等の形成等を強かに推進する。」との記載あり。

- ・電波政策 2020 懇談会 報告書（平成 28 年 7 月 15 日）

## 第 3 章 制度見直しの方向性

### 1. 電波利用料の見直しに関する基本方針

#### (2) 電波利用共益事務の在り方

##### ②次期における電波利用料の使途

##### (オ) 電波資源拡大のための研究開発、周波数ひっ迫対策のための技術試験事務

##### (ii) IoT の社会展開に向けた電波有効利用技術の研究開発・実証

「IoT 無線機器に関し、セキュリティ上の脆弱性が原因で発生する大量かつ不要な電波放射を抑制する技術や周波数のひっ迫を低減するための軽量暗号・認証技術等の研究開発も必要である。」との記載あり。

## 3. 目 標

IoT 時代においては、IoT デバイスの普及によりワイヤレスネットワークへの接続デバイス数が増加するとともに機器認証のための通信トラフィックの増加が懸念されている。そこで、本研究開発では、IoT デバイスの使用が想定される周波数帯（700MHz 帯/800MHz 帯/900MHz 帯/1.5GHz 帯/1.7GHz 帯/2GHz 帯/2.4GHz 帯/5GHz 帯等）を対象とし、低消費電力であることが求められる膨大な数の IoT ワイヤレスデバイスの機器認証及びデータ認証時に効率的に通信する軽量認証技術を確立することにより、IoT ワイヤレスデバイスにおける同一周波数・時間での有効データ（通信データのうち、認証・暗号データを除いたアプリケーションデータ）量の 17%以上向上を目指す。あわせて、IoT ハブ（複数の IoT デバイスと接続しネットワークを介してクラウド上のサーバ等と送受信する装置）において、軽量な実装で、無線伝送の特徴を考慮したリアルタイムの帯域推定を行い、データの送信量を調整する技術を確立することで、現状としては送信されていないが追加で送信可能なデータ量の割合を削減し、同一周波数・時間での通信データ量を 1.5 倍以上に増加させることを目指す。

また、コスト上の問題により、IoT ワイヤレスデバイスが不正な通信を検知するた

めの十分なハードウェア能力を具備できないという課題がある一方で、IoT ワイヤレスデバイスが DDoS 攻撃等の踏み台となり多数の不正な通信が行われる懸念がある。そこで、軽量な実装により、IoT ワイヤレスデバイスの乗っ取りや詐称等による不正通信を 20 秒以内に検知・抑制することで、不正な通信の周波数占有率を低減し、同一周波数・時間での有効データ量の増加を目指す。

#### 4. 研究開発内容

##### (1) 概要

本研究開発では、低消費電力であることが求められる IoT ワイヤレスデバイスの認証通信時のデータ量や回数を削減することやアプリケーションデータ通信時の暗号データサイズを削減する等の軽量認証技術、無線伝送の特徴を考慮したリアルタイムな帯域推定により送信データレートを制御する通信効率改善技術、ワイヤレスネットワーク経由で侵入してくる不正な通信（DDoS 攻撃等）を軽量な実装で検知し、抑制する不正通信検知・抑制技術を開発する。

##### (2) 技術課題および到達目標

###### 技術課題

###### ア) 軽量認証技術/通信効率改善技術の開発

###### (ア-①) 認証時通信データ量低減技術

IoT システムの認証については、認証にかかわる通信データ量が比較的大きく、ワイヤレスネットワークに流れる認証用データが大きいという問題がある。これに対して、TLS/DTLS (Transport Layer Security/Datagram Transport Layer Security) 等の標準プロトコルを対象として、例えば認証プロトコルのメッセージのデータ量を削減するなどにより、ワイヤレスネットワークを流れるデータ量を削減する技術を開発する。この技術により、個々の IoT ワイヤレスデバイスの通信における認証通信部分の周波数占有率を低減し、空いた周波数部分を新たに活用可能となるため、同一周波数・時間での有効データ量の増加につながり、周波数利用効率の向上に資する。

###### (ア-②) 認証回数低減技術

IoT ワイヤレスデバイスのメモリリソースが小さいと認証情報のメモリからの喪失により頻繁に認証（ハンドシェイク）のやり直しが必要となり、その都度、ワイヤレスネットワークに比較的大きな認証メッセージを流すことになる（通信データ量が大きくなる）という問題がある。これに対して、TLS/DTLS 等の標準プロトコルを対象として、例えば IoT ワイヤレスデバイスの認証情報の管理を最適化するなどにより、認証のやり直し回数を削減する技術を開発する。この技術により、個々の IoT ワイヤレスデバイスの通信における認証通信部分の周波数占有率を低減し、空いた周波数部分を新たに活用可能となるため、同一周波数・時間での有効データ量の増加につながり、周波数利用効率の向上に資する。

#### (ア-③) 暗号付加データ量低減技術

暗号データに付加する情報が比較的大きいと、ワイヤレスネットワークに流れる暗号データも大きくなるという問題に対し、TLS/DTLS 等の標準プロトコルを対象として、例えば暗号データのサイズを削減する技術などを開発する。この技術により、個々の IoT ワイヤレスデバイスの通信におけるアプリケーション通信部分の周波数占有率を低減し、空いた周波数部分を新たに活用可能となるため、同一周波数・時間での有効データ量の増加につながり、周波数利用効率の向上に資する。

#### (ア-④) 通信効率改善技術

IoT ワイヤレスデバイスの増加に伴い、認証や暗号化といったセキュリティ確保のための通信データ量が増大する傾向にあり、限られた周波数資源で効率的に伝送することが求められる。一般的に TCP/IP ネットワークでは、バーストトラフィックとの競合や、ネットワーク上でのパケット廃棄が過度なスループット減少を引き起こすため、周波数資源が空いていたとしても十分な送信データを出力できない現象が発生し、周波数資源を有効活用できないことが懸念される。

本問題を解消するためには、適切な送信データのスループットを推定する技術が必要であるが、ワイヤレスネットワークでは有線と異なり、電波環境の変動による帯域変化があり、有線と比較して適切な帯域推定が難しくなる。この問題に対して、IoT ワイヤレスデバイスから IoT サーバにデータを伝送する際、IoT ハブにおいて、軽量な実装でリアルタイムの帯域推定を実施し、どの程度のデータ伝送が可能な環境かを推定しながら、データの送信量を調整する技術を開発する。本技術により、バーストトラフィックとの競合等の条件下での帯域推定が原因で生じる、現状としては送信されていないが追加で送信可能なデータ量の割合を削減でき、同一周波数・時間での通信データ量を 1.5 倍以上に増加させることで、周波数の利用効率の向上に資する。

#### イ) 不正通信検知・抑制技術の開発

IoT ワイヤレスデバイスから IoT ハブ、ワイヤレスネットワークを通して IoT システムのサーバにデータを伝送するシステムにおいて、IoT ワイヤレスデバイスが DDoS 攻撃等の踏み台となり不正な通信が行われること、並びに、IoT ハブが不正な通信を検知するために十分なハードウェア能力がコスト上の問題により具備できないという課題がある。例えば、ワイヤレスシステムとしてセルラシステムを活用する場合、各基地局に属する IoT ハブ、または同 IoT ハブに属する IoT ワイヤレスデバイスのいずれか 1 台でも DDoS 攻撃等の不正攻撃を受けると、断続的に基地局の周波数資源を消費し、他ユーザの利用を妨げることになる。また、同様の不正攻撃が首都圏内の基地局数千局で同時に発生すると、首都圏全体で正規利用サービスを妨害することになる。

本問題に対して、IoT ハブにおいて、軽量な実装で不正データ (DDoS 攻撃等) を検知し、ワイヤレスネットワークへの不正な通信を抑制する技術を開発する。こ

の技術により、不正な通信の周波数占有率を低減し、空いた周波数部分を新たに活用可能となるため、同一周波数・時間での有効データ量の増加につながり、周波数利用効率の向上に資する。

## 到達目標

### ア) 軽量認証技術/通信効率改善技術の開発

1 コネクションにおいて通信データ量の 50%を認証データが占めているとのデータがあり (※3)、(ア-①) (ア-②) (ア-③) で開発した技術により、例えば認証時の通信データ量や認証回数の削減および暗号化データ送信時の暗号付加データ量を削減し、同一周波数・時間での有効データ量の 17%\* 以上向上を目指す。

\* TLS/DTLSハンドシェイクにおける証明書データや認証データ及びアプリケーション通信における暗号付加データのうち、削減が見込めるデータ量から目標値を設定。

### ※3 「The Cost of the “S” in HTTPS」

[http://conferences2.sigcomm.org/co-next/2014/CoNEXT\\_papers/p133.pdf](http://conferences2.sigcomm.org/co-next/2014/CoNEXT_papers/p133.pdf)

またワイヤレスネットワークは有線と比較して電波環境および遮蔽物の有無等の構造物の地理的環境にも影響を受けやすく、スループット低下がどの程度あるか予測が難しいという問題がある。そこで (ア-④) で開発した、リアルタイムの帯域推定を実施し、データの送信量を調整する技術により、現状としては送信されていないが追加で送信可能なデータ量の割合を削減でき、同一周波数・時間での通信データ量を 1.5 倍\* 以上に改善することを目指す。

\* 一般的にサーバ等の環境で適切な帯域推定を行った場合に得られる効果と同等程度の改善効果を、軽量な実装での IoT ハブにおいても出すことを目標として設定。

### イ) 不正通信検知・抑制技術の開発

IoT ハブを通過するパケット各々に対し、数多くの検知条件に合致しているかどうかをリアルタイムに判定することはハードウェア能力を必要とするため、攻撃に使われなくなった検知条件は破棄し、新たな攻撃を検知するための検知条件を取り入れることで、攻撃者の手法に合わせて少ない検知条件合致判定で効率的に攻撃を検知する技術が必要となる。これを実現するために、新たな攻撃検知条件を IoT ハブに反映、更新する手法により新規攻撃へも対応する。小リソースな IoT ハブに実装可能な軽量化技術により、IoT ワイヤレスデバイスの乗っ取りや詐称等による不正通信を 20 秒\* 以内に検知・抑制することで、不正な通信の周波数占有率を低減し、空いた周波数部分を新たに活用可能となるため、同一周波数・時間での有効データ量の増加につながり、周波数利用効率の向上に資する。

\* 既存の有線通信で用いられている機器については、不正通信が大量に出た場合に 20 秒程度で検知・抑制するものが一般的であり、コンピュータリソースの少ない無線の IoT 機器の世界で実現することも加味して「20 秒」の目標値を設定。

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が、提案する研究計画に合わせて設定して良い。

(例)

<平成29年度>

ア 軽量認証技術/通信効率改善技術の開発

- ・軽量認証技術の方式設計およびプロトタイプ開発を行う。
- ・通信効率改善技術の方式設計およびプロトタイプ開発を行う。

イ 不正通信検知・抑制技術の開発

- ・不正通信検知・抑制技術の方式設計およびプロトタイプ開発を行う。

<平成30年度>

ア 軽量認証技術/通信効率改善技術の開発

- ・軽量認証技術のプロトタイプ評価を行う。
- ・通信効率改善技術のプロトタイプ評価を行う。

イ 不正通信検知・抑制技術の開発

- ・不正通信検知・抑制技術のプロトタイプ評価を行う。

<平成31年度>

ア 軽量認証技術/通信効率改善技術の開発

- ・軽量認証技術の方式改良および評価（IoTハブの仕様検証）を行う。
- ・通信効率改善技術の方式改良および評価（IoTハブの仕様検証）を行う。

イ 不正通信検知・抑制技術の開発

- ・不正通信検知・抑制技術の方式改良および評価（IoTハブの仕様検証）を行う。

## 5. 実施期間

平成29年度から平成31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36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。

また、4.(2)で開発した技術を統合実装した実証環境を構築し、開発した技術の有効性と実用化に向けた技術的課題を評価すること。その際、統合実証環境においても、4.(2)の到達目標を達成する性能を得ることを目標とすること。なお、統合実証環境は、実運用されているIoTワイヤレスネットワークに近いシステム環境又は実用的な利活用シーンを想定したシステム環境とすること。