

<基本計画書>

無人航空機の目視外飛行における周波数の有効利用技術の研究開発

1. 目的

小型無人航空機の安全な利活用の推進に向けて、官民一体となって 2020 年代以降に有人地帯（第三者上空）での目視外飛行（レベル 4）による小型無人航空機の利用の取り組みが進められている。

こうした中、現在、小型無人航空機が利用する電波と同一帯域／隣接帯域には様々な電波利用が混在し、これらが干渉を起こすことで飛行の安全が脅かされるリスクが想定され、これまで定性的な危険性は指摘されてきたが、定量的なデータ、電波環境モデルや基準がなく、第三者上空での飛行安全性が保証されていない。本研究開発では、都市部上空での定量的な電波環境調査及び干渉リスク並びに機上における電波干渉を評価し、そうした環境で使用される周波数帯の電波環境をモデル化し、第三者上空で小型無人航空機を安全に運用するための電波利用の指針策定に役立てるとともに、干渉リスクを検知・回避する技術を開発することで周波数の効率的な利用を促進する。

一方、小型無人航空機の目視外飛行については、第三者が存在する蓋然性が低い地域での荷物配送等の実現に向け、離島、洋上や山間部を含む広域における小型無人航空機の利活用が進められている。このような地域では通信インフラが十分でなく、高信頼で安定した通信の確保を図るため、高高度を飛行する無人航空機等（以下、「高高度無人航空機等」という。）による中継通信システムの利活用が有効であると考えられ、当該システムと既存インフラとの補完利用により、より安全な目視外飛行を確保する高信頼かつ安定した通信インフラの整備が可能となる。本研究開発では、高高度無人航空機等と低高度を飛行する多数の小型無人航空機の間との中継通信において、広角度かつ短距離から長距離までの通信エリアをカバーし、システム内の相互干渉や他業務との干渉を低減するとともに、高い秘匿性をもつ多元接続技術を確立する。さらに本研究開発の成果は、国際民間航空機関（ICAO）で検討している 5 GHz 帯の C2 リンク（Command and Control Link：航空機の機体を制御する無線通信）を想定するものであり、その周波数帯の利活用に向けての ICAO における国際標準化に向けた検討に資するものである。

上記 2 つの技術開発は、電波環境の複雑な都市部及び通信インフラの不十分な山間部や海洋部等において今後利用の拡大が期待される小型無人航空機の安全な運用と普及に資する課題として位置付けられている。

2. 政策的位置付け

(1) 「空の産業革命に向けたロードマップ 2018 ～小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備～」(「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」議長：内閣官房内閣審議官(内閣官房副長官補(内政担当)付)平成30年6月15日とりまとめ)

- ① ロードマップにおける災害対応分野の技術開発課題として、2020年代以降に、衛星、高高度無人機、LTE等の通信インフラの高度化により多数の小型無人航空機を一括即時管理する運航管理システムの確立と現場への導入が謳われている。
- ② ロードマップの中で、2020年代頃以降に有人地帯(第三者上空)での目視外飛行(レベル4)による小型無人航空機の利活用を本格化させるため、必要な技術開発及び環境整備を官民が一体となり推進していく方針が示された。

(2) 「未来投資戦略2017」(平成29年6月閣議決定) 抜粋

I Society 5.0に向けた戦略分野

2. 移動サービスの高度化、「移動弱者」の解消、物流革命の実現

(2) 新たに講ずべき具体的施策

iv) 小型無人機(ドローン)等の産業利用の拡大に向けた環境整備

- ・ 小型無人機について、来年には山間部などニーズの見込まれる地域で荷物配送を実施し、2020年代には人口密度の高い都市でも安全な荷物配送を本格化させるため、補助者を配置しない目視外飛行や第三者上空飛行など高度な飛行を可能とするための技術開発及び制度的対応を進める。福島浜通り地域の実証フィールドの活用を通じて機体の性能評価基準を本年度中に策定し、複数の機体の同時活動を可能とする運航管理システム・衝突回避技術等の開発や国際標準化を進めるとともに、目視外飛行の実現に向けた電波利用の在り方について、小型無人機の運航ルール・技術開発の進展も踏まえて、調査・検討を進める。あわせて、補助者を配置しない目視外飛行に係る機体や操縦者等の要件を本年度中に明確化し、航空法に基づく許可・承認の審査要領を来年度早期に改訂するとともに、関係者との合意形成・安全対策の策定に取り組む協議会を活用した申請手続の合理化を検討する。こうした小型無人機などロボット技術の活用により、物流効率化など産業利用の拡大を図る。

7. 「ロボット革命/バイオ・マテリアル革命」

i) ロボット革命

① ロボット新戦略の実行・進化

小型無人機について、来年には山間部などニーズの見込まれる地域で荷物配送を実施し、2020年代には人口密度の高い都市でも安全な荷物配送を本格化させるため、補助者を配置しない目視外飛行や第三者上空飛行など高度な飛行を可能とするための技術開発と制度的対応を進める。福島浜通り地域の実証フィールドの活用を通じて機体の性能評価基準を本年度中に策定し、複数の機体の同時活動を可能とする運航管理システム・衝突回避技術等の開発や国際標準化を進めるとともに、目視外飛行の実現に向けた電波利用の在り方について、小型無人機の運航ルール・技術開発の進展も踏まえて、調査・検討を進める。あわせて、補助者を配置しない目視外飛行に係る機体や操縦者等の要件を本年度中に明確化し、航空法に基づく許可・承認の審査要領を来年度早期に改訂するとともに、関係者との合意形成・安全対策の策定に取り組む協議会を活用した申請手続の合理化を検討する。こうしたドローンの産業利用の拡大に向けた技術開発・制度的対応を進め、これらを通じたドローン産業の活性化を図る。

3. 目標

(1) 小型無人航空機における他業務の電波等からの混信・干渉回避のための電波利用技術の研究開発

小型無人航空機を目視外飛行させる際に用いるコマンド及びテレメトリ、映像伝送用の無線通信（920MHz帯、2.4GHz帯、5.6GHz帯及び5.7GHz帯等）において、他の業務やシステムが用いる電波との間の混信・干渉を定量的に評価するとともに、これを回避するための電波利用技術を確立し、相互の干渉を空間的な手段等で低減することにより、従来の通信に比べて電波利用効率を少なくとも2倍以上改善するとともに、都市部上空等における電波利用の定量的な指針を得ることにより、都市部上空等で目視外飛行を行う際の通信の高信頼性、耐環境性及び周波数の有効利用に資する。

(2) 高高度を飛行する無人航空機等と衛星及び小型無人航空機間の無線通信における周波数有効利用技術に関する研究開発

通信インフラが十分でない離島、洋上や山間部を含む広域で今後利用が進むとみられる小型無人航空機の運用を管理するため、高高度無人航空機等の利用による中継システムを想定し、これを中心に従来の通信距離に比べて10倍以上の長距離の通信エリアをカバーするとともに、これまでの100倍以上の同時接続数を可能とし、かつ秘匿性の高い通信確保に向けた多元接続技術を確立する。さらに限られた5GHz帯の周波数帯域を地上通信、無人航空機間又は衛星

通信の利用形態が混在することから、帯域効率の高い共用を可能とする技術を実現することにより、周波数の共用利用を促進する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

① 小型無人航空機における他業務の電波等からの混信・干渉回避のための電波利用技術の研究開発

都市部等の第三者上空で、低高度で運用される多数の小型無人航空機を想定し、そうした環境で使用される様々な周波数帯(920MHz 帯、2.4GHz 帯、5.6GHz 帯及び 5.7GHz 帯等)の電波環境をモデル化し、小型無人航空機の安全な飛行に影響を与え得る地上の無線業務からの干渉リスクを検知し、これを回避する技術の開発を行う。本技術は、既存技術をベースとし、ドローンの飛行特性、搭載環境及び電波利用環境に適応した技術として新たに開発する。

具体的には、

(ア) 都市部等上空における複数周波数帯を対象とした電波環境モデルの開発

(イ) 小型無人航空機に搭載した電波センサ(アレーアンテナ等)による電波環境の動的空間検知技術と干渉電波の動的空間分離技術

(ウ) 電波環境に適応した周波数帯間ハンドオーバー技術

の研究開発を行うとともに、周波数帯の切換えの他、複数周波数帯の同時利用の技術検討も併せて行う。

本研究開発の成果に基づき、第三者上空で無人航空機を安全に運用するための電波利用の指針策定及び運用に役立てることを目指すとともに、第三者上空での本格的な事業を安全に行うための無線技術のモデルとして確立する。

② 高高度を飛行する無人航空機等と衛星及び小型無人航空機間の無線通信における周波数有効利用技術に関する研究開発

災害対応等で山間部や離島、洋上等の広域にわたって小型無人航空機が運用されることを想定し、本研究開発では、高高度無人航空機等とそれより低い高度を飛行する多数の小型無人航空機の間において、5GHz 帯の周波数帯を活用し、広角度かつ短距離から長距離までの通信エリアをカバーし、相互の干渉や他業務との間の干渉を低減するとともに、秘匿性の高い通信を確保した多元接続技術を確立する。本技術は、既存技術をベースとし、高高度無人航空機等の飛行条件、搭載条件及び電波利用環境に適応した技術として新たに開発する。

具体的には、

- (7) 高高度無人航空機等に搭載される長距離広角度のアレーアンテナによる多元接続技術
- (イ) 高高度無人航空機等と小型無人航空機間、高高度無人航空機等と衛星間、高高度無人航空機等とその地上制御局間の通信を同一の5 GHz 帯の周波数帯で効率よく共用するための技術条件と共用技術
- (ウ) それらの通信に用いる秘匿性の高い暗号化技術の研究開発を行う。

本研究開発の成果は、並行して開発が進むと想定される高高度無人航空機等技術の進展をはじめ、国際的な周波数利用との調和、並びにそれらの制度化を考慮しつつ、高高度無人航空機等へ統合化したシステムの開発を経て、実用化を目指すこととする。

(2) 技術課題及び課題内容

技術課題

- ① 小型無人航空機における他業務の電波等からの混信・干渉回避のための電波利用技術の研究開発

- (7) 都市部等の上空における電波環境モデルの開発

小型無人航空機にて主に利用されている周波数帯とその周辺には、無線局免許不要バンド（920MHz 帯、2.4GHz 帯、5.6GHz 帯）及び無線局免許バンド（無人移動体画像伝送システム、DSRC、LTE、アマチュア局）がある。飛行レベル4（目視外、第三者上空）の環境では、小型無人航空機の運航に必要な通信に影響を与える可能性がある様々な既存無線局が存在する。しかしながら、第三者上空（特に、都市部上空等）における定量的・統計的な電波環境データは存在せず、小型無人航空機の通信の安全性評価のための手法が確立していない。

- (イ) 電波環境の動的空間検知技術及び他業務の電波からの混信・干渉の動的分離技術

飛行レベル4（目視外、第三者上空）のような飛行環境では、具体的な電波環境の状況を高精度かつ動的に把握することにより、既存業務と同一又は隣接周波数帯域を共用しつつ干渉リスクを回避するための飛行計画の作成や干渉回避技術の導入による周波数利用の更なる効率化が考えられる。しかしながら、搭載重量や消費電力が制限されている小型無人航空機における搭載無線設備に地上系の既存無線設備で用いられているような空間検知技術、動的分離技術を実装し、それぞれの手法の特徴・性能を比較評価し、用途による適用性の違いは明確化されていない。特に、飛行レベル4

(目視外、第三者上空)のような飛行環境にて、小型無人航空機を飛行しながら動的空間検知、動的分離する場合、手法によっては、動的に変化するマルチパスの影響や飛行特性の影響を受け、検知性能や分離性能が劣化する等の課題を有している。

(ウ) 環境適応周波数帯域利用技術

都市部等の上空では、インフラ型通信が利用可能な場合があるが、インフラ型通信のカバレッジ外に飛行するような場合や災害時等では非インフラ型通信を利用する必要性が生じる場合がある。そのため、利用可能な周波数帯に応じて周波数帯間をハンドオーバーすることや干渉に耐性があるよう周波数帯間をハンドオーバーし、小型無人航空機が利用する通信の信頼性を高めることが望まれているが、そのための環境適応周波数帯域利用技術が確立されておらず、またそのハンドオーバー基準やその効果について十分に検証されていない。

② 高高度を飛行する無人航空機等と衛星及び小型無人航空機間の無線通信における周波数有効利用技術に関する研究開発

(ア) 長距離・広角度の多元接続技術

高高度無人航空機等から低高度を飛行する小型無人航空機間において、テレメトリ情報やコマンド情報等の通信を行うためには、約130度～180度の広角範囲を通信エリアとして均一にカバーする必要があり、かつ無人航空機の旋回による電界変動を抑制したアンテナ技術及びビーム形成技術が必要となる。また、これらのアンテナの特性に整合した効率のよい空間・周波数多元接続技術の実現が必要となっている。

(イ) 5 GHz 帯の周波数共用技術

高高度無人航空機等から低高度を飛行する小型無人航空機間、高高度無人航空機等から地上制御局間、更には高高度無人航空機等と衛星間の利用形態が想定され、同一の5 GHz 帯の周波数帯内をこれらの利用形態で共用するために相互干渉低減技術を検討し、相互に通信品質を維持しながら限られた帯域にできるだけ多くの小型無人航空機の通信需要を収容する必要がある。

(ウ) 高秘匿性暗号化技術

小型無人航空機の運航においては、飛行の安全性の確保や機体の乗っ取り・盗難対策の観点から、より信頼性やセキュリティの高い通信が求められている。高高度無人航空機等と低空を飛行する小型無人航空機間の通信

において、通信の認証及び暗号化を図る必要があるとともに、通信に使用する暗号鍵の発行・更新等は、より、効率的かつセキュリティの高いものでなくてはならない。

到達目標

① 小型無人航空機における他業務の電波等からの混信・干渉回避のための電波利用技術の研究開発

(ア) 都市部等の上空における電波環境モデルの開発

ビルや小型無人航空機等に設置した電波環境モニタ等により、小型無人航空機等において使用が想定される周波数帯（920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯、5.6GHz 帯及び 5.7GHz 帯等）について、都市上空における様々な電波発信源によるマクロな電波環境の計測を行い、干渉評価用途に耐えられるような、統計的に十分な特性が得られるデータを蓄積し、それを基に都市上空における 3次元電波環境のモデルを構築する。

(イ) 電波環境の動的空間検知技術及び他業務の電波からの混信・干渉の動的分離技術

小型無人航空機が飛行しながら、その運航に影響する可能性のある既存無線局の位置を動的に検知する技術として、シングルアンテナやマルチアンテナ等による動的空間検知技術を開発し、装置単体の性能として角度誤差±1度以下で検知可能な技術を確立する。さらに、マルチアンテナ技術によるビームフォーミングを用いることで、動的な空間分離を実現し、電波の到達距離の長距離化及び同一チャンネルで2台以上の共用を実現する。

(ウ) 環境適応周波数帯域利用技術

小型無人航空機が利用する無線通信の信頼性を維持するために、場所や状況により利用可能な周波数帯に応じ、周波数帯間をシームレスにハンドオーバーすることや耐干渉性のある最適な周波数帯域を利用する技術を確立する。

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。

(例)

<2019年度>

(ア) 都市部等の上空における電波環境モデルの開発

- ・都市部等の上空における電波環境モデル構築のために、電波環境モニタを設計し、構築する。

- (イ) 電波環境の動的空間検知技術及び他業務の電波からの混信・干渉の動的分離技術
 - ・電波環境の動的検知技術のための信号処理技術を検討し、机上検討において角度誤差±1度以下となることを確認する。
 - ・電波環境の動的検知技術のためのハードウェアの基本設計を完了する。
- (ウ) 環境適応周波数帯域利用技術
 - ・小型無人航空機が飛行しながら利用可能な環境適応型周波数帯域利用技術の概念設計を行う。

<2020 年度>

- (ア) 都市部等の上空における電波環境モデルの開発
 - ・都市部、地方都市等の環境毎にそれぞれ代用的な複数箇所（例：高層等密集環境、低層ビル環境、低層住宅環境、住宅・山野混在環境など）を選定し、代表的な時間帯におけるデータを電波環境モニタにより収集し、定量的・統計的なモデルの構築法を検討する。なお、それぞれの場所では、小型ドローンの利用が想定される 150m 以下から 3 高度程度を選び、1 キロ平方メートルの範囲内（携帯電話の基地局間距離が 200m（都市部）、500m（地方都市）であることを踏まえ、比較可能なメッシュサイズとする。）で代表的な場所、時間帯を設定しデータを収集する。
- (イ) 電波環境の動的空間検知技術及び他業務の電波からの混信・干渉の動的分離技術
 - ・実際に小型無人航空機が飛行しながら電波環境の動的検知技術の精度を検証し、角度誤差±1度以下となることを確認する。
 - ・マルチアンテナ技術による空間分離技術を設計し、開発を完了する。
- (ウ) 環境適応周波数帯域利用技術
 - ・2019 年度の概念設計に基づき、環境適応周波数帯域利用技術を実装する。
 - ・周波数間をハンドオーバーする場合に要する時間や干渉への耐性を評価検証する。
- (エ) 総合実証実験
 - ・フィールド評価のための機器の選定、フィールド評価場所を選定する。
 - ・必要に応じて小型無人航空機の飛行許可・承認申請等の準備をする。

<2021 年度>

- (ア) 都市部等の上空における電波環境モデルの開発
 - ・電波環境データを引き続き蓄積し、時間帯毎に変化する電波環境モデルの構築、及び電波利用指針に資するデータを取りまとめる。
- (イ) 電波環境の動的空間検知技術及び他業務の電波からの混信・干渉の動的分

離技術

- ・実際に小型無人航空機が飛行し、マルチアンテナ技術による空間分離技術の性能を検証する。
- ・実際に小型無人航空機が飛行しながら、その運航に影響する可能性のある既存無線局の位置を動的に検知し、同一チャネルの空間分離を実現する。

(ウ) 環境適応周波数帯域利用技術

- ・通信途絶を生じず、場所や状況により利用可能な周波数帯を選択し、環境適応周波数帯域利用が実現できることを実証する。

(I) 総合実証実験

- ・課題(ア)～(ウ)の各技術を組み合わせることによる電波の有効利用やリスク回避に対する実効性を検証する。

② 高高度を飛行する無人航空機等と衛星及び小型無人航空機間の無線通信における周波数有効利用技術に関する研究開発

(ア) 長距離・広角度の多元接続技術

高高度無人航空機等から見た電波の覆域が従来の通信距離（約5 km）に比べ10倍以上の長距離となり、これまでの同時接続数（50台）に比べ100倍以上の同時接続数を実現する長距離・広角度の多元接続技術を開発する。

a) 長距離・広角度対応アレーアンテナ技術の開発

高高度無人航空機等に搭載可能な長距離・広角度対応アレーアンテナを開発する。特に、無人航空機等の旋回による電界変動を抑制したアンテナ技術を実現する。

b) 広角度複数可変ビーム形成技術の開発

角度が約130度～180度の広域を達成するためのビーム形成技術を開発する。

c) 空間・周波数多元接続技術の開発

国際標準化動向を考慮しながら、高高度無人航空機等と低空を飛行する多数の小型無人航空機との間の通信の確保が実現できるよう空間・周波数多元接続技術を開発する。

(イ) 5 GHz 帯の周波数共用技術

以下の各種利用形態における無線回線間の相互干渉低減技術を開発し、定量的な指針（帯域分割、ガードバンド、アンテナ指向性、時刻同期等）を得る。

- a) 無人航空機間の回線（高高度無人航空機等～小型無人航空機等間）
- b) 衛星回線（高高度無人航空機等～衛星間）

c) 高高度無人航空機等の C2 リンク（高高度無人航空機等～地上制御局）

(ウ) 高秘匿性暗号化技術

高高度無人航空機等と低空を飛行する小型無人航空機間の通信において、秘匿性の高い安定した通信を実現するため、認証局に複合のための鍵の割符を預け、鍵の失効確認を行わなければ復号できない仕組み等、認証及び暗号化技術を開発する

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)

<2019 年度>

(7) 長距離・広角度の多元接続技術

- ・ 無人航空機等の旋回による電界変動を抑制したアンテナ技術を用いて、高高度無人航空機等に搭載可能なアレーアンテナの設計を完了する。
- ・ 角度約 130 度～180 度の広域を達成するビーム形成技術を検討し、設計を完了する。
- ・ 国際標準化動向等を考慮しながら、空間・周波数多元接続技術を設計する。

(イ) 5 GHz 帯の周波数共用技術

- ・ 高高度無人航空機等の直下から半径 50 km以上の覆域における共用検討周波数共用について机上検討を行い、指標を明らかにする。
- ・ 相互干渉低減技術を検討し、効果を机上検証する。

(ウ) 高秘匿性暗号化技術

- ・ 秘匿性の高い暗号化技術を実現するために、暗号モジュールの設計及び開発を行い、暗号モジュール単機能の動作を検証する。
- ・ 低空を飛行するような小型無人航空機間の通信の暗号化機能及び小型無人航空機・サーバ間通信の暗号機能を設計する。
- ・ 機器登録、鍵発行機能、失効登録、認証機能の概念設計を行う。

<2020 年度>

(7) 長距離・広角度の多元接続技術

- ・ 高高度無人航空機等に搭載可能なアレーアンテナの開発を完了する。
- ・ 広角度複数ビーム形成技術を実装し、単体評価にて角度が 130 度、通信距離 50km を達成することを確認する。
- ・ 空間・周波数多元接続技術を実装し、単体評価にて性能を検証する。

(イ) 5 GHz 帯の周波数共用技術

- ・相互干渉低減技術を開発し、性能を評価する。
- ・実機等による検討を行い、机上検討した共用結果の妥当性を検証する。
- (ウ) 高秘匿性暗号化技術
 - ・小型無人航空機間の通信の暗号化機能を開発し、動作を検証する。
 - ・小型無人航空機・サーバ間の通信の暗号機能の開発し、動作を検証する。
 - ・機器登録、鍵発行機能、失効登録、認証機能を開発し、動作を検証する。
- (I) 総合実証実験
 - ・最終年度の総合実証実験に向けて、機材の準備、必要な許可承認手続きの準備を完了する。

<2021 年度>

- (ア) 長距離・広角度の多元接続技術
 - ・高高度無人航空機等に搭載可能なアレーアンテナを用いて、広角度複数ビーム形成技術、空間・周波数多元接続技術の動作検証し、性能を評価する。
- (イ) 5 GHz 帯の周波数共用技術
 - ・共用のための技術条件等を整理し、国際標準化団体等へ情報提供を行う。
- (ウ) 高秘匿性暗号化技術
 - ・前年度までに開発した各機能を搭載した複数小型無人航空機を同時稼働させて動作を検証する。
- (I) 総合実証実験
 - ・課題(ア)～(ウ)を組み合わせることによる総合実証実験を行い、性能評価を実施する。

5. 実施期間

2019 年度から 2021 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 2024 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

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＞

第 5 世代移動通信システムの更なる高度化に向けた研究開発

1. 目的

我が国では 2020 年の 5G 実現に向けて、2015 年より 5G の要素技術の研究開発、2017 年より 5G 実現による新たな市場創出に向けた総合的な実証試験に取り組んでいる。国際的にも米国、欧州、中国、韓国等において早ければ 2019 年の実現を目指した取組を推進しているほか、3GPP では 2018 年 6 月に超高速、超低遅延を対象とする仕様であるリリース 15 を策定しており、2019 年末頃に全ての要求条件に対応した仕様であるリリース 16 が策定される予定である。ITU（国際電気通信連合）においては 2020 年の 5G 無線通信インターフェース勧告策定 (IMT-2020) に向けて提案募集がなされている。

このように、5G の実現によって移動通信システムが社会経済へ深く浸透していくことが想定されるなか、毎年約 1.4 倍で増加している移動通信トラフィックの加速度的増加が予想されることから、5G の更なる高度化により、我が国が取り組んできた 28GHz 帯等の高 SHF 帯よりも高い 40, 70GHz 帯といった EHF 帯などのミリ波帯の高エネルギー効率な利用や、周波数利用効率を向上することが求められている。また、国際的にも、2019 年の世界無線通信会議において 86GHz までの周波数特定が議論されるなど、より高い周波数利用の検討が加速している。さらに、多様なサービスを支える基盤として、5G の更なる高度化により、サービスの通信品質要求に応じた高信頼な通信を提供することが求められている。

このため、本研究開発では 5G を更に高度化することで、5G の利活用分野を更に拡大し、我が国の新産業の創出や社会課題の解決をより一層促進するため、高信頼性やミリ波帯における高エネルギー効率、周波数利用効率の向上を実現することを目的とする。

2. 政策的位置付け

- ・ 未来投資戦略 2018（平成 30 年 6 月 15 日 閣議決定）

「第 2 具体的施策Ⅱ. [1] 1. (3) iii) ⑤「Society 5.0」を支える通信環境の整備」において「Society 5.0 の社会実装を地域においても加速させるため、（中略）Beyond 5G 等の次世代ワイヤレスシステムの実現のための技術開発や環境整備、人材育成、優れたワイヤレスシステムの海外展開等に取り組む。」旨の記載あり。

- ・ 経済財政運営と改革の基本方針 2018（平成 30 年 6 月 15 日 閣議決定）

「第 2 章 2. (4) ①データ駆動型社会の共通インフラの整備」において「大容量・高速通信を支える 5G について、（中略）基盤システム・技術への投資の促進を図る。」旨の記載あり。

3. 目標

5G は、3GPP により 2019 年末に策定が予定されているリリース 16 において IMT-2020 に対応した全ての技術性能要件に対応した仕様が確定し、その後の社会実装で更に多様なサービスを収容することになると予想される。そこで本研究開発では、サービスの通信品質要求に応じた高信頼な高度 5G ネットワーク制御技術やその制御に対応できる適応型 RAN(Radio Access Network) 技術などを研究開発し、通信への要求品質を 95%以上満たすことなどを目標とする。

また、現在 5G は 28GHz 帯（以下「高 SHF 帯」という。）以下での初期導入が各国で検討され、当該周波数帯においては無線機等も商用化レベルとなりつつあるが、5G の超大容量の特性を最大限に活かした通信を実現するには、今後ミリ波帯（主に 30GHz 以上）の 5G 無線機の実用化が必要である。一方、高周波数の無線制御においては大量のエネルギーを消費するため、ミリ波帯 5G 無線機の開発にあたってはエネルギーの高効率化が必須である。そこで本研究開発では、ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術を開発し、従来手法と比較して 2 倍以上の電力効率を実現することなどを目標とする。

更に、電波伝搬特性上、移動体通信として活用しやすい高 SHF 帯以下の 5G においても急増するモバイルトラフィックを収容するため、本研究開発では高効率な周波数利用技術として、同一周波数・時間スロットで送受信を同時に行う帯域内全二重通信（InBand Full Duplex、以下「Full-Duplex」という。）セルラーシステム制御技術を開発し、Full-Duplex 時に瞬時的に現状の最大 2 倍、平均 1.2 倍以上の周波数利用効率を実現することを目標とする。

4. 研究開発内容

(1) 概要

5G の高度化にはミリ波帯の活用が期待されるが、ミリ波帯の電波伝搬特性からひとつの基地局でカバーできるエリアは小さくナノエリア化し、高密度に基地局が展開されると同時に、遮蔽による通信品質の劣化が発生すると考えられる。また、5G の社会実装が進むと、例えば超高速かつ超低遅延のように、5G での超高速、大容量、超低遅延、低エラー率といった性質の組み合わせが必要な、多様なサービス要求が発生すると考えられる。このような環境下において、サービス要求に応じた高信頼な高度 5G ネットワークを実現するため、周囲の環境の変化等による遮蔽等の影響を予測して多様なサービスを継続的に提供可能とするネットワーク制御技術を研究開発する。また、高密度な基地局を活用して、5G の通信の高信頼性を確保できる無線通信技術を研究開発する。更に、多様なサービスが接続される高度 5G ネットワークは時間的・空間的にトラフィックがダイナミックに変動することに加え、トラフィック量自体も現在の最大 5 倍程度に増加すると想定される。このようなトラフィックを、高密度な基地局展開を前提として RAN で高信頼に収容可能とするため、RAN 全体を見通した無線の適応的な制御技術を研究開発する。加えて、柔軟な適応制御を実現しつつ高信頼性を確保するために、今後の普及が見込まれる RAN 仮想化技術

を応用した基地局機能配置技術を研究開発する。

また、5G の大容量通信を実現するためにはミリ波帯の活用が必要となるが、一般的にミリ波帯の電波は直進性が高く、伝搬の損失が大きい。これを補うためにはビームフォーミングが可能なフェーズドアレイアンテナの活用が必要となる。併せて、周波数が高くなるほど無線回路のエネルギー効率が低下する傾向があるため、消費電力が増大するという課題があり、高エネルギー効率化が必要である。これらの課題を解決するため、ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術として、高集積な半導体 IC を用いた高エネルギー効率なフェーズドアレイ無線技術を研究開発する。加えて、工場・倉庫や公共交通機関等の特定のエリア内の要求品質の異なる多様な通信を収容し 5G 基地局と通信する 5G 通信機（以下、「5G ゲートウェイ」という。）の活用が期待される。ここで、高エネルギー効率な無線ネットワークを実現するため、5G ゲートウェイにおいて、配下に収容した 5G 端末間の通信を統合的に制御する技術を研究開発する。

更に、高 SHF 帯以下の 5G においてもモバイルトラヒックの急増に対応した高効率な周波数利用技術として Full-Duplex の実現が期待されるが、送受信に同一周波数を使用するため、自己干渉や端末間の干渉が発生するという課題があり、複数の端末から空間に発射される電波の干渉状況を事前に把握することが必要である。この課題を解決するため、無線通信干渉モニタリング技術を研究開発し、干渉の影響が少ない周波数・時間スロットにおいて送受信を同時に行う Full-Duplex セルラーシステム制御技術を研究開発する。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 多様なサービス要求に応じた高信頼な高度 5G ネットワーク制御技術の研究開発

本研究開発を実施するためには、以下の個別技術課題が存在する。

・ ア-1 ナノエリアに対応した高信頼ネットワーク制御技術

高信頼に多様なサービスを提供するには、5G 基地局がカバーするナノエリア内の環境の変化（周囲の物体の移動など）により遮蔽状況が変化しても 5G 通信及びネットワークの安定的・継続的な提供が必要となる。このために、環境の変化等に伴う遮蔽の影響を事前に予測するための技術及びサービス品質の維持が可能な高信頼なネットワーク制御技術の実現が課題となる。

・ ア-2 ナノエリアに対応した高信頼ワイヤレスアクセス技術

ミリ波帯の活用を前提として高信頼な通信を実現するためには、切断されやすい無線リンクを継続的に確保することが必要となる。このために、高密度な基地局を活用して、無線リンクを継続的に確保可能な高信頼なワイヤレスアクセスのための無線通信方式を実現することが課題となる。

・ アー 3 適応型 RAN を実現する無線統合制御技術

トラフィック量の増加やダイナミックな変動に適応的に対応可能とすることで、サービスの高信頼な提供に資するためには、RAN 全体を見通した無線の統合的な制御が必要となる。このためには、基地局や端末間での干渉制御技術や無線リソース制御技術、アクセス回線の伝送を効率的に行うための制御技術の実現が課題となる。

・ アー 4 適応型 RAN を実現する基地局機能配置技術

更に多様なサービスを高度 5G ネットワークにおいて高信頼かつ柔軟に提供するためには、一般的な機器（サーバー等）により仮想化された RAN に対して、無線における信号処理機能や無線リソース制御機能等の個々の基地局機能を適切に配置する必要がある。このためには、サービスからの要求状況に応じて適応的かつ高信頼に個々の基地局機能を配置する技術の実現が課題となる。

イ ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術の研究開発

本研究開発を実施するためには、以下の個別技術課題が存在する。

・ イー 1 高集積な半導体 IC を用いた高エネルギー効率なフェーズドアレイ無線技術

ミリ波帯における伝搬損失を補い、モバイル環境で求められる広いカバレッジを実現するためにはミリ波帯のフェーズドアレイ無線技術が必要である。一方、周波数が高いほど回路のエネルギー効率が低下し消費電力が増大するため、無線機のサイズが大きくなり、無線機の設置の簡易性や自由度が損なわれる。更にフェーズドアレイではアンテナ素子毎に回路を必要とするため、回路構成が複雑となり、無線機のコストが増加する。これを解決するため、高集積な半導体 IC を用いた高エネルギー効率なフェーズドアレイ無線技術の実現が課題となる。

・ イー 2 5G ゲートウェイにおける無線制御技術

ミリ波を活用する無線基地局に収容される端末台数が増えるに従い、送信時や端末移動時のオーバーヘッドが増加し送信電力消費量が増加する。これを解決するため、5G ゲートウェイにおいてコアネットワークと連携して、送信電力を抑えるための効率的な通信制御技術の実現が課題となる。

ウ モバイルトラフィックの急増に対応した高効率な周波数利用技術の研究開発

本研究開発を実施するためには、以下の個別技術課題が存在する。

・ ウー 1 Full-Duplex 実現のための干渉モニタリング技術

Full-Duplex を実現するためには、自己干渉や端末間干渉を回避する必要がある。このために、時空間における各端末の無線通信状況を把握し、干渉をモニタリングする技術の実現が課題となる。

・ ウー 2 Full-Duplex セルラーシステム制御技術

ウー 1 の技術により取得した干渉量等を勘案して、Full-Duplex 可能な端末に対し、Full-Duplex を実際に行うスケジューリング技術や干渉影響を緩和する送信電力制御技術、自己干渉を低減するキャンセル技術の実現が課題となる。

到達目標

ア 多様なサービス要求に応じた高信頼な高度 5G ネットワーク制御技術の研究開発

- ・ ナノエリアに対応した高信頼ネットワーク制御技術
- ・ ナノエリアに対応した高信頼ワイヤレスアクセス技術
- ・ 適応型 RAN を実現する無線統合制御技術
- ・ 適応型 RAN を実現する基地局機能配置技術

これらの技術を確立し、携帯電話のトラフィック量が現在の 5 倍となった環境下でも、通信への品質要求を 95%以上満たし、かつサービスの継続性を 99%以上確保した、高信頼なサービス提供の実現を目標とする。

イ ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術の研究開発

- ・ 高集積な半導体 IC を用いた高エネルギー効率なフェーズドアレイ無線技術
- ・ 5G ゲートウェイにおける無線制御技術

これらの技術を確立し、従来の高 SHF 帯における無線機の構成をそのままミリ波帯に適用した場合と比較してパワーアンプ部からアンテナまで 2 倍の電力効率や、5G ゲートウェイを使用しない場合と比較して 5G ゲートウェイによる 3 倍以上の電力効率を実現する。

ウ モバイルトラフィックの急増に対応した高効率な周波数利用技術の研究開発

- ・ Full-Duplex 実現のための干渉モニタリング技術
- ・ Full-Duplex セルラーシステム制御技術

これらの技術を確立し、Full-Duplex システム全体で瞬時的に最大 2 倍、平均的に 1.2 倍以上の周波数利用効率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。

<2019 年度>

ア 多様なサービス要求に応じた高信頼な高度 5G ネットワーク制御技術の研究開発

- ・ ミリ波帯を用いるナノエリアを前提として、周囲の環境の変化等によって発生する遮蔽の明確化及び事前予測及び要求品質の異なる多数の通信を收容するための高信頼ネットワーク制御技術の基本検討
- ・ ナノエリアにおける無線リンクの切断状況を明確化し、無線リンク維持に必要な高信頼なワイヤレスアクセス技術の基本検討

- ・高密度基地局配置を実現する適応型 RAN の無線統合制御技術の基本検討
- ・個々のサービス要求に対応可能な適応型 RAN の基地局機能配置技術の基本検討

イ ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術の研究開発

- ・ミリ波帯 IC およびモジュールの基本設計、評価による性能評価
- ・5G ゲートウェイ無線制御技術の方式・制御アルゴリズムの基本検討、試作装置の検討と、シミュレーションによる性能評価

ウ モバイルトラヒックの急増に対応した高効率な周波数利用技術の研究開発

- ・各端末の無線通信状況を把握する干渉モニタリングアルゴリズムの検討、干渉モニタリング装置用送受信系原理確認装置の開発
- ・干渉を考慮して、Full-Duplex が可能な端末を探索する方式やスケジューリング方式の検討、評価、基礎試作装置の開発

<2020 年度>

ア 多様なサービス要求に応じた高信頼な高度 5G ネットワーク制御技術の研究開発

- ・ナノエリア対応高信頼ネットワーク制御の基本技術の評価し、評価結果に基づく改良技術を検討・評価
- ・ナノエリア対応の高信頼なワイヤレスアクセスの基本技術の評価し、評価結果に基づく改良技術を検討・評価
- ・適応型 RAN を実現する無線統合制御の基本技術の評価及び評価結果に基づく、高密度基地局配置が偏在する大規模エリアに対応可能な改良技術の検討・評価
- ・適応型 RAN の基地局機能配置の基本技術の評価、及び評価結果に基づき、サービス毎の要求やトラヒック変動に応じた改良技術を検討・評価

イ ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術の研究開発

- ・ミリ波帯 IC のパワーアンプ部からアンテナまでの電力効率を 2 倍以上改善
- ・5G ゲートウェイ無線制御技術を実現する試作装置を用いての制御アルゴリズムの実装と基本機能の評価

ウ モバイルトラヒックの急増に対応した高効率な周波数利用技術の研究開発

- ・アンテナを含む干渉モニタリング装置用送受信系を試作するとともに、アルゴリズムの改良を行う
- ・Full-Duplex セルラーシステム制御基礎試作装置の開発。計算機シミュレーションによる周波数有効利用効率（瞬時、平均）の評価、自己干渉キャ

ンセル技術及び Full-Duplex 用アンテナの試作

<2021 年度>

ア 多様なサービス要求に応じた高信頼な高度 5G ネットワーク制御技術の研究開発

- ・ ナノエリア対応高信頼ネットワーク制御技術とナノエリア対応高信頼ワイヤレスアクセス技術の高度化及びその評価、要求されるサービス品質が90%以上かつサービス継続性が90%以上の確保可能であることを評価結果から確認
- ・ 適応型 RAN の無線統合制御技術と適応型 RAN の基地局機能配置技術の高度化及びその評価、従来に対しトラフィック量が5倍の環境下でサービス品質が確保可能であることを評価結果から確認

イ ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術の研究開発

- ・ ミリ波帯 IC 内部およびミリ波帯 IC 間のキャリブレーションの容易化及びシステム評価プラットフォームの開発
- ・ 複数の 5G ゲートウェイ試作装置とコアネットワークを模擬するシステム評価系を構成しての連携機能検証

ウ モバイルトラフィックの急増に対応した高効率な周波数利用技術の研究開発

- ・ 前年度試作した送受信系とモニタリングアルゴリズムを組み合わせた干渉モニタリング装置の開発と性能評価、Full-Duplex セルラーシステムとのインターフェースの設計
- ・ Full-Duplex セルラーシステム制御基礎試作装置の評価、送信電力制御方式を組み込んだ二次試作装置の開発、自己干渉キャンセル技術、Full-Duplex 用アンテナの Full-Duplex セルラーシステム基礎試作装置への組み込み、二次試作装置を開発、総合的な伝送特性実験

<2022 年度>

ア 多様なサービス要求に応じた高信頼な高度 5G ネットワーク制御技術の研究開発

- ・ 課題アの4個の要素技術を用いて統合的に評価し、従来と比較してトラフィック量が5倍の環境下で、通信への品質要求を95%以上満たし、かつサービスの継続性を99%以上確保した、多様なサービスの高信頼な提供を実証

イ ミリ波帯における高エネルギー効率な無線技術の研究開発

- ・ 信号帯域幅 3GHz 以上のミリ波帯 IC やそれを用いたフェーズドアレイ無線技術の動作を実証
- ・ 5G ゲートウェイ無線制御技術の総合評価、5G ゲートウェイを使用していな

い場合と比較して3倍以上の電力効率を実現

- ウ モバイルトラヒックの急増に対応した高効率な周波数利用技術の研究開発
 - ・ 干渉モニタリング技術の屋内実験による総合評価
 - ・ 干渉モニタリング技術と Full-Duplex セルラーシステム制御技術を用いて統合的に評価、システム全体で瞬時的に最大現状の2倍、平均的に1.2倍以上の周波数利用効率を実現

5. 実施期間

2019年度から2022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2027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＞

5. 7GHz 帯における高効率周波数利用技術の研究開発

1. 目的

近年、災害現場における正確な状況確認や、建機の遠隔操作による無人化施工、橋梁等の大規模インフラの効率的な点検、イベント会場における効率的な警備、多様な視点からの映像コンテンツの制作現場等において、カメラを搭載した移動体からの超高精細な 4K 映像や、2K 映像×4 方向（前後左右）のリアルタイム無線伝送と、カメラ等の遠隔制御に係る無線伝送を、同一エリア内で同一システムの運用を阻害するような混信等を与えずに、同時に 10 台程度が安定して利用可能な技術の実現が期待されているところである。

これら移動体からの無線伝送では、主に 5.7GHz 帯無人移動体画像伝送システム（割当周波数幅：105MHz）が利用されているが、最新技術^{（※1）}では 4K 映像の無線伝送が困難である他、当該周波数帯は無線 LAN 等の様々な無線システムが稠密に利用されており、新たに利用可能な周波数を拡大することも困難な状況である。

以上のことから、本研究開発において、移動体からの安定的かつ大容量のリアルタイム無線伝送に最適な伝送容量拡大技術や、上り/下りを同一周波数帯で送受信する全二重通信技術の他、マルチパス等耐性技術を確立し、周波数利用効率を最新技術^{（※1）}より約 4 倍程度向上させることで、5.7GHz 帯の周波数の更なる有効利用を促進することを目的とする。

（※1）電波資源拡大のための研究開発「小型高速移動体からの大容量高精細映像リアルタイム無線伝送技術の研究開発」（平成 27～29 年度）において、5.7GHz 帯無人移動体画像伝送システムについて、占有周波数帯幅が 1ch 当たり 5MHz 以下で 2K/60i 映像のリアルタイム無線伝送技術を確立。

2. 政策的位置付け

- 「未来投資戦略 2018」（平成 30 年 6 月 15 日 閣議決定）
 - I. Society 5.0 の実現に向けて今後取り組む重点分野と、変革の牽引力となる「フラッグシップ・プロジェクト」等
 - 1. 次世代モビリティ・システムの構築
 - iv) 次世代モビリティ・システムの構築に向けた新たな取組
 - 3. 次世代産業システム
 - i) モノのサービス化・ソリューション化
 - ・ 小型無人機について、本年度からの山間部等での荷物配送等の本格展開に向け、航空法に基づく許可・承認の審査要領の早期改訂等を行う。また、2020 年代には都市部での荷物配送等を本格展開させるため、本年度から第三者上空飛行の要件の検討を開始すると共に、電波利用の在り方の検討や福島ロボットテストフィールドを活用した複

数機体の運航管理と衝突回避の技術開発等を進める。併せて、福島イノベーション・コースト構想を推進し、企業誘致を通じた産業集積や人材育成の加速化を進める。

- 「空の産業革命に向けたロードマップ」（平成30年6月15日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会決定）

3. 技術開発

(1) レベル3、4に向けた技術開発

レベル3、4の飛行による利活用の本格化に向けては、目視を代替する機能の実現（Ⅰ）及び第三者に対する安全性の確保（Ⅱ）といった小型無人機の機能や性能を実現するための技術開発に取り組む必要がある。

I. 目視を代替する機能の実現

操縦者又は補助者による目視を代替し同等の安全性を確保するための機能として、次のⅰ、ⅱの機能を実現する必要がある。また、それらの実現には電波の利用技術も必要となる。

ⅰ. 機体状態の把握と対応

目視に代わり自機の状態（位置、進路、姿勢、高度、速度、異常の有無等）を把握し安全に飛行するよう制御する。

ⅱ. 周辺環境の把握と対応

目視に代わり空中及び地上の物件等（航空機、小型無人機、地形、樹木、構造物及び人等）の存在を把握し衝突を防止するとともに、周囲の気象（風、雨及び雲等）等の状況の変化を把握し運用制限からの逸脱を防止する。

4. 環境整備

(10) 電波利用の環境整備

2016年度に改正した制度の運用を推進するとともに、目視外飛行の実現に向けた電波利用の在り方について、小型無人機の運航ルール・技術開発の進展や国際動向も踏まえて、調査・検討を進める。また、小型無人機による携帯電話等の上空利用については、その性能評価や国際標準化に対応し、国内制度等の整備と新制度の運用につなげる。

3. 目標

本研究開発では、上述の社会的期待に応えるため、既存の5.7GHz帯無人移動体画像伝送システム（割当周波数幅：105MHz）について、移動体からの無線伝送に最適な、伝送容量拡大技術や上り/下りを同一周波数帯で送受信する全二重通信技術の他、マルチパス等耐性技術を確立し、周波数利用効率を最新技術^(※1)より約4倍程度向上させることを目標とする。具体的には、以下のとおり。

項目	目標
同一周波数帯による送受信	5.7GHz帯の無人移動体画像伝送システムの周波数

の実現	において、上り回線（映像伝送用）と下り回線（制御用）で同一周波数帯を使用した全二重通信を実現。
伝送容量の拡大	上り回線（1ch：10MHz 幅）で 4K/60p 映像（又は 2K/60p×4 カメラ合成映像）の伝送とともに、下り回線で同一周波数帯による制御情報の伝送も実現。
同一エリア内で同時使用可能な台数の拡大	同一エリア内で同一システムの運用を阻害するような混信等を与えずに、10 台（10ch）程度の同時使用（上り/下り回線の同時使用）を実現
遅延時間の向上	リアルタイム伝送（100ms 以下）を実現
移動受信の向上	100km/h でも安定したリアルタイム伝送を実現
伝送距離の確保	送信出力 1W 以下で 5 km 程度の無線伝送を実現
伝送耐性の向上	フェージングやマルチパス等がある環境下でも安定した伝送を実現
消費電力等の向上	小型バッテリーを搭載した無人移動体で使用可能な小型・軽量・省電力化を実現

4. 研究開発内容

(1) 概要

上述の目標を達成するため、限られた周波数帯で大容量の映像をリアルタイムで無線伝送するために必要な伝送容量拡大技術や、上り/下りを同一周波数帯で送受信するために必要な自己干渉除去等を含む全二重通信技術の他、マルチパス等が発生する電波伝搬状況下においても、安定した送受信を実現する技術について研究開発を行うとともに、同一周波数帯を使用する他の無線システムとも共用可能な技術を検討し、5.7GHz 帯における高効率な周波数利用技術の確立を図る。

本技術については、既存技術を応用できるものについては、それをベースとし、小型で高速移動する無人移動体の動作特性、搭載環境及び電波利用環境に適応した技術として新たに開発する。

(2) 技術課題

ア. 伝送容量拡大技術の研究開発

5.7GHz 帯の中で、無人移動体画像伝送システムの割当周波数幅は 105MHz あるが、この周波数を使用して 4K/60p 映像のリアルタイム無線伝送を行った場合、4K/60p 映像の情報量が 2K/60i 映像の情報量の 8 倍（解像度で 4 倍、インターレース方式からプログレッシブ方式にすることで 2 倍）となるため、最新技術^(※1)では占有周波数帯幅が 1ch 当たり 40MHz 以上必要となる。そのため、同一エリア内では同時に 2 台しか使用できず、要求条件である 10

台程度の同時使用が不可能である。

これを実現するためには、占有周波数帯幅を1ch当たり10MHz以下で超高精細度映像を伝送できる技術確立することが求められ、伝送容量の拡大技術と伝送情報量の圧縮技術の研究開発を行う必要がある。

伝送容量の拡大技術については、変調方式や通信方式等について、省電力・低遅延でかつ伝送耐性の高い技術の開発を行う他、伝送情報量の圧縮技術については、映像符号化について、省電力かつ低遅延で実現する技術等の開発により高度化を図る。

なお、本技術については、既存技術をベースとし、小型で高速移動する無人移動体の動作特性、搭載環境及び電波利用環境に適応した技術として新たに開発する。

また、本技術課題は、後述する技術課題イ及びウと密接に関係することから、課題間で連携をとった研究開発を実施すること。

イ. 送受同一周波数帯を使用した全二重通信技術の研究開発

無人移動体に搭載した撮影用のカメラ等を制御するには、下り回線(制御用)が必要であるが、現状5.7GHz帯は無線LAN等様々な無線システムで稠密に利用されており、新たな周波数確保が困難であること、また、装置の小型・軽量化のためには送受信用アンテナの共用が必要であることから、送受信時の自己干渉除去技術等の研究開発により、現行の無人移動体画像伝送システムの周波数帯を使用して、上り/下り回線を同一周波数帯で送受信できる全二重通信を実現し、複数の無人移動体運用時における周波数利用効率の向上を図る。

また、実現にあたり、同じ周波数帯域を使用する無線LANやDSRC(狭域通信)システム等他の無線システムと共用可能な技術等についても検討するとともに、複数の無人移動体間における干渉等についても検討する。

ウ. マルチパス耐性向上技術の研究開発

大容量の超高精細度映像を多値変調により無線伝送する場合でも、フェージングやマルチパス、ドップラーシフト等による受信レベルの悪化や、キャリア間干渉の発生による伝送品質の低下等を抑制するため、伝送耐性の強い高度な変調方式の適用や、電波伝搬状況に応じて上り回線(映像伝送用)のガードインターバル比や受信アンテナの指向性を動的に変化させる技術の研究開発を行い、マルチパス耐性等の向上を図る。

なお、本技術については、既存技術をベースとし、小型で高速移動する無人移動体の動作特性、搭載環境及び電波利用環境に適応した技術として新たに開発する。

(3) 到達目標

ア. 伝送容量拡大技術の研究開発

- a. 多重伝送技術の確立
 - ・ 高速移動する無人移動体などからの多重信号を的確に識別する技術の開発。
 - ・ 多重方式の採用に伴う消費電力増を改善する通信方式の開発。
 - ・ 上り回線（映像伝送用）の送信出力を下り回線（制御用）の受信強度に応じて制御する機能の開発。
 - b. 高多値変調技術の確立
 - ・ 高多値変調による所要 CN の増加に係る対策技術の開発。
 - ・ リアルタイム性を確保した、誤り訂正能力の高い符号方式の開発。
 - c. 高度な映像符号化技術の確立
 - ・ 符号化効率の高い方式で、かつ、小型・低消費電力・低遅延時間を実現する技術の開発。
 - ・ 移動伝送時において瞬断が発生した場合の復帰時間を短縮させる復号技術の開発。
- イ. 送受同一周波数帯を使用した全二重通信技術の研究開発
- a. 送受信時の自己干渉除去技術の確立
 - ・ 下り回線（制御用）を上り回線（映像伝送用）と同一周波数帯で確保する技術として、全二重通信を実現する技術の開発。
 - ・ 自己干渉除去技術として、下り回線（制御用）に伝送耐性の高い通信方式を適用し、周波数領域等化に自己干渉除去機能を実装した技術の開発。
 - b. 他の無線システムと共用可能な技術等の確立
 - ・ 同一周波数帯を使用する、無線 LAN や DSRC（狭域通信）システム等との干渉を回避し共用するための技術の開発。
 - ・ 同一エリア内で複数の無人移動体を運用する場合に周波数利用効率を低下させない技術の開発
- ウ. マルチパス耐性向上技術の研究開発
- a. 受信アンテナの指向性の動的制御技術の確立
 - ・ 上り回線（映像伝送用）の受信に際して、映像伝送する移動体の位置情報を 3 次元で把握し、受信アンテナの指向性を動的に制御する技術の確立。
 - b. ガードインターバル長の動的な制御技術の確立
 - ・ 上り回線（映像伝送用）について、マルチパス等の電波伝搬状況や伝搬距離に応じて、最適なガードインターバル長を動的に制御する技術の確立。

以上の技術と同等以上の技術を確立することにより、次の目標を達成する。

- ・ 5.7GHz 帯無線移動体画像伝送システムの割当周波数幅（105MHz）において、占有周波数帯幅 10MHz 以下で、ビットレート 40Mbps 程度の超高精細 4K/60P（若しくは 2K/60p×4 方向）映像のリアルタイム無線伝送の実現（遅延時間 100ms 以下）。
- ・ 同一エリア内において同一システムの運用を阻害するような混信等を与えず、10 台（10ch）程度の同時使用の実現。
- ・ 消費電力 20VA 以下、容積 800cc 以下、重量 1kg 以下の送信装置の実現。
- ・ 5.7GHz 帯無線移動体画像伝送システムの割当周波数幅（105MHz）において、上り回線（映像伝送用）使用中に、同一周波数帯で 200kbps 程度の下り回線（制御用）を確保し、搭載カメラ等の遠隔制御の実現。
- ・ 無線 LAN 等の他の無線システムと共用可能な技術の実現。
- ・ フェージングやマルチパス等がある悪環境下でも安定した無線伝送の実現。
- ・ 移動速度 100km/h でも安定した無線伝送の実現。
- ・ 送信出力 1W 以下で、無線伝送距離 5 km 程度の実現。

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）

<2019 年度>

主に基本設計とシミュレーションを実施する。

ア. 伝送容量拡大技術の開発

映像伝送用送受信機の基本設計及び測定器ベースでの簡易装置で評価を行い、各種パラメータ等を検討する。

イ. 送受信同一周波数全二重通信の開発

基本設計及びシミュレーションで各種パラメータ等を検討する。

ウ. マルチパス耐性向上の開発

アンテナについては基本設計及び試作機を開発し、評価する。高伝送耐性の通信方式について、シミュレーションで各種パラメータ等を検討する。

<2020 年度>

詳細設計により各機能別の評価装置を開発し、性能等を評価し、目標性能を実現する。

ア. 伝送容量拡大技術の開発

映像伝送用送受信機、画像コーデック等の評価機を開発し、評価する。

イ. 送受信同一周波数全二重通信の開発

制御用送受信機等の機能評価機を開発し、評価する。

ウ. マルチパス耐性向上の開発

アンテナの評価機と高伝送耐性の通信方式の高度化機能を開発し、評価す

る。

<2021 年度>

更に詳細設計を進め、一体化した装置を開発し、様々な伝搬環境下における実証試験により性能等を評価し、到達目標を達成する。

ア. 伝送容量拡大技術の開発

映像伝送用送受信機、画像コーデック等一体化の評価機を開発し、評価する。

イ. 送受信同一周波数全二重通信の開発

前項の評価機と一体化のものを開発し、評価する。

ウ. マルチパス耐性向上の開発

アンテナは前項装置と組合せて評価。高伝送耐性の通信方式の高度化機能は一体化のものを開発し、評価する。

5. 実施期間

2019 年度から 2021 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 2024 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>

セキュリティ強化に向けた移動物体高度認識レーダー基盤技術の研究開発

1. 目的

近年、世界各地にテロの脅威が拡散し、極めて深刻な状況となっており、特に不特定多数の人が集まり警備が比較的緩やかな地下鉄や空港ロビー、大規模集客施設（ショッピングモール、コンサート会場）等のいわゆる「ソフトターゲット」を標的としたテロが増加し、セキュリティ対策の強化が喫緊の課題となっている。

我が国も 2025 年大阪万博の開催を控えるなどセキュリティ対策の強化が喫緊の課題であるが、現在の技術では人が隠し持った危険物を遠方から検知することができない。

そのため、現在は、空港の保安区域等では、搭乗前の金属探知機検査、X 線による手荷物検査、監視カメラによる監視が実施されているが、ロビー等では人が隠し持った危険物を把握することができない状況である。

電波の特性として、周波数が高いほど危険物の形状判定を行う空間分解能は高く、システム（アンテナ）の小型化が可能であるが、電波の到達距離が短くなるため遠方からの可視化が難しい。

上記を勘案すると、75～110GHz 帯（W 帯）は、空間分解能が高いという点では、人が隠し持った危険物を可視化（イメージング/センシング）するのに適した帯域であり、かつ、低い周波数帯と比較しひっ迫の度合いが少ない帯域である一方で、電波の到達距離が短いため、遠方からの可視化については、研究開発が必要となる。

このため、本研究開発では、公共スペースのセキュリティ対策を強化するため、W 帯における複数の周波数帯でのセンシング/イメージング技術を開発し、人が隠し持った危険物を遠方から可視化することで、不審物を認識するシステムの基盤技術を確立するとともに、レーダー技術を W 帯に適用することで高い周波数帯の利用を促進し、電波の有効利用を図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

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

d) ミリ波・テラヘルツ分野：

ミリ波帯を利用した大容量通信システムや高精度レーダーの開発、100GHz 超の電波を利用するための基盤技術の開発及び試験を実施する。

3. 目標

本研究開発は、公共スペースのセキュリティ対策を強化するため、15m 程度離れた

対象物を測定可能な W 帯のレーダー及び 5m 程度離れた対象物を測定可能なイメージャを開発し、それらのセンシング／イメージング情報を統合し、高度な認識技術を活用することで、人が隠し持った危険物を認識するシステムの基盤技術の確立を目標とする。

4. 研究開発内容

(1) 概要

公共スペースのセキュリティ対策を強化するため、人が隠し持った危険物を可視化し不審物を認識するシステムのための基盤技術の確立に向けて、W 帯における複数の周波数帯でのセンシング／イメージング技術等の以下の要素基盤技術の研究開発を行う。

ア W 帯を使用したセンシング・イメージング技術

W 帯電波の透過・反射特性を利用し、公共スペースを移動する人が所持する不可視な不審物を離れた場所から検知できるセンシング／イメージング技術（①アクティブ型イメージング技術やパッシブ型イメージング技術を併用したハイブリッド型イメージング技術、②アクティブ型レーダー技術）の研究開発を行う。更に、課題イ「各センシング・イメージング技術を統合したセンサーフュージョン技術」において、最適な性能が出るよう各技術の性能の向上を行う。

また、可搬型での運用に向けた小型化のため、小型化端末用アンテナ等の研究開発を行う。

イ 各センシング・イメージング技術を統合したセンサーフュージョン技術

W 帯や赤外線で得られるイメージは、各種処理を実施しなければ、可視光線に比べ、著しく解像度が低く、雑音による劣化もあるため、映像信号処理技術、不審物認識技術、不審物認識データベース技術を利用し不可視な不審物を認識する研究開発を行う。不審物認識データベースは金属系刃物から順次種類を拡大し、不審物の対象物を拡大する。

また、課題ア及び課題イの要素基盤技術に加え可視光カメラ等の既存システムも含めて統合し、ネットワーク上でシステムとして動作するように最適化を行い、移動する人が隠し持つ危険物を判別するための不審物認識システムとしての有効性を実証する。

(2) 技術課題及び到達目標

技術課題

ア W 帯を使用したセンシング・イメージング技術

(a) センシング・イメージング技術の研究開発

W 帯電波に対する対象物の反射・透過特性を利用した不審物特定用 WUO (W-band Unidentified Object Detection) イメージャの研究開発を行う。

WUO イメージャは、①パッシブ型イメージング技術とアクティブ型イメージング技術を併用したハイブリッド型イメージャと②アクティブ型レーダーのサブシステムで構築される。サブシステム毎にW帯内の異なる周波数帯を用いるため、対象物の周波数毎の反射・透過特性を反映した異なる対象物の映像情報が収集可能となる。

①のハイブリッド型イメージャの研究開発において、その性能は、人体の放射熱温度や自然照明温度、対象物の放射率の分布だけではなく、対象物近傍に焦点を絞るW帯電波収集用のレンズやアンテナ、低雑音信号増幅器、フィルターからなる受信器等の性能に依存する。このため、性能の向上には、人工照明器やレンズ、アレイセンサ等の技術開発及びそれらを統合した高感度のイメージャの技術開発が課題となる。

②のアクティブ型レーダーの研究開発では、W帯電波を対象物に放射し、対象物の反射特性に依存した反射波を観測することにより、人の位置（距離と方位）の測定及び不審物の所持の有無を検知する。既存の技術（車載用レーダー）では、レーダーの反射波からは人が不審物を所持しているかは判別ができない。このため、対象物を効率良くセンシング（測定）できるアンテナの配置や構成の最適化、雑音除去のための信号処理及び当該処理の高速化の技術開発が課題となる。

なお、上記研究開発を行う際は下記「イ」において、不審物認識時に要求される空間分解能や時間分解能を満足する技術レベルを考慮しつつ研究開発を行う。

(b) 小型化技術の研究開発

アクティブ型レーダーの小型化のため、アンテナ基板の設計、BF(Beam Forming)アンテナにおける指向性制御の研究開発を行う。

イ 各センシング・イメージング技術を統合したセンサーフュージョン技術

(a) センサーフュージョン技術の研究開発

WUO イメージャの性能は、それを構成する各サブシステムの性能に依存し、一般に可視光カメラの映像に比べると空間分解能や階調等が低く雑音が高い。このため、高い信頼度で不審物の判別を行うことを目的に、映像信号処理から不審物か否かを判別する情報処理までを行うセンサーフュージョン技術の確立を目指し、①映像信号処理技術、②不審物認識技術、③不審物認識データベース構築技術の研究開発を行う。本研究開発を行う際は、不審物認識時に要求される空間分解能や時間分解能を満足する技術レベルを考慮し課題アと連携し研究開発を行う。

①では、各サブシステムの構成部品性能のばらつきを補正するキャリブレーション信号処理や各サブシステムの情報に対する雑音除去や位置合わせ（レジストレーション）等の映像解像度を改善する技術開発が課題となる。

②では複雑な実環境における不審物の認識を行うため、①の映像信号処理後の映像に対する物体認識を行う技術開発が課題となる。

③では、不審物を携帯する不審者が監視エリア内を移動する際、衣服内に隠さ

れた不審物の位置は絶えず変化し、同一の不審物であっても観測した不審物の形状は大きく異なるため、不審物形状の時間的变化を含め、②の不審物認識技術の際に参照するための最適なデータベースの技術開発が課題となる。

(b) システム統合化技術の研究開発

光学系イメージャである可視光カメラや赤外線カメラ等の既存システムとWUO イメージャを統合し不審物認識システムを開発する。この際、将来的にそれぞれのイメージャの設置台数が大幅に増大することが考えられるため、膨大な情報量から不審物の認識を正確かつ迅速に実行できる不審物ネットワーク及び不審者の行動と合わせて不審物の移動を自動的に追尾する機能の研究開発を行う。これらを踏まえ、最終的に空港・駅などの公共スペースでの利用シーンを想定し、人が隠し持った危険物を遠方から認識するシステムの実用可能性を評価する。

到達目標

ア W帯を使用したセンシング・イメージング技術

(a) センシング・イメージング技術の研究開発

検知距離 2～5m を目標に人が所持する不審物を衣服の上からイメージング画像を取得するイメージャ及び、検知距離 15m を目標に人の位置及び不審物からの反射特性情報を取得するレーダーシステムから構成された数センチ程度の解像度を持つWUO イメージャを開発する。

(b) 小型化技術の研究開発

検知距離 5m を目標に不審物の対象を金属系刃物と想定した上で、可搬・携帯可能なサイズで数キロ程度の重量まで小型化する。

イ 各センシング・イメージング技術を統合したセンサーフュージョン技術

(a) センサーフュージョン技術の研究開発

WUO イメージャを用いた金属系刃物の映像収集や当該映像情報の雑音除去・解像度改善のための信号処理技術の開発、金属系刃物を判別するための不審物認識データベースの構築、物体検出アルゴリズムの開発を行い、歩いている人が金属系刃物を隠し持っている場合に認識率 50%以上で金属系刃物と認識することを目指すとともに、不審物認識データベースの不審物の種類を順次拡大する。

(b) システム統合化技術の研究開発

不審者の映像情報と不審物の映像情報の紐付けを行い、正確性と迅速性を兼ね備えた不審物ネットワークの開発を目指す。

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。

<2019 年度>

ア W帯を使用したセンシング・イメージング技術

(a) センシング・イメージング技術の研究開発

① ハイブリッド型イメージャ

- ・ W 帯照明、アレイセンサ、光学系を組み合わせたアクティブ型イメージャを設計・開発する。
- ・ アクティブ型イメージャについて、動的目標物を撮影するために、アレイセンサをレンズアンテナの焦点に追従できるような制御システムを設計・開発する。
- ・ アクティブ型及びパッシブ型イメージャの検知距離を伸ばし、イメージング画像の空間分解能を高めるために、高利得、低収差レンズアンテナを設計・開発する。

② アクティブ型レーダー

- ・ 不審物の有無を検出するレーダー装置を実現するためのアンテナ配置及びレーダー基板や機械走査部分の機構構成を設計・開発する。

(b) 小型化技術の研究開発

- ・ 小型化のためのアンテナ部、BF 用信号発生部、送信受信アンテナ制御方式の基礎設計を行う。

イ 各センシング・イメージング技術を統合したセンサーフュージョン技術

(a) センサーフュージョン技術の研究開発

- ・ 映像解像度を改善する信号処理技術を検討する。
- ・ 不審物認識データベース（金属系刃物）を検討する。
- ・ 物体検出アルゴリズムを検討する。

(b) システム統合化技術の研究開発

- ・ 不審者と不審物の情報の集約方式を検討・開発する。
- ・ イメージャとのネットワークインターフェースを検討・開発する。
- ・ 複数イメージャデータ収集・配信のネットワーク制御方式を検討・開発する。
- ・ 複数のイメージャを用いた不審物トラッキング方式を検討・開発する。

<2020 年度>

ア W 帯を使用したセンシング・イメージング技術

(a) センシング・イメージング技術の研究開発

① ハイブリッド型イメージャ

- ・ アクティブ型イメージャの動作距離を延ばすため高出力化照明を開発する。
- ・ 誘電率等の違いを利用した検知の実証のため、複数周波数のアクティブ型イメージャを開発する。
- ・ パッシブ型とアクティブ型のハイブリッド型イメージャを開発し、画像処理の結果を用い性能を向上させる。

②アクティブ型レーダー

- ・前年度に試作したレーダーを評価し、改善点を洗い出し性能向上のため改良設計を行う。

(b) 小型化技術の研究開発

- ・BF アンテナ、BF 用信号発生回路、受信回路を開発する。

イ 各センシング・イメージング技術を統合したセンサーフュージョン技術

(a) センサーフュージョン技術の研究開発

- ・映像解像度を改善する信号処理技術の開発及び評価を行う。
- ・不審物認識データベース（金属系刃物）を構築する。
- ・物体検出アルゴリズムを開発及び評価し、他の対象物への適用可能性を検討する。

(b) システム統合化技術の研究開発

- ・不審者と不審物の情報の集約方式の評価及び改良を行う。
- ・イメージャとのネットワークインターフェースを評価及び改良を行う。
- ・複数イメージャデータ収集・配信のネットワーク制御方式の評価及び改良を行う。
- ・不審物移動追跡用ネットワークハンドオフ方式の評価及び改良を行う。

<2021 年度>

ア W帯を使用したセンシング・イメージング技術

(a) センシング・イメージング技術の研究開発

①ハイブリッド型イメージャ

- ・実証実験に向け前年度の改良設計を反映したハイブリッド型イメージャを開発し、性能を評価する。

②アクティブ型レーダー

- ・実証実験に向け前年度の改良設計を反映したレーダー装置を開発し、性能を評価する。

(b) 小型化技術の研究開発

- ・可搬型 BF イメージャを開発し、性能を評価する。

イ 各センシング・イメージング技術を統合したセンサーフュージョン技術

(a) センサーフュージョン技術の研究開発

- ・映像解像度を改善する信号処理技術の改良及び性能評価を行う。
- ・不審物認識データベースの改良及び性能評価を行う。
- ・物体検出アルゴリズムの改良及び性能評価を行う。

(b) システム統合化技術の研究開発

- ・不審物認識システムの統合評価実証試験を行う。

5. 実施期間

2019 年度から 2021 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 2025 年度までの市場性を考慮した実用化・製品展開等を実現するために必要な取組を図ることとし、その活動計画・実施方策については、提案書に必ず具体的に記載すること。

(2) 提案及び研究開発に当たっての留意点

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

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

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

<基本計画書>

不要電波の高分解能計測・解析技術を活用したノイズ抑制技術の研究開発

1. 目的

ドローンやロボット等、広域低電力無線通信や高速・大容量通信等の無線通信機能を備える機器の稠密化により通信トラフィックが急激に増加し周波数がひっ迫する見通しである。今後、さらなる機器の増大により周波数のひっ迫が進み、ドローン等の機器の制御に用いられる無線 LAN や GNSS 等の通信ネットワーク（制御用通信）等に悪影響を及ぼし安定運用が困難になることが懸念されている。また、機器の小型化・高周波駆動化・高密度実装化が進み、機器内のスイッチングデバイス（高周波電源モジュールや高速デジタル制御モジュール等）等のノイズ源が機器内のアンテナに近接配置され、電磁干渉による受信感度劣化の問題が増えることが懸念されている。

そのため、本研究開発では、極薄でありながらノイズを効果的に抑制する基板集積化ノイズ抑制技術、および無線設備等における不要電波等の発生源や抑制設計手法を高度に計測・解析する技術を開発する。本技術を活用し、ドローン等の静止及び動作状態における機器内部のノイズ発生と不要電波(700 MHz～30 GHz の帯域内)干渉を対策することにより、高密度実装化した無線設備等において従来と同等の受信感度を確保することで、制御用通信の安定化や通信特性の維持・改善によるトラフィック抑制が期待され、周波数の有効利用に貢献する。

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）

第 3 章 制度見直しの方向性

(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

(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

(中略)

e) 電磁環境・測定分野：

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。

(後略)

3. 目標

ドローン等の機器に搭載し不要電波の発生を予防する基板集積化ノイズ抑制技術及び不要電波の高分解能計測・解析技術を確立するとともに、高分解能計測・解析の結果をノイズ抑制設計へフィードバックし高性能化を図るための連携も行い、機器の内部におけるノイズ発生と不要電波干渉（700 MHz～30 GHz の帯域内）を抑制する。

これらの取組により、高密度実装化した機器においても従来と同等の受信感度（例えば無線 LAN・IEEE802.11ac では-80dBm 以下、GNSS では-130dBm 以下）を確保し、制御用通信の安定化や通信特性の維持・改善によるトラフィック抑制等を通じて、周波数の有効利用に貢献するとともに、研究開発の成果（例えば、研究開発により得られた不要電波の計測データ等）を広く展開し、様々な分野における不要電波の抑制に寄与することを目指す。

4. 研究開発内容

(1) 概要

高密度実装化した無線設備等においても従来と同等の受信感度を確保するため、不要電波の発生を予防する基板集積化ノイズ抑制技術、および無線設備等における不要電波の高分解能計測・解析技術を確立する。

ア 不要電波の高分解能計測・解析技術の研究開発

無線設備等における不要電波の発生と内部干渉を計測するためのプローブ技術を開発する。また、不要電波のプローブ技術と機能連携した、不要電波の高分解能（量子化・デジタル化した際の観測信号の分解能）計測による広帯域データをリアルタイム解析する手法、および着目する無線通信に干渉する帯域の不要電波を検知して高分解能データを収集する手法を開発する。さらに、高分解能データと通信シミュレーションを統合し、着目する無線通信への干渉及び通信性能への影響を評価する技術を開発する。

イ 基板集積化ノイズ抑制技術の研究開発

高い透磁率を有し基板内蔵化のための熱プレスプロセスに対応可能な薄い磁性体を開発し、基板内のノイズ発生源近傍に集積化させることで不要電波の発生を予防する技術を開発する。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 不要電波の高分解能計測・解析技術の研究開発

社会利用の促進が期待されるドローンやロボット、IoT 機器等の無線を利用する機器の稠密化が進み、不要電波の発生と干渉が課題となっており、これらの

機器は、自己位置推定の劣化(GNSS 受信障害)、及び通信の途絶による遠隔制御の不能(IEEE802.11 あるいは LPWA 受信障害)が生ずる可能性が指摘されている。

以下の取組により、高分解能計測技術基盤を確立するとともに、イとの連携を通じて、機器の内部や近傍における不要電波の発生と内部干渉の対策を高度化する必要がある。

(a) 不要電波のプロープ技術の研究開発

ドローン等の動作状態における不要電波の発生と内部干渉を計測するためのプロープ技術を開発し、700 MHz～30 GHz の帯域内において 6 GHz 以上の広い周波数範囲で不要電波を記録するとともに、無線通信が干渉しやすい周波数帯域における特徴的な不要電波を低ノイズフロア (-170dBm/Hz 以下) で記録する。さらに、無線設備等のイミュニティ(内部干渉への耐性)の評価にも応用するため、記録した不要電波に対する無線設備等の応答を実験評価する。

(b) 不要電波の高度解析技術の研究開発

不要電波のプロープ技術と機能連携した不要電波の高度解析技術により、ドローン等の動作状態の変化に対応した不要電波の追従性や、着目する無線通信に干渉する不要電波を抽出し、不要電波の発生と内部干渉を評価する。このために、不要電波の広帯域計測データを解析する手法、および、着目する無線通信に干渉する不要電波の高分解能データと通信シミュレーションを統合し、着目する無線通信への干渉及び通信性能への影響を評価する技術を開発する。

イ 基板集積化ノイズ抑制技術の研究開発

急速に普及する広域低電力無線通信や高速・大容量通信の無線設備等は高密度実装が進む一方で、FPGA 等の高速プロセッサに電源を供給するコンバータ等に不可欠なインダクタンス素子は、高周波化に伴い増加するコア損失の影響等により磁性体を用いない空芯コイルが用いられるが、スイッチングノイズの高周波成分等に起因する漏えい電磁波が増加することが懸念される。また、機器の小型化等に伴って、機器内のノイズ源(高周波電源モジュールや基板内蔵化が進む高周波インダクタ等)が機器内のアンテナに近接配置され、電磁干渉による受信感度劣化の問題が増えることが予想される。

現在、小型電子機器の受信感度対策として、ノイズ抑制シートが広く用いられているが、ノイズ抑制シートを用いた後付のノイズ対策では、部品の基板内蔵化が進む高密度実装化に対応できない。また、従来の磁性金属粉末がバインダー中に分散された複合構造のノイズ抑制シートは、比較的低い透磁率に止まるとともに、バインダーが熱プレス時の高温に耐えられないものが多い。

このため、高い透磁率を有し、かつ基板内蔵化のための熱プレスプロセスに対応可能な薄い磁性体を基板内のノイズの発生源近傍に集積させ、不要電波を低減する技術を確立するための研究開発が必要となる(基板内蔵化が進む高周

波インダクタ等からの不要電波を効率的に抑制することが可能であり、早期の実用化が期待されているところ)。また、アとの連携により、高分解能測定の結果をノイズ抑制設計へフィードバックし高性能化を図ることが重要である。

到達目標

ア 不要電波の高分解能計測・解析技術の研究開発

(a) 不要電波のプロープ技術

- ・ 不要電波を 700 MHz～30 GHz の帯域内において 6 GHz 以上の広い周波数範囲で不要電波を記録する広帯域計測技術
- ・ 無線設備等が干渉しやすい周波数帯域における特徴的な不要電波を低ノイズフロア (-170dBm/Hz 以下) で記録する高分解能計測技術
- ・ ドローン等の機器における不要電波の対策効果を評価する試験環境

上記の技術を確立し、小型化・高周波駆動化・高密度実装化の進む無線設備等における不要電波のプロープ技術を実現する。また、例えば、ア(b)と連携して得られた不要電波の計測データ等の研究成果を公開するなど、広く成果展開することを目指す。

(b) 不要電波の高度解析技術の研究開発

- ・ ア(a)と連携して、ドローン等の機器の動作状態における機器内部・機器外部の不要電波を計測し、10 秒以上の連続した動作状態の変化に対応した不要電波の追従性を解析する技術
- ・ ア(a)と連携して、広帯域計測データ及び高分解能計測データから、着目する無線通信に干渉する不要電波を抽出し、700 MHz～30 GHz の帯域内における複数の無線通信(無線方式と無線帯域の組み合わせ)について通信シミュレーションと統合して無線通信性能指標への影響を解析する技術
- ・ イと連携して、ノイズ抑制技術により不要電波を対策する設計環境の構築技術

上記の技術を確立し、小型化・高周波駆動化・高密度実装化の進む無線設備等における不要電波の高度解析技術を実現する。また、例えば、ア(a)と連携して得られた不要電波の計測データ等の研究成果を公開するなど、広く成果展開することを目指す。

イ 基板集積化ノイズ抑制技術の研究開発

- ・ 広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体用材料の開発技術
- ・ 広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体の設計技術
- ・ 伝送線路とノイズ抑制体を一体化した試料の実装評価のためのノイズ抑制構造体評価技術

諸外国のノイズ抑制技術の動向調査を行いつつ、上記の技術の確立やアとの連携を通じて、不要電波の発生を予防するための高い透磁率を有し、かつ基板内蔵化のための熱プレスプロセスに対応可能な薄い磁性体を開発する。これにより、基板内のノイズ発生源近傍に磁性体を集積化することを実現するとともに、既存のノイズ抑制シートと比べて不要電波の抑制効果を 10dB 以上改善することを実現する（可能な限り簡便に実装できる構成とする）。

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。

<2019 年度>

ア 不要電波の高分解能計測・解析技術の研究開発

- ・高分解能計測技術の基本検討及び設計
- ・高分解能計測データ解析の基本検討
- ・ドローン等の機器における不要電波試験基盤の構築

イ 基板集積化ノイズ抑制技術の研究開発

- ・広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体用材料の一次試作と課題抽出
- ・広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体の一次試作と設計技術の課題抽出
- ・広帯域ノイズ抑制材料および構造体の評価装置の設計と一次試作

<2020 年度>

ア 不要電波の高分解能計測・解析技術の研究開発

- ・不要電波の発生と対策に関する高分解能計測技術
- ・高分解能計測データ解析と通信干渉解析
- ・ドローン等の機器内部における不要電波のプローブ技術
- ・統合試験デバイスの第 1 次試作・評価

イ 基板集積化ノイズ抑制技術の研究開発

- ・広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体用材料の二次試作と材料系絞込み
- ・広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体の二次試作設計技術の絞り込み
- ・ノイズ抑制構造・配置の検討
- ・広帯域ノイズ抑制材料および構造体の評価装置の二次試作と単体性能試験

<2021 年度>

ア 不要電波の高分解能計測・解析技術の研究開発

- ・不要電波の内部干渉と対策に関する高分解能計測技術
- ・ドローン等の機器の動作状態における不要電波の計測
- ・不要電波の高度解析による動作状態の追従性と着目する通信への干渉の評価
- ・統合試験デバイスの第 2 次試作・評価

イ 基板集積化ノイズ抑制技術の研究開発

- ・広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体用材料の改良

- ・ 広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体の抗応力・高耐熱化技術の改良
- ・ ノイズ抑制構造・配置の検討
- ・ 広帯域ノイズ抑制材料および構造体の実機レベル試験
- ・ 広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体の高分解能計測における課題抽出
- ・ ノイズ抑制材料実装ガイドライン構築と課題抽出
- ・ 統合試験環境の構築

<2022 年度>

ア 不要電波の高分解能計測・解析技術の研究開発

- ・ 不要電波の対策効果を評価する試験環境
- ・ ノイズ抑制技術により不要電波を対策する設計環境
- ・ 統合試験の実施

イ 基板集積化ノイズ抑制技術の研究開発

- ・ 広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体用材料の性能実証
- ・ ノイズ抑制材料実装ガイドライン確立
- ・ 広帯域ノイズ抑制材料および構造体の評価法の確立
- ・ 広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体の高分解能計測による性能検証
- ・ 統合試験の実施

5. 実施期間

2019 年度から 2022 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 2025 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>

集積電子デバイスによる大容量映像の非圧縮低電力無線伝送技術の研究開発

1. 目的

2018年12月に8Kの実用放送が始まり、今後は8K等の高精細度映像の普及が加速していくものと考えられる。高精細度映像の利用はテレビ放送に限らず、医療現場における早期診断、早期治療やヘッドセットディスプレイ、e-sports等多くの分野への応用が期待されているが、映像伝送インターフェイスが有線であることによる制約が存在する。また、特に医療分野やヘッドセットディスプレイへの応用では、自由な動きを制限しないという観点から無線化の要求は高い。高精細度映像はデータ量が膨大になるため、これをマイクロ波などで無線伝送する場合には必ずデータ圧縮する必要があり、データ圧縮に伴う遅延や消費電力の増大が問題となる。このような問題を解消するには超高精細度映像のような大容量映像を非圧縮で無線伝送する技術が必要である。これを実現するためには現在周波数割当がされておらず、広い帯域を確保できる275GHz以上の周波数帯を含む高周波数帯を用いて、超高精細度映像を圧縮処理の大きな負荷をかけずに、低消費電力で無線伝送することが可能な無線伝送システムの研究開発が必要になる。これらの技術を用いることにより8K等の高精細度映像機器およびコンテンツの普及を進めることで、国民が享受する情報通信の価値を高めるとともに、我が国の産業振興を図る。

2. 政策的位置付け

- ・ 未来投資戦略2018（平成30年6月15日閣議決定）

「第2 具体的政策 I 「Society 5.0」の実現に向けて今後取り組む重点分野と、変革の牽引力となる「フラッグシップ・プロジェクト」等 [1] 「生活」「産業」が変わる 2. 次世代ヘルスケア・システムの構築 (3) 新たに講ずべき具体的施策 iv) 先進的医薬品・医療機器等の創出、ヘルスケア産業の構造転換 ②AI等の技術活用」において、「8K等高精細映像技術の内視鏡や診断支援システム等への応用の実用化に向けた研究を行う。」旨、記載されている。

「第2 具体的政策 II 経済構造革新への基盤づくり [1] データ駆動型社会の共通インフラの整備 1. 基盤システム・技術への投資促進 (3) 新たに講ずべき具体的施策 iii) 新たな技術・ビジネスへの対応 ⑥4K・8Kの推進」において、「4K・8K放送や高度映像配信サービスの提供を推進するとともに、4K・8KとAI・IoTを組み合わせた医療分野等での活用拡大に取り組む。」旨、記載されている。

- ・ 世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画（平成30年6月15日閣議決定）

「第2部 官民データ活用推進基本計画 II 施策集 II - (6) 利用の機会等の

格差の是正【官民データ基本法第 14 条関係】 ○[No. 6－5] 4K・8K等の高度な映像・配信技術の利用機会の均等」において、「2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向けて、全国の様々な場所で 4K・8K等の視聴が可能となるよう、平成 29 年 11 月に取りまとめた「4K・8K放送に関する周知・広報計画(アクションプラン)」(平成 29 年 11 月 4K・8K放送推進連絡協議会)に沿った具体的取組を実施するとともに放送のネット同時配信に係る実証及びケーブルテレビネットワークの光化への支援を進めるほか、スタジアム等の集客機能・利便性向上のため高速無線 LAN や高度な映像技術等を活用するなど、官民連携で必要な対策を推進。これらの対策によって、4K・8Kの視聴世帯の増加。」旨、記載されている。

「第 2 部 官民データ活用推進基本計画 II 施策集 II－(6) 利用の機会等の格差の是正【官民データ基本法第 14 条関係】 ○[No. 9－5] 8K等高精細映像技術の医療応用の推進」において、「8K等高精細技術を活用した医療機器等の医療上の有用性等の検証を行うとともに、高精細映像データの更なる利活用に向けた具体的方策と課題の検討・検証等を実施。平成 30 年度末までに、8K内視鏡システムの試作機を使用した人への臨床試験を 20 例以上実施し、医療上の有用性を検証するとともに、今後の普及を見据えた計画を策定する予定。また、平成 31 年度までに内視鏡診断支援システムの試作機を開発し、平成 31 年度以降も 8K 技術の医療応用の更なる取組を推進予定。これらの取組を通じて、安全な手術等による根治性や治療後の QOL を向上。」旨、記載されている。

3. 目標

8K等の超高精細度映像(データレート 48Gbit/s)を低遅延、低消費電力で無線伝送する需要に向けて、集積回路とビーム制御可能なアンテナシステムによって映像データを非圧縮で伝送する無線通信技術の研究開発を実施する。従来のマイクロ波やミリ波では不可能な広い帯域を確保できる可能性がある、未割当周波数帯を含む高周波数帯を用いて 50Gbit/s 程度の伝送速度を実現し、これにより大容量映像のデータを非圧縮で伝送することで、圧縮・伸張に要する電力を削減しつつ 1ms 程度の低遅延を実現する。これを将来普及可能なコストと性能で実現するためには、無線回路、デジタルおよびアナログ信号処理回路を集積化することが必須である。本研究開発は 2021 年度までにアンテナシステム、8Kインターフェイス、無線信号処理の各要素技術を確立し、2022 年度に映像伝送実験を行う。確立された要素技術から技術基準策定を行い、2025 年度までに次世代映像システムへの適用を目指し周波数の有効利用に資する。本研究開発により、このような需要への対応をマイクロ波やミリ波で行った場合の周波数ひっ迫の深刻化を回避するとともに、未利用周波数帯である高い周波数帯の利用促進を図る。

4. 研究開発内容

(1) 概要

275GHz 以上の未割当周波数帯は現在 ITU-R において割当ての検討が行なわれている段階であり、具体的な用途はこれから決まる周波数帯である。したがって用途によっては広い周波数帯域を確保できる可能性が高い。この観点から、本課題では 8K 高精細度映像を低遅延で無線伝送する技術を確立する。8K 高精細・高分解映像はより美しい映像を視聴できるという以上に医療分野やバーチャルリアリティ等の分野などで大きな意味を持ち、実際に内視鏡手術などの臨床手術などに活用され始めている。しかしながらこれらの応用では有線であることのデメリットも大きく、今後の発展のためには高精細度映像の無線伝送技術の確立が必須である。これらを実現する技術として従来のマイクロ波や現在開発中のミリ波を用いた場合、周波数帯幅が制限されることからデータ量が 10 分の 1 以下になるような情報の圧縮が必須であるが、この圧縮率を低遅延で実現するのは難しく、かつ大きな電力が必要となる。数 10GHz の周波数帯幅が確保できる可能性のある当該周波数帯では、非圧縮で大容量データを伝送可能であることから、情報圧縮・伸張のための電力は不要である。したがって消費電力を低減しつつ低遅延を実現できる技術として、当該周波数帯を用いた高精細度映像無線伝送技術は早急に確立しなければならない技術である。また、この周波数帯には 60GHz のミリ波帯に比べると大気による減衰が 4dB/km と小さい領域が存在するため（60GHz 帯では 17dB/km 程度）、高周波数帯としては比較的長距離の伝播が可能となる。さらに周波数が高くなるため波長が短くなり、アンテナなどを作製する際にはハードウェアの小型化も実現できる周波数帯である。したがって大容量無線伝送を小型のデバイスで実現できる。本研究開発終了後に速やかな社会実装を実現するため、研究開発で得られた成果は ITU-R および IEEE での技術検討活動に順次入力する。ITU-R では、WRC-2019 の議題 1.15 で 275GHz から 450GHz における能動業務利用に関する検討が実施される予定であり、様々なユースケースに対する技術要件やこの周波数帯の電波伝搬特性などが研究されている。WRC-2019 では能動業務のための特定 (Identify) は行われるが、より本格的な周波数割り当てである分配 (allocation) については更に次回の WRC に向けて議論される見込みであり、本研究開発成果に基づいて情報提供を行う。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 未割当周波数帯を含む高周波数帯における非圧縮低電力無線伝送技術の研究開発

当該周波数帯を用いて、非圧縮で大容量映像データの伝送を可能とする無線伝送技術を開発する。広い周波数帯域幅を用いることで、情報圧縮・伸張を不要とし、そのための電力を削減することで、電力を低減しつつ低遅延を実現する。システムの構成としては以下に述べるようにベースバンド処理技術、アレイアンテナ等によるビーム制御技術、RF フロントエンド高性能化技

術が含まれることが想定されるが、全体として最適な性能となるようにそれぞれの技術の機能、性能、境界条件を検討することも技術課題に含まれる。

① ベースバンド処理技術の研究開発

無線部分で高速伝送が実現できたとしても、これを高精細度映像機器に接続（入出力）するためのインターフェイス部分であるベースバンドの処理技術については、ミリ波帯における帯域幅数 GHz のデータ伝送用のチップは開発されているが、本研究開発における周波数帯で想定しているような帯域幅数十 GHz に対応した映像伝送用チップはこれまで実現されていない。本研究では従来有線接続によって実現されてきた信号処理技術を応用するなどして当該周波数帯用のベースバンド処理用のチップを開発する必要がある。

② ビーム制御技術の研究開発

超薄型映像表示装置や可搬医療機器では、筐体が非常に薄型や小型であることと、映像機器間の位置関係が不定であることが想定される。このため、移動した場合にも無線通信が確保でき、小型筐体に実装可能なアンテナシステムを開発する必要がある。（ただし、本件の対象では、送受信機が高速で移動するわけではないので、高速の物体を追尾するような機構を実装することは想定していない。）

③ RF フロントエンド高性能化技術の研究開発

当該周波数帯における RF フロントエンドについて、低消費電力化や周辺回路の集積化などが実用化のために必要である。この周波数帯の無線信号処理の基本回路は、これまでいくつかの研究機関から報告があるが、本提案で想定するシステムに導入するには消費電力が大きい、複数の外部装置が必要になるなどの課題が残っている。これらの課題を解決するため、この周波数帯の RF フロントエンドの低消費電力化や周辺回路の集積化など、実用化に供するための高性能化を図る必要がある。

イ 未割当周波数帯を含む高周波数帯の無線による高精細度映像伝送技術の研究開発

実際の高精細度映像の無線伝送では、映像送信機器および映像表示機器とトランシーバとのインターフェイスが必要である。無線伝送部分でのデータ圧縮は行わず、低遅延に大容量映像の伝送を行えるようにする。これにより高精細・高解像度映像の適用範囲、操作性、設置性を飛躍的に向上させることで市場での優位性を確立する。

到達目標

ア 未割当周波数帯を含む高周波数帯における非圧縮低電力無線伝送技術の研究開発

全体として当該周波数帯を用いて 50Gbit/s 程度のデータ伝送速度を得られるシステムを構築し、非圧縮で大容量映像データの無線伝送を可能とする技術を開発する。システムの構成として想定されるベースバンド処理技術、アレイアンテナ等によるビーム制御技術、RF フロントエンド高性能化技術の目標を以下に示すが、全体として最適な性能とするためにそれぞれの技術の機能、性能、境界条件を最適化する。

① ベースバンド処理技術の研究開発

低遅延性を確保しつつ十分な低消費電力性能を持つ、ベースバンド集積回路を開発する。ここでは、無線部分による信号劣化の補正及びデジタルデータの処理を、低遅延かつ実装可能な消費電力に抑える技術を開発する必要がある。この際、コスト競争力にも配慮しつつ回路の設計等を行なう。さらにイコライザやクロックデータリカバリー等のアナログ／デジタル信号の切り分けを効率よく行なえる回路設計指針を得るため、回路シミュレーションと回路試作を繰り返すことにより必要なパラメータを抽出し、素子の最適化を進め、伝送に必要な 50Gbit/s 程度の処理速度を達成する。

② ビーム制御技術の研究開発

既に高周波数帯の単一アンテナについては多層誘電体と金属を組み合わせた平面アンテナが提案されているがビーム方向制御などの機能は達成されていない。本課題ではビーム方向制御が可能となるアンテナシステムの実現を目指す。映像機器間の位置関係が変化しても無線通信が確保できるよう、角度 10 度程度でビーム方向制御（ビームステアリング）が可能な構造を実現する。また、これを用いて小型筐体に搭載できる、当該周波数帯に対応した、小型・薄型な送受信システム用のアンテナシステムを実現する。

③ RF フロントエンド高性能化技術の研究開発

ビームステアリングに必要な回路を内蔵し、当該周波数帯の無線信号を送受信できる集積回路を開発する。「イ 未割当周波数帯を含む高周波数帯の無線による高精細度映像伝送の実証実験」に必要な 0dBm 以上の送信電力を実現する。また、この部分での消費電力を抑える技術を開発する必要がある。さらに、コスト競争力を高めるために、部品点数削減可能な集積化技術を開発する。増幅器の消費電力を抑える、ミキサの変換効率を高めるなどにより、低消費電力化を実現するための回路設計指針を得るため、回路シミュレーションと試作を繰り返すことによりシステム

全体の最適化を進める。

イ 未割当周波数帯を含む高周波数帯の無線による高精細度映像伝送技術の研究開発

アで開発した技術を統合し、大容量映像の無線伝送の実証実験を行う。また、それに必要な映像送信機器および映像表示機器とトランシーバとのインターフェイスを作製する。伝送部分での圧縮処理は行わず、非圧縮伝送を伝送距離 5m 以上、誤り率 10^{-4} 以下、伝送速度 50Gbit/s 程度、遅延時間 1ms 以下で実現し、既存の圧縮無線伝送システムと比較した優位性を示す。また、角度 10 度程度のビーム制御が実現可能であることを示すとともに送受信装置の構成を最適化し、トランシーバ単体の消費電力を 25W 以下に抑える。

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。

<2019 年度>

ア 未割当周波数帯を含む高周波数帯における非圧縮低電力無線伝送技術の研究開発

- ・ ベースバンド回路の基本部分（直並列変換、波形整形回路）の検討を行い、設計・試作品を用いた評価または既存品を用いた評価を行う。
- ・ ビーム制御実現に必要な構成要素を設計し、電磁界シミュレーションにより特性を評価する。さらに、この周波数帯で入力特性、損失、指向性を測定するための評価装置を構築する。
- ・ 実証実験に必要な回路の要求仕様について検討を行う。また、所望の機能と性能を実現しつつ RF フロントエンドを低消費電力化するための、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を行う。

イ 未割当周波数帯を含む高周波数帯の無線による高精細度映像伝送技術の研究開発

- ・ 映像伝送系のシステムおよびインターフェイス設計のための方式検討を行う。

<2020 年度>

ア 未割当周波数帯を含む高周波数帯における非圧縮低電力無線伝送技術の研究開発

- ・ 試作したベースバンド回路のブラッシュアップを行う。FPGA 等を用いてプログラミングによるデジタル部の検討及びデモを実施する。
- ・ ビーム制御の構成要素を試作し、その特性を測定により評価する。必

要な性能が得られるように改良設計を進める。

- ・ 前年度に試作した RF フロントエンドの要素回路の評価を行い、RF フロントエンドを集積化したチップの試作と特性評価を行う。

イ 未割当周波数帯を含む高周波数帯の無線による高精細度映像伝送技術の研究開発

- ・ 映像伝送系の基本伝送システムおよびインターフェースの確認実験を行う。

<2021 年度>

ア 未割当周波数帯を含む高周波数帯における非圧縮低電力無線伝送技術の研究開発

- ・ 無線伝送の最適化、顧客使用状況を想定したシステム仕様を決定する。波形整形回路やビーム制御機能を含む回路の設計・試作を行う。
- ・ ビーム制御の構成要素を組み合わせて接続し、バラック構成で、アンテナシステムを構成する。また、その特性を測定により評価する。
- ・ RF フロントエンド回路の搬送波発生回路を試作し特性評価を行う。

イ 未割当周波数帯を含む高周波数帯の無線による高精細度映像伝送技術の研究開発

- ・ 最終年度に向けての予備実験として、ビーム制御技術を含めた伝送実験を行う。

<2022 年度>

ア 未割当周波数帯を含む高周波数帯における非圧縮低電力無線伝送技術の研究開発

- ・ ベースバンド部および無線システムの評価を行う。実証実験システムに組み入れ、ベースバンド機能を実証する。
- ・ ビーム制御の構成要素を一体化してモジュール構成とするための設計をし、試作してその特性を評価する。
- ・ この周波数帯の搬送波発生回路を RF フロントエンド回路に集積化・試作し、特性評価を行う。

イ 未割当周波数帯を含む高周波数帯の無線による高精細度映像伝送技術の研究開発

- ・ 課題アで開発した各技術を統合し、映像伝送実験を実施する。

5. 実施期間

2019 年度から 2022 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2025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の説明を行うこと。

(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。

(3) 特記事項

それぞれの課題は全体目標に密接に関わるため、課題間連系は密に行うこと。

＜基本計画書＞

ミリ波帯におけるロボット等のワイヤフリー化に向けた無線制御技術の研究開発

1. 目的

Society5.0時代における高度なサービスの実現、人手不足の解消、生産性の向上等のためあらゆる分野でのロボットの活用が期待されており、官民を挙げた研究開発等が行われている。

ロボットを社会生活へ導入するためには、これまでのように事前にプログラミングされた作業を行うだけでなく、学習し行動するロボットが必要であり、多能工化などロボット自身の能力の更なる向上が必要不可欠である。このため、これまでロボットの機構、可動領域等を制限してきたワイヤを無くすワイヤフリー化の無線制御技術を実現し、これまでにない革新的なロボットの設計を可能とする必要がある。

一方で、現在、ロボット内部や近傍における通信は、2.4GHz、5GHz等の周波数が利用可能であるが、日本では月に1エクサバイトのトラフィックが2.4GHz、5GHzへオフロードされており、さらにオフロードは年率平均42%の増加が見込まれている。また、公衆無線LANの提供主体が多様化し、公衆無線LANサービスの利用者が増加するとともに、今後、東京五輪や訪日観光客対策としてWi-Fiスポットの増設が見込まれるなど、当該周波数帯の逼迫が進展しており、高信頼・低遅延が求められるロボット等の通信での利用が困難になっていくことが想定される。

そこで、2.4GHz、5GHz帯のさらなるひっ迫を回避するため、ミリ波帯における超高信頼・低遅延を実現する通信技術を確立することでロボット内部や近傍における通信のミリ波帯への移行を実現することが必要不可欠である。

このようにあらゆる分野への活用が期待されているロボット等のワイヤフリー化に向けた無線制御技術を確立するため、高雑音かつ遮蔽・反射が発生する環境下において多数のデバイスとの間で高信頼かつ低遅延な通信を可能とする技術を確立するとともに、現在利用されている周波数のさらなるひっ迫状況を低減するため、比較的ひっ迫の程度が低いミリ波帯を利用可能とする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。

2. 政策的位置付け

- ・「未来投資戦略2018」（平成30年6月閣議決定）

「②ロボット技術の社会実装」において「複数ロボットの相互協調やケーブルレスを実現する次世代ロボットの技術開発に取り組む。」とされている。

- ・「科学技術基本計画」（平成28年1月閣議決定）

「第2章 未来の作業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組（3）「超スマート社会」における競争力向上と基盤技術の強化」において「②基盤技術の戦略的強化 ii）新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術 ・コミュニケーション

、福祉・作業支援、ものづくり等様々な分野での活用が期待できる「ロボット技術」が挙げられている

- ・「科学技術イノベーション総合戦略 2017」（平成 29 年 6 月 閣議決定）

「第 2 章 未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組 （2）新たな経済社会としての「Society 5.0」を実現するプラットフォーム [C]重きを置くべき取組 ②プラットフォームを支える基盤技術の強化 ii）フィジカル空間（現実空間）関連の基盤技術の強化」において「ものづくり現場やサービス分野等での生産性向上に資するロボット技術及び高齢者・障害者の安全・安心な生活に向けた支援ロボット等の研究開発を推進する。」とされている。

3. 目標

ロボット等のワイヤフリー化を実現する技術として、比較的ひっ迫の程度が低いミリ波帯を利用可能としながら、高雑音かつ遮蔽・反射が発生する環境下において多数のデバイスとの間で高信頼かつ低遅延な通信を可能とする技術を確立する。

このため、ミリ波帯において高雑音かつ遮蔽・反射が発生する環境下における高信頼性通信技術や、多チャネル通信と両立可能な低遅延通信技術を確立し、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、現在ロボット等の内部や近傍における通信で利用されている周波数のさらなるひっ迫の低減を目指す。

4. 研究開発内容

（1）概要

本研究開発では、ミリ波帯に加え、必要に応じてその他の利用可能な周波数帯を使用して、ロボット等の多様な状況に応じて確実にワイヤの代替となるよう、高信頼で低遅延の通信を、多数のデバイス間でやり取り可能とするロボット等のワイヤフリー化に向けた無線制御技術を確立する。

また、これらの研究開発成果を広く展開することでロボット等のワイヤフリー化技術等の早期の社会実装に寄与するため、国内及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

技術課題

ロボット等の制御信号等を伝達するワイヤの代替となる無線制御技術はワイヤと同等の信頼性が必要となる一方、ロボット等には駆動のためのモータ等が複数内蔵されていることが多くロボット周辺には雑音が生じていることから、高雑音かつ遮蔽・反射が発生する環境下においても小電力で高信頼性を確保した通信技術を確立することが重要である。

また、ロボット等は複数のモータを内蔵していることが多く、人型ロボットの場合モータ等への制御信号を伝送するデバイスが 100 程度必要となる場合もある。このためこ

の100程度のデバイスとリアルタイムに通信を行う必要がある。特に近年市場に登場した超高速モータの動作をフィードバックし制御を行った場合、実用に耐えうる性能を確保するために必要な遅延時間0.1m秒以下の低遅延で伝送することを可能とする必要があり、多チャンネル通信と両立可能な低遅延通信技術を確立する必要がある。

さらに、現在周波数がひっ迫している2.4GHz帯や5GHz帯ではなく50GHz帯や60GHz帯といったミリ波帯において、低い周波数帯域に比べ直進性が強く回り込みにくく、遮蔽により通信が途切れやすいという課題を克服する技術の実現を目指す。

以上を踏まえ、本研究開発ではアンテナの検討や伝搬特性の取得を通じた検討に基づき以下の技術を確立することで、比較的ひっ迫の程度が低いミリ波帯を利用可能とし、現在ロボット等の内部や近傍における通信で利用されている周波数のさらなるひっ迫の低減を図る。

- ・高雑音かつ遮蔽・反射が発生する環境下における高信頼性通信技術
- ・多チャンネル通信と両立可能な低遅延通信技術
- ・高雑音かつ遮蔽・反射が発生する環境下における高信頼性通信技術及び多チャンネル通信と両立可能な低遅延通信技術をミリ波帯の無線通信で使用可能とする技術

到達目標

ロボット等のワイヤの代替となる通信技術であることから信頼性（パケット到達率）は限りなく100%に近い必要がある。ロボット等のモータ等による雑音環境化において、2020年を目処に実用化が予定されている5Gと同等の99.999%の信頼性を実現する。

ロボット等にはその駆動のため多数のモータ等が搭載されており、多くの産業用ロボットではモータ等への制御信号を伝送するデバイスが100程度になることからISO11898に相当する通信速度である1M bps以上の通信チャンネルが同時に100以上の利用可能とし、併せて駆動部のリアルタイムな制御を実現するために遅延時間0.1m秒を目標に通信を行う技術を実現する。

これらの高雑音かつ遮蔽・反射が発生する環境下における高信頼性通信技術及び多チャンネル通信と両立可能な低遅延通信技術をミリ波帯の周波数を使用し、無線通信を行う技術を実現する。

さらに、研究開発を行った通信技術を産業用のロボットアームに実装可能な通信装置の試作機に導入し、実環境を模した環境において動作することを確認する実証を行う。

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)

<2019年度>

- ・高雑音かつ遮断・反射が発生する環境下における高信頼性の通信方式の検討
- ・多チャンネル通信と両立可能な低遅延の通信方式の検討

- ・ ロボット等のワイヤの代替となるミリ波帯周波数を用いた無線通信に適したアンテナの調査・検討及び当該アンテナのロボット等の表面における遮断や反射などによるマルチパスの影響を考慮したミリ波帯周波数の電波伝搬特性の取得

<2020 年度>

- ・ 高雑音かつ遮蔽・反射が発生する環境下における高信頼性の通信方式のシミュレーションによる評価
- ・ 多チャンネル通信と両立可能な低遅延の通信方式のシミュレーションによる評価
- ・ 高雑音かつ遮蔽・反射が発生する環境下における高信頼性の通信技術及び多チャンネル通信と両立可能な低遅延の通信技術をミリ帯の周波数による無線通信に適用する技術の検討
- ・ 駆動し、かつ、モータ等により振動する環境下において通信可能で、ロボットアーム等のロボットの部位に実装可能な通信装置の試作

<2021 年度>

- ・ 高雑音かつ遮蔽・反射が発生する環境下における高信頼性の通信技術及び多チャンネル通信と両立可能な低遅延の通信技術をミリ波帯の周波数による無線通信へ適用した技術の検証
- ・ ロボットアーム等における試作した通信装置の実証

5. 実施期間

2019 年度から 2021 年度までの 3 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 2026 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

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、技術課題や目標の達成に向けた研究方法、実用的な成果を導出するための実施計画及び年度目標について具体的に提案書に記載すること。

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

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>

高ノイズ環境における周波数共用のための 適応メディアアクセス制御に関する研究開発

1. 目的

本格的な IoT 時代を迎え、製造、小売り、農業、健康等の様々な分野で無線通信を使った IoT の導入が進んでいる。特に、工場等では様々な工具、装置、機械などに無線機器が取り付けられ、作業データ等の収集・分析が行われ、生産性の向上に向けた取組が進んでいる。また、工場等で利用される無線機器は、無線 LAN 等で利用されている 2.4GHz 帯の周波数を中心とした同一周波数帯域を共用している状況である。

他方、工場等の製造現場では、無線機器以外にも産業機械及び高周波利用設備が稼動しており、これらから発せられる高レベル・広帯域な電波ノイズが原因となって、無線機器の通信が途絶し輻輳するといった問題が発生しているのが現状となっている。

今後、労働人口や熟練技術者が減少する中、製造現場においては無線機器を使った状況把握、制御等のニーズ増加が見込まれている一方で、自動搬送車を含む産業用ロボットについても利用拡大が見込まれており、2035 年には現在の倍以上の市場規模となる予測もあるため、これにより通信の途絶・輻輳等が発生し安定した通信の維持が一層困難となることが予想され、製造現場のワイヤレス化に向けた大きな課題となっている。

以上の背景の下、本研究開発では、高レベル・広帯域なノイズが発生する環境下においても信頼性のある無線通信を可能とする技術等を確立することで、既存の周波数を用いた高信頼性の無線通信を実現し、電波の有効利用に資する。

2. 政策的位置付け

- ・未来投資戦略 2018-「Society 5.0」「データ駆動型社会」への変革-（2018 年 6 月 15 日 閣議決定）

「Ⅱ. [1] 1. (3) iii) ⑤「Society 5.0」を支える通信環境の整備」において「スマートワイヤレス工場等の生産現場における無線通信の円滑な導入を進めるため、工場内の無線通信を最適制御する技術の研究開発を実施」する旨が記載されている。

- ・経済財政運営と改革の基本方針 2018（2018 年 6 月 15 日 閣議決定）

「第 2 章 5. (2) ①」において「我が国の国際競争力を強化する観点から、「知的財産推進計画」や「人工知能技術戦略実行計画」の策定・実行を進めるとともに、サイバーセキュリティ対策、先端技術の国際標準化などに官民挙げて取り組む」旨が記載されている。

- ・ 知的財産推進計画 2018 (2018 年 6 月 12 日)

「I. 1. 45. 第 4 次産業革命時代を見据えた IoT サービス等に関する国際標準化戦略の推進」において「ワイヤレス工場の普及・展開に向けて、工場等の狭空間における無線通信を最適化する技術等の研究開発や国際標準化を推進するとともに、ドイツをはじめとする海外の研究機関等との国際連携、情報発信と仲間作り、人材育成等の取組を一体的に推進する」旨が記載されている。

- ・ 日独間のデジタル分野における協力関係の強化に関する共同声明及びその経緯

本件の主な社会展開先となる製造業について、ドイツ連邦共和国では、官民連携プロジェクト「インダストリー4.0 戦略」の中で製造業の IoT 化を通じた第四次産業革命の社会実装を提唱しており、近年では同国を中心とした二国間・多国間 IoT 連携が急速に進展しているなど、同国は国際的に見ても製造 IoT 化を牽引している。このことから、製造 IoT について日独間で連携し、両国の政策動向の共通項を踏まえた課題解決のための共同研究開発を実施することにより、戦略的な国際標準化及び国際展開に向けた取組が可能となり、我が国の国際競争力の強化及び開発技術の実用化の加速に繋がると考えられる。

これらの背景の下、総務省、経済産業省及び独連邦経済エネルギー省の閣僚級間で合意に至った「経済政策と経済協力に関する日独共同声明」(2018 年 10 月 31 日署名)では、IoT/インダストリー4.0 に関する研究開発、国際標準化等での日独協力の枠組みを定めた「ハノーバー宣言」(2017 年 3 月 19 日署名)に基づく日独間の主要協力事項として「総務省及び連邦経済エネルギー省による、製造 IoT/AI 分野における日独共同研究開発の実現」について言及されている。

本件は、製造業において、信頼性のある無線通信を可能とし、生産性向上に資する無線・IoT の使用を促進する技術の開発及び国際標準化を目的としており、日独政府間での調整の結果、前述の日独共同声明に基づく共同研究開発に位置付けられているものである。

3. 目標

異種の無線システムや産業機械等が共存し、高レベル・広帯域なノイズが発生する環境下で、信頼性のある無線通信を可能にする無線通信技術として、状況に応じて送信タイミングを制御し既存チャンネルを複数に分割・冗長化して送信する技術、無線環境の可視化・シミュレーション技術、稼働物体との高信頼無線通信技術を確立し、これら複数の技術を組み合わせることで、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、製造現場や医療現場等、異種の無線システムや産業機械等が共存する環境下においても、信頼性のある無線通信を可能とするため、

920MHz/2.4GHz/5GHz 等（製造現場において利用が想定される無線通信規格、特に Wi-Fi, 802.11ah, 802.11ax, Wi-SUN, Bluetooth 等）において、状況に応じて送信タイミングを制御し既存チャンネルを複数に分割・冗長化して送信する技術や無線環境の可視化・シミュレーション技術、稼働物体との高信頼無線通信技術の確立に向け、以下の区分により研究開発を実施する。

- ア 適応的複合メディアアクセス制御技術
- イ 多用途周波数共有最適化技術
- ウ 稼働物体との高信頼無線通信技術

なお、各技術の開発に当たっては、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、社会実装にも寄与するため、国内及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 適応的複合メディアアクセス制御技術

技術課題

工場内の製造現場では、産業機械・高周波利用設備から発される高レベル・広帯域な電波ノイズやマルチパスリッチな環境に起因して、受信信号強度が不安定となり、信号雑音比（SN比）の悪化により無線通信が途絶するといった課題がある。こうした課題に対応し、異種の無線システムや電波ノイズを発する産業機械等が共存する環境下においても信頼性のある無線通信を可能とするため、以下の研究開発を実施する。

- ・異種の無線システムから発される電波や、産業機械等から発される電波ノイズの影響を回避するための制御技術
- ・既存のチャンネルを複数に分割し、複数の同一データを冗長化して送信することで通信の信頼性を高める技術
- ・複数の端末を用いることで通信の強度を高める技術

到達目標

データ通信、制御等の特定の用途を持つシステムのうち少なくとも二種類の無線システムが共存する環境において、電波ノイズ源の影響を避けながら時分割で通信する送信装置とそのタイミング制御を可能とする。

また、既存のチャンネルを複数に分割し、複数の同一データを冗長化して送

信することで通信の信頼性を高める。さらに、複数の端末を用いることで通信の強度を高める。

以上の技術を確認し、組み合わせて実施することで、高レベル・広帯域なノイズが発生する環境下で、周波数利用効率について2倍以上の向上を実現する。

イ 多用途周波数共有最適化技術

技術課題

工場等の製造現場において信頼性の高い無線通信を可能とするためには、様々な用途の電波の使用状況を把握するだけでなく、産業機械や高周波利用設備から発生される電波ノイズについても把握をしなければならないという課題がある。こうした課題に対応するため、電波環境情報を把握し、その情報から将来的な電波環境の予測を行うとともに、工場等の現場ユーザが予測結果を活用して周波数を有効利用できるよう、以下の研究開発を実施する。

- ・ 様々な用途で使用されている無線システムからの電波や、複数の周波数にまたがる電波ノイズ等の利用・干渉状況を把握し、パターンを抽出することで、将来的な電波環境を予測する技術
- ・ 各用途の電波が相互に与える影響や、電波ノイズが各用途の電波に与える影響等を可視化する技術
- ・ 通信の安定性を確保するため、多用途の周波数の相互影響や電波ノイズが与える影響等を考慮して、複数周波数利用時の無線リソース（時間、周波数、空間）の使い方を最適化する技術

到達目標

データ通信、制御等の特定の用途を持つシステムのうち少なくとも二種類のシステムが共存する環境において、二箇所以上の工場等で取得された実測データを用いて、様々な用途で使用されている無線システムからの電波や複数の周波数にまたがる電波ノイズ等のパターンを抽出し、各用途の電波が相互に与える影響や、電波ノイズが各用途の電波に与える影響等の可視化を実現する。また、通信の安定性を確保するため、多用途の周波数の相互影響や電波ノイズが与える影響等を考慮して、複数周波数利用時の無線リソース（時間、周波数、空間）の使い方を最適化することを可能とする。

ウ 稼働物体との高信頼無線通信技術

技術課題

昨今、産業機械の予知保全や製造ラインの柔軟性向上のため、産業機械の複数の可動部に無線センサを取り付けて状態を把握し、アクチュエータ等と通信して機械を遠隔制御することに対する期待が高まっている。しかしながら、産業機械自体が高レベル・広帯域なノイズを発生することや、産業機械の稼働に伴い無線受信部分の位置がダイナミックに変わることにより、産業機械の可動部

に取り付けたセンサやアクチュエータ等との無線通信が成功せず、再送処理が発生するといった課題がある。また、多数のセンサから送信される膨大なデータが輻輳し、必要な情報や制御信号が欠落するといった課題がある。

こうした課題に対応するため、以下の研究開発を実施する。

- ・ダイナミックに位置が変化するセンサ等とアクセスポイント間の電波の送受信を高効率化する技術
- ・産業機械の可動部に取り付けられた多数のセンサからリアルタイムに情報を取得し、その情報を基としたアクチュエータ等に対する確実な制御通信を実現する技術

到達目標

稼動する産業機械の可動部に取り付けられたセンサやアクチュエータ等に対し、高効率な電波の送受信を可能とし、上記課題ア、イと連携することで、高レベル・広帯域なノイズの発生する環境下における周波数利用効率について2倍以上の向上を実現する。

その上で、産業機械の可動部に取り付けられた多数のセンサからリアルタイムに情報を取得し、その情報を基としたアクチュエータ等に対して確実な制御通信をすることで、当該産業機械のデータ取得と稼動制御の両立を実現する。

なお、上記課題ア、イ、ウ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、以下を記載例として、提案する研究計画に合わせて設定すること。

(例)

<2019 年度>

ア 適応的複合メディアアクセス制御技術

- ・適応複合メディアアクセス制御技術の開発
- ・適応的通信制御技術の開発
- ・耐ノイズ通信技術の開発

イ 多用途周波数共用最適化技術

- ・多用途周波数相互影響可視化技術の開発
- ・多用途周波数相互影響シミュレーション技術の開発

ウ 稼動物体との高信頼無線通信技術

- ・高効率電波送受信技術の開発
- ・適応的データ最適化技術の開発

<2020 年度>

ア 適応的複合メディアアクセス制御技術

- ・適応複合メディアアクセス制御技術の改良
- ・適応的通信制御技術の改良

- ・耐ノイズ通信技術の改良
- イ 多用途周波数共有最適化技術
 - ・多用途周波数相互影響可視化技術の改良
 - ・多用途周波数相互影響シミュレーション技術の改良
- ウ 稼働物体との高信頼無線通信技術
 - ・高効率電波送受信技術の改良
 - ・適応的データ最適化技術の改良

<2021 年度>

- ア 適応的複合メディアアクセス制御技術
 - ・統合システム実装
 - ・統合システム評価・実証
- イ 多用途周波数共有最適化技術
 - ・多用途周波数相互影響可視化技術及び相互影響シミュレーション統合
 - ・統合システム実証
- ウ 稼働物体との高信頼無線通信技術
 - ・高効率電波送受信技術の実証
 - ・適応的データ最適化技術の実証

5. 実施期間

2019 年度から 2021 年度までの 3 年間

6. その他

(1) 特記事項

- ① 提案者は、上記課題ア、イ、ウのいずれか又は複数の課題に提案することができる。なお、いずれの研究開発の受託者は相互に連携、協力して研究開発を行うとともに、課題アの実施者は本研究開発全体の取りまとめを行うものとする。
- ② 上記課題ウについては、「2. 政策的位置付け」に記載の日独共同研究開発に資することを目的として、日独両国の政策動向の共通項を踏まえて技術課題を設定している。

そのため、提案の中で、ドイツ連邦共和国の研究機関・企業との連携等の内容（これまでの実績、幅広い共同研究の可能性等）が含まれている場合には、評価の際に考慮することとする。

また、採択後は、ドイツ連邦共和国側で推進される研究開発プロジェクトを実施する研究機関等と連携して研究開発を進めること。具体的な連携先や連携方法等については、総務省との協議の上、決定することとする。

(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2026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。

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ふまえたオープン・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 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。

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 総務省において既に実施している研究開発課題「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」で得られた知見の活用に十分留意すること。

⑦ 国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）のプロジェクトである

Flexible Factory Project (<https://www2.nict.go.jp/wireless/ffpj.html>)
が実施した、工場等における無線ユースケースや通信要件の調査・検証結果
を踏まえた上で提案を行うこと。

(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。