

＜基本計画書＞

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

1. 目的

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

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

2. 政策的位置付け

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

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

①研究開発プロジェクトの推進

- ・イノベーションを創出する情報通信技術の利活用推進・強固な基盤整備（総務省）
- ・知識情報社会の実現に向けた情報通信政策の在り方（平成 23 年情報通信審議会諮問第 17 号 平成 24 年 7 月 25 日答申）
Active Japan ICT 戦略「アクティブコミュニケーション戦略～堅牢・高性能な重層的ブロードバンドネットワークの展開～」において、「大容量・途切れない高信頼・高品質な通信を可能とする移動通信システム等のブロードバンドワ

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

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

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

- ・電波政策懇談会報告書（平成 21 年 7 月）

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

3. 目標

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

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

また、他のシステムへの保護基準として、5GHz 帯においては不要輻射制限（-75dBW/MHz）を満たすとともに、Ku/Ka 帯においては固定業務において規定されている電力束密度（PFD）許容値（Ku 帯：-138dBW/4kHz・m²、Ka 帯：-105dBW/1MHz・m²）を固定衛星業務（FSS）にも準用し、これを満たすことを目指す。

4. 研究開発内容

(1) 概要

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

研究開発を行う。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

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

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

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

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

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

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

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

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

ウ 複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術の開発

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

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

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

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

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

エ UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術の開発

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

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

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

到達目標

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

- (a) 周波数共用評価のための電波伝搬モデルの確立

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

- (b) 他の地上用無線業務との周波数共用技術

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

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

(a) UAS 搭載用の可変指向性アンテナ技術

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

(b) 環境適応型衛星通信技術

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

ウ 複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術の開発

(a) 耐遅延中継技術

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

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

(b) 地上・UAS 連携マルチリンク MIMO 符号化中継技術

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

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

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

エ UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術の開発

(a) UAS 搭載スペクトラムセンシング技術

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

(b) 地上発信源の位置推定技術

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

(c) UAS 無線システムの高度周波数制御技術

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

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

<平成 26 年度>

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

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

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

可変指向性アンテナと環境適応通信装置の詳細設計と開発、並びに地上での

予備実験の実施と解析を行う。

ウ 複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術の開発

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

エ UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術の開発

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

<平成 27 年度>

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

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

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

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

ウ 複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術の開発

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

エ UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術の開発

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

5. 実施期間

平成 26 年度から平成 27 年度までの 2 年間

6. その他

(1) 成果の普及展開に向けた取組等

①国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中及び終了後、速やかに関連する国際標準化機関等へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際機関（ITU-R、ICAO、AWG 等）において関連動向を調査し、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、

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

② 実用化への取組

平成32年度までの実用化・製品展開等を実現するために、「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」や利用協議会の設立など、必要な取組を実施することとし、その活動計画や実施方策等について、提案書に必ず具体的に記載すること。

(2) 提案および研究開発に当たっての留意点

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

研究開発の実施に当たっては、学識経験者、有識者、想定される利用者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催することにより、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を受けること。

本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について、研究計画書の中に具体的かつ詳細に記載すること。