

## ＜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や、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周波数共用技術及び他の衛星通信との共用技術を開発し、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・途切れのない高信頼・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）において、「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システムと周波数を共用しつつ他のネットワークと協調して迅速に展開できる技術の実現に必須となるコンポーネントの試作開発やアルゴリズム評価を行い、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、UAS 1 機あたり 5Mbps の伝送容量を満たすことを目指す。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 PFD 許容値（Ku 帯：-138dBW/4kHz・m<sup>2</sup>、Ka 帯：-105dBW/1MHz・m<sup>2</sup>）を固定衛星業務（FSS）にも準用し、これを満たすことを目指す。

### 4. 研究開発内容

#### （1）概要

UAS を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携及び共用を実現するため、5GHz 帯における UAS と他の地上用無線業務との周波数共用技術、Ku/Ka 帯における UAS と他の衛星通信との周波数共用評価、複数 UAS と地上ネットワークを連携させた対地上の高速かつ安定した中継システムの研究開発のためコンポーネントの試作開発、ならびにアルゴリズム評価を行う。

#### （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が、この帯域は地上無線アクセスシステム及び航空無線航行システムとの共用バンドとなっている。このため、この周波数の利用にあたっては、上空を飛行する UAS で送信・受信した場合の伝搬特性や、地上の現用システムとの間の与干渉・被干渉特性を把握し、周波数共用条件検討のためのデータを蓄積しておく必要がある。

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・

中型 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の確立
- (b) 他の地上用無線業務との周波数共用技術

#### イ Ku/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、Ku/Ka 帯における FSS 用の帯域を用いることが 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 の安全飛行のための映像伝送等、UAS と衛星間的高速通信を実現する必要がある。

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・利用可能な小型・中型 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) 環境適応型衛星通信技術

#### ウ 複数 UAS と地上ネットワークを連携させ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、中継すべきデータを UAS で物理的に移動し、遠くの範囲へ送り届けたり、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）チャネルとして高速・安定通信に活用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 ネットワーク符号化中継技術

### 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 帯の送受信装置を実際の UAS に搭載し、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、さまざまな環境（5 種類以上）における電波伝搬データを取得して解析を行い、各環境や条件ごとの基礎的な電波伝搬モデルを確立する。

(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地上局システム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）を保護するための不要輻射制限基準を満たすための干渉評価並びに周波数共用評価が可能な周波数共用評価システムを構築する。

イ Ku/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、小型で軽量の可変指向性アンテナの設計を行い、これを実現するための無線コンポーネントの試作開発を行う。

(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ンネル制御や送信出力制御による干渉回避のための方式設計を行い、その制御コンポーネントの試作開発を行う。地上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 と地上ネットワークを連携させ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、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地上局向けにダウンリンクする、大きな遅延を許容したメッセージ伝送技術のためのネットワーク制御コンポーネントを試作開発する。

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・上空のネットワーク技術の強化及び連携による中継技術向上、および中継経路の切り替えりや一時途絶などを考慮した情報のロバスト配信のためのアルゴリズム評価を行う。また、UAS に搭載する小型ネットワークサーバと地上を走行する車両に搭載する端末の無線コンポーネントの試作開発を行う。伝送遅延やスループット低下の代償は伴うが、UAS の物理的な高速移動特性を利用して、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 ネットワーク符号化中継技術

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)チャンネルを構成し、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 リンクによる耐干渉性に優れた中継を行う巨大 MIMO 時空間符号化中継のためのアルゴリズム評価を行う。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)と組み合わせることで、伝送する情報量は減らすことなく送信パケットの数を削減し、ネットワーク全体としての周波数資源利用効率を改善するためのマルチリンク MIMO ネットワーク符号化伝送を行うためのアルゴリズム評価および無線コンポーネントの試作開発を行う。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、メッシュ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評価を行う。

## 5. 実施期間

平成 24 年度

## 6. その他

### (1) 成果の普及展開に向けた取組等

#### ①国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中及び終了後、速やかに関連する国際標準規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体及び具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

#### ②実用化への取組

研究開発期間終了後も引き続き取り組む予定の「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」及び平成 30 年度までの実用化・製品展開等を実現するために必要な実証実験等の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。