

革新的情報通信技術研究開発委託研究
Beyond 5G 機能実現型プログラム
基幹課題 研究計画書

課題 076

災害時の応急エリアカバレッジのための無線通信技術の研究開発



1. 研究開発課題

『災害時の応急エリアカバレッジのための無線通信技術の研究開発』

2. 目的

通信インフラは電気やガス、上下水道、鉄道、道路などと並び、いまや生活上欠かすことのできない社会の基盤となっているが、Beyond 5G では、ありとあらゆる人・モノのネットワークへの接続がより高度に進展することで、フィジカル空間の国民生活や経済活動がサイバー空間に拡張され、移動通信システムが社会基盤の根幹となるまでに進化することが想定される。

こうした中で、大規模災害等により移動通信インフラに障害が発生すると情報伝達が制約を受け、被災地における救助活動、物資の輸送等が困難となる等、社会が受ける影響が極めて大きくなることが予想される。こうした状況に対応するため、大規模災害時においても移動通信サービスを継続可能とし、社会が受ける影響を最小限に抑えるための手段を確立しておくことが肝要である。大規模災害時の地上基地局の通信断による情報伝達の制約を解消するためには、上空の基地局から通信サービスを提供することが有効である。そのため、本研究開発では、災害時における上空の基地局からの応急エリアカバレッジのための無線通信技術の研究開発・実証を行う。

具体的には、災害時にあっても電波の有効利用を確保しつつ、損傷・輻輳等により制限を受けている地上ネットワークの負荷を迅速に軽減するため、上空の基地局により通信回線を迅速に確保する技術（被災地において上空の基地局を搭載する機体の運用開始に連動した迅速な通信回線の確保手法、地上基地局と上空の基地局が事前調整することなく迅速な通信サービス提供を可能とする共用技術の開発など）、通信途絶を局限化可能な安定な通信エリアの確保技術（高速ドップラー周波数変動抑制技術など）等について研究開発を行い、災害ソリューションの実用化のための研究開発を推進する。

なお、応急対応の観点から、上空の基地局を搭載する機体については、旋回空域への配置までに時間を要し、ペイロードの重量等の搭載リソース制約から大容量通信を可能とする大型基地局の搭載が厳しい高高度プラットフォーム（HAPS: High Altitude Platform Station）ではなく、これらの制約が少なく、かつ平時における実運用が既に開始されており、今後他のサービスや業務での一層の活用も見込まれることから、研究開発リスクの低減が見込まれる高速無人航空機（UAV: Unmanned Aerial Vehicle）等の使用を想定する。また、人工衛星よりも低高度で運用される UAV は、地上との通信における遅延や損失が小さく、かつ周波数リソースを被災地等必要なエリアに集中投入可能であるため、災害時の地上基地局機能の負担軽減においてより効果が期待される。さらに、サービスリンク用周波数として IMT 用に特定されている周波数帯を使用することで、地上のユーザーは追加の受信設備を用意することなく、日常利用のスマートフォン等の携帯端末を利用できることが期待される。

また、本研究開発で得られる無線通信システムについては、小型・軽量化を十分に配慮し、将来の HAPS 等への活用といった災害用途以外への広い活用とそれによる波及効果を期待するとともに、Beyond 5G を構成する要素技術であることに鑑み、既存の地上基地局との干渉抑制のみならず、HAPS や人工衛星等を含めた他の無線アクセスネットワーク(RAN)間との接続技術等の研究開発と連携することにより、無線通信ネットワーク全体としての堅牢性を確保できることを期待するものである。

本研究開発により、電波の有効利用を確保しつつ、被災地における早期通信復旧を可能とし、災害時の救助活動や復旧作業に貢献することで、大地震など大規模な災害の多い我が国の通信インフラの強靱化に資する。

なお、本課題は、「Beyond 5G 研究開発促進事業 研究開発方針」（令和4年6月10日 総務省）における「3. 研究開発項目」の「① Beyond 5G 機能実現型プログラム」（p.3）のうち、ア）開発目標（数値目標等）を具体的かつ明確に定めてハイレベルな研究開発成果の創出を目標とし、研究計画書を作成し、実施者を公募する課題（基幹課題）として実施する。また、2023 年度に実施する継続評価の結果、継続が認められた場合は、2024 年度以降、「革新的情報通信技術

(Beyond 5G (6G)) 基金事業 基金運用方針」(令和5年3月24日 総務省)における「3. 支援対象」の「③電波有効利用研究開発プログラム」(p.5)として実施する。

3. 内容

本委託研究では、以下の1つの研究開発項目に対し、研究開発を推進するものとする。

・研究開発項目1 高速 UAV 等を使った応急エリアカバレッジの研究開発

高速 UAV 等を使用した通信エリア確保技術の検討を行い、迅速な通信復旧やネットワーク構築に向けた実証を行う。

また、発災時における多数の通信障害シナリオが想定されるため、高速 UAV 等に搭載される機器の開発に当たっては、複数の移動体通信事業者が共用でき、かつ、複数種類の機体に搭載できるように配慮して研究開発及び設計を行うこととし、ステークホルダー、有識者を含む設計審査会を設置し、研究開発あるいは設計フェーズごとに審査会を実施すること。

なお、サービスリンクの対象周波数帯は既に国際ルール(無線通信規則)でHAPSによるIMT通信(HIBS)に特定済みの2GHz帯FDD(上り1920-1980MHz、下り2110-2170MHz)を基準とするが、移動通信に割り当てられているサブ6GHz帯TDDも検討対象とする。またフィーダリンクの対象周波数は、WRC-19までにHAPS用として特定されている、27.9-28.2GHz, 31-31.3GHz, 38-39.5GHz, 47.2-47.5GHz, 47.9-48.2GHz等のミリ波帯を基準とするがサブ6GHz帯TDDも検討対象とする。

a) 高速 UAV 等搭載無線中継システム及び高速飛行ドップラー変動抑制技術の開発

災害時に広域の被災エリアをカバーするためには、広域の被災エリア内の通信トラフィックを補う必要があり、高速 UAV 等に搭載した無線中継装置の通信容量を増大させる必要がある。そこで、一台の無線中継装置で複数セルを構成する高速 UAV 等搭載無線中継装置、及びフィーダリンク装置を開発する。特に複数セルのサービスリンクを実現するためには、フィーダリンクも複数セルのサービスリンクの通信容量の総和と同等の通信容量を確保する必要があり、それらを確保する周波数帯として帯域幅が多く取れるミリ波帯が有望である。そこで、フィーダリンクの周波数帯としてとしてミリ波帯を有力な候補として開発する。

ところで、高速 UAV 等から通信サービスを提供する場合、機体に搭載された無線中継装置そのものが飛行により高速移動する。そのため、フィーダリンクに割り当てられる周波数がミリ波帯ではドップラー周波数(移動速度(m/s)/波長(m))が高くなる。例えば、高速 UAV 等搭載無線中継装置としてリピータ方式を用いた場合には、フィーダリンクであるミリ波帯の周波数をサービスリンク周波数に周波数変して送信するため、地上の端末ではフィーダリンクのドップラー周波数が重畳した受信信号として受信することになり、非常に大きなドップラー変動が発生し、通信品質を低下させることが課題となる。そこで、フィーダリンクとしてミリ波帯を利用する高速 UAV 等搭載無線中継装置において課題となる地上端末のドップラー変動を抑制するため、例えば地上ゲートウェイ(GW)と高速 UAV 等搭載無線中継装置(リピータ)間のミリ波帯フィーダリンクのドップラー変動を補償する技術(ドップラー変動抑制技術)を確立し、地上端末の通信品質の低下を抑圧する。

b) 上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置により通信回線を迅速に確保するためのシステム間連携技術

災害地では全ての地上基地局が倒壊してサービスエリアが完全に喪失されるわけではなく、ある程度残存した地上基地局により、限定的ではあるがサービスエリアが形成されることが想定される。そこに、高速 UAV 等により上空から災害地エリア全体に地上基地局と同一周波数の電波を送信し、臨時のサービスエリアを構築すると、残存する地上基地局との間で同一周波数干渉が発生し通信品質が低下することが想定される。

そのため、残存する地上基地局と上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置間で事前の干渉調整が必須となり、その調整で高速 UAV 等の運用が大幅に遅れることが課題となる。また、状況に応じては干渉調整ができない場合もあり、その場合は臨時エリアを構築できない課題がある。

そこで、地上基地局と上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置が連携することで、相互の干渉を抑圧するシステム間連携干渉抑圧技術を開発する。この連携干渉抑圧技術により、地上基地局と同一周波数の事前調整が不要となり、迅速な臨時エリア構築を実現する。

4. アウトプット目標・アウトカム目標

・研究開発項目1 高速 UAV 等を使った応急エリアカバレッジの研究開発

2027 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

- a) 高速 UAV 等搭載無線中継システム及び高速飛行ドップラー変動抑制技術の開発
 - ・ 複数セルに対応するサービスリンク機能を搭載した、高速 UAV 等を利用した災害対策用モバイル通信システムのプロトタイプの開発。
 - ・ 複数 GW を対象として、フィーダリンク間の同一周波数干渉を抑圧する GW 間干渉抑制機能を実装した災害対策用モバイル通信システムのプロトタイプの開発。
 - ・ 地上 GW と高速 UAV 等搭載無線中継装置間のミリ波帯フィーダリンクのドップラー変動を複数セルのサービスリンク毎に補償するドップラー変動抑制技術を搭載することで、災害対策用モバイル通信システムのプロトタイプを開発。
 - ・ プロトタイプシステムの性能評価、特に通信速度、通信安定性及び通信可能範囲に関する評価。

- b) 上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置により通信回線を迅速に確保するためのシステム間連携技術
 - ・ TDD 方式を対象として、事前調整を行うことなく地上基地局と上空でサービスリンクが複数セル対応高速 UAV 等搭載無線中継システムとがシステム間連携により同一周波数を共用できる災害対策用モバイル通信システムのプロトタイプの開発。
 - ・ 地上基地局と事前調整が不要な災害対策用モバイル通信システムの実証及び評価を実施。

2023 年度末におけるアウトプット目標

- a) 高速 UAV 等搭載無線中継システム及び高速飛行ドップラー変動抑制技術の開発
 - ・ サービスリンク機能を有する高速 UAV 等搭載無線中継装置及びフィーダリンク装置の設計、並びに計算機シミュレーションによる評価、評価用試作装置の開発を実施。
 - ・ フィーダリンクであるミリ波帯の周波数を対象に上空飛行試験を実施し、ドップラー変動データの取得及び分析を実施。
 - ・ フィーダリンクとしてミリ波帯を利用する高速 UAV 等搭載無線中継装置におけるドップラー変動を抑制するため、地上 GW と高速 UAV 等搭載無線中継装置間のミリ波帯フィーダリンクのドップラー変動を補償するドップラー変動抑制技術を検討し、計算機シミュレーションによる評価、評価用試作装置の開発を実施。
 - ・ 機能確認装置として、FDD 方式について評価用装置の試作を実施。また、TDD 方式を対象として評価用装置の試作を実施。

b) 上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置により通信回線を迅速に確保するためのシステム間連携技術

- ・ サービスリンク機能を有する高速 UAV 等搭載無線中継システムを対象として、地上基地局と上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置が連携し、相互に干渉を抑圧するシステム間連携干渉抑圧技術を検討。また、計算機シミュレーションによる評価及び評価用試作装置の開発を実施。
- ・ 機能確認装置として、FDD 方式の評価用装置の試作を実施。また、TDD 方式の評価用装置の試作を実施。

2024 年度末におけるアウトプット目標

a) 高速 UAV 等搭載無線中継システム及び高速飛行ドップラー変動抑制技術の開発

- ・ TDD方式のサービスリンクを対象として、サービスリンク機能を有する高速 UAV 等搭載無線中継装置、及びフィーダリンク装置の試作装置を開発。
- ・ サービスリンクとして TDD 方式を対象として、地上 GW と高速 UAV 等搭載無線中継装置間のミリ波帯フィーダリンクのドップラー変動を補償するドップラー変動抑制技術を実装した試作装置を開発。
- ・ サービスリンク機能を有する高速 UAV 等搭載無線中継システムを用いた実証実験を実施。

b) 上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置により通信回線を迅速に確保するためのシステム間連携技術

- ・ サービスリンク機能を有する高速 UAV 等搭載無線中継システムを対象として、地上基地局と上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置が連携し、相互に干渉を抑圧するシステム間連携干渉抑圧技術を実装した試作装置を開発。
- ・ サービスリンク機能を有する高速 UAV 等搭載無線中継システムを用いたシステム間連携干渉抑圧技術の実証実験を実施。

2025 年度末におけるアウトプット目標

a) 高速 UAV 等搭載無線中継システム及び高速飛行ドップラー変動抑制技術の開発

- ・ 複数セル対応のサービスリンク機能を有する高速 UAV 等搭載無線中継装置及びフィーダリンク装置の設計、並びに計算機シミュレーションによる評価及び評価用試作装置の開発を実施。
- ・ 複数セルのサービスリンクに対応するためにフィーダリンクとして、同一周波数を共用する複数の GW 及び複数 GW 対応の高速 UAV 等搭載無線中継装置の設計、並びに計算機シミュレーション及び評価用装置の試作を実施。また、同一周波数干渉を回避する GW 間干渉抑圧技術の設計及び計算機シミュレーションによる評価、並びに評価用試作装置の開発を実施。
- ・ セル毎のサービスリンクに対応するため、地上 GW と高速 UAV 等搭載無線中継装置間のミリ波帯フィーダリンクのドップラー変動をサービスリンク毎に補償するドップラー変動抑制技術を検討し、計算機シミュレーションによる評価及び評価用試作装置の開発を実施。

b) 上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置により通信回線を迅速に確保するためのシステム間連携技術

- ・ 複数セル対応サービスリンクの高速 UAV 等搭載無線中継システムを対象として、地上セルラーシステムと上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置が連携し、相互に干渉を抑圧するシステム間連携干渉抑圧技術を検討し、計算機シ

ミュレーションによる評価及び評価用試作装置の開発を実施。

- ・ 機能確認装置として、FDD 方式の評価用装置の試作を実施する。また、TDD 方式として評価用装置の試作を実施。

2026 年度末におけるアウトプット目標

- 高速 UAV 等搭載無線中継システム及び高速飛行ドップラー変動抑制技術の開発
 - ・ TDD方式のサービスリンクを対象として、複数セル対応のサービスリンク機能を有する高速 UAV 等搭載無線中継装置、及びフィーダリンク装置の試作装置を開発。
 - ・ 複数 GW 対応のフィーダリンク間の同一周波数干渉を抑圧する GW 間干渉抑圧技術を実装したフィーダリンク装置の試作装置を開発。
 - ・ 地上 GW と高速 UAV 等搭載無線中継装置間のミリ波帯フィーダリンクのドップラー変動を複数セル対応のサービスリンク毎に補償するドップラー変動抑制技術を実装した試作装置を開発。
- 上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置により通信回線を迅速に確保するためのシステム間連携技術
 - ・ 複数セル対応サービスリンクの高速 UAV 等搭載無線中継システムを対象として、地上基地局と上空の高速 UAV 等搭載無線中継装置が連携し、相互に干渉を抑圧するシステム間連携干渉抑圧技術を実装した試作装置を開発。
 - ・ TDD 方式を対象とした試作装置を開発する。
 - ・ 複数セル対応サービスリンク機能を有する高速 UAV 等搭載無線中継システムを用いたシステム間連携干渉抑圧技術の実証実験を実施。

アウトカム目標

2028～2031 年

- ・ 高速 UAV 等を活用し、通信が遮断された被災地域において通信エリアカバレッジを迅速に確保することで、ライフラインでもある移動通信が遮断された被災地域でも効果的な情報伝達が可能となり、被災者救助や支援活動の円滑化につながることを期待される
- ・ 本研究開発で開発された高速 UAV 等を用いた災害ソリューションのシステムを、通信事業者などの関係者や自治体に提供し、今後の災害時の対応に活用してもらう
- ・ 災害時における通信インフラの強化に向けた提言や改善策をまとめる
- ・ 研究成果が産業界に広く普及し、災害対策通信ソリューション市場の成長につながる
- ・ 社会インフラの強化につながり、災害時における情報共有・指揮命令系統のための新たなツールや技術開発につながる

2032 年

- ・ 有事(災害等)における通信の提供及び人命救助ソリューションの実用化

5. 採択件数、研究開発期間及び研究開発予算等

採択件数 : 研究開発項目ごとに 1 件

研究開発期間: 契約締結日から 2027 年度 (継続評価により継続の必要性等が認められた場合のみ、次年度も継続可能。)

研究開発予算: 2023 年度は 2,340 百万円 (税込)、それ以降は 1,000 百万円 (税込) を上限とする。継続評価や革新的情報通信技術 (Beyond 5G (6G)) 基金事業の後年度予算の状況等により、各年度の研究開発予算を変更する場合があります。

る。)

研究開発体制：単独の提案も可能であるが、産学官連携等による複数の実施主体からなる体制とすることを推奨する。その際、社会実装を考慮した体制とすること。

6. 提案に当たっての留意点

- ・ 提案書には、各年度の継続評価後 2027 年度まで実施することを仮定して、2027 年度までの計画を記載すること。
- ・ 具体的目標に関しては、毎年度の目標と 2027 年度の最終目標について、定量的に提案書に記載すること。
- ・ 本研究開発の遂行過程で得られるデータについては、広くオープンにするのが望ましいことから、公開できると想定するデータがある場合には、その公開や利活用促進に関する計画（例：公開するデータの種類、公開先、公開方法等）を提案書に記載すること。なお、本項目は採択評価時の評価項目とする。本研究開発は、災害発災時に応急的に広く利用するために運用されるシステムであることから、UAV 等への搭載条件及び通信に関わるインターフェース仕様書(ICS、Interface Control Specification)及び標準作業手順書(SOP、Standard Operating Procedure)等、運用に必要な文書については、公開を前提とすること。
- ・ 本委託研究で研究開発する技術について、具体的に Beyond 5G の実現に当たりどのような分野のどのような知的財産の取得が期待できるのか、何件程度の特許出願を目指すのか、また、知的財産の取得とともに標準化活動の推進も重要であることから、どのような分野のどのような標準の策定が期待できるのか、どのような標準化活動を推進するのか、知財戦略と標準化戦略をどのように一体的に推進しようとしているかについて提案書に記載すること。なお、本項目は採択評価時の評価項目とする。
- ・ 外国の民間企業や大学等との連携体制が構築できている又は計画している場合には、具体的な連携の方法について提案書に記載すること。なお、本項目は採択評価時の評価項目とする。
- ・ 実施体制については、本研究開発の目的に則した実施体制を構築することとし、それぞれの役割を明記すること。
- ・ 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受け、実際の研究開発の進め方について適宜指導を受けるとともに、システムの初期設計段階においては、適切なユースケース、サクセスクライテリア（例として、災害発災時におけるシステム稼働までに要する時間等の KPI）を設定するため、学識経験者、有識者、本システムの利害関係者等を含んだ研究開発運営委員会あるいは設計審査会等を開催する等、第三者の立場による学識経験者、有識者等を参画させること。
- ・ 本委託研究の実施においては、UAV 等機材、部品の選定に当たっては、我が国の国際競争力向上及び経済安全保障の確保の観点を含めた検討を実施すること。
- ・ 本研究開発成果の社会実装に向けて、到達目標の項目に記載したマイルストーンを意識しつつ、具体的な時期（目標）、体制、評価方策等を記載すること。その際、本研究開発が対象としている通信システムのデモンストレーションや、それら成果を用いたより高度な研究開発活動あるいは通信事業が、自律的かつ持続的に発展するためのライフサイクル計画等についても記載すること。
- ・ 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。

7. 運営管理

- ・ 複数の機関が共同で受託する場合には、代表提案者が受託者間の連携等の運営管理を行い、受託者間調整会議を定期的で開催すること。
- ・ 機構と受託者の連携を図るため、代表研究者は、機構の指示に基づき研究開発の進捗状況

などについて報告すること。

- ・ 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、機構が研究計画書を変更する場合があるので、留意すること。

8. 評価

- ・ 機構は、研究開発終了時に終了評価を実施する。毎年度後半、評価委員会による継続評価を実施し、継続の必要性等が認められた場合には、当該年度の翌年度まで委託研究を継続し、2027年度末に委託研究を終了する。評価の結果、継続性の必要性が認められなかった場合は当該年度末に終了とする。
- ・ 機構は、本委託研究終了後に成果展開等状況調査を行い、追跡評価を行う場合がある。
- ・ 機構は、上記以外にも本委託研究の進捗状況等を踏まえて、臨時にヒアリングを実施することがある。

9. 成果の社会実装等に向けた取組

- ・ Beyond 5G の実現を支える技術として、知的財産戦略及び標準化戦略、さらには社会実装と海外市場への展開戦略を記載するとともに、知財獲得に向けて必要な取組みを視野に入れること。
- ・ 社会実装・海外展開に向けた事業計画を明確とすること（委託研究後の事業化等の内容を明確にする）。
- ・ 上記の社会実装・海外展開を実現するため、提案に先立ち、事業計画を練り、その実現に向けた研究開発提案を検討すること。また、必要に応じて、成果発表やそれに留まらずコミュニティ先導のための国際ワークショップや国内セッション主催、展示、標準化等を行うこと。