

革新的情報通信技術（Beyond 5G（6G））基金事業
電波有効利用研究開発プログラム
研究計画書

課題 077

Beyond 5G における超広域・大容量モバイルネットワークを実現する HAPS 通信技術の研究開発



1. 研究開発課題

『Beyond 5G における超広域・大容量モバイルネットワークを実現する HAPS 通信技術の研究開発』

2. 目的

デジタル技術を活用してあらゆる産業を変革し、人々の生活をより便利で豊かなものにすることを目指すデジタル・トランスフォーメーション（DX：Digital Transformation）が注目を集めている。令和 2 年 12 月 25 日に閣議決定された「デジタル社会の実現に向けた改革の基本方針」においても、DX 推進の必要性が強く認識されている。DX の実現に向けては、その基盤として、ドローン等を含めた大量の通信端末（IoT 端末含む）を収容する Beyond 5G の実現が求められる。現在、居住地域へのモバイルネットワークは広く普及し、その人口カバー率は、ほぼ 100%を達成しているが、離島や山間部等の非居住地域に対するエリアカバー率については十分とはいえず、産業等への応用や携帯電話利用者の安全・安心の観点から早期のエリア化が求められている。そこで、超広域エリアを効率的にカバーする Beyond 5G の実現が不可欠であり、その方法の 1 つとして、非地上系ネットワーク（NTN：Non-Terrestrial Networks）への期待が高まっている。

NTN を実現する代表的なプラットフォームとして、静止軌道（GEO: Geostationary Earth Orbit）衛星、低軌道（LEO: Low Earth Orbit）衛星、及び成層圏プラットフォームの HAPS（High Altitude Platform Station）が挙げられる。なかでも高度約 20km で運用される HAPS は、現在のところ海外を含めて研究開発フェーズにあり商用化には至っていないが、人工衛星と比較して地上に近いため伝搬損失が比較的小さく、スマートフォン、IoT 機器等のモバイルデータ通信デバイスに対し地上から上空までを含めた「三次元空間エリア」全体を包含する超広域のエリアカバレッジを提供可能である。さらに HAPS はドローン等に対する新規需要の創出・拡大のための新たなプラットフォームとしても期待されている。衛星プラットフォームと比較すると高度は低いものの、高度約 20km からは高仰角による良好な見通し特性を得ることができ、HAPS 1 機あたり、半径 50～100km の超広域をカバーすることができる。また HAPS は、機体単位での展開が可能であることから、ニーズに応じた柔軟なエリア展開ができることも特長である。

一方で HAPS の実運用には、HAPS 直接通信システムに利用可能な周波数帯、HAPS 実機に搭載可能な設備、地上ゲートウェイ（GW）局の設置等、様々な制約があり、地上ネットワークほどの通信性能（通信速度・容量等）を得ることは難しいことが想定される。したがって、HAPS の実運用における様々な制約事項への対応を考慮しつつ、可能な限り周波数を有効利用した HAPS 直接通信システムの研究開発を行うこと、及び成層圏環境かつ日本のような高緯度地域で運用可能な HAPS 直接通信システムを確立することが急務である。また、近年のスマートフォン等の性能向上や DX に向けたトラフィック需要の増加、HAPS 活用の事業規模及びユースケースの拡大を考慮すると、今後、Beyond 5G における HAPS 直接通信システムはサービスリンクとフィーダリンクの全体システムとして、HAPS でカバーする超広域エリアでの高速大容量化、高効率運用を実現していくことが不可欠である。

そこで、本研究開発においては Beyond 5G への適用に向けて、HAPS 実機の搭載能力や、実運用における様々な制約を考慮しつつ、HAPS のサービスリンクにおける高速大容量化技術、及びフ

ィーダリンクにおける高速大容量化技術の研究開発を行い、周波数有効利用技術の確立を目指す。

なお、本課題は、「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4つの研究開発項目に対し、研究開発を実施するものとする。

・研究開発項目1 HAPSのサービスリンクにおける地上システムとの周波数共用技術の研究開発

以下を実施することで、搬送波周波数として2.7GHz以下を使用するHAPSサービスリンクと地上IMT（International Mobile Telecommunications）システムの周波数共用技術を確立し、周波数利用効率向上を図る。

a) セル高密度化技術の開発

HAPS サービスリンクにおける端末収容能力増大を目的とし、カバーエリア内を1セル周波数繰り返しで10セル以上の多数セルで構成するセル高密度化技術の研究開発を実施する。HAPS サービスリンクにおいて十分な通信容量を確保するためには、多数セル構成においても各セル毎の周波数利用効率を向上することが必要である。本項目では、搬送波周波数として2.7GHz以下を対象とし、HAPS サービスリンクの多数セル構成による大容量化とセル毎の周波数利用効率の向上に必要となるセル間（ビーム間）干渉低減を実現するアンテナ構成法、セル構成法（設計法）、及びアンテナウェイト制御法を確立する。

また、提案技術の実証のための試作装置開発を行い、成層圏環境下において正常動作することを確認するとともに、上空プラットフォーム（対流圏を飛行するプラットフォーム）を用いた飛行試験により所望の特性が得られることを確認する。これらの実証により、上記技術を適用した10セル以上の多数セル構成において、上記技術を適用しない同一セル数のHAPS用セル構成と比較して、セル毎で1.2倍以上の周波数利用効率（bps/Hz）の達成を目指す。

さらに、提案技術をHAPSの運用環境に対して確実に適合させるためには、高高度における伝搬損失特性や時空間電波伝搬特性（電波伝搬遅延特性、電波到来角特性）を推定できる電波伝搬推定技術が不可欠であることから、これらの開発を行う。

b) HAPS・地上間時空間周波数共用技術の開発

HAPS・地上システム間の同一周波数共用の高度化に向けて、HAPS・地上システム間の連携制御による時空間周波数共用技術の研究開発を実施する。本項目では、搬送波周波数として2.7GHz以下を対象とし、周波数共用技術の方法としてまず同一周波数干渉の低減に有効であるフェーズドアレイアンテナを用いたビームフォーミング制御法を確立する。また、ビームフォーミング制御法に、HAPS・地上システム間連携制御による時間・周波数リソース割り当て制御技術を組み合わせる、時空間周波数共用技術を確立する。

また、提案技術の実証のための試作装置開発を行い、成層圏環境下において正常動作することを確認するとともに、上空プラットフォームを用いた飛行試験により所望の特性が得られることを確認する。これらの実証により、上記周波数共用技術を用いずに HAPS・地上システムをオーバーレイさせる場合と比較して 1.5 倍以上の周波数利用効率 (bps/Hz) の達成を目指す。

・研究開発項目2 HAPS のサービスリンクの多重化による高速大容量化技術の研究開発

HAPS 通信システムの早期実用化に向けて、以下の研究開発を実施することで、HAPS と地上 IMT 端末間のサービスリンクの高速大容量化に加え、新規の周波数帯域の開拓による高速大容量化及び高効率運用の実現を図る。

a) サービスリンクにおける多素子アンテナ MIMO 技術の研究開発

HAPS 通信システムのサービスリンクにおいて、多素子アンテナ MIMO 送受信技術を活用した高度な多数ビームの形成手法及びセルの制御手法を確立することで、地上 IMT 端末との通信における高速大容量化を実現するための研究開発を実施する。対象周波数帯は無線通信規則において HAPS による IMT 通信 (HIBS (HAPS as IMT Base Stations)) に特定済みの 2GHz 帯 FDD (上り 1920-1980MHz、下り 2110-2170MHz) とする。

まず、利用可能な周波数帯や HAPS 実機に搭載可能な設備等の制約がある中においても、HAPS 通信システムの早期実用化に必要な性能向上を達成するための基本技術の検討及び技術開発を行う。さらに、多数ビーム構成における基本機能の開発及びアーキテクチャ最適化、NR ベースのセル/ビーム設計等 HAPS サービスリンクの高速大容量化に向けた多素子アンテナ MIMO 送受信技術を開発する。具体的には、MIMO 空間多重による高度な送受信技術として、多数のビームを複数のユーザに対して同時に送受信することによる HAPS 基地局の大容量化技術、ビーム利得向上技術、複数ストリームの空間多重技術 (偏波利用による MIMO 送受信技術の HAPS への実装) を開発し、各ユーザの通信速度向上を実現する。これにより、早期実用化フェーズの基準性能と比較して、HAPS によるカバー面積当たりの周波数利用効率 (bps/Hz/km²) を 3 倍以上改善する。

b) サービスリンクにおける TDD 周波数帯活用の研究開発

HAPS を利用した高効率な無線アクセスネットワークを実現するため、TDD 周波数帯を利用するサービスリンク用無線端末と HAPS 基地局との通信技術の開発を実施する。

具体的には、WRC-2000 において特定された HIBS 用の周波数帯の 1 つとして 2010~2025MHz の周波数帯があり、これは 3GPP では TDD での割当となっている。この周波数帯は 4G 及び 5G 用の周波数帯として 3GPP では定義されているが、日本国内の移動通信事業者には現在のところ割り当てられていないため、地上システムとの干渉を考慮しなくてよい HAPS 専用の周波数帯として災害対策や産業向けに柔軟に用いることが期待される。一方、TDD 通信方式は同一周波数を時間領域でガードタイムを挟んで上り・下りに割り当てるため、広範囲のカバレッジエリアで長距離伝送を行う HAPS 通信システムへの適用性には課題がある。また、HAPS に TDD を用いる場合、隣接周波数との上下リンク双方での干渉検討を行う必要がある。したがって、本研究開発においては、まず HAPS サービスリンクでの TDD 周波数帯活用に関する基本的な技術課題の検討

を実施する。その上で、基本検討の結果を鑑みつつ、TDD 周波数帯の運用に適した技術として、HAPS 機体に再生中継機能を搭載することで、透過中継（ベントパイプ）方式に比較して端末との通信距離を短縮する方法の適用性の検討など、HAPS 通信システムの成立性実証に向けた開発を実施する。

・研究開発項目 3 HAPS のフィーダリンクにおける LoS 空間多重技術による高速大容量化の研究開発

サービスリンクの性能向上に対応するため、以下を実施することで HAPS フィーダリンクの周波数利用効率向上による高速大容量化、高効率運用の実現を図る。対象周波数は、WRC-19 までに特定されたミリ波帯（24.25-27.5GHz、27.9-28.2GHz、31-31.3GHz、38-39.5GHz、47.2-47.5GHz、47.9-48.2GHz）を対象とする。

a) LoS 空間多重技術の開発

HAPS フィーダリンクでは HAPS サービスリンクで送受信される全セル・全ユーザの総トラフィックを送受信するため大容量の通信回線が必要となる。本項目では HAPS フィーダリンクの周波数利用効率向上を目的として、単一 HAPS 機体及び単一 GW 局の間の HAPS フィーダリンクに複数のミリ波フェーズドアレイを用いた LoS（Line of Sight）空間多重技術の研究開発を実施する。LoS 空間多重技術は見通し環境での通信容量を同一帯域内での周波数多重化等に依存せずこれに重畳する形で増大させることができるが、送信アンテナと受信アンテナのアンテナ間隔や伝送距離により通信品質が大きく変動するため、従来 FWA（Fixed Wireless Access）等の固定無線通信で利用されてきた。本項目では、時々刻々と機体の姿勢が変化する HAPS のモビリティに対応した最適アンテナ構成や信号制御手法を確立することで、HAPS フィーダリンクでも安定した大容量通信を実現するモビリティ対応 LoS 空間多重技術を確立する。

地上と成層圏 HAPS を接続する HAPS フィーダリンクでは、ミリ波帯を用いた長距離伝送が想定される。ミリ波帯は空間減衰や位相雑音の影響も大きい。本項目では WRC-19 までに特定されたミリ波帯を対象として、LoS 空間多重技術をミリ波帯長距離伝送に適用することを前提に十分な通信品質を確保する回線設計やシステム構成を検討するとともに、HAPS の移動や姿勢制御を考慮したアンテナパターンやアンテナ指向性制御、成層圏環境下での動作を考慮したハードウェア構成を検討し、LoS 空間多重技術を実装したミリ波帯無線通信システムの試作装置開発を行う。最終的に試作した無線通信システムが成層圏環境下において正常動作することを確認するとともに、上空プラットフォーム（対流圏を飛行するプラットフォーム）を用いた飛行試験によりモビリティ対応 LoS 空間多重技術の有効性を確認する。

本項目ではこれらの検討により HAPS 環境での安定した大容量通信を実現するとともに、偏波多重 MIMO と比較して平均 2 倍以上の周波数利用効率の達成を目指す。

また、効率よく上記技術を評価するため、ミリ波帯を含む高周波数帯を対象として、HAPS フィーダリンクで想定される電波伝搬環境に対応した電波伝搬推定技術の開発を行う。

・研究開発項目 4 HAPS のフィーダリンクにおける柔軟に切替え可能な GW 局との通信方式に

よる高速大容量化技術の研究開発

サービスリンクの性能向上に対応するため、以下を実施することで HAPS フィーダリンクの高速大容量化及び高効率運用の実現を図る。対象周波数帯は 38-39.5GHz 帯（WRC-19 で HAPS による固定通信用に特定された周波数帯の一つ）とするが、追加帯域が必要な場合は他の周波数帯（31-31.3GHz、47.2-47.5GHz、47.9-48.2GHz）についても検討する。

a) フィーダリンクにおける高効率な高速大容量化の研究開発

複数の GW 局や衛星（GEO/LEO）、HAPS 間無線通信等によって柔軟に切替え可能な送受信方式及び当該方式に必要な多数ビーム構成における HAPS の位置変動や揺動に強いビーム多重化によるフィーダリンクの高速大容量化を確立する。また、フィーダリンクにおいて地上 GW 局が固定設置されていることによる運用上の制約を軽減するための技術検討と開発を併せて実施する。

具体的には、まず HAPS 通信システムの早期実用化に向けて、利用可能な周波数帯や HAPS 実機に搭載可能な設備等の制約により、地上ネットワークほどの通信性能（通信速度・容量等）を得ることは難しいことが想定されるため、これら制約の解消に向けた基本技術検討を行い、必要となる技術開発を行う。また、サービスリンク側が多素子アンテナ MIMO 送受信技術による多数ビーム構成等によって大容量化される際にフィーダリンク側で必要となる高速大容量化を最も高効率に実現する手法を比較検討する。単一の GW 局でフィーダリンクを大容量化する方法としては、周波数帯域の広帯域化や同一帯域内でのより高効率な複数ビームの周波数多重化技術等が考えられる。また、複数 GW 局を用いる高速大容量化の方法として、複数の GW 局向けのリンクによる同時送受信や切替えダイバーシチ技術等が考えられる。さらに、これらフィーダリンクの高速大容量化に資する技術の導入・運用に要するコストや消費電力等を考慮して総合的に検討した上で、HAPS 回線制御技術、地上 GW 局及び HAPS ペイロードの開発を行う。

また、HAPS 通信システムでは基本的にフィーダリンクを通すため所定のエリア内に地上 GW 局の固定的な設置が必要であり、海上での運用や迅速な一時利用ユースケースへの対応において大きな制約となる。このようなフィーダリンクにおける制約を軽減する方法として、固定的な地上 GW 局の代替として可搬 GW 局、HAPS 間無線通信、衛星バックホール等を活用した方式も有望であるため、ユースケースに応じた有望なアプローチの特定及び当該技術の研究開発についても併せて実施する。

4. アウトプット目標・アウトカム目標

・研究開発項目1 HAPS のサービスリンクにおける地上システムとの周波数共用技術の研究開発

2027 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

a) セル高密度化技術の開発

- ・ 10 セル以上の複数セルを最適配置可能なアンテナ構成法、セル構成法、アンテナウェイト制御法を確立し、当該制御法を適用しない HAPS 用セル構成と比較した単位セル当たりの周波数利用効率（bps/Hz/cell）として 1.2 倍以上を達成
- ・ 提案技術を実現する試作装置を完成させ、成層圏環境下において正常動作することを確

認するとともに、上空での通信試験において所望の動作を確認

- 提案技術の設計・評価に対応した電波伝搬推定技術を確立

b) HAPS・地上間時空間周波数共用技術の開発

- ビームフォーミング制御技術及び無線リソース割り当て制御技術の組み合わせによる時空間周波数共用技術を確立し、本技術を用いない場合と比較して 1.5 倍以上の周波数利用効率を達成
- 提案技術を実現する試作装置を完成させ、成層圏環境下において正常動作することを確認するとともに、上空での通信試験において所望の動作を確認

2023 年度末におけるアウトプット目標

a) セル高密度化技術の開発

- セル数及びカバーエリア半径に対するセル構成手法について計算機シミュレーションによる基本評価を完了
- 提案技術に対応した電波伝搬環境において電波伝搬測定及び測定結果の解析を実施

b) HAPS・地上間時空間周波数共用技術の開発

- アンテナ素子数等をパラメータとして HAPS-地上システム間の連携制御を考慮したビームフォーミング制御技術の基本評価を完了

2024 年度末におけるアウトプット目標

a) セル高密度化技術の開発

- セル構成法の詳細評価を完了
- 上記セル構成法に基づくアンテナ構成及びアンテナウェイト制御法について計算機シミュレーションによる基本評価を完了
- 提案技術に対応した電波伝搬環境において電波伝搬測定及び測定結果の解析を継続実施

b) HAPS・地上間時空間周波数共用技術の開発

- ビームフォーミング制御技術の詳細評価を完了
- ビームフォーミング制御技術に時間・周波数リソース割り当て制御を組み合わせた時空間周波数共用技術の基本評価を完了

2025 年度末におけるアウトプット目標

a) セル高密度化技術の開発

- アンテナ構成及びアンテナウェイト制御法の詳細評価を完了
- 提案技術に基づく試作装置（基本機能）の実装を完了
- 電波伝搬推定技術の開発を実施
- 開発した電波伝搬推定技術を評価するための追加測定及び測定結果の解析を実施

b) HAPS・地上間時空間周波数共用技術の開発

- ・ 時空間周波数共用技術の詳細評価を完了
- ・ 提案技術に基づく試作装置（基本機能）の実装を完了

2026年度末におけるアウトプット目標

a) セル高密度化技術の開発

- ・ 試作装置（全体機能）の実装を完了
- ・ 電波伝搬推定技術の開発を完了及び提案技術の設計・評価への対応を実施

b) HAPS・地上間時空間周波数共用技術の開発

- ・ 試作装置（全体機能）の実装を完了

アウトカム目標

2028～2029年 提案技術に対応する通信ペイロード装置の実用化開発を実施

2030～2031年 周波数有効利用の評価、スプリアスや隣接チャネル漏洩電力の評価を完了し、技術基準を策定

2032年 実用化を完了

・研究開発項目2 HAPSのサービスリンクの多重化による高速大容量化技術の研究開発

2027年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

a) サービスリンクにおける多素子アンテナ MIMO 技術の研究開発

- ・ サービスリンク高速大容量化に向けて制約となる実運用上の課題を解消しつつ、サービスリンクの多素子アンテナ MIMO 技術を実現するためのシステム開発を完了
- ・ HAPS 飛行試験により、実環境での多素子アンテナ MIMO 技術による周波数利用効率改善効果を実証。目標値としては、HAPS によるカバー面積及び周波数帯域幅で正規化した HAPS に接続するユーザの合計通信速度を指標とした周波数利用効率 (bps/Hz/km²) について、早期実用化フェーズに相当するサービスリンクと比較して、3倍以上改善

b) サービスリンクにおける TDD 周波数帯活用の研究開発

- ・ TDD 周波数帯活用に関する基本検討の結果を鑑みつつ、TDD 周波数帯を適用した HAPS 直接通信システムの開発を完了し、実環境での成立性を実証

2023年度末におけるアウトプット目標

a) サービスリンクにおける多素子アンテナ MIMO 技術の研究開発

- ・ サービスリンク高速大容量化に向けて制約となる実運用上の課題の解消に向けた基本検討を完了

- 早期実用化フェーズに相当するサービスリンクの基準性能を取得するための開発項目や評価手法等に関する基本検討を完了
- b) サービスリンクにおける TDD 周波数帯活用の研究開発
- TDD 通信方式の HAPS への適用性や干渉検討などの TDD 周波数帯活用に関する基本検討を実施

2024 年度末におけるアウトプット目標

- a) サービスリンクにおける多素子アンテナ MIMO 技術の研究開発
- サービスリンク高速大容量化に向けて制約となる実運用上の課題を解消しつつ、サービスリンクの多素子アンテナ MIMO 技術を実現するための基本設計を完了
 - 早期実用化フェーズに相当するサービスリンクの基準性能を取得するための開発を完了し、国内成層圏環境での HAPS 飛行試験によって地上 IMT 端末との直接通信の成立性を実証
- b) サービスリンクにおける TDD 周波数帯活用の研究開発
- TDD 通信方式の HAPS への適用性や干渉検討などの TDD 周波数帯活用に関する基本検討に関して国際標準化動向等を鑑みつつ継続的に実施
 - TDD 周波数帯を適用した HAPS 直接通信システムの開発に向けた基本検討を実施

2025 年度末におけるアウトプット目標

- a) サービスリンクにおける多素子アンテナ MIMO 技術の研究開発
- サービスリンク高速大容量化に向けて制約となる実運用上の課題を解消しつつ、サービスリンクの多素子アンテナ MIMO 技術を実現するためのシステム開発を実施
 - 国内成層圏環境での HAPS 飛行試験を実施し、大阪・関西万博において地上 IMT 端末との直接通信のユースケースを実証するとともに、早期実用化フェーズに相当するサービスリンクの基準性能となるカバー面積当たりの周波数利用効率 (bps/Hz/km²) を明確化
- b) サービスリンクにおける TDD 周波数帯活用の研究開発
- TDD 周波数帯活用に関する基本検討の結果を鑑みつつ、TDD 周波数帯を適用した HAPS 直接通信システムの開発方針を決定し、開発に着手

2026 年度末におけるアウトプット目標

- a) サービスリンクにおける多素子アンテナ MIMO 技術の研究開発
- サービスリンク高速大容量化に向けて制約となる実運用上の課題を解消しつつ、サービスリンクの多素子アンテナ MIMO 技術を実現するためのシステム開発を完了
 - HAPS 飛行試験による実環境での多素子アンテナ MIMO 技術の実証に向けた評価手法

等に関する検討を完了

b) サービスリンクにおける TDD 周波数帯活用の研究開発

TDD 周波数帯活用に関する基本検討の結果を鑑みつつ、TDD 周波数帯を適用した HAPS 直接通信システムの開発を完了

アウトカム目標

2025～2027 年 研究開発成果の一部を早期実用化サービスに反映

2028～2030 年 サービスリンク高速大容量化技術の実運用サービスへの導入

・研究開発項目 3 HAPS のフィードリンクにおける LoS 空間多重技術による高速大容量化の研究開発

2027 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

a) LoS 空間多重技術の開発

- ・ 複数のミリ波フェーズドアレイを用いたモビリティ対応 LoS 空間多重技術を確立し、偏波多重 MIMO と比較して平均 2 倍以上の周波数有効利用効率を達成
- ・ 提案技術を実現する試作装置を完成させ、成層圏環境下において正常動作することを確認するとともに、上空での通信試験において所望の動作を確認
- ・ 提案技術の設計・評価に対応した電波伝搬推定技術を確立

2023 年度末におけるアウトプット目標

a) LoS 空間多重技術の開発

- ・ モビリティ対応 LoS 空間多重技術の計算機シミュレーションによる基本評価を完了
- ・ モビリティ対応 LoS 空間多重技術をミリ波長距離伝送に適用する場合の回線設計・基本システム構成検討を完了
- ・ 提案技術に対応した電波伝搬環境において電波伝搬測定及び測定結果の解析を実施

2024 年度末におけるアウトプット目標

a) LoS 空間多重技術の開発

- ・ モビリティ対応 LoS 空間多重技術の計算機シミュレーションによる詳細評価、詳細システム構成の検討を完了
- ・ モビリティ対応 LoS 空間多重技術を実装した試作装置の開発に着手
- ・ 提案技術に対応した電波伝搬環境において電波伝搬測定及び測定結果の解析を継続実施

2025 年度末におけるアウトプット目標

a) LoS 空間多重技術の開発

- ・ モビリティ対応 LoS 空間多重技術を実装した試作装置の開発を継続
- ・ 上記試作装置を用いた室内システム評価および成層圏環境評価に着手

- 電波伝搬推定技術の開発を実施
- 開発した電波伝搬推定技術を評価するための追加測定及び測定結果の解析を実施

2026 年度末におけるアウトプット目標

a) LoS 空間多重技術の開発

- 試作装置へのモビリティ対応 LoS 空間多重技術の実装を完了
- 上記試作装置を用いた室内システム評価および成層圏環境評価を継続
- 電波伝搬推定技術の開発を完了及び提案技術の設計・評価への対応を実施

アウトカム目標

2028～2029 年 提案技術に対応する通信ペイロード装置の実用化開発を実施

2030～2031 年 周波数有効利用の評価、スプリアスや隣接チャネル漏洩電力の評価を完了し、技術基準を策定

2032 年 実用化を完了

• 研究開発項目 4 HAPS のフィーダリンクにおける柔軟に切替え可能な GW 局との通信方式による高速大容量化技術の研究開発

2027 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

a) フィーダリンクにおける高効率な高速大容量化の研究開発

- フィーダリンクにおける複数の GW 局や衛星 (GEO/LEO)、HAPS 間無線通信等によって柔軟に切替え可能な GW 局との通信方式について、導入や運用に要するコストや実運用上の制約等を考慮した総合的な検討結果に基づく実証実験システムの開発を完了
- HAPS 飛行試験により、実環境でのフィーダリンク高速大容量化を実証する。目標値としては、サービスリンクにおいて HAPS によるカバー面積当たりの周波数利用効率 (bps/Hz/km²) を早期実用化フェーズに比較して 3 倍以上に改善するために必要な高速大容量化をフィーダリンクにおいて実現

2023 年度末におけるアウトプット目標

a) フィーダリンクにおける高効率な高速大容量化の研究開発

- フィーダリンク高速大容量化に向けて制約となる実運用上の課題の解消に向けた基本検討を完了
- 早期実用化フェーズに相当するフィーダリンクの基準性能を取得するための開発項目や評価手法等に関する基本検討を完了

2024 年度末におけるアウトプット目標

a) フィーダリンクにおける高効率な高速大容量化の研究開発

- フィーダリンクにおける柔軟に切替え可能な GW 局との通信方式について、導入や運用

に要するコストや実運用上の制約等を考慮した総合的な検討を完了し、開発方針を決定

- 早期実用化フェーズに相当するフィーダリンクの基準性能を取得するための開発を完了し、国内成層圏環境での HAPS 飛行試験によって GW 局との通信の成立性を実証

2025 年度末におけるアウトプット目標

- a) フィーダリンクにおける高効率な高速大容量化の研究開発
 - フィーダリンクにおける複数の GW 局や衛星 (GEO/LEO)、HAPS 間無線通信等によって柔軟に切替え可能な GW 局との通信方式について、導入や運用に要するコストや実運用上の制約等を考慮した総合的な検討結果に基づくシステム設計を完了
 - 国内成層圏環境での HAPS 飛行試験を実施し、大阪・関西万博において地上 IMT 端末との直接通信のユースケースを実証するとともに、早期実用化フェーズに相当するフィーダリンクの容量や通信品質等を明確化

2026 年度末におけるアウトプット目標

- a) フィーダリンクにおける高効率な高速大容量化の研究開発
 - フィーダリンクにおける複数の GW 局や衛星 (GEO/LEO)、HAPS 間無線通信等によって柔軟に切替え可能な GW 局との通信方式について、導入や運用に要するコストや実運用上の制約等を考慮した総合的な検討結果に基づく実証実験システムの開発に着手
 - HAPS 飛行試験による実環境でのフィーダリンク高速大容量化の実証に向けた評価手法等に関する検討を完了

アウトカム目標

2025～2027 年 研究開発成果の一部を早期実用化サービスに反映

2028～2030 年 フィーダリンク高速大容量化技術の実運用サービスへの導入

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（2024 年度後半並びにその後の契約期間後半に実施するステージゲート評価を踏まえ、継続の必要性等が認められた場合には、研究開発を継続する。認められなかった場合、ステージゲート評価が実施された年度末で終了。）

研究開発予算：2023 年度は、研究開発項目 1 から研究開発項目 4 を合わせて 2,400 百万円（税込）、それ以降の各年度は研究開発項目 1 から研究開発項目 4 を合わせて 2,500 百万円（税込）を上限とする。（提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。ステージゲート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る。）。

研究開発体制：単独の提案も可能であるが、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

- 研究開発項目1から研究開発項目4のいずれか又は全ての研究開発項目に提案することができる。複数の研究開発項目に応募する場合、提案書は一つにまとめること。
- 提案書には、ステージゲート評価後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、2024年度後半のステージゲート評価を受ける際の中間目標と、当該評価で継続が認められた場合の各年度の目標について、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、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され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を開催すること。

- 国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「機構」という。）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りますので、留意すること。

8. 評価

- 2024 年度後半並びにその後の契約期間後半に評価委員会による評価（ステージゲート評価）を実施する。評価の結果、継続の必要性等が認められた場合には、2027 年度までを限度に研究開発を継続し、継続性の必要性が認められなかった場合はその度末に終了とする。
- 機構は、研究開発終了時に終了評価を実施する。
- 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こと。
- 社会実装・海外展開に向けた事業計画を明確にすること（委託研究後の事業化等に向けた取組を明確にする）。
- 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。