令和６年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：総合通信基盤局電波部基幹・衛星移動通信課
移動通信課新世代移動通信システム推進室
評価年月：令和６年８月

１　政策（研究開発名称）

HAPS[1]を利用した無線通信システムに係る周波数有効利用技術に関する研究開発

２　研究開発の概要等

（１）研究開発の概要

・実施期間

令和２年度～令和５年度（４か年）

・実施主体

民間企業、国立研究開発法人

・総事業費

2,063 百万円

令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度	総　額
541 百万円	536 百万円	493 百万円	493 百万円	2,063 百万円

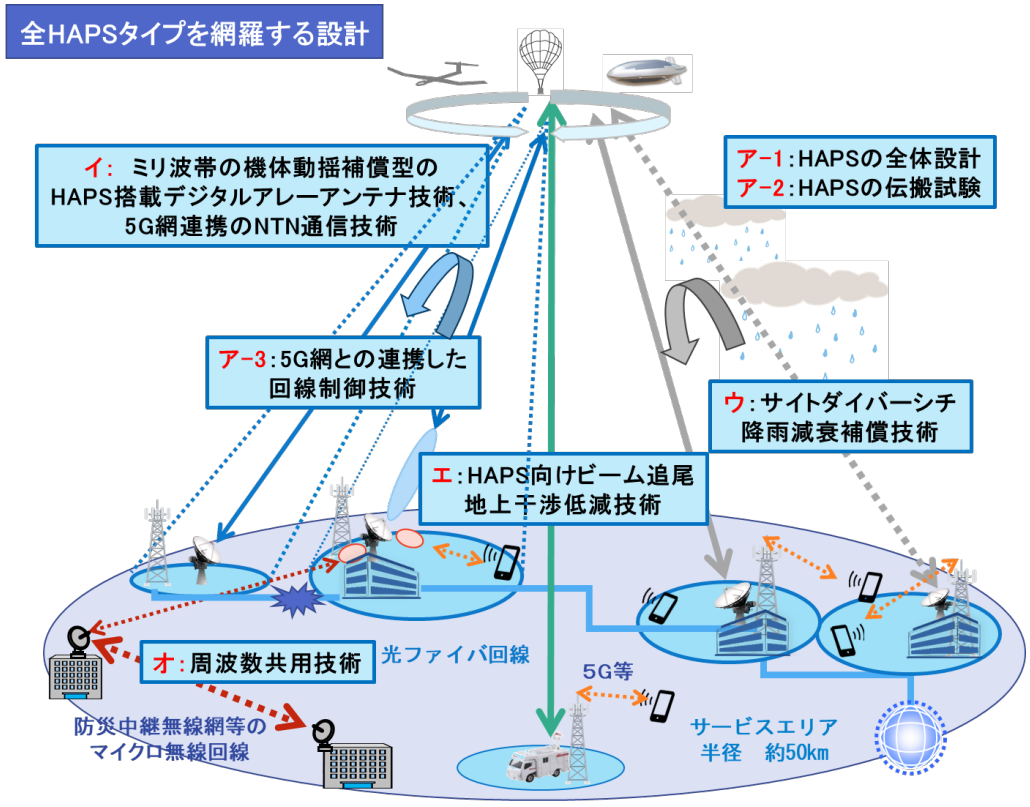
当初計画段階では携帯電話のバックホールを想定した HAPS と地上間の固定通信システムの研究開発を予定していたが、より実用化に近づけるために HAPS と移動通信端末間の移動通信システムに必要な研究課題を加え、３年計画から４年計画とすることで 10 億円を超えたため、事後事業評価を実施することとした。

・概　要

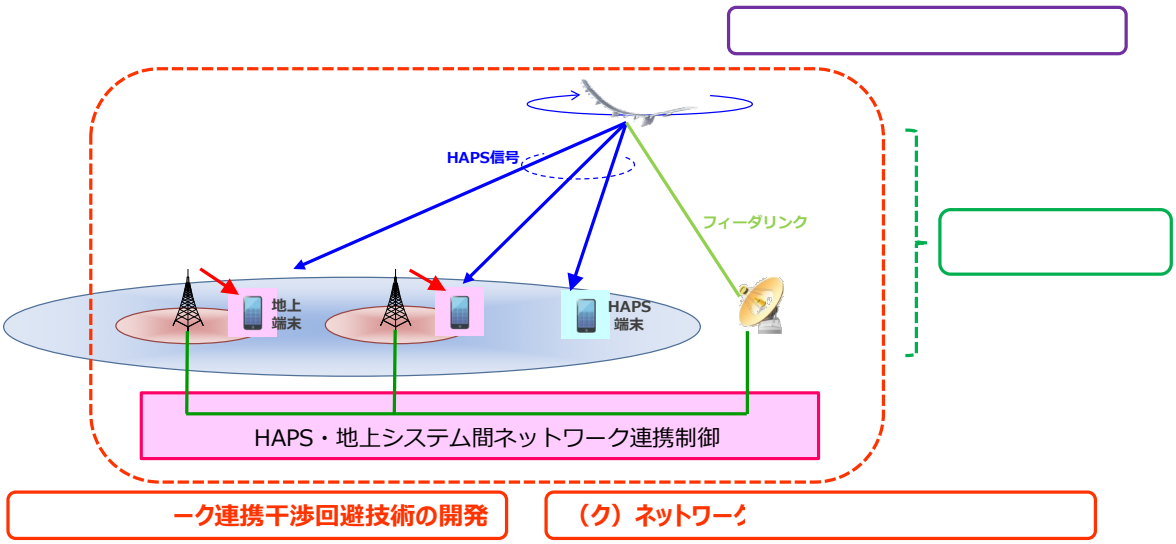
上空約 20km の高高度に滞留させた無人航空機に設置する無線システムと地上との間で、災害に強く、地方への高度情報インフラ整備が地上系と連携して柔軟に実現できる通信サービスを提供するために必要となる無線通信技術の開発、電波伝搬特性の把握、周波数有効利用技術の開発を行う。

[1] High Altitude Platform Station（高高度プラットフォーム）の略。高高度（高度 20km 程度の成層圏）の飛行機等に携帯電話基地局等の機能を搭載して広範囲の通信エリアを構築。

【固定通信システム】



【移動通信システム】



技術の種類	技術の概要
（課題ア） 5G 網等と連携した HAPS システムの全体設計／評価及び回線制御技術	HAPS を利用したブロードバンド通信のための帯域確保が期待されるミリ波帯(38GHz 帯)の利用を想定し、5G 網の全国整備要求や、災害時や障害時における地上系通信システムへの強靭化要求に対して、主に国内で商用利用されている Ku 帯静止衛星通信と比べて、高速、大容量、低遅延な回線を提供できる無線システムを開発する。また、地上 5G 基地局と HAPS ネットワーク間でシームレスにハンドオーバを行うための回線制御技術を開発する。
（課題イ） HAPS 搭載の動揺	HAPS の姿勢動揺を補償する機能を持ち、HAPS カバレッジの直下とエッジの通信品質の差を低減するためのアンテナ設計を行うとともに、携帯電話網の要求に連携して、アンテ

補償型ミリ波帯多地点スポットビームアンテナ技術	ナの指向方向をビームごとに独立に変更できる多地点スポットビームアンテナを実現する。
（課題ウ） ミリ波帯の電波伝搬損失の補償技術	HAPS 局と地上局の取りうる位置関係を想定した条件において、降雨減衰推定に必要となる基礎データを国内できめ細かく測定し、ITU-R の降雨減衰量推定モデルに準じて分析することによって、38GHz 帯における精度の高い国内用の降雨減衰推定モデルを構築し、本モデルを用いて、38GHz 帯の降雨減衰補償方策として、降雨断が予測される基地局から降雨断の影響を受けない隣接基地局へ HAPS のスポットビームの指向方向を切り替え、プロアクティブに地上局の経路を切り替えるサイトダイバーシチ技術を開発する。
（課題エ） HAPS 向け地上局用アンテナ技術	HAPS 向け地上局用アンテナ技術として、自律的に位置変動する HAPS 方向を常に捕捉追尾する技術とともに、同一周波数帯を用いる他の固定無線局との間の干渉状況を把握し、指向性パターン等の送信特性を活用した干渉軽減技術を開発する。また、携帯電話網との同一周波数共用を実現するため、携帯電話網と連携した通信制御技術を開発する。
（課題オ） 周波数共用技術	WRC-19 会合にて HAPS 固定系に特定された 38GHz 帯（38.0 - 39.5GHz）の既存システム（計画中を含む）との周波数共用検討の結果及び HAPS 関連の WRC-23 会合の結果を踏まえ、HAPS 事業化に資する固定系に加え移動系や C2（Command and Control:制御操縦用）リンク系も合わせ、制度整備及び非地上系ネットワーク（NTN）の国際標準化推進に資する検討を行う。
（課題カ） 高精度時間同期技術	HAPS システムと地上システムからの信号送信のタイミングを適切に制御するためには、HAPS 中継局と地上の基地局にて高精度な時間同期を行うことが課題である。HAPS の高度 20km での飛行に応じて変化する HAPS 中継局と地上基地局間の伝搬距離差を考慮した動的な高精度時間同期技術を開発する。開発にあたっては、様々な機体タイプの HAPS の運航特性を考慮する。
（課題キ） ネットワーク連携干渉回避技術	HAPS システムと地上システム間で同一エリアにおいて同一周波数を共用する場合、システム間で相互に干渉が発生するため、大きく通信品質が低下することが課題である。相互に干渉とならないように無線リソースの割当制御を行うネットワーク連携干渉回避技術を開発する。
（課題ク） ネットワーク連携干渉キャンセル技術	HAPS から地上システムへの干渉が非常に大きい場合においては干渉回避技術が必要である一方、干渉レベルが同等程度以下である場合においては、HAPS からの干渉を低減するように HAPS 中継局と地上基地局が連携して信号送信制御を行う干渉キャンセル技術が求められる。干渉状況やトラフィック状況に応じて、干渉回避技術と干渉キャンセル技術を適応的に切替制御する技術を実現する必要がある。

・スケジュール

技術の種類	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度
５G 網等と連携した HAPS システムの全体設計／評価及び回線制御技術	システムの全体設計 回線制御モデル検討	全体設計修正 回線制御アルゴリズム 開発	性能評価・実証試験準備 回線制御ソフトウェア 開発・試験	統合実証試験
HAPS 搭載の動揺補償型ミリ波帯の多地点スポットビームアンテナの開発	設計・開発	機器開発	単体地上試験	
ミリ波帯の降雨減衰補	伝搬特性分析	降雨減衰補償技	地上試験	HAPS へアン

償技術の開発		術開発		テナ艤装 アンテナ単体試験
HAPS 向け地上用アンテナの開発	設計・開発	通信技術開発	地上試験 試験基地局整備	
周波数共用技術の検討	既存系と共用検討	国際標準化向け活動	WRC-23 向け活動	WRC-23 対応
時間同期技術、リソース割当て制御技術の開発	基本検討等	機器開発	装置試作・評価	
干渉信号キャンセル技術	干渉シミュレーション	サイトダイバーシチ 技術開発	装置試作・評価	

（２）達成目標

【固定通信システム】

HAPS に搭載するミリ波帯アンテナシステム及びそれと対向する固定通信システム用地上局を開発し、HAPS の滞留位置変動下や姿勢動揺下においても、他の地上システムからの干渉を軽減させながら無線回線を成立させるとともに、HAPS と携帯電話網と連動したダイバーシチ技術を用いて、降雨減衰の影響が大きい 38GHz 帯においても、従来の国内 Ku 帯静止衛星システムを利用した携帯電話向けバックホール回線と同等の総合回線稼働率を確保し、静止衛星システムでは３（bit/symbol）前後であった周波数利用効率を 1.1 倍以上（スループットを 1.1 倍以上）の３（bit/symbol）後半から４（bit/symbol）台に改善させることを目標とする。

【移動通信システム】

上空の HAPS システムと地上システムの高精度時間同期技術、HAPS システムと地上システムがネットワーク連携した干渉回避技術及び干渉キャンセル技術を確立し、連携しない場合に比べて周波数利用効率を 1.2 倍以上（スループットを 1.2 倍以上）に改善することを目標とする。

○関連する主要な政策

Ⅴ．情報通信（ICT 政策）　政策 13「電波利用料財源による電波監視等の実施」

○政府の基本方針（閣議決定等）、上位計画・全体計画等

名称（年月日）	記載内容（抜粋）
成長戦略フォローアップ(令和元年６月 21 日)	Ⅰ．Society5.0 の実現 １．デジタル市場のルール整備 （１）KPI の主な進捗状況 ⅱ）データ流通の促進 ②　流通・活用環境の整備 イ)ネットワークの更なる強化と高度化の推進 ・今後の電波利用ニーズの拡大への対応として、Beyond 5G の要素技術やその円滑かつ迅速な導入に必要となる実世界の電波伝搬を模擬的に再現する試験環境、HAPS（High-Altitude Platform Station）を用いた通信システム等に関する研究開発を推進するとともに、既存シ

	ステムとのダイナミックな周波数共用を可能とするシステムの構築を来年度末までに行う。
デジタル田園都市国家インフラ整備計画（改訂版）（令和５年４月 25 日）	第２章 整備方針・具体的施策等 ２－４ 非地上系ネットワーク（NTN） （３）具体的施策 ① HAPS ・WRC-23(世界無線通信会議)において、HAPS で利用可能な周波数の拡大や、国際調整の仕組み作りなどの国際ルール策定で我が国が主導すべく取り組んでいくとともに、HAPS に必要な無線システムの技術実証等を進め、その実用化に向けた国内制度の整備に着実に取り組む。
国土強靱化年次計画 2023(令和５年６月 21 日)	（別紙１） 分野別施策一覧 ６．情報通信 非地上系ネットワーク（NTN）の整備等 ・WRC-23(世界無線通信会議)において、HAPS で利用可能な周波数の拡大等に取り組む。 HAPS の社会実装に向けた関係府省庁の連携体制を構築し、関連する施策や必要な制度整備、支援策などについて検討を加速化する。
新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画 2024 年改訂版（令和６年６月 21 日）	Ⅴ.投資の推進 ２．ＤＸ （３）ポスト５Ｇ、６Ｇの実現 衛星通信や、HAPS（高高度プラットフォーム）を活用した成層圏からの通信により、災害時や従来のネットワークが届かない空、海、離島、山間部等も含めて広範囲の通信を継続可能とする非地上系ネットワーク（NTN）の早期実装を図るため、研究開発の加速と技術基準の整備を行う。

（３）目標の達成状況

- 固定通信システムの研究課題に関しては、38GHz 帯（38-39.5GHz)の無線通信システムの技術開発を行い、開発目標（Ku 帯静止衛星システムと同等の回線稼働率（99.9%）を維持しつつ、３bit/symbol 前後であったスループットを 1.1 倍以上の３の後半から４bit/symbol 台に改善）に対して、HAPS ダウンリンクで 5bit/symbol 台となり、目標を達成した。また、固定通信システムの各技術課題について、開発成果の有効性を解析、単体試験、統合実証試験を通して実用化に資する検証ができた。
- 移動通信システムの研究課題に関しては､達成目標としてHAPS-地上システム構成において、提案する高精度時間同期技術及びネットワーク連携干渉制御技術により、同期精度誤差を±1マイクロ秒以下に抑え、干渉制御技術を適用しない場合に対して「1.2 倍以上」の周波数利用効率の向上を目指す。達成状況としては、試作装置開発により提案技術の実時間での動作検証を行うとともに、システムシミュレーションにより周波数利用効率の評価を行い、目標とした同期精度誤差、および、周波数利用効率の向上を十分に達成できることを確認した。

技術の種類	目標の達成状況
（課題ア） 5G 網等と連携した HAPS システムの全体設計／評価及び回線制御技術	・HAPS 搭載システムを用いた国内統合実証試験により、開発目標である Ku 帯静止衛星システムと同等の回線稼働率（99.9%）を維持しつつ、3（bit/symbol）前後であったスループットを 1.1 倍以上の 3（bit/symbol）の後半から 4（bit/symbol）台に改善できることを確認した。 ・38GHz 帯電波伝搬測定を 2 回実施し、統合実証試験および将来の HAPS 実用化に向けた課題洗い出しを完了した。 ・地上 5G 基地局と HAPS ネットワーク間でハンドオーバができることを統合実証試験で確認した。 ・将来の高度化に向けて、HAPS シミュレータによる干渉回避技術評価を実施し、3GPP Release 18 において、５GNR が長距離通信をサポートするために必要な技術提案をする等

	NTN 標準化にも貢献した。
（課題イ）HAPS 搭載の動揺補償型ミリ波帯多地点スポットビームアンテナ技術	・38GHz 帯マルチビームフルデジタルアレイアンテナと、5G NTN スタンドアローン機体搭載型基地局の構成で、機体の移動や揺れに適応し、任意の地上局間のリンクを瞬時に切り替えることで悪天候や被災時でもレジリエンスなシステムを目標に開発を進めた。 ・開発した C2 リンク用モジュール、ミリ波用モジュール、基地局を航空機に艤装の上、航空機を用いた飛行試験を実施し、HAPS 搭載局が複数地上局間のリレー通信を安定的に行い、HAPS 経由のバックホール回線を提供可能であることを確認することができた。
（課題ウ） ミリ波帯の電波伝搬損失の補償技術	・ミリ波帯の降雨減衰長期測定を実施し、電波伝搬路上の降雨を考慮した HAPS 回線の降雨減衰モデル（ITU-R 勧告 P.618-13）を利用して構築し、HAPS サービスエリア内の降雨の相関が大きい 2 局間においてもサイトダイバーシチの効果を得るよう降雨予測に基づくプロアクティブ・サイトダイバーシチを開発し、サイトダイバーシチアルゴリズムを実装した回線制御装置を用い 5G 網と連携した回線制御技術として実証した。
（課題エ）HAPS 向け地上局用アンテナ技術	・38GHz 帯レンズアンテナとアレーフィーダを組合せて HAPS が 5GHz 帯で送信する位置情報を元に HAPS 方向を捕捉追尾する地上局アンテナの開発を完了し、航空機により実証し、追尾精度 0.4 度以内（60cmφアンテナの主ビーム半値幅の 1/2）の達成を確認した。 ・5G 網とのハンドオーバ及びサイトダイバーシチと組み合わせた屋内・屋外地上結合試験を行い、End-to-End の 5G-NR による導通試験評価を完了した。
（課題オ） 周波数共用技術	・HAPS と地上５G は、地上局の周りに電波シールド等干渉軽減策を施すことにより、概ね、周波数共用が可能であることを確認した。 ・地上 5G と HAPS 間の干渉、回線品質を評価するシミュレーションを開発した。 ・制度化、技術的条件に資する検討課題検討スケジュールの整理を実施した。 ・スマホへ直接通信を可能とするシステムについて、WRC-23 会合にて、実用化に資する議題 1.4 における HIBS サービスリンク帯域拡大と PFD 制限値の議論に際しては、日本案の策定の推進に寄与し、結果として我が国を含めた多数の国において、HIBS としての利用が可能となる決定が行われた。 ・HAPS Alliance 等の業界の協力を得つつ、APG/AWG 会合に、HIBS 標準化推進する日本提案を共同提案するとともに地域会合（アラブ、アフリカ）で、日本提案の支持拡大を求める活動に参加した。 ・HAPS Alliance の Telecom-WG では HAPS ユースケースの白書作成活動に参加し、主に HAPS を含めた NTN 利用の作成を担当した。
（課題カ） 高精度時間同期技術	（無線インターフェースベースの高精度時間同期技術について検討(目標達成)） ・計算機シミュレーションソフトウェアを開発した。 ・検討したアルゴリズムについてシミュレーション評価を実施するとともに、同期精度を改善するための連続判定等の手法を開発した。 （試作装置への実装および同期精度の確認(目標達成)） ・検討したアルゴリズムについて、試作装置への実装を完了し、動的なタイミング追従による高精度同期が機能することを確認した。 ・室内試験によって、SNR0dB 以下の環境においても 1 マイクロ以下の同期精度を達成できることを確認した。
（課題キ） ネットワーク連携干渉回避技術	（ネットワーク連携干渉回避制御(目標達成)） ・無線リソース割当制御のアルゴリズムについて検討し、計算機シミュレーションソフトウェアを開発した。 ・シミュレーション評価を実施し、干渉回避による改善効果を確認した。 （試作装置への実装(目標達成)） ・試作装置へネットワーク連携干渉回避機能を実装した。 ・室内試験によって、課題カの高精度時間同期機能を実装した状態での、スループット改善効果を確認した。
（課題ク） ネットワーク連携干渉キャンセル技術	（地上側干渉抑圧技術の開発（目標達成）） ・信号処理アルゴリズムを確立し、実機評価により所望の改善効果を確認した。 （HAPS 側干渉抑圧技術の開発（目標達成）） ・ヌルフォーミング及びこれを拡張したヌルスイーピングを新たに提案し、計算機シミュレーションにより通信容量の大幅な改善効果を確認した。
移動通信システム共通課題	（HAPS 対応電波伝搬推定技術の開発（目標達成）） ・HAPS 対応電波伝搬損失推定技術を開発した。 ・HAPS 対応時空間電波伝搬推定技術を開発した。 （開発した推定技術の国際標準化活動（目標達成）） ・干渉検討用 HAPS 対応電波伝搬推定技術の国際標準化を達成した。

	・国際標準化した干渉検討用伝搬推定技術が WRC-23 における HAPS 新周波数追加に貢献した。（当初計画を超える成果） ・システムデザイン用 HAPS 対応電波伝搬推定技術及び時空間電波伝搬推定技術の一部について、先駆けて国際標準化を達成した。 ・室内実験評価（目標達成） ・各要素機能の試作装置への実装を完了し、所望の改善効果が得られることを確認した。 ・統合システムを完成させ室内総合試験を完了した。 ・総合評価（目標達成） ・干渉キャンセラ及び干渉回避技術の連携システムの評価を実施し、当初目標である周波数利用効率 1.2 倍を達成した。

３　政策効果の把握の手法

研究開発の評価については、各要素技術における目標の達成状況、論文数や特許出願件数などの指標が用いられ、これらを基に専門家の意見を交えながら、必要性・効率性・有効性等を総合的に評価するという手法が多く用いられている。この観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（令和６年６月 21 日）において、目標の達成状況等に関して外部評価を実施し、政策効果の把握に活用した。

また、外部発表や特許出願件数、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

さらに、固定通信システムでは開発目標（Ku 帯静止衛星システムと同等の回線稼働率（99.9%）を維持しつつ、３bit/symbol 前後であったスループットを 1.1 倍以上の３の後半から４bit/symbol 台に改善）に対して、HAPS ダウンリンクで 5bit/symbol 台となり、移動通信システムでは目標（同期精度誤差を±1 マイクロ秒以下に抑え、干渉制御技術を適用しない場合に対して「1.2 倍以上」の周波数利用効率の向上）について試作装置開発により提案技術の実時間での動作検証を行うとともに、システムシミュレーションにより確認し、効果を把握した。

４　政策評価の観点・分析等

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績からの分析

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績から、多数の発表を行い、特許も６件取得するなど HAPS に必要な技術を確実に確立しており、また、多数の国際標準提案を行い、５件の国際標準を獲得するなど、国際標準化にも貢献しており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた 。

主な指標	令和２年度	令和３年度	令和４年度	令和５年度	合計
査読付き誌上発表論文数	０件 （０件）	８件 （３件）	５件 （４件）	４件 （１件）	１７件 （８件）
査読付き口頭発表論文数 （印刷物を含む）	８件 （８件）	９件 （９件）	７件 （７件）	５件 （４件）	２９件 （２８件）
その他の誌上発表数	０件 （０件）	１０件 （４件）	２件 （１件）	３件 （１件）	１５件 （６件）
口頭発表数	２６件 （０件）	５４件 （８件）	３９件 （４件）	２５件 （１件）	１４４件 （１３件）
特許出願数	４件 （０件）	１３件 （６件）	７件 （４件）	９件 （９件）	３３件 （１９件）
特許取得数	０件 （０件）	０件 （０件）	２件 （０件）	４件 （１件）	６件 （１件）
国際標準提案数	６件 （６件）	３７件 （３７件）	２４件 （２４件）	３６件 （３６件）	１０３件 （１０３件）

国際標準獲得数	0件 （0件）	3件 （3件）	0件 （0件）	2件 （2件）	5件 （5件）
受　賞　数	0件 （ 0 件）	3件 （1件）	4件 （0件）	1件 （0件）	8件 （1件）
報道発表数	2件 （1件）	2件 （0件）	6件 （1件）	1件 （0件）	11件 （2件）
報道掲載数	0件 （0件）	0件（ 0件）	0件 （0件）	0件 （0件）	0件 （0件）

注1：各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。（括弧）内は、その内海外分のみを再掲。

注2：「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読（peer-review（論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの））のある出版物に掲載された論文等（Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む）を計上する。

注3：「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集（電子媒体含む）に掲載された論文等（ICC、ECOC、OFCなど、Conference、Workshop、Symposium等でのproceedingsに掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。）を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等（電子情報通信学会技術研究報告など）は、「口頭発表数」に分類する。

注4：「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等（査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む）を計上する。

注5：PCT（特許協力条約）国際出願については出願を行った時点で、海外分1件として記入。（何カ国への出願でも1件として計上）。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6：同一の論文等は複数項目に計上しない。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しない。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	HAPSの事業化に向け、近年、小型～中型の無人機の技術が急速に発展・普及し、また、携帯電話やIoTの技術が大幅に進展してきており、ITUや国際民間航空機関（ICAO）においても勧告・規格化を目指した検討が始まるなど、HAPS実現に向けた国際的な動きが加速し、環境整備と技術開発が進み、その普及拡大が見込まれている。 HAPSを利用した固定通信システムとしては、5G等の次世代モバイル通信システムの普及に伴う基地局へのバックホール回線の冗長化要求が増すことや既存携帯電話システムの更なるトラヒックひっ迫が想定されるとともに、昨今の風水害の激甚化に伴い、地上の通信インフラ網の強靭化が喫緊の課題となっている中、土砂崩れや河川の氾濫等により地上のインフラ網が寸断し通信が途絶した場合においても、上空経由にて冗長経路が確保できる高速ブロードバンド通信を用いて広範囲の災害現場の映像や要支援物資等の情報などを災害時の拠点となる国や地方公共団体に速やかに提供できるHAPSは、広域災害時の備えとして有効な手段であり、早急な実現への期待が高まっている。 また、HAPSを利用した移動通信システムとしては、超広域カバーエリア、災害に強いネットワーク及び上空を含む三次元空間エリアへの通信サービスの提供を実現するプラットフォームとしての利用が期待されている。特に、2.7GHz以下の携帯電話向け地上移動通信システムと同一の周波数帯を利用する上での共用技術を確立することで、既存の端末をそのまま使用可能なシステムを構築し、地上のセル境界におけるスループット向上や災害時の通信手段確保といった、現在の移動通信システムが抱える課題を解決することが求められている。 このため、本研究開発でHAPSを利用した無線通信システムの研究開発を実施することで、上空経由で冗長経路を確保できるブロードバンド通信等を実現するとともに、地上移動通信システムとの干渉による影響を抑え周波数共用を可能とする技術を確立し、固定通信システム及び移動通信システムそれぞれにおける周波数の効率的な利用を実現するとともに、災害時の通信確保手段の一つとしてHAPSが活用されることに寄与することができた。 よって、本研究開発には必要性があったと認められる。
効率性	実施期間中も受託各社の研究代表者・実務者の定期的会合において各社の進捗状況や課題が調整・共有され、さらに外部の有識者と受託者から構成される運営委員会や、外部有識者による継続評価に

	おいて、研究進捗や進め方等について助言を受けるなど、効率的な実施のため情報交換が積極的に行われた。 　また、各社がそれぞれ得意な分野を担当し、効率的に研究開発が進められた。 　経費の執行にあたっては、予算要求段階、公募実施の前段階、提案された研究開発提案を採択する段階、研究開発の実施段階及び研究開発の終了後における、実施内容、実施体制及び予算額等について、外部専門家・外部有識者から構成される評価会において評価を行い、効率的に実施した。 　よって、本研究開発には効率性があったと認められる。
有効性	本研究開発は、NTN の構成要素である HAPS と地上 5G 系とのネットワーク統合を可能とする基礎技術の開発であり、2025 年度頃に想定される HAPS 事業化の推進を支援するものであり、この開発によって Beyond 5G の HAPS 高度化や NTN への応用が加速されるため、それら無線ネットワークの信頼性向上や携帯電話網との連携や統合促進に対する波及効果は高く、また NTN による垂直方向への無線ネットワークの展開により、航空機やドローン、あるいは空飛ぶ自動車向けといった様々な移動体アプリケーションへの高信頼な通信ニーズへの発展・応用も期待できる。 　また、本研究開発は、移動体アプリケーションの多層化に資すると共に、本研究課題成果であるシステムアーキテクチャ、通信方式、国際標準仕様等は、NTN がターゲットとする HAPS に加えて衛星通信にも適応可能な要素である。 　これら複数のインフラサービスによる多層化された NTN サービスによって、地球上のあらゆる場所でより使い勝手の良い価格帯でのサービスが広がり、さらには災害への強靭性も高まるという特徴を活かした新たな産業が形成されていくと思われる。本研究開発の成果により、このような拡大するグローバル航空宇宙通信産業のエコシステムの中で、我が国がポジションを確立していくための要素の一部として機能することが期待できる。 　よって、本研究開発には有効性があったと認められる。
公平性	本研究開発によって実用化に寄与する HAPS は、離島、海上、山間部等の効率的なカバーや自然災害をはじめとする非常時等に備えた海底ケーブル等を含む地上系ネットワークの冗長性の確保に有用であることから広く国民の利益になるものである。 　また、HAPS の実用化において、本研究開発によって開発した技術により周波数を有効利用することは、広く無線局免許人や無線通信の利用者の利益となる。 　本研究開発の実施に当たっては、開示する基本計画に基づき広く提案公募を行い、提案者と利害関係を有しない複数の有識者により審査・選定した。 　よって、本研究開発には公平性があったと認められる。
優先性	情報通信インフラが我が国の国民生活・経済活動の基盤となっている中で、ネットワークの信頼性の向上や通信カバレッジの拡張への期待が高まっている。また、グローバル企業による技術、市場の寡占が進む一方で、国民生活・経済活動のみならず、安全保障の面からも情報通信インフラの重要性が高まりつつある。さらに、人口減少や少子高齢化が急速に進むことに伴い、地方におけるデジタル活用の促進や情報通信インフラの維持が課題となっており、また、情報通信設備の高度化・複雑化とも相まって、保守・運用体制の整備や人材育成も必要になっている。次世代インフラ Beyond 5G（6G）については、国際的な開発競争の更なる激化等が進んでおり、早期社会実装に当たりグローバル市場での競争力発揮が課題であり、我が国の政策の進展を踏まえた戦略的取組の必要性が高まっている。 　HAPS を含む非地上系ネットワーク（NTN）は、離島、海上、山間部等の効率的なカバーや自然災害をはじめとする非常時等に備えた海底ケーブル等を含む地上系ネットワークの冗長性の確保に有用である。 　よって、HAPS の早期実現に資する本研究開発には、優先性があったと認められる。

５　政策評価の結果（総合評価）

　HAPS は、広域災害時の備えとして有効な手段であり、早急な実現への期待が高まっている中、本研究開発により、固定通信システム及び移動通信システムそれぞれにおける周波数の効率的な利用を実

現するとともに、災害時の通信確保手段の一つとしてHAPSが活用されることに寄与することができ、本研究開発には必要性があったと認められる。

本研究開発により、NTNの構成要素であるHAPSと地上5G系とのネットワーク統合を可能とする基礎技術を開発したことは、2025年度頃に想定されるHAPS事業化の推進に大きく寄与するものである。

よって、本研究開発には有効性、効率性等があると認められた。

＜今後の課題及び取組の方向性＞

HAPSの実用化にあたっては、本研究開発で開発した技術による周波数の有効利用が期待され、今後は、HAPSの早期国内導入に向け、必要な技術基準の策定等を進めていく。

６　学識経験を有する者の知見の活用

「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（令和６年６月21日）において、目標の達成状況や得られた成果等、実施体制の妥当性及び経済的効率性、実用化等の目途等について外部評価を実施し、外部有識者から以下の御意見等を頂いたため、本研究開発の評価に活用した。

・HAPS通信の研究開発は随分長くやってきており、実用化も重要だと認識している。
・実用化段階での評価は、実用化に則した実証方法もあるだろう。

７　評価に使用した資料等

○成長戦略フォローアップ（令和元年６月21日）
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/pdf/fu2019.pdf

○デジタル田園都市国家インフラ整備計画（改訂版）（令和５年４月25日総務省）
https://www.soumu.go.jp/main_content/000877891.pdf

○国土強靱化年次計画２０２３（令和５年７月28日国土強靱化推進本部決定）
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/kakuteihonbun_r057028.pdf

○新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画2024年改訂版（令和６年６月21日）
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/atarashii_sihonsyugi/pdf/ap2024.pdf

○電波利用料による研究開発等の評価に関する会合
http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm