

2018年度 委託研究

課題 208

HTSにおける電波と光のハイブリッド衛星通信技術の
ための研究開発

研究計画書



1. 研究開発課題

『HTSにおける電波と光のハイブリッド衛星通信技術のための研究開発』

2. 本課題が含まれる研究開発の全体像

はじめに

国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「機構」という。）は、機構自ら行う研究や委託研究などを効果的に連携させながら、機構に与えられた中長期目標の達成を目指している。本課題はこのような連携の一部となる研究であるため、研究開発プロジェクト（以下、「プロジェクト」という。）の全体像について十分に理解したうえでの研究提案や実施が求められる。プロジェクトは、プロジェクトオフィサー及び機構職員で構成されるプロジェクトチームによりマネジメントされる。

2. 1 プロジェクトの目的・ビジョン

国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「機構」という。）では、「あらゆる状況下で人やモノが柔軟かつ確実に繋がり、周波数資源やエネルギー資源を有効に利用できる社会の実現」を目指し、衛星通信分野では、衛星搭載ミッションの高度化・多様化に伴い必要となる衛星通信ネットワークの高速化・大容量化の基盤技術の研究開発のプロジェクトを進めている。

本プロジェクトは、地上-衛星間で10Gbps級の光データ伝送を実現するための衛星搭載機器の開発とブロードバンド通信が提供困難な海洋・宇宙空間に対して柔軟・機動的に通信手段を衛星によって提供する基盤技術の開発をとおして、衛星通信の高速化・大容量化への期待と周波数資源逼迫の解決に応えることにより、「あらゆる状況下で人やモノが柔軟かつ確実に繋がり、周波数資源やエネルギー資源を有効に利用できる社会の実現」を目的とするものである。

2. 2 社会的な背景・国内外の状況

近年、従来の通信衛星と比較し、スループットを大幅に向上させたHTS（High Throughput Satellite）と呼ばれる、Ka帯のマルチビームと中継器を備えた大容量衛星通信の計画が台頭し、一部は実用化されつつあるなど、高速化・大容量化が進展している。また、O3b、Oneweb及びLeoSatなどの小型衛星メガコンステレーションを利用したブロードバンドサービス計画が登場し、世界の宇宙関連市場・衛星の需要数は着実に増加の傾向にある。さらに、航空機や船舶などの洋上での衛星利用のニーズが増大し、ますます衛星の大容量化が求められている状況にある。

一方、リモートセンシング衛星によって撮影された高解像度データのダウンリンクで必要となる大容量通信回線のユーザリンク部分（低軌道周回衛星と静止軌道データ中継衛星を双方に結ぶ回線）、あるいは、低軌道周回衛星から地球局への直接ダウンリンク回線に光通信システムを採用するなど、衛星通信に光通信を採用する動きが世界的に広がっており、すでに光データ中継衛星サービスは欧州で実用化、米国や日本でも計画中である。

今後、HTSの大容量化が進むにつれて、周波数資源の枯渇が懸念されている今、ユーザリンク（地上の移動または可搬局と衛星を双方に結ぶ回線）をKa帯通信とし、フィードリンク（地上の基地局と衛星を双方に結ぶ回線）を光通信とすることができれば、光と電波の利点を生かしたハイブリッドな衛星通信システムが実現でき、衛星通信分野において、大きなブレイクスルーになると考えられる。

国内においては、技術試験衛星Ⅷ型(さく8号)、超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)以降、通信放送分野における技術試験衛星計画がない状態が続いたが、平成27年に内閣府宇宙戦略本部にて宇宙基本計画が策定され、安全保障及び宇宙産業の国際競争力強化の観点から、通信放送分野の技術試験衛星の必要性が強く謳われ、2021年度打ち上げ予定の技術試験衛星9号機((以後、ETS-9という。))*¹の開発が明記され、国家プロジェクトとして計画が開始された。ETS-9のミッションの目的や実証すべき技術等は、宇宙開発に関連する省庁、研究機関、衛星製造事業者、衛星通信サービス事業者等で構成された「次期技術試験衛星に関する検討会」において議論された。通信ミッションに関しては、機構が10Gbps級の地上-衛星間の光データ伝送を可能とする光通信システム機器の研究開発を、総務省がKa帯におけるデジタルビームフォーミングやチャネライザ等の電波による通信システム機器の研究開発を、それぞれ実施し、それらの開発された機器をETS-9に搭載し、2021年度以降に静止軌道上における実証が計画されている。ETS-9における技術実証では、主に前述した通信システムを軸とした実証実験を計画しているが、衛星通信分野における周波数資源の枯渇が危惧されているなか、光と電波を組み合わせたハイブリッドHTSシステムの技術実証を早期に行うためには、その基盤技術の開発に取り組むことが、産業・科学技術基盤の強化の観点から重要である。

*1 技術試験衛星9号機(ETS-9):

産業競争力強化の観点から、市場ニーズを実現する通信技術とそれらの通信機器を搭載・運用できる衛星バス技術を実証し、2020年代に国際競争力ある衛星システムを実現することを目的とした技術試験衛星であり、2021年度に打ち上げ予定である。衛星バス技術の開発は宇宙航空研究開発機構が担当し、通信ミッションのうち、Ka帯を利用し、伝送容量の拡大及び周波数、ビーム形成のフレキシブル化を目指したRFミッションの搭載機器の開発は総務省、10Gbps級の光フィードリンクの実現を目指す光ミッションの搭載機器開発は当機構が担当する。

2.3 プロジェクトの概要

本プロジェクトでは、衛星搭載ミッションの高度化・多様化に伴い必要となる衛星通信ネットワークの高度化・大容量化を実現するために、「グローバル光衛星通信ネットワーク基盤技術」及び「海洋・宇宙ブロードバンド衛星通信ネットワーク基盤技術」の研究開発を実施している。

グローバル光衛星通信ネットワーク基盤技術の研究開発では、衛星搭載に向けた光通信用デバイスの耐環境性及び信頼性確保を推進し、10Gbps級の地上-衛星間光データ伝送を可能とする衛星搭載機器の開発を行い、2021年度打ち上げ予定のETS-9に搭載し、世界に先行して10Gbps級光フィードリンク技術の宇宙実証を目指すことで、光衛星通信分野での国際的優位性の確保を目指す。また、小型衛星のための光通信技術の研究開発では、衛星搭載用光送受信器の

小型化や、傍受されにくいセキュアな光通信技術を確立することで、今後の利用増加が予想される小型衛星において、光衛星通信が標準的なデータ送受信の手段となることを目指す。

海洋・宇宙ブロードバンド衛星通信ネットワーク基盤技術の研究開発では、ユーザリンク（移動局と衛星を双方に結ぶ回線）における通信容量として、ユーザあたり 100Mbps の Ka 帯大容量衛星通信システムを実現するため、非常時の地上系通信ネットワークの輻輳・途絶地域及び海洋・宇宙空間に対して柔軟・機動的にブロードバンド通信を提供する地球局技術、ネットワーク統合制御技術や広域・高速通信システム技術の研究開発を行い、ETS-9 を利用した実証実験を実施することにより、その基盤技術を確立する。また、船舶、航空機及び陸上移動体を対象とした応用実験も実施し、衛星利用の普及展開を図り、新たなアプリケーション開発と市場開拓に貢献する。また、運用中の WINDS を用いて、船舶や無人の洋上中継機用に開発した地球局の検証を行い、海洋資源調査に活用すると共に、Ka 帯での伝搬データの取得と伝搬モデルを構築し、標準化活動に貢献する。

電波/光変換技術の開発は、2. 2項にて示したとおり、ハイブリッド HTS システムを実現するための大きな要素となる。現時点（2018 年時点）における衛星搭載用通信機器の研究開発動向を鑑みると、今後 10 年間に実用化段階に達成されるであろう 1 ビームあたりの通信容量は、RF 通信としては数 100Mbps 程度、光通信としては、数 Gbps 程度と考えられており、衛星搭載機上にてユーザリンク（RF 通信）-フィードリンク（光通信）相互回線の中継・交換をする場合、これら大きな通信速度差を衛星搭載機上で解消し、かつ、衛星通信のエンドユーザ間にてシームレスな通信を実現する通信方式の研究開発が合わせて必要となり、世界的にまだ十分な検討あるいは実証がなされていない。

衛星搭載機上における交換方式としては、受信した RF 変調波を一度、ベースバンドレベルのデジタル信号まで再生、交換し、そのデジタル信号を光通信機器にて光変調信号し衛星から送出する方式（再生中継交換方式）と、RF 変調波を直接、アナログ-デジタル変換したデジタル信号を光通信機器にて光変調信号する方式（非再生中継交換方式またはベントパイプ中継方式）が考えられる。周波数帯域を最大限まで利用する手段としては、再生中継交換方式が望ましいが、衛星システムにおける設計制約の観点においては、それぞれの機器間インタフェース条件は簡潔である方が望ましく、また、早期の社会実装を目指す観点においては、衛星搭載機上に大規模な高速デジタル処理プロセッサが必須であり、搭載化に際して、膨大な研究開発リソースを割く必要がある。

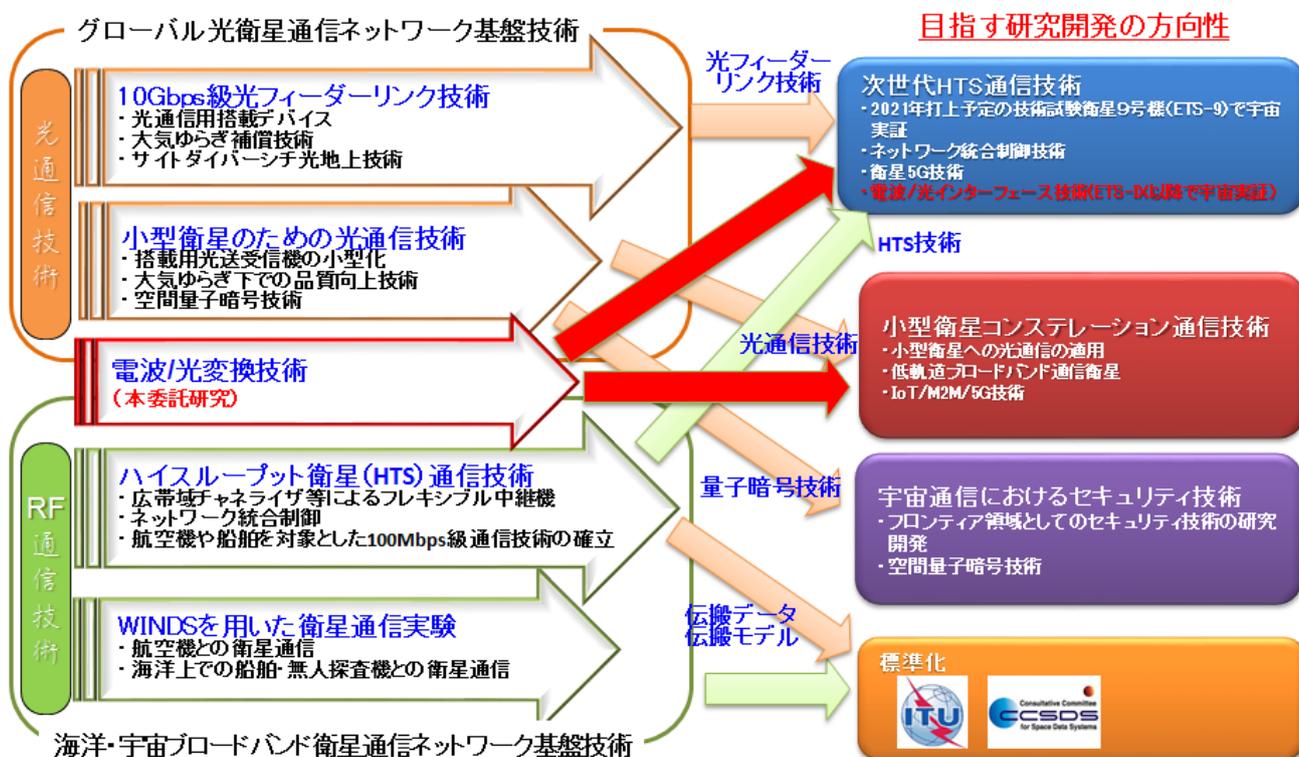
このため、本プロジェクトにおける電波/光変換技術の開発の方向性としては、非再生中継交換方式による研究開発、もしくは、高速デジタル処理プロセッサの搭載化技術の進展次第によっては、再生中継交換方式による検討もありうると想定している。

電波/光変換技術の類似の通信システムとしては、既に地上系の放送・通信ネットワーク網向けシステムである RoF（Radio on Fiber、光ファイバ無線）方式、あるいは、地上放送受信障害解消用ギャップフィルア等が実用化されており、それらの技術蓄積を外部リソースとして活用でき、かつ、研究開発の効率化を図りつつ、成果の最大化が期待できることから、本課題を解決する研究開発を本委託研究テーマとして設定している。

本委託研究では、さらなる衛星通信の大容量化への期待、周波数資源の枯渇に対する解決策として、光通信を衛星通信システムのフィードリンクに用いることより、電波と光のハイブリッドな衛

星通信システムの実現を図るための基礎技術の開発を行う。具体的には、電波による衛星通信システムと光フィーダリンクシステムを衛星上で相互接続するための電波/光変換技術を検討し、その実現性の確認を行い、将来の衛星搭載化のための技術課題を抽出し、その解決策を提案する。

プロジェクトの概要



2. 4 プロジェクトオフィサー

豊嶋 守生 ワイヤレスネットワーク総合研究センター 宇宙通信研究室室長

3. 本委託研究

3. 1 概要及び位置付け

本委託研究では、将来の衛星に搭載可能な電波/光変換機能(通信速度は、光:10Gbps 級、電波:ベースバンド信号 100Mbps 級を想定)を検討し、試作を行い、現実の衛星通信で生じる大気揺らぎ等の外乱を想定した、回線品質への影響に関するデータ取得及び評価を行い、安定な通信回線の確保に必要な技術の実現性を確認すると共に、衛星搭載化のための技術課題を抽出し、その解決策を提案することにより、将来の衛星搭載機器開発に資する。

3. 2 到達目標

1) 電波/光変換技術の研究開発

ユーザリンクあたりの伝送容量が 100Mbps 程度及びフィーダリンクの伝送容量が 10Gbps 程度の衛星通信システムを想定し、電波によるユーザリンク⇄電波によるフィーダリンク通信に比べて、電波によるユーザリンク→光によるフィーダリンクあるいは、光によるフィー

ダリンク→電波によるユーザリンク回線のエンド・ツー・エンドの回線品質に与える光回線における大気ゆらぎ・遅延等の影響に対する耐性を試作品で評価し、光から電波、電波から光へ変換できる電波/光変換技術の搭載化のための実現性の確認を行う。具体的には、現在、総務省および NICT で開発中の RF および光フィーダリンク通信サブシステムそれぞれの衛星搭載機器の通信信号インタフェース条件を考慮し、パケット交換通信を想定したシステムを前提に、サービス品質 (QoS) 指標を設定し、電波/光変換の通信方式を検討し、試作品を製作する。また、必要に応じて、地上試験段階の衛星搭載機器と接続し、実通信環境下における評価のための参照データを取得すること。さらに、衛星搭載機器特有のクリアすべき環境条件、信頼性及び電力等のリソースに関する問題点等を明確化し、2020 年代初頭以降の衛星搭載化に向けて必要となる技術課題の解決策を提案する。

3. 3 マイルストーン

2021 年度以降に、搭載用装置の開発が開始できるレベルまで、2020 年度までの期間で適切な方式や設計条件の実現性を確認し、搭載化のために必要な技術課題を抽出し、その技術課題の解決策を提案する。

1) 電波/光変換技術の研究開発

2018 年	● 電波/光変換の方式の検討
2019 年	● 電波/光変換の方式の検討 ● 方式の検討結果を踏まえた電波/光変換部の試作品の製作
2020 年	● 方式の検討結果を踏まえた電波/光変換部の試作品の製作 ● 試作品の評価、将来の搭載化のための技術課題の抽出及びその技術課題の解決策の提案
2022 年以降 (予定)	● 上記の検討および評価結果をふまえた衛星通信実験の実施 (本委託研究の範囲外)

3. 4 採択件数、研究開発期間及び研究開発予算等

採択件数 : 1 件

研究開発期間: 契約締結日から 2020 年度までの 3 年間

研究継続条件: 2019 年度に実施する中間評価にて、2020 年度の委託研究実施計画の再提出を求め、契約延長の可否を判定する。契約延長が認められた場合については、2020 年度まで契約を延長する。契約が終了することが適当と判断された場合は終了する。

研究開発予算: 2018 年度、74 百万円 (税込) を上限とする。

2019 年度、74 百万円 (税込) を上限とする。

2020 年度、72 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。)

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。

3. 5 提案に当たっての留意点

- 衛星搭載用の伝送速度 Gbps クラスの高速通信機器（電波、光を問わない）、地上における空間光伝送装置の開発実績について、提案書に付記すること。
- 本研究で想定する電波ユーザーリンク→光ファイダリンク、光→電波ユーザーリンク回線のエンド・ツー・エンドの回線に関し、衛星通信や光通信で用いられる誤り訂正方式などの研究開発実績、本委託研究における評価方法及び評価設備を提案書に記載すること。
- 本委託研究による研究開発について、3.2 項の達成目標を実現するための具体的な研究課題を設定し、かつ、それらの研究課題を担当する機関の役割を明確化して提案すること。
- 本委託研究で、方式の検討、試作及び評価を実施する際は、搭載機器特有の耐環境性及び信頼性も考慮の上、検討を進めること。
- 試作品の評価の過程では、必要に応じて、機構が開発している技術試験衛星9号機用の衛星搭載用光コンポーネントを使用した噛み合わせ試験を実施することにより、評価に寄与する参照データを取得することも可能である。
- 本研究開発の遂行過程で得られる科学的なデータがあれば、広くオープンにするのが望ましい。公開できるであろう科学的なデータの有無、及び、もし有る場合には公開計画（例：公開するデータの種類、公開先、公開方法）を提案書に記載すること。

3. 6 運営管理

- 機構と受託者の連携を図るため、代表提案者は、プロジェクトオフィサーの指示に基づき定期的に連絡調整会議を開催すること。
- 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に行うこと。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、プロジェクトオフィサー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。

3. 7 評価

- 機構は、2019 年度に中間評価（延長判定）、2020 年度に終了評価を実施する。また、本委託研究終了後に追跡評価（成果展開等状況調査を含む）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。

3. 8 成果の社会実装に向けた取組

本委託研究で得られた成果のオープン化を行う等、成果の社会実装に向けて必要な取組を行うこと。

4. 参考

本研究開発のテーマとなる衛星通信技術の参考情報は、以下に取りまとめられている。

- [1] M. Toyoshima, Y. Munemasa, H. Takenaka, Y. Takayama, Y. Koyama, H. Kunimori, T. Kubo-oka, K. Suzuki, S. Yamamoto, S. Taira, H. Tsuji, I. Nakazawa, M. Akioka, “Terrestrial Free-Space Optical Communications Network Testbed: INNOVA,” Proc. ICSOS 2014, S2-4, Kobe, Japan, May 7-9 (2014).

- [2] Telecordia GR-468-CORE
https://telecom-info.telcordia.com/ido/AUX/GR_468_TOC.i02.pdf

- [3] B. L. Edwards, R. Daddato, K. J. Schulz, C. Schmidt, J. Hmkins, D. Gigenbach, B. Robinson, L. Braatz, and R. Alliss, “An Update on the CCSDS Optical Communications Working Group” , Proc. 2017 IEEE International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS), p.p. 1-9, Okinawa, Japan, November 14-16 (2017).

- [4] 総務省 情報通信国際戦略局, “次期技術試験衛星に関する検討会報告書”
宇宙政策委員会 宇宙産業・科学技術基盤部会 第20回会合 資料4、
<http://www8.cao.go.jp/space/committee/27-kiban/kiban-dai20/gijisidai.html>、平成28年5月

- [5] 総務省 情報通信国際戦略局, “技術試験衛星9号機について”
宇宙政策委員会 宇宙産業・科学技術基盤部会 第31回会合 資料1
<http://www8.cao.go.jp/space/committee/27-kiban/kiban-dai31/gijisidai.html>、平成29年5月

- [6] 久保岡 俊宏、國森 裕生、鈴木 健治、布施 哲治、小山 義貞、宗正 康、竹中 秀樹、コレフ・ディミタル、カラスコ・カサド・アルベルト、豊嶋守生、“次期技術試験衛星の光通信ミッションの概要”、第61回宇宙科学技術連合講演会、JSASS-2017-4524、2017年10月

- [7] 宗正 康、コレフ・ディミタル、鈴木 健治、阿部 侑真、岡田 和則、大川 貢、三浦 周、豊嶋 守生、“次期技術試験衛星通信ミッションにおける光-RF 通信システムの基礎検討状況について”、第61回宇宙科学技術連合講演会、JSASS-2017-4532、2017年10月

- [8] 三浦 周、大川 貢、織笠 光明、豊嶋 守生、“次期技術試験衛星の通信ミッションとアプリケーションについて”、第 61 回宇宙科学技術連合講演会、JSASS-2017-4523、2017 年 10 月

- [9] 堀江 延佳、坂井 英一、須永 輝巳、角田 聡泰、“フレキシブル HTS の動向とデジタルチャネライザ開発”、第 61 回宇宙科学技術連合講演会、JSASS-2017-4525、2017 年 10 月