高速・大容量のデータ通信を実現する光衛星間通信技術

行實 昌和　横田 祐介　栗井 俊弘

要 旨

NECは、光衛星間通信技術によるネットワークを構築し、より高速かつ大容量の衛星間データ通信を実現して、衛星観測データのリアルタイム性を向上させることで、さまざまな分野へ活用していくことを目指しています。その第一歩として、2020年11月29日に打ち上げられた国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）様の光データ中継衛星に搭載されている光通信装置を開発し、約40,000km離れた光地上局との間での光リンクの確立に成功しました。また、地球観測衛星に搭載する光通信装置との衛星間光通信の軌道上実証が計画されており、その後に本格的な運用が開始される予定です。

KeyWords
光衛星間通信システム／光捕捉追尾／光トランスポンダ／光データ中継衛星／地球観測衛星

1. はじめに

光衛星間通信は、近年の地球観測衛星の性能向上に伴う観測データの大容量化・高速化のニーズの高まりや、RF通信（電波通信）に対して光衛星間通信の有する周波数の調整不要であることや秘匿性確保が容易であるなどの特徴により、世界的にも注目が高まってきています。国内でも1994年に初めて宇宙光通信実験を成功させてから2021年現在に至るまで、長きにわたり研究開発が進められています。

NECは、これまで国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）様の光衛星間通信実験衛星「きらり」（OICETS）搭載の光通信ターミナルや、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）様の小型光トランスポンダ（SOTA：Small Optical TrAnsponder）などの光通信システムの開発を通じて、光衛星間通信技術を培ってきました。

本稿では、光衛星間通信による将来の宇宙システムを紹介したのち、JAXA様の光データ中継衛星及び地球観測衛星向けに開発した光衛星間通信の特徴と技術について紹介します。

2. 光衛星間通信による将来の宇宙システム

NECは、ますます大容量化していく衛星観測データのリアルタイム性を向上させて、さまざまな分野へ活用できる社会を目指しています。そのためには、通信カバレッジを拡大して、またリアルタイム性を確保した、より高速かつ大容量の衛星間通信を可能とするデータ中継システムが必要となります（**図1**）。NECは、光衛星間通信技術を適用した光通信ネットワークのシステム構築を目指

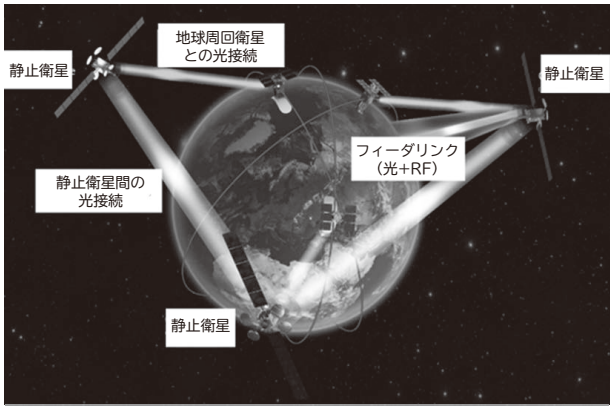


図1　光衛星間通信のイメージ図

しています。

3. 光衛星間通信の特徴

従来の衛星間通信は、RF通信が用いられています。しかし、RF通信は、干渉を避ける必要があり、使用するうえでさまざまな制約があります。更に、帯域も限られているため、通信の高速化が難しくなります。

光衛星間通信は、RF通信に比べて、周波数の高い搬送波で広帯域化が可能であるため、高速・大容量の通信が実現できます。更に電波干渉の影響を受けないことも大きな特長となります。

また、光アンテナは、短波長ゆえに持つエネルギーが高く小さなアンテナ径でも高利得が得られるため、RFアンテナに比べ、小型・軽量化が可能となります。衛星の軽量化は、打ち上げコスト低減に大きく寄与するため、非常に大きなメリットとなります。

光衛星間通信においては、非常に狭いビームを使用するため、通信を傍受することが困難であることから、セキュリティ面でも電波通信よりも優位となります（**図2**）。

一方で、超長距離の通信が必要となる光衛星間通信において、非常に狭いビームであるために、相手衛星にレーザー光を照射することが非常に難しくなります。また、相手衛星に光を届けるために、宇宙の真空環境でも安定して動作する高出力の光増幅器や相手衛星からの微弱な光を検出することが必要となります。

そのために光衛星間通信で重要となるのが、超長距離通信への対応です。第4章でJAXA様のご指導のもとで開発したNECの技術を紹介します。

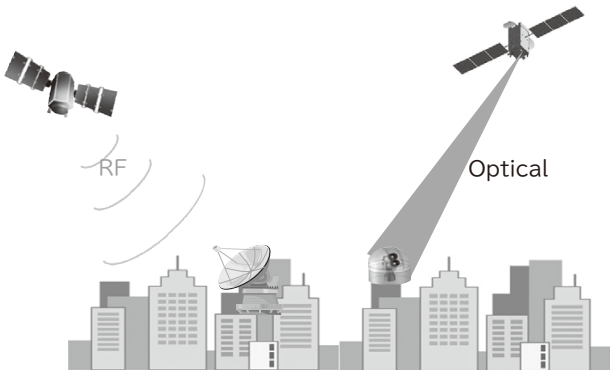


図2　RF通信とのビームの違い

4. 光衛星間通信技術の概要

4.1 光捕捉追尾技術

宇宙空間における光通信は、レーザー光がリンク確立の手段と通信の搬送波の2つの役割を果たしています。このリンク確立に必要なのが、光捕捉追尾技術です。

通信相手衛星及び自身の位置情報は、衛星軌道計算によりある程度の予測ができますが、それだけでは精度が足りず、更に宇宙環境における熱歪や衛星の擾乱の影響も受けてしまいます。そのため、相互に送信レーザー光をスキャンし、同時に通信相手衛星からのレーザー光を受光し、捕捉・追尾する技術が必要不可欠となります。

光捕捉動作においては、まず、予測される通信相手衛星方向を中心にレーザー光をスキャンします。通信相手衛星は、そのレーザー光を自身の光捕捉センサーで検知することで、相手の正確な位置を把握し、その方向にレーザー光を照射します。お互いに捕捉動作を実施することにより、最終的には通信相手衛星からのレーザー光を追尾し、更にレーザー光を照射し続ける状態に至ります。

NECは、短時間かつ確実に通信相手衛星を捕捉追尾するための捕捉アルゴリズムを開発しました。この捕捉アルゴリズムでは、シーケンスに応じて複数のスキャン形状を使い分け、スキャンごとにスキャン範囲を狭めて、精度を高めていく工夫をしています。

スキャン形状のうちの1つであるスパイラルスキャンのイメージ図を、**図3**に示します。このスパイラルスキャンは、螺旋状にスキャンすることにより、広い捕捉範囲を高速にスキャンすることが可能となります。

スキャン形状は、この他にラスタスキャン/ランダムスキャンがあり、それぞれシーケンスに応じた特徴を有しています。

4.2 光トランスポンダ（光増幅器・光変復調器）

静止衛星-地球観測衛星間では、その距離が

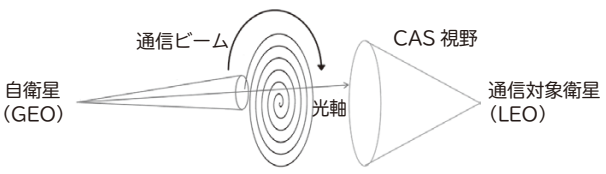


図3　スパイラルスキャンイメージ図

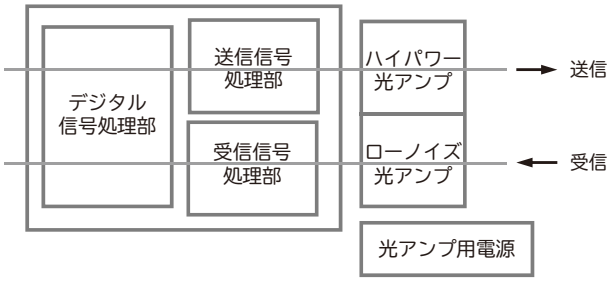


図4　光トランスポンダの構成

40,000kmに及びます。信号光は長距離伝搬中のビーム拡散により減衰し、また衛星間の相対位置変化によりドップラー周波数シフトを発生させます。こうした微弱かつ不安定な信号光での所望の通信品質確保に向け、実績のある1.5μm帯の光ファイバー通信技術に、更に宇宙環境対応のための補強を行っています（**図4**）。

送信部のハイライトは高出力光増幅器です。光ファイバー通信と同様のEDFA（Erbium Doped Fiber Amplifier）を使用しますが、排熱の効かない高真空環境下での高出力特性、長期信頼性確保を目的とした複雑な実装を行っています。また、ドップラー周波数シフトの大きさを軌道情報に基づき、リアルタイムに算出し、送信光源へとフィードバックします。

受信側のハイライトは、広い温度範囲で低雑音特性を提供する低雑音光増幅器、雑音光に埋もれた信号光からでも正しく復調を行うデジタル信号処理部、及び誤り訂正符号になります。ここにも光ファイバー通信技術の粋を集めることにより、1.8Gbpsの高速信号伝送を実現しています。

開発したこれら通信用機器の衛星搭載装置として必要である振動/衝撃耐性、真空高温環境耐性、放射線耐性の確保については、長時間の過酷な試験を経て確認されています。

多様な技術を必要とする衛星搭載用光通信装置の開発は、1.5μmの光ファイバー通信技術を持つ地上通信システムの事業部門と、宇宙環境への適応や信頼性確保の技術を有する宇宙システムの事業部門との協業により進められました。

5. 光衛星間通信システムの本格運用の幕開け

今回、JAXA様のご指導のもと、静止衛星搭載用一式及び地球観測衛星搭載用二式、計三式の光通信装置を開発しました。このうち静止衛星搭載用は、2020年11月に打ち上げられた光データ中継衛星に搭載され、約40,000km離れた光地上局との間で光通信回線の確立に成功しました。これにより、日本における光衛星間通信システムの本格運用に向け、第一歩となる成果を得ています。

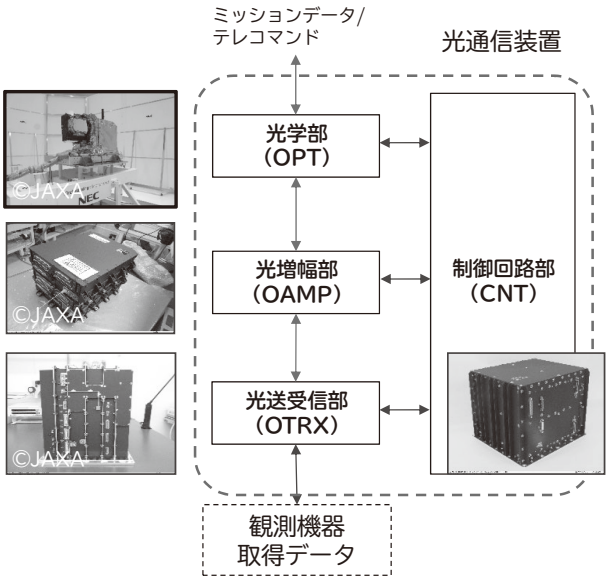


図5　光通信装置の構成

開発した光通信装置の構成を、**図5**に示します。

NECの光通信装置は、海底ケーブルやLANなどで広く用いられ、部品入手性に優れる1.5μm帯の波長を使用しています。また、世界でもトップレベルの衛星間伝送レート1.8Gbpsを実現し、従来の電波通信に比べて、7倍以上に高速化しました。

今後、2021年度以降に打ち上げられる地球観測衛星「だいち3号（ALOS-3）」と「だいち4号（ALOS-4）」に搭載される光通信装置との間で、光衛星間通信の実証や実利用が行われる予定です。更に、マルチアクセス化などの光通信ネットワーク高度化への対応や、小型軽量化や伝送レートの高速化を実現すべく、次世代の光通信技術を開発しています。

6. むすび

本稿では、NECの光衛星間通信への取り組みと光衛星間通信技術について紹介しました。今後、更なる技術開発・

実証を進め、社会への貢献を目指します。

執筆者プロフィール

行實 昌和
宇宙システム事業部
主任

横田 祐介
宇宙システム事業部
エキスパートエンジニア

栗井 俊弘
NECスペーステクノロジー株式会社
第二搭載技術部
スペシャリスト

関連URL

NEC、JAXA光衛星間通信システム「LUCAS」向け衛星用光通信装置を開発
https://jpn.nec.com/press/202012/20201210_02.html

NEC 技報のご案内

NEC技報の論文をご覧いただきありがとうございます。
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報（日本語）　NEC Technical Journal（英語）

Vol.74 No.1　安全・安心・公平・効率を提供する社会インフラ特集

安全・安心・公平・効率を提供する社会インフラ特集によせて
社会インフラを通じて、すべての人が豊かさを享受できる社会の実現を目指すNECの取り組みについて

◇ 特集論文

社会システムのDXを実現する技術 ～ 政府・行政サービスのDX

デジタル・ガバメントを推進する、これからのクラウド活用
自治体DXに向けた取り組み
音声の可視化による学びの改革 協働学習支援ソリューション

社会システムのDXを実現する技術 ～ 放送システムのDX

映像流通DXが目指す新たな社会インフラ「映像プラットフォームサービス」
未来の放送業界のDXを支える映像符号化技術

社会システムのDXを実現する技術 ～ 空港のDX

空港の税関検査場の混雑緩和とスムーズな手続きを実現する税関検査場電子申告ゲート
顔認証を活用した新しい搭乗手続き「Face Express」（成田国際空港「One ID」）
GPSを利用した航空機進入着陸システム（GBAS）の開発
次世代に向けた航空交通管理への取り組み

社会システムを支えるセンシング技術 ～ 見えないところで活躍するセンシング技術

気候変動観測衛星（しきさい）を支えた光学センサ技術と成果
宇宙から見守るまちの安全・安心 ～衛星搭載合成開口レーダ活用サービス～
ミュオグラフィを活用した内部構造の観測
海中の音波をあやつる可変深度ソーナー
マスト中段配置型艦船用TACAN（電波灯台）アンテナの開発
画像解析を活用して鉄道の沿線検査業務を支援する「列車巡視支援システム」

社会システムを支えるセンシング技術 ～ 検知と認識のセンシング技術

電波識別技術の現状と将来
ディープラーニング技術を用いた指紋照合技術の現状と将来
顔の三次元情報の計測と顔画像照合への応用
インビジブルセンシング技術によるウォークスルーセキュリティ検査

未来の社会を支える最先端技術 ～ 社会に浸透してゆく先端技術

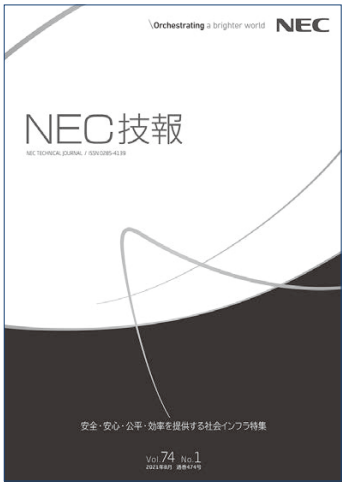
ソフトウェア無線技術のその発展と取り組み
人工衛星運用における自動化・省力化技術
光が導く次世代の暗号技術「量子暗号」
重作業の省人化・無人化を実現するロボティクス技術
海中の無人機に効率良く大電力を伝送できるワイヤレス給電アンテナの開発

未来の社会を支える最先端技術 ～ 宇宙で活躍する先端技術

はやぶさ2 イオンエンジンと今後の展望
はやぶさ2 リュウグウへの高精度タッチダウンを実現した自律航法誘導制御
はやぶさ2の快挙をセンシング技術で支えた「衛星搭載ライダー」
はやぶさ2 システム設計と運用結果
高速・大容量のデータ通信を実現する光衛星間通信技術
美笹深宇宙探査用地上局向け30kW級X帯固体電力増幅装置の開発
世界最高性能の薄膜太陽電池パドルの開発

◇ NEC Information

2020年度C&C賞表彰式典開催



Vol.74 No.1
（2021年8月）

特集TOP