

宇宙用赤外線レーザー通信時代の到来

サリー・コール・ジョンソン

NASAのレーザー通信リレー実証機(LCRD)は、現在、双方向の赤外線レーザーリレーシステムを用いた光通信を、宇宙空間内において試験的に行っている。この通信は、対地同期軌道内と地球上の地上局との間で行われる。

データ帯域幅の拡張。高速化。サイズ、重量、電力、コストの削減。過密な無線周波数(RF)スペクトラムからの脱却。これらは、赤外線レーザーと光リンクによる宇宙船との情報伝送からもたらされる便益のほんの一握りにすぎない。

2021年12月7日、NASAのLCRDは、地球上空22000マイルの対地同期軌道に打ち上げられ、米国防総省の宇宙試験計画Satellite-6衛星のペイロードとして搭載された。その目的は、宇宙探査の開始以来、宇宙通信に使用されてきた電波に代わる、レーザー通信の技術をテストすることだ。

NASAゴダード宇宙飛行センターのLCRD実験責任者であるデイヴ・イスラエル氏(Dave Israel)は、「長年、光

通信は将来的に実現すると予測されてきたが、今がまさにその時代だ。光通信は、技術面で『構想段階』を超えた』と言う。

レーザー通信

なぜ赤外線レーザーなのか。赤外線ビームは、RFシステムに比べてはるかに狭帯域の波長に多くの情報を載せることができ、地上局は1回のダウンリンクでこれまで以上に大量のデータを受信できるからだ。

光通信では、ある場所から別の場所の受信機に向けて狭帯域のビームを直接送出する(図1)。光通信用望遠鏡の場合、特にターゲットが数千マイルや数百万マイルも離れていると、ターゲットに対して極めて正確に位置を合わ

せなければならない。

LCRDの観測装置は、LCRDコンポーネントのバックボーンとして機能するサポートアセンブリフライト(LSAF)に搭載されている(図2)。観測装置にはスタートラッカーと、地球とデータを送受信する赤外線レーザーを発生させる2つの光学モジュール、そしてLSAFの裏側に取り付けられた、レーザー信号にデータをエンコードするモデムを備えている。

LCRDの2台の独立した光通信端末には、それぞれ口径10cmの光モジュール、つまり望遠鏡が組み込まれている。「これらの光通信端末はそれぞれ個別のモデムに接続されている。制御系電子機器も少し利用しており、コンピュータシステムには、最も難易度が高いとされる捕捉と追跡を行う光モジュールが接続されている。なぜなら、狭帯域のレーザービームでは捕捉と追跡がさらに困難になるからだ」と、イス

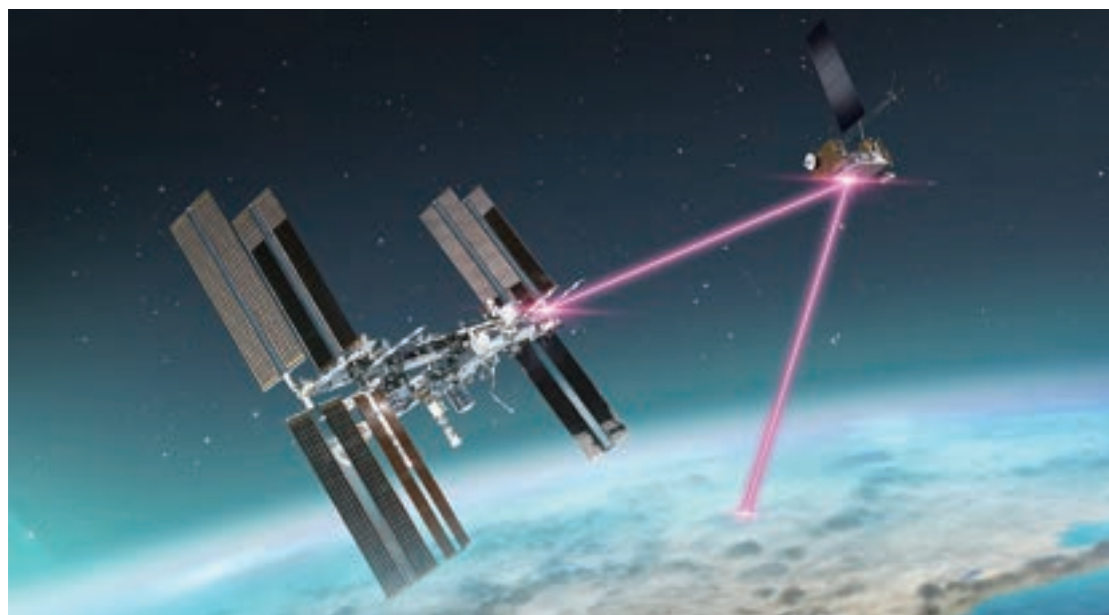


図1 国際宇宙ステーションのILLUMA-Tから地球上の地上局にデータを中継するLCRDのイラスト(画像提供: NASAゴダード宇宙飛行センター/デイブ・ライアン氏)

ラエル氏は述べる。

2台の光通信端末は、それぞれ反対側にあるデバイスと双方向に接続できる。そして、2台の端末の間にあるスイッチで、一方の端末からもう一方の端末にデータを転送するように切り替えることができる。また、双方向RFリンクもあり、必要に応じてデータ通信をRFリンクに切り替えて、例えばニューメキシコ州ホワイトサンズにデータを送信できる。

「NASAでは、軌道上のユーザーとの間でデータを送受信し、そのデータを地球に中継するように設計された中継リンク、光リンクの技術を実証している。雲や宇宙ゴミが悪影響してデータが地球に届けられないときのバックアップとしてRFを使う」と、イスラエル氏は言う。

光リレーは、NASAがさらに高いデータレートを実現するのに役立つと期待されているが、「NASAのミッションの最も重要な点は、こういった通信リンクを大気圏で確保し、天候の影響に耐え、地上局までつなぐことだ」と、イスラエル氏は述べる。「曇らないときは、大気を経由して、いかにして最適な状態で通信できるかを実証し、把握できるように取り組んでいる。そして、曇天下では、別の地上局にどの時点で切り替えるかを予測して判断できるように、さらには、こういったすべての運用上の懸念を把握できるように取り組んでいる」。

ミッションの後半では、LCRDは、国際宇宙ステーション (ISS) の光通信端末と地上局の間の中継の役割を果たしていく。

運用経験の蓄積

2013年に月に到達した月面レーザー通信実証機 (LLCD) は、レーザー通信シス

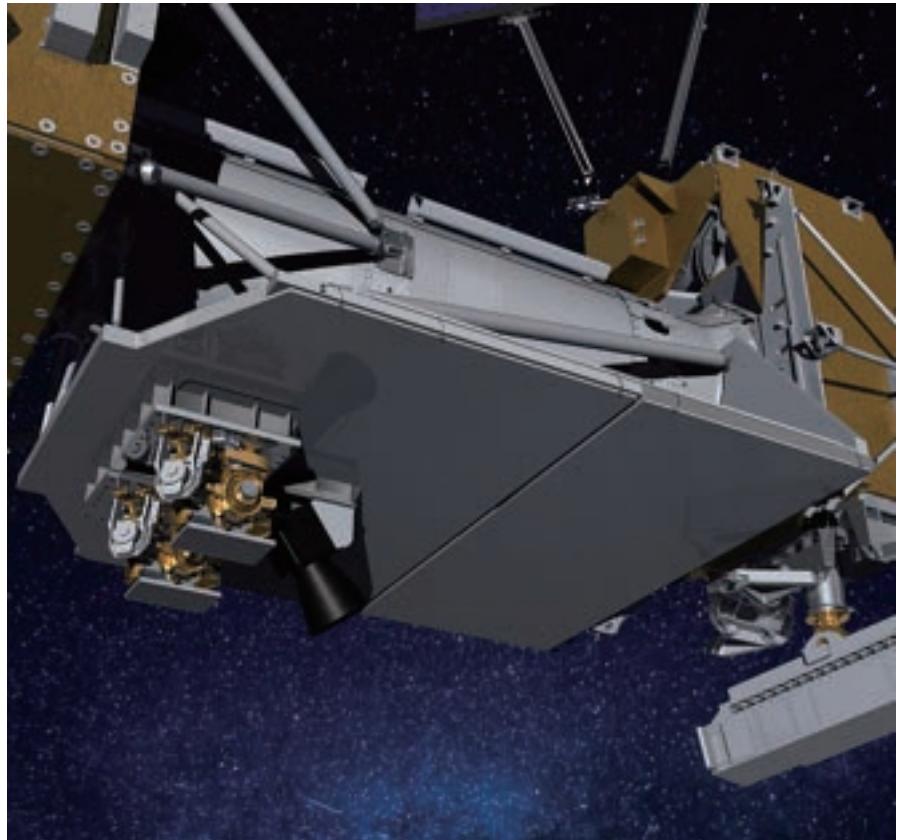


図2 LCRDサポートアセンブリフライト (LSAF) に搭載されているLCRDの観測装置が描かれたイラスト(画像提供: NASAゴダード宇宙飛行センター)

テムが打ち上げに耐え、宇宙で機能するように設計され、月の軌道や大気圏、地上の天候の影響下であらゆるポインティングや追跡が行えることを証明した。

「しかし、月を周回する探査機 LADEE のミッションの一部は、月の軌道に入り月の塵を観測することであったため、短期間の実験だった」と、イスラエル氏は言う。「技術は証明されたが、運用の経験はそれほど多く得られなかった。そのため、NASAには何年も何十年ものRFリンクを使用した宇宙間の通信経験があり、その経験がシステム設計や運用方法に取り入れられているようなものだ」。

NASAは、まだ光リンクの運用経験がないため、LCRDの技術実証ミッションの重要な点は、運用科学や探査アプリケーションに光通信を使用する前に、その

運用経験を蓄積することなのである。

これまでのところ、NASAは、極度な曇天のため地上局と通信できなくなるレベルや、宇宙ゴミによって通信が妨害されてしまうレベルを、ある程度は把握している。しかし、現在の重要な問題点は、NASAが極度な曇天になるタイミングを予測し、別の地上局に切り替える計画を事前に立てられるかどうか、そして地上局がいくつ必要なのか、ということである。

光通信のもたらす便益

光通信の便益として一般的に挙げられるのは、データ転送速度の高速化だろう。データ転送に必要な帯域幅を拡張できるようになる。「光通信は、RFシステムよりも短い波長が必要であるため、宇宙ミッションにおける真の便

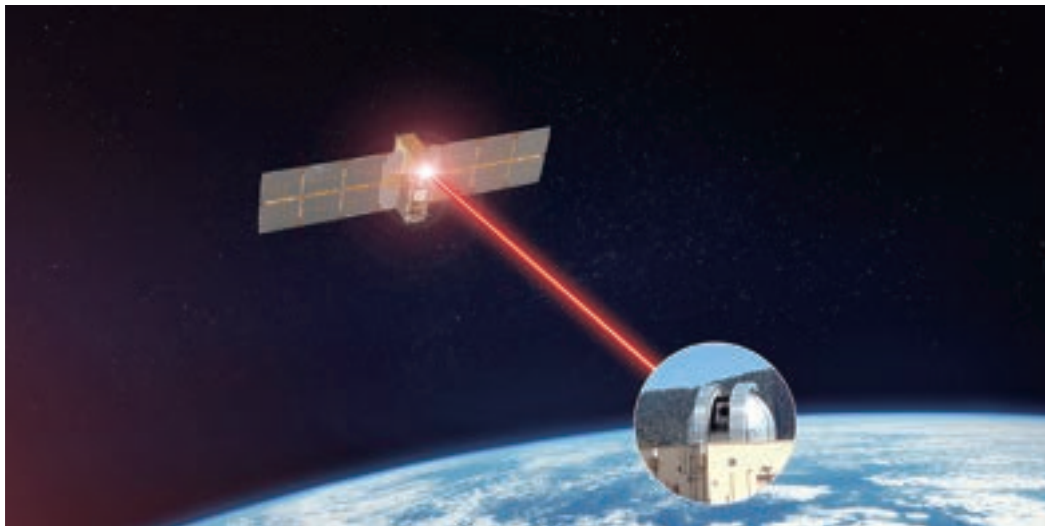


図3 カリフォルニア州の光地上局第1号へレーザーリンクを用いてダウンリンクのデータ通信を行うテラバイト赤外線配信機(TBIRD)のイラスト(画像提供: NASAゴダード宇宙飛行センター/デイブ・ライアン氏)

益の1つは、データ転送速度の向上にある」と、イスラエル氏は言う。

サイズ、重量、電力、コストの削減もまた、大きな便益である。「宇宙や地上で使用する望遠鏡のサイズは、RFリンクに必要とされるサイズよりもはるかに小さいことが判明した」と、イスラエル氏は述べる。「そのため、サイズ、重量、電力が削減される。この削減は、宇宙船を建造し、打ち上げられるようにする宇宙船側にとっても重要なことだが、地上側にとっても重要なことである。18mの大型スチールアンテナではなく、1mの望遠鏡を使用することで、地上側でのシステム構築と運用のコストを大幅に削減できるのだ」。

光通信には、必要に応じてRFに切り替える柔軟性も備わっている。もちろん、天候が悪い場合や宇宙ゴミが妨げになる場合にはRFは便利だ。

また、RFスペクトル周波数に生じる過密や干渉の問題を回避できることも、光通信の大きな便益である。

さらに進行中の NASAの光通信プロジェクト

NASAは、LCDRの性能に関する詳

細情報をまだ公表していないが、2023年春には結果研究を出し、論文が完成している見込みである。

「リンクが大気中で予測よりも少し良い性能を示したケースがあった。NASAでは今もなお、モデルを改良中で、コンピュータ上のシミュレーションモデルやラボレベルのモデルから期待していた性能が分かり始めている。予測とは異なる性能も見えてきた」とイスラエル氏は言う。

2022年には、地球低軌道内のCubeSatからレーザー通信の高速データ伝送力を示すテラバイト赤外線配信機(TBIRD)と呼ばれる実証機が打ち上げられた(図3)。TBIRDは小さな弁当箱ほどのサイズで、ダウンリンクは毎秒200ギガビットと、RFで可能な速度よりもはるかに高速な通信を実証する。この通信速度は、LCDRの200倍で、光ファイバインターネットの最高速度の100倍以上だ。このようなデータ伝送速度により、TBIRDは光地上局を通過する際に、大量のデータをバースト伝送でダウンリンクすることが可能になる。

NASAはまた、2023年にILLUMA-T(Integrated LCDR Low-Earth

Orbit User Modem and Amplifier Terminalの略)というペイロードの打ち上げも予定しており、国際宇宙ステーションに搭載される予定である。ILLUMA-Tは、データを収集し、毎秒1.2ギガビットでLCDRに送信する。運用が開始されると、LCDRとILLUMA-Tは、世界初の完全に運用可能なエンドツーエンドのレーザー通信装置となる。

2024年、オリオン・アルテミスII光通信システム(O2O)は、アルテミスIIのミッションにおいて、NASAのオリオン宇宙船で、レーザー通信によって、月までデータを伝送する計画である。高解像度の画像や、映像を伝送することが期待され、レーザー通信の実証においては、世界初の有人月面飛行となり、毎秒260メガビットの、ダウンリンク速度で、データを地球に送信する。

しかし、それだけではない。NASAは、光通信を大胆に深宇宙へ持ち込むことを計画している。NASAは現在、レーザー通信が極限距離やポインティング制約に対してどのように機能するかを調査しており、将来の端末について研究している。