

1 緒言

1 Introduction

若菜弘充

WAKANA Hiromitsu

地球環境を観測する衛星で、その観測データの分解能が向上し、伝送するデータ量が増加すると、そのデータを地上へ伝送するための高速大容量の通信回線が必要となる。低軌道を周回する地球観測衛星や宇宙ステーションでは、一旦データ中継衛星と呼ばれる静止衛星を経由して地上にデータを伝送するか、直接地上局へ伝送するかの方法がとられる。前者では周回衛星と静止衛星間の通信、すなわち衛星間通信技術が必要になる。伝送回線には電波を使用するか光を使用するかを選択肢がある。通信機器の小型化、高速大容量化や耐干渉性、秘匿性では光通信が有利だが、高精度追尾・指向技術等の技術的なハードルは高い。後者の地上衛星間の光通信では大気等による伝搬の問題がある。1980年代から日本でも光衛星間通信の研究が進められ、1994年情報通信研究機構 (NICT) が開発した光通信機器 LCE が宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の技術試験衛星 VI 型 (ETS-VI) に搭載され世界初の地上と衛星間の光通信実験に成功している。

本特集号は、その後の光衛星通信技術の研究開発成果として、JAXA による世界初の衛星間通信実験及び NICT と JAXA との共同研究による地上衛星間通信実験に成功した光衛星間通信実験衛星 OICETS (きらり) の開発と実証実験を紹介する。

この OICETS 衛星は、欧州宇宙機関 (ESA) の静止衛星 ARTEMIS を光衛星間通信実験の相手衛星として 1993 年度 JAXA により技術調査が開始され、1995 年度に本格的な開発が開始された。ARTEMIS 衛星の静止化の遅れや当初の J-I ロケットによる種子島での打ち上げからロシア・ウクライナのドニエプルロケットによるバイコヌール宇宙基地での打ち上げへの変更等、幾多の困難を乗り越えて、OICETS は 2005 年 8 月 24

日に打ち上げられた (軌道高度 610 km、軌道傾斜角 97.8° 太陽同期軌道)。2005 年 12 月 9 日には ARTEMIS 衛星と世界初の双方向光衛星間通信に成功し、約 1 年間順調に実験が継続された。その後、2006 年 3 月には NICT の光地上局と OICETS の間で光通信実験を行い、世界初の周回衛星と地上局間光通信実験に成功した。その後の後期利用段階の実験として NICT の他、海外宇宙機関も参加して地上衛星間の光通信実験が継続された。光衛星通信実証実験として幾多の成果を残して、2009 年 9 月 24 日に OICETS は停波された。

本特集号では、後期利用段階での、NICT の光地上局と OICETS との間で行われた実験を中心に取り上げているが、OICETS の開発状況及び ARTEMIS との光衛星間通信実験に関しては、**2**、**3** でその実施機関である JAXA の方々に執筆いただいた。すなわち、次の **2** では OICETS 開発の経緯、軌道上実証等の JAXA プロジェクトの全体の概要を、**3** では **3-1** に開発概要及び打ち上げ状況、**3-2** では OICETS と ARTEMIS 間の光衛星間通信実験に関するシステム概要と軌道上実験結果を記載した。続く **3-3** では OICETS の打ち上げ前の 2003 年 9 月に、地上に設置した光衛星通信機器 (LUCE) と軌道上の ARTEMIS との間で行われた光適合性試験を紹介した。

4 は NICT の光地上局関連の技術内容、実験結果をまとめている。**4-1** では地上衛星間実験で使用された口径 1.5 m 光学望遠鏡を有する光地上局 (設置場所: 東京都小金井市) の設備概要、通信実験における軌道精度等に関して述べた。**4-2** では光地上局のレーザ通信システムの概要と、NICT と JAXA との共同研究として 2006 年に行われたフェーズ 1、2、3 実験、2008-2009 年

に行われたフェーズ4実験の結果について報告している。**4-3**では地上衛星間光通信実験をもとに、精追尾機構を用いたファイバカップリング効率の計測とシミュレーション結果の比較を行っている。**4-4**には、誤り訂正符号にLDPC (Low-Density Parity Check) 符号を適用して行ったOICETSのリピータモードを用いた符号化データ伝送の実験結果と符号設計の考察が述べられている。**4-5**ではOICETS実験で測定した大気ゆらぎデータを利用して光伝搬路を模擬する衛星-地上間フェージングシミュレータの開発を記載している。**4-6**では宇宙-地上間大気伝搬路で測定されたレーザー光の偏光度とストークスパラメータの解析結果を報告する。これは将来の量子暗号への応用が期待できる。

5は2008年に再開されたOICETSと光地上局を用いた国際共同実験 (GOLCE と呼ぶ) に関してまとめている。このGOLCEにはドイツ航空宇宙センター (DLR)、欧州宇宙機関 (ESA)、米国航空宇宙局ジェット推進研究所 (NASA/JPL) が海外機関として参加した。**5-1**はGOLCEの概要とその研究成果を共有するための国際ワークショップの概要を記載している。**5-2**では、GOLCEに参加した各光地上局で行ったOICETS実験のデータに基づいて各地域環境下での光伝搬特性を比較分析している。**5-3**及び**5-4**はGOLCEに参加した海外研究機

関からの実験結果の報告である。**5-3**はDLRで行ったダウンリンク実験で得たシンチレーションに関する解析結果を報告している。**5-4**はJPLでの先行実験結果と計4回行った様々な大気条件下での実験結果を報告している。リンクモデルの実証等、将来の地上宇宙間光通信の確立に有効なデータが取得できたと報告している。

最後の**6 (6-1)**ではOICETS以外の光通信実験を概説した。1994年に打ち上げられたETS-VIによる双方向光通信実験、2001年ESAによるARTEMISと光地上局 (テネリフェ島)、ARTEMISとフランスの低軌道衛星SPOT4間の光通信実験、その他2007年に打ち上げられた米国のNFIRE衛星、DLRのTerraSAR-X衛星 (ともに低軌道周回衛星) を用いた実験等を紹介している。

以上のように本特集号では様々な困難を乗り越えて開発された光衛星間通信実験衛星OICETSの開発から実験の実施成果までを取り上げた。宇宙空間で高速大容量が実現できる光通信技術は今後の人類の宇宙開発、宇宙活動にとって大変重要な基盤となる技術であり、本プロジェクトは科学、技術面で重要な役割を果たしたと実感できる。これは多くの関係する方々の日々の努力によるものである。本研究成果とともに、本特集号も今後の宇宙開発に少しでも貢献できることを期待したい。



わか な ひろみつ
若菜弘充

ワイヤレスネットワーク研究所
主管研究員
理学博士
衛星通信、無線通信
hwakana@nict.go.jp