

2 光衛星間通信実験衛星 (OICETS) 計画の概要

2 Overview of the Optical Inter-orbit Communications Engineering Test Satellite (OICETS) Project

荒井功恵

ARAI Katsuyoshi

要旨

光衛星間通信実験衛星『OICETS “きらり”』は、欧州宇宙機関『ESA (European Space Agency)』との国際協力により ESA の先端型データ中継技術衛星『ARTEMIS (Advanced Relay and TEchnology Mission Satellite)』との間でレーザ光を用いた光衛星間通信実験を実施し、レーザ光の捕捉追尾技術の修得、光半導体デバイス及び光学系技術の宇宙実証、将来の光衛星間通信における国際相互運用に関する技術修得を目的とした衛星である。

OICETS は 1995 年から開発を開始し、ARTEMIS 衛星静止後、2005 年 8 月に打上げ、世界初の双方向光衛星間通信の実施及び世界初の低軌道衛星と情報通信研究機構 (NICT) 光地上局との光通信実験を達成した。本論文では、OICETS 開発の経緯、軌道上実証、打上げ等のプロジェクト概要について述べる。

The Optical Inter-orbit Communications Engineering Test Satellite (OICETS “KIRARI”) is an experimental technology satellite aiming the orbital demonstration of optical communication with the ESA (European Space Agency) ARTEMIS (Advanced Relay and TEchnology Mission Satellite) geosynchronous satellite. Its main orbit demonstrations are laser acquisition and tracking technology, on-orbit performance degradation of optical device and system, and future international inter-orbit operation of optical communications technology.

OICETS started the project in 1995, was launched at Baikonur in August 2005, after the ARTEMIS geosynchronous orbit acquisition. OICETS made success of two world first demonstrations in the laser optical communications. One was two-way communication with ESA ARTEMIS in 2005. Another was communication with the NICT ground station in 2006. This paper describes the overview of OICETS project such as development status, key technologies and launch and experimental results.

[キーワード]

光衛星間通信, 低高度衛星-光地上局間通信, レーザ光, 国際相互運用, 国際協力

Optical Inter-orbit Communication, Low earth orbit satellite - Optical ground station, Laser, International inter-orbit operation, International Cooperation

1 まえがき

地球観測衛星の観測データや探査衛星から遠い惑星の画像を地球に送ったり、軌道上の衛星同士で情報を交換したりと、電波を使った通信は様々な宇宙活動を支えている。今後宇宙からの地球環

境監視等、宇宙活動が活発になるに従い、地球観測衛星に搭載される観測センサの分解能は益々向上し、データ量は増大していく傾向にある [1]。宇宙通信に使用できる周波数には限りがあり、電波干渉も問題となってきた。膨大な観測データを効率よく地上に伝送するため、将来の技術と

して注目されているのが、『レーザ光を使った光通信』である。地上の通信ネットワークが光ファイバに置き換わっているのと同様に、宇宙でも光を使うことで大容量のデータ伝送が可能となる。

また、地球観測衛星、宇宙ステーション等の低高度地球周回衛星とデータ中継衛星（静止衛星）との間の『衛星間通信技術』は、地球観測衛星からの観測データの取得、宇宙ステーションとの継続的な通信回線の確保等、様々な宇宙活動を支える重要な技術である。レーザ光を使用した『光衛星間通信技術』は、データ伝送速度や通信容量を飛躍的に向上させると共に、通信機器の小型・軽

量化が可能となるため、将来のデータ中継衛星に必須となる技術である。

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、『光衛星間通信実験衛星（OICETS）』を衛星通信・放送分野ロードマップ上の要素技術実証衛星として位置づけ、将来技術として注目されるレーザ光を使った光通信技術を軌道上で実証することとし、開発に着手した。

図1にOICETSのARTEMIS衛星との光衛星間通信イメージ図、図2にNICTの光地上局との光通信実験イメージ図を示す。またOICETS軌道上外観図及び主要な性能を図3に示す。



図1 ARTEMIS衛星との光衛星間通信実験のイメージ図（手前がOICETS）

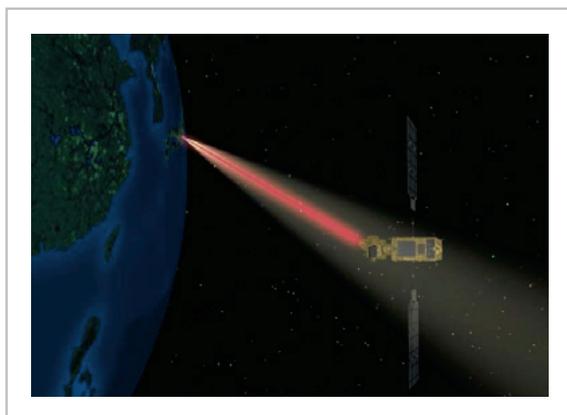


図2 情報通信研究機構光地上局と光通信実験のイメージ図

寸法	衛星本体 0.78 m × 1.1 m × 1.5 m (高さ) 光アンテナを含む全高 2.93 m、太陽電池パドルを含めた全長 9.36 m
質量	打上げ時 約 570 kg
軌道	円軌道 高度：610 ~ 550 km 軌道傾斜角：約 98 度
設計寿命	1 年

図3 OICETS 軌道上外観図及び主要性能

2 開発の経緯

1992年度(H4)に実施した日ESA行政官会合において、共同で光通信実験に向けた調整を開始した。光衛星間通信はデータ中継衛星で利用されるケースが想定され、そこでは相互運用性(通信方式を共通化することで宇宙機関間でサービスを利用できる形態)が求められる。これらの背景から、実用に近い形の軌道上技術実証が求められ、加えて限られたスケジュールやコストの有効利用の点から国際協力が必要とされていた。

1993年度(H5)からESAの静止衛星ARTEMISを光衛星間通信の実験相手とし、技術調整を開始した。1994年(H6)12月にESA長官と宇宙開発事業団(NASDA)理事長間で光衛星間通信実験に関する了解覚書(MOU)が締結され、国際協力による共同実験計画が開始された。

JAXAは1995年度(H7)からOICETS開発に着手し、ESAとの詳細な技術調整を開始した。この国際間技術調整は困難であったが、先を行く欧州の経験などは大変参考になった。ARTEMIS衛星は2001年(H13)7月に打上げられたが、ロケットの問題により静止衛星軌道投入の大幅遅延が明らかとなった。その為、ARTEMIS衛星の静止化が達成可能か見極めることとし、2001年8月の宇宙開発委員会において『当面(OICETS)の打上げを見合わせる』ことが決定された。

しかし2002年(H14)8月、ESA側の懸命な努力によりARTEMIS衛星が2003年(H15)初

頭には静止軌道へ投入される見通しが得られたことから、JAXAはARTEMIS衛星搭載の光通信機器の軌道上5年寿命(2006年7月)を考慮し、2005年度(H17)打上げ目標とした要望を宇宙開発委員会へ提案した。宇宙開発委員会では、『当初の意義、目的が失われていないことの確認』、『打上げロケットを含めた計画の妥当性』等について審議が行われた。その結果、当初の意義である『光衛星間通信の宇宙実証』は失われておらず、我が国の将来技術としての『光通信の早期宇宙実証の期待』も変わっていないこと、加えて衛星の高精度測距等の幅広い応用も期待できることが再認識された。一方打上げロケットについては、2005年打上げを目指して最適な打上げ手段を選定するため検討を継続することとなった。打上げロケットの選定を実施した結果、想定された国産ロケット『J-Iロケットの1段がH-IIAロケット6号機事故で対応不可、H-IIAロケットも他衛星打上げで不可、M-Vロケットも打上げ環境条件で不可、GXロケットも開発中で不可』による打上げが困難な状況から、次善の策として海外ロケットを検討することになった。このロケット検討では、打上げ実績・信頼性、スケジュールの整合性及び衛星輸送上の問題の有無等を考慮した。その結果、2004年(H16)12月、打上げ手段をロシア・ウクライナのドニエプルロケットとし、バイコヌール基地から2005年度(H17)に打上げられることを宇宙開発委員会へ提案し了承された。OICETSの開発開始から打上げまでの開発スケジュールを図4に示す。

年度	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
衛星開発		開発研究				開発				衛星開発終了△			打上げ△
											保管		
													打上げ準備
ESA関連		△ MOU					ARTEMIS 打上げ △				△ARTEMIS 静止化		

図4 OICETS 開発スケジュール (打上げまで)

3 軌道上実証技術

光通信システムは無線周波数通信システムと比較して以下の長所を有している。

- (1) 高アンテナ利得が得られることでデータ伝送速度の増加、送信電力の低減、受信機の要求条件の緩和
- (2) 小型・軽量・低消費電力を実現可能
- (3) 光アンテナ駆動時の姿勢擾乱が少なく、高姿勢安定度を実現
- (4) EMI (電磁干渉) を低減
- (5) 通信干渉、受信傍受に強く、秘匿性に有利

図5に実際の無線周波数利用衛星と光衛星間通信衛星の比較を示す。

光衛星間通信の利点を得るためには、解決すべき技術課題がある。静止衛星と低高度衛星間の空間距離は最大4万km離れている。この遠く離れた衛星同士が数マイクロ秒の精度でレーザー光を送受信する必要があるため、高精度に加工された光学機器やそれらを正確に制御する技術が必要となる。OICETSではこれらの要素技術の実証と宇宙環境下での性能劣化確認を行い、実用化に向けたデータ取得を行った。

主な軌道上実験項目を以下に示す。

- (1) 高精度捕捉追尾実験
 - ・光衛星間通信を双方向で実施し光衛星間通信の主要な要素技術を実証する
- (2) 光衛星間通信実験
 - ・光衛星間通信実験を数多く実施し実用化に向けた統計的なデータを取得する
- (3) 光学系素子評価実験

- ・主要な光学素子の宇宙環境下での軌道上経年劣化特性を得る
- (4) 衛星微小振動測定実験
 - ・衛星の微小振動を計測し、光衛星間通信への影響を評価する
- (5) 光地上局実験 (打上げ後の追加実験)
 - ・OICETSと地上との間で光通信実験を実施する

4 打上げ

2で示す通り打上げ1年前、当初のJ-Iロケットによる種子島打上げから、ドニエプルロケットによるバイコヌール基地打上げへ変更となった。技術的な問題、衛星輸送の問題、初めての射場作業など、対応すべき課題が山積みの状況であったが、衛星開発関係者のみならず、地上システム関係者も含め、一丸となり短期間で衛星ハードウェアの変更作業、ロケットとの確認作業、追跡及び実験システムの再構築に対応することとなった。打上げ約2ヶ月後にカザフスタン国バイコヌール基地に衛星を輸送し射場作業を実施することとなった。バイコヌール基地で、日本人が本格的な衛星を打上げるのは初めてであった。更に、ドニエプルロケットも初めての為、ロケット及び射場の事前の調査及び確認等を念入りに行った。また、バイコヌール基地は人員のみならず、チェックアウト機器も入退場が制限される為、想定される準備は可能な限り実施した。これらは大変厳しいものであったが、ここでも関係者の努力と熱意により最大の関門をクリアすることができた。

2005年8月24日OICETSは打上げられた。

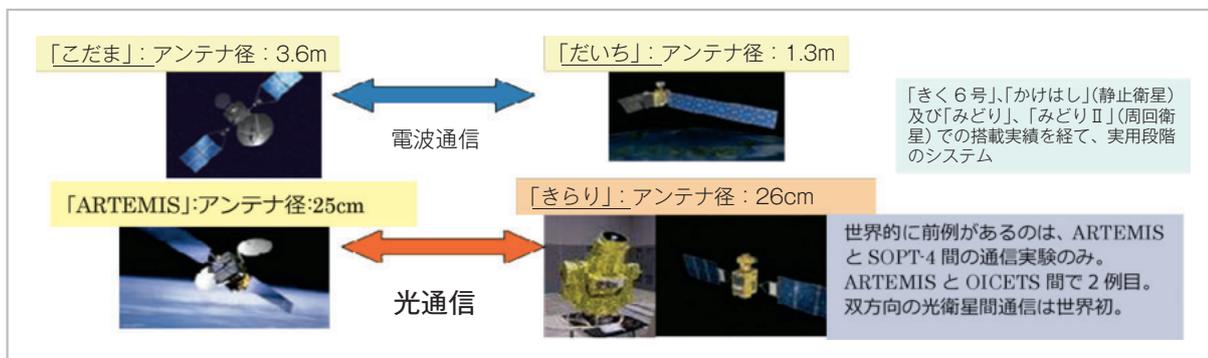


図5 電波通信と光通信の比較

投入された軌道は予定通りであり、ロケット分離後の衛星運用も計画通りに実施できた。無事打上げられたことで1年間の努力が報われた瞬間であった[2]。OICETS 打上げ後の記念写真を図6に示す。

5 軌道上実験

OICETSは高度610 km、軌道傾斜角97.8°の軌道に投入された。ロケット分離後、太陽電池パドル展開等の運用を予定通り行い、8月25日にクリティカル運用を終了した。軌道上ではバス機器及びミッション機器である光衛星間通信機器の動作確認(初期機能確認)を約3ヶ月に亘り実施した。光衛星間通信機器については、光通信機器の校正や自動捕捉追尾機能について恒星シリウスなどを利用して実施した。そして初期機能確認実施中の2005年12月9日、ARTEMIS衛星との双方向光衛星間通信実験に世界で初めて成功した。OICETS 開発着手から約10年目、開発着手時には不可能と言われたレーザー光による光衛星間通信の宇宙実証を達成できた。その後、定常段階に移行し、ミッション期間として予定していた約1年間に亘るARTEMIS衛星との双方向光衛星間通信実験を実施した。ARTEMIS衛星との光

衛星間通信が順調に実施できたことから、追加実験としてNICT 光地上局との光通信実験を2006年(H18)3月に実施した。衛星の仕様では大変難しいと想定された実験であったが、運用上の工夫や実際の能力などから世界初となる低高度周回衛星と地上局間の光通信実験にも成功することができた。光地上局との光通信実験ができることが発表された後、各宇宙機関から共同実験の提案を受けた。そして2006年6月には、ドイツ航空宇宙センター(DLR)の可搬型光地上局との光通信実験にも成功した。2006年10月からは後期利用段階へ移行した。この段階では、バス機器(ホイール等)及び光通信機器の寿命評価のための宇宙環境下での経年劣化データ取得を継続して実施した。そして2008年(H20)3月には宇宙開発委員会の事後評価を受け、OICETS プロジェクトは『期待通り』との判定を受けた。事後評価を受けた後、衛星運用を停止する計画であったが更にNICTや海外宇宙機関から光地上局との光通信実験の強い要請を受け、後期利用段階(その2)として、追加実験を継続実施した。

全ての地上局との追加実験終了後、2009年(H21)9月24日にOICETSを停波した。

OICETS軌道上の実験結果については、『3-2 光衛星間通信実験衛星(OICETS)とARTE-



図6 打上げ後の記念写真

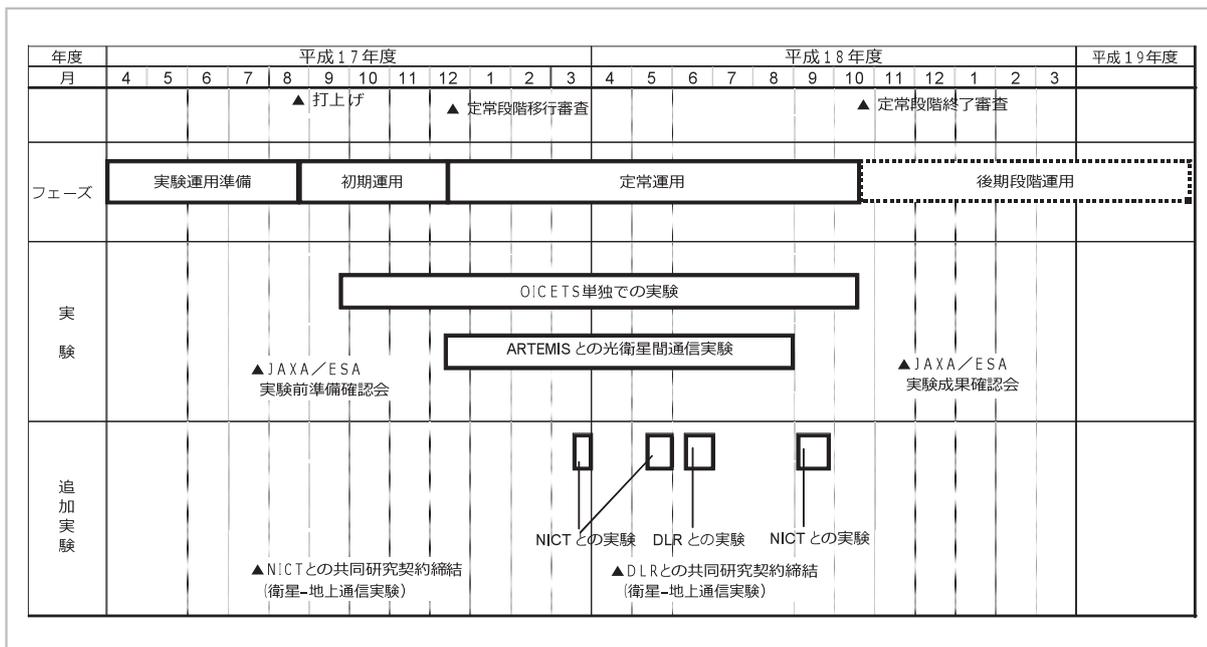


図 7 OICETS 軌道上実験の概要

MIS 間の光衛星間通信実験』に示す。

図 7 に打上げ後の主要な運用及び実験概要を示す [3]。

6 むすび

OICETS は通信相手方の ARTEMIS 衛星や打上げロケットの変更の事情により計画から打ち上げが大幅に遅くなったが、関係者の努力と熱意により、世界初の双方向光衛星間通信実験に成功、

更に低軌道衛星と光地上局との光通信実験に成功するなど、当初の軌道上実証計画以上の成果を挙げることができた。また、後期段階運用では NICT の努力により、海外宇宙機関の光地上局との光通信実験に貢献した。我が国で開発した人工衛星が最先端のレーザ光通信の宇宙実証に貢献でき、取得した光通信実験の成果が、今後の宇宙開発へ大きく貢献し、我が国が光宇宙通信で主導的な立場を継続できることを期待している。

参考文献

- 1 豊嶋守生, “衛星間レーザ通信の捕捉・追尾・指向技術—電波と光波通信システムの比較と利用動向—,” 電子情報通信学会誌, Vol. 88, No. 4, pp. 276–283, 2005 年 4 月.
- 2 Toshihiko Yamawaki, Nobuhiro Takahashi, and Katsuyoshi Arai et al., “Launch of Kirari (OICETS) from Baikonur,” ISTS2006-j-06, 2006. 6. 5–9.
- 3 荒井功恵, 「光衛星間通信実験衛星 (OICETS) 「きらり」の開発と軌道上実験」電子通信学会 通信ソサイエティマガジン, 2007 冬号 No. 3.

(平成 24 年 3 月 14 日 採録)



あらい かつよし
荒井功恵

宇宙航空研究開発機構施設設備部部长
人工衛星の開発（ゆり、つばさ、きらり）、きぼうの開発