

## 6 その他の光通信実験

### 6 Other Space Laser Experiments

#### 6-1 その他の光通信実験

##### 6-1 Other Demonstrations on Space Laser Communication

高山佳久 豊嶋守生

TAKAYAMA Yoshihisa and TOYOSHIMA Morio

#### 要旨

本稿では、宇宙光通信に関してこれまでの各機関の軌道上実証例を挙げる。

Successful in-orbit demonstrations on space laser communications are introduced.

#### [キーワード]

宇宙光通信, 衛星間, 衛星-地上, 軌道実証

Space laser communications, Inter-satellite, Satellite-ground, In-orbit demonstration

#### 1 まえがき

衛星を用いた光通信の実験は、1994年の実証から現在も続いており、OICETSもまた宇宙光通信の分野における成功例の1つである。本稿では、これまでの軌道上実験を列挙し、宇宙光通信の実施例を整理する。

#### 2 軌道上実験の実施例

軌道上で成功した宇宙光通信の実施例を図1に示す。同図中、GEOは静止軌道 (Geostationary Earth Orbit)、LEOは低軌道 (Low Earth Orbit)、GNDは地上 (Ground)、およびOGSは光地上局 (Optical Ground Station)を表す。GEOおよびLEOと記された枠内には、衛星名と共にその打ち上げ年を示している。またOGSと記された枠内には、光地上局を保有する機関の略称を記している。図中の実線は光通信実験の組み合わせであり、それぞれの組み合わせで初めて実験が行われた年を付記している。

衛星を用いた光通信の初めての成功は、日本が行った実験で示された。1994年に打ち上げられ

たNASDA (現JAXA)の衛星ETS-VI (和名: きく6号)には、CRL (現NICT)が開発した光通信機器が搭載されておりCRLは東京都小金井市に保有する光地上局とETS-VIの間での双方向光通信を行った[1]。また1995年にはNASA/JPLと協力し、同衛星とJPLの地上局との間で光通信を実施した[2]。この実験においては地上から衛星へは波長 $0.515\ \mu\text{m}$ 、衛星から地上へは波長 $0.83\ \mu\text{m}$ のレーザー光を照射し、強度変調直接検波 (IMDD)方式を採用した1 Mbpsでデータを伝送した。

2001年には米国が静止衛星GeoLiteを打ち上げ、地上との光通信実験に成功したという報告がある[3]。しかし米国軍に関する情報であり、詳細は不明である。同年には、ESAの静止衛星ARTEMISとカナリー諸島テネリフェ島に設置された光地上局との間で光通信実験が行われた[4]。また、ARTEMISはフランスのCNESの低軌道衛星SPOT4から光通信によるデータ受信に成功し、これがLEOからGEOへの初の片方向光通信となった[5]。2003年には、JAXAの低軌道衛星OICETS (和名: きらり)に搭載された光通信機器のエンジニアリングモデルをテネリ

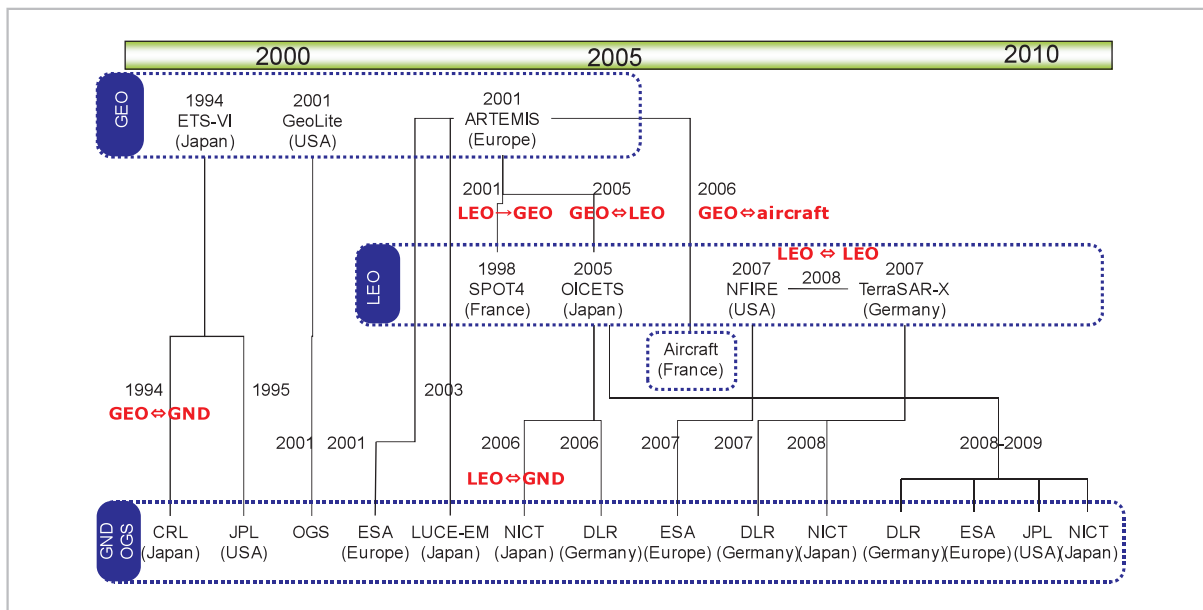


図1 軌道上で成功した宇宙光通信の実施例

フェ島に運び、ARTEMIS との間で光通信試験が行われた [6]。これらの実験では波長  $0.8 \mu\text{m}$  帯の IMDD 方式が採用され、ARTEMIS からのダウンリンクはデータ伝送速度が 2 Mbps、ARTEMIS へのアップリンクは 50 Mbps であった。

衛星間での双方向光通信は、欧州と日本の協力により 2005 年 12 月に実施された。OICETS と ARTEMIS との通信実験が、LEO と GEO を結ぶ双方向光通信の初めての成功例である [7][8]。また 2006 年 3 月には、OICETS と NICT の光地上局との間で双方向光通信を行い、低軌道衛星と光地上局との組み合わせとして世界で初めての成果となった [9]。1994 年に成功した ETS-VI と地上局による光通信実験では、通信装置間の距離は大きいが見る衛星方向は大きく変化しない。しかし、低軌道を周回する衛星 OICETS の場合には、衛星と地上局共に相手を見る方向が大きく変化するため、通信相手を捉え光通信回線を維持し続けることが格段に難しくなる。

NICT の光地上局による衛星-地上局間光通信実験に続き、ドイツの DLR は、OICETS から地上へ送信したデータを光可搬局で受信する片方向光通信に成功した [10]。その後、OICETS は ARTEMIS との衛星間通信を繰り返し、2006 年 9 月に実験期間を終了した。一方、ARTEMIS は 2006 年 12 月にフランスの航空機との双方向光通

信を実施し、静止衛星と航空機との光通信としては初めての成功を示した [11]。

2007 年には米国のミサイル防衛局 (the Missile Defense Agency: MDA) の低軌道衛星 NFIRE と DLR の低軌道衛星 TerraSAR-X が相次いで打ち上げられた。両衛星には波長  $1 \mu\text{m}$ 、5.6 Gbps のデータ伝送をコヒーレント二値位相変調 (BPSK) 方式で送受する通信機器が搭載され、2008 年 3 月には低軌道衛星間での初の光通信に成功した。その後は、光地上局を相手とした実験にも成功している [12]。この期間に DLR、ESA および NICT は、TerraSAR-X を相手とし

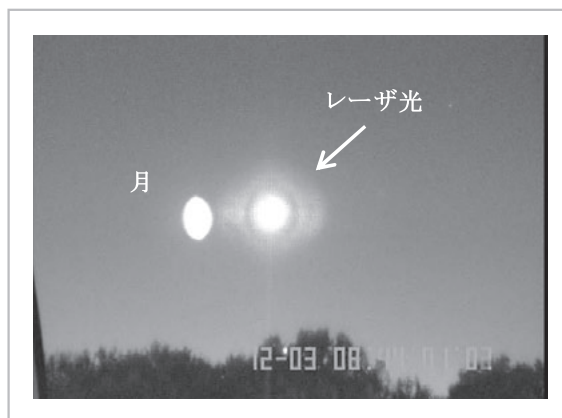


図2 TerraSAR-X からのレーザ光 (中央部) 2008 年 12 月 3 日撮影

てそれぞれの光地上局を用いた国際的な共同実験を実施した。この共同実験の中で NICT は、2008 年 12 月に TerraSAR-X とのレーザ光伝送実験に成功した。その様子を図 2 に示す。

衛星 OICETS による実験は、2006 年 9 月の終了の後、2008 年 10 月に再開され、国際的な共同実験としては 2009 年 4 月から 2009 年 9 月まで

続いた [13]。

### 3 むすび

本稿では、その他の光通信実験として、これまでに軌道上で成功した宇宙光通信の実験を列挙し整理した。

#### 参考文献

- 1 M. Toyoda, M. Toyoshima, T. Takahashi, M. Shikatani, Y. Arimoto, K. Araki, and T. Aruga, "Ground to ETS-VI narrow laser beam transmission," Proc. SPIE 2699, pp. 71–80, 1996.
- 2 K. E. Wilson, J. R. Lesh, K. Araki, and Y. Arimoto, "Overview of the Ground-to-Orbit Lasercom Demonstration," Proc. SPIE 2990, pp. 23–30, 1997.
- 3 Deep space optical communications, ed. Hamid Hemmati, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.
- 4 M. Reyesa, Z. Sodnik, P. Lopez, A. Alonso, T. Viera, and G. Oppenhauser, "Preliminary results of the in-orbit test of ARTEMIS with the Optical Ground Station," Proc. SPIE 4635, pp. 38–49, 2002.
- 5 T. Tolker Nielsen and G. Oppenhauser, "In-orbit test result of an operational optical intersatellite link between ARTEMIS and SPOT4, SILEX," Proc. SPIE 4635, pp. 1–15, 2002.
- 6 M. Toyoshima, S. Yamakawa, T. Yamawaki, K. Arai, M. Reyes García-Talavera, A. Alonso, Z. Sodnik, and B. Demelenne, "Long-term statistics of laser beam propagation in an optical ground-to-geostationary satellite communications link," IEEE Trans Antenna and Propag, 53, pp. 842–850, 2002.
- 7 T. Jono, Y. Takayama, N. Kura, K. Ohinata, Y. Koyama, K. Shiratama, Z. Sodnik, B. Demelenne, A. Bird, and K. Arai, "OICETS on-orbit laser communication experiments," Proc. SPIE 6105, pp. 610503-1–610503-11, 2006.
- 8 T. Jono, Y. Takayama, K. Shiratama, I. Mase, B. Demelenne, Z. Sodnik, A. Bird, M. Toyoshima, H. Kunimori, D. Giggenbach, N. Perlot, M. Knapek, and K. Arai, "Overview of the inter-orbit and the orbit-to-ground lasercom demonstration by OICETS," Proc. SPIE 6457, pp. 645702-1–645702-10, 2007.
- 9 M. Toyoshima, K. Takizawa, T. Kuri, W. Klaus, M. Toyoda, H. Kunimori, T. Jono, Y. Takayama, N. Kura, K. Ohinata, K. Arai, and K. Shiratama, "Ground-to-OICETS laser communication experiments," Proc. SPIE 6304, pp. 63040B01-1–63040B01-08, 2006.
- 10 N. Perlot, M. Knapek, D. Giggenbach, J. Horwath, M. Brechtelsbauer, Y. Takayama, and T. Jono, "Results of the Optical Downlink Experiment KIODO from OICETS Satellite to Optical Ground Station Oberpfaffenhofen (OGS-OP)," Proc. SPIE 6457, pp. 645704-1–645704-8, 2007.
- 11 V. Cazaubiel, G. Planche, V. Chorvalli, L. L. Hors, B. Roy, E. Giraud, L. Vaillon, F. Carré, and E. Decourbey, "LOLA: a 40.000 km optical link between an aircraft and a geostationary satellite," Proc. 6th International Conf. on Space Optics, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, SP-621, pp. 27–30, 2006.
- 12 B. Smutny, R. Lange, H. Kämpfner, D. Dallmann, M. Gregory, and G. Mühlhnikel, "High Data Rate Optical Inter-Satellite Links," Proc. ICSOS 2009, pp. ICSOS2009-2, 2009.
- 13 豊嶋守生, 高山佳久, "宇宙光通信の動向—国際ワークショップ GOLCE2010 を中心に—," 信学技報, OPE2010-26, pp. 21–26, 2010.

(平成 24 年 3 月 14 日 採録)



たかやま よしひさ  
**高山佳久**

ワイヤレスネットワーク研究所  
宇宙通信システム研究室主任研究員  
博士 (工学)  
非線形光学、位相共役光学、フォト  
ニック結晶、電磁波解析、宇宙光通信  
takayama@nict.go.jp



とよしま もりお  
**豊嶋守生**

ワイヤレスネットワーク研究所  
宇宙通信システム研究室室長  
博士 (工学)  
衛星通信、大気ゆらぎ、レーザー通信、  
量子暗号  
morio@nict.go.jp