

소형위성 RISESAT의 광센서기술과 1 kg급 광송신기에 의한 광통신 실험

글 Toshinori Kuwahara, Shinya Fujita, Yuji Satō, Hannah Tomio, Morokot Sakai /
도후쿠대학 대학원광학연구과 항공우주공학전공
Hiroo Kunimori, Hideki Takenaka /
(국연) 정보통신연구기구 와이어레스 네트워크 총합연구센터 우주통신연구실
번역 유정훈/ 그린광학 사업개발그룹장

1. 처음

-소형위성과 그 광센서기술-

최근, 중량 100 kg이하의 소형위성의 어플리케이션은 이학·공학기기의 우주실증 시대부터, 민간 기업을 중심으로 한 산업화로 전환하고 있다. 그중에서도 지구 원격 탐사 분야는 미국 Planet사를 필두로 국내외에서의 비즈니스 경쟁이 활발해지고 있다.

토후쿠대학 요시다·쿠와하라 연구실에서는 고해상도 멀티 스펙트럼 지구 관측기술의 확립을 목적으로 2000년대 부터 초소형 위성의 개발에 몰두해왔다¹⁾. 최신기인 60 kg급 위성 RISESAT(Rapid International Scientific Experiment Satellite)는 업실론 로켓 4호기에 의한 발사가 예정되어 있다(그림1).

RISESAT의 지구관측 미션의 특징은 액정파장가변 필터 LCTF와 고정도 지표점 추정자세제어를 사용한 Step-Stare Imaging방식에 의한 멀티스펙트럼 촬영이다. 홋카이도 대학을 중심으로 개발된 고해상도 다파장 망원경 HPT(그림2)를 사용하고, 지상분해능 4 m, 파장범위 420~1050 nm에서의 관측 실현을 목표로 하고 있다²⁾.

RISESAT에는 미래의 위성버스기술 획득을 위해 나중에 설명하는 광통신 터미널 VSOTA가 탑재되어 있다³⁾. VSOTA·HPT·자세제어의 삼자 협력에 의한 버스기술의 고도화를 도모하는 것이 본 프로젝트의 의의를 높이고 있다고 할 수 있다.

2. 광통신 터미널의 소형화

우주 광통신의 장점은 위성상의 한정된 리소스(질량, 사이즈, 전력) 관점에서 동일 자원 RF에 비해 고속 대용량 통신이 가능한 점이 들어져왔다.

최근에서는 이것에 기밀성을 갖춘 양자 암호통신으로의 기대와 일부 우주실증실험이 행해지고 있다^{4~6)}. 그리고 광이



그림1: RISESAT 외관

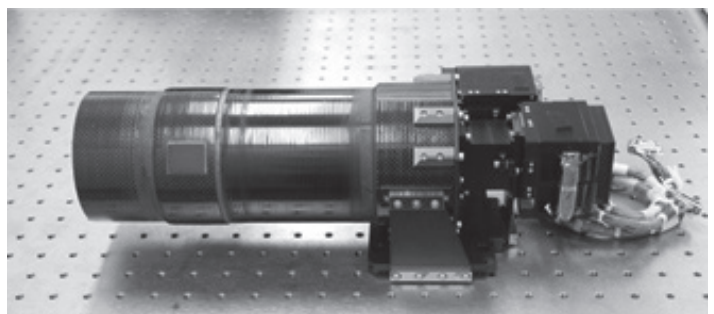


그림2: HPT 외관

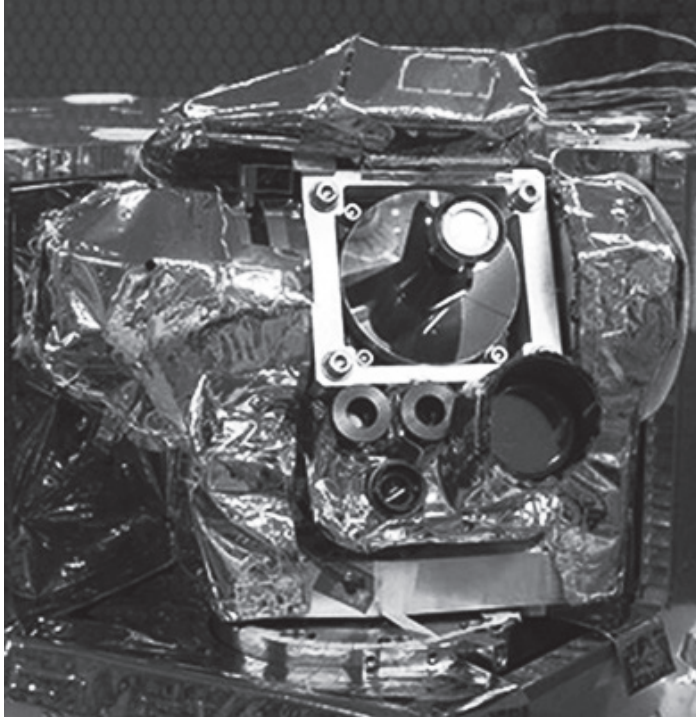
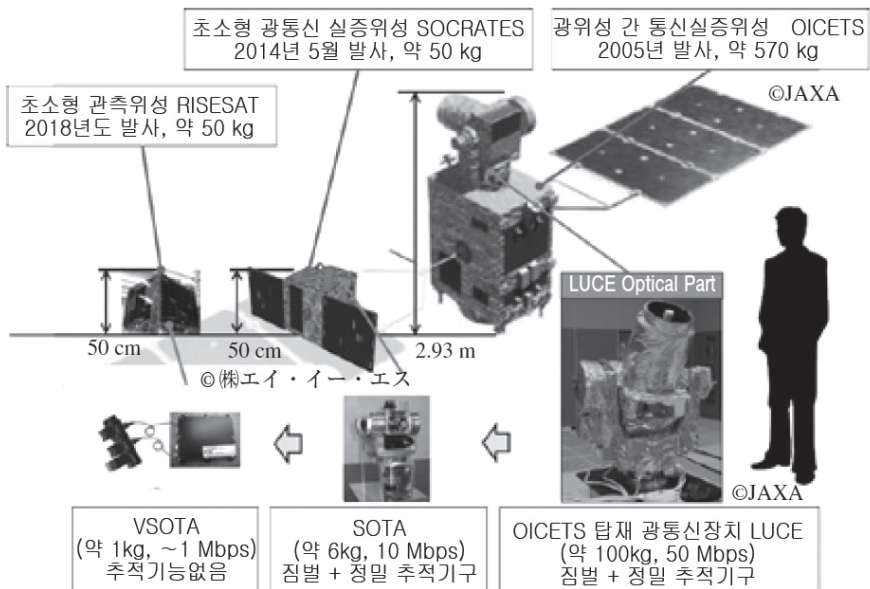


그림3: SOTA 외관

다른 것에 주는 간섭을 무시할 수 있을 정도로 적은 것, 무선면허 불필요의 관점에서 반드시 초고속 통신이 아니라도 발사기회가 증가한 초소형 위성에 적합한 통신방법으로서 정부와 대학뿐만 아니라 국내외의 민간 기업에 의해 위성군(constellation) 시스템이 제안되고 있다⁷⁾.

이런 가운데 RISESAT에 광통신 터미널을 탑재하는 의미는 “고속 데이터 다운 링크를 가능으로 하는 위성-지상 간 광통신기술”을 주어진 자원 하에서 소형위성으로서 구체화하는 것이라고 할 수 있다. 그 미래 형태는 복수의 저궤도 소형위성(LEO)과 정지궤도 대형 위성(GEO) 사이에서 위성 간 광통신을 행하고, GEO-지상 간은 밀리미터파, Ka 밴드 등의 RF, 또는 광에서 다운 링크를 행하는 시스템을 일본에서도 독자로 목표로 하는 것이



림4: VSOTA와 타 광통신기기의 비교

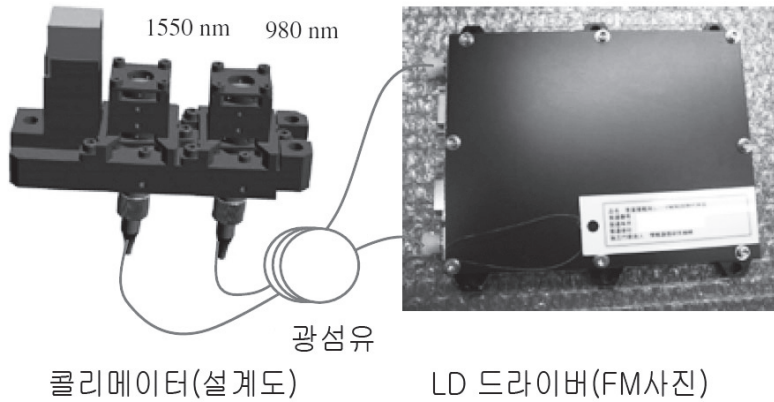


그림5: VSOTA 외관

표1: VSOTA와 SOTA의 사양비교

	VSOTA	SOTA
질량	< 1 kg	6.2 kg
소비전력	< 10 W	40 W
링크거리	2000 km max	
파장 (확산각)	980 nm, 1550 nm (전송) Div. (3.3 mrad/ 1.2 mrad)	980 nm, 1550 nm (전송) Div. (200 rad) 800 nm (전송) 1064 nm (수신)
광파워	980 nm 540 mW(max) 1550 nm 80 mW(max)	
편광	980 nm: 편광 무의존 1550 nm: 직선	
변조속도 포맷	100 kbps (1 kbps~1 Mbps 가변) NRZ, PPM	1 Mbps 또는 10 Mbps NRZ

다. 이번에 소개하는 광통신 터미널은 자원이 한정된 소형위성을 향해 기능을 극단적으로 좁힌 것으로 되어 있다.

우주 광통신은 전제로서 두 개의 터미널이 상호 발하는 레이저 빔을 상대를 향해 맞추는 기능(이것을 포착 추적기능이라고 한다)을 완료한 후에 통신을 개시하고, 통신 중은 그 포착 추적 기능을 유지하면서 행해진다.

이 때문에 광통신 터미널에는 통상, 레이저 빔을 원하는 방향으로 지향하는 2축의 짐벌 거울에 의한 거친 포착 추적기능 및 광학계부 내부에 모아진 정도가 높고 구동반응(대역폭)이 큰 가

동거울에 의한 정밀 추적기구가 구비되어 있다. 이들 거친 포착 추적·정밀 추적가동거울(액추에이터)을 4분할 포토센서 등의 2차원 광센서에 의해 수광된 상대 쪽에서의 레이저광의 이미지를 광센서 기준위치에 유지하도록 액추에이터로 피드백을 가하는 것으로 실현한다.

NICT가 개발하고, 2014년~16년에 걸쳐 소형위성 SOCRATES에 탑재해서 우주실증한 소형 광통신 터미널 SOTA(Small Optical Transponder)는 상기와 같은 기본구성을 취하고, 위성 지상 간 거리 600~800 km에서 통신 속도 10 Mbps이고, 위성탑재 카메라에 의해 취득한 데이터의 다운링크 실험 등의 많은 실험에 성공하고 있다. 그림3에 SOTA의 외관을 나타냈다.

3. 초소형 광통신기(VSO-TA)에 의한 광통신 실험

3.1 VSOTA란

RISESAT에 탑재된 광통신 터미널은 VSOTA(Very Small Optical Transmitter)이라고 하고, SOTA의 구성부품 중, LD드라이버회로와 내부광학계 콜리메이터의 설계를 활용하고, 그것들의 광학 및 기계적 인터페이스를 RISESAT용으로 변경하고 있다.

VSOTA는 지금까지 일본에서 개발해 온 광통신기기에서도 훨씬 소형, 경량이고 세계의 시스템에서 보아도 초소

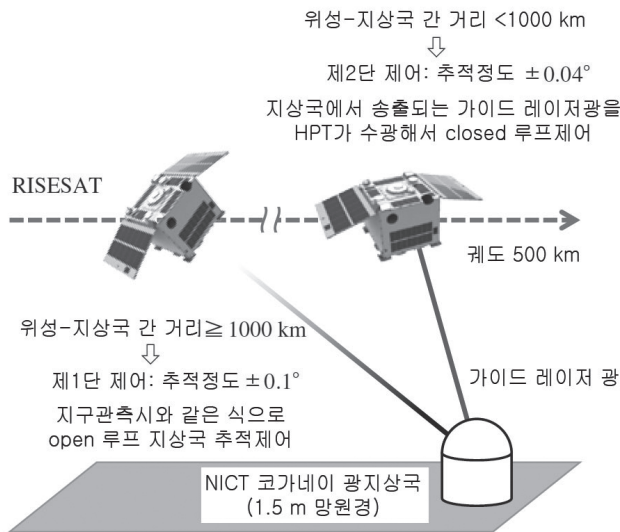


그림6: 실험개념도

형 통신기기가이다. 그림4는 2005년 발사의 광 위성 간 통신실증위성 OICETS⁸⁹⁾와 그 후의 미션의 사이즈 비교를 모식 적으로 나타낸 것이다. 또 그림5에 VSOTA의 외관을 표1에 SOTA와 대비한 VSOTA 사양을 각각 나타냈다.

VSOTA에 의한 광통신 실험은 2항에서 말한 통상의 광통신 터미널 기능을 배제하고, 위성의 자세제어에 의한 body pointing 만에 의해 회선을 유지하는 것을 특징으로 하고 있다.

LD회로와 콜리메이터와는 광섬유에서 접속된다. 송신빔의 확산각은 자세제어정도에 따라 요구 0.1도(3 σ), 동 목표 0.04도(3 σ)로하고 전송용량의 성공 수준을 고려해서 결정하고 있다.

실험개념도를 그림6에, 표2에 실험항목의 성공 수준을 나타냈다.

표2: 실험의 성공 레벨

	목적	내용
최소 성공	<ul style="list-style-type: none"> 과학 목적의 소형 위성에 초경량 소형 광통신의 능력을 나타낸다. (낮은 속도에서도 가능) 대기 요란 데이터의 데이터 취득 축적 	BER 측정 파형 측정 대기 요란용 Power 측정
전체 성공	<ul style="list-style-type: none"> 자세 정도 평가 및 개선 통신 속도 향상 빔 발산 평가 	지상에서의 SLR 비콘과 고해상도 다파장 망원경(HPT)에서 이미지 평가 자세 제어 피드백 소형 가반국의 동시 운용
초과 성공	<ul style="list-style-type: none"> Mission Data 전송 (신규 에러 수정 FEC 검증) 미래 미션을 위한 지상국 요소 기술 검증 	위성측 소프트웨어 기능 추가 지상국 AO 기기 체크용(해외 OGS 포함) 심우주용 변조 방식 PPM 의사 송신 지상측에 가시 근적외 멀티 모드 섬유수신 SSPD 정비

실험에서는 RISESAT상의 HPT와 VSOTA를 동시에 ON하고, 지상에서의 충분한 확산각이 넓은 업 링크 가이드 레이저 광을 사용한 위성자세의 오픈루프제어에 의해 VSOTA의 다운 링크 레이저 광에서 지상망원경을 조사한다. 이 상태에서 추적정도의 확인과 그 정도향상을 위한 교정을 체크아웃시간 중에 행하고, 그 후 저속도에서의 광통신 실험을 실시한다. HIP 센서 시야에서의 지상국위치의 이미지 식별과 그 오차를 자세제어계에 피드백해서 포착 추적정도를 향상할 수 있으면 더욱더 고속인 한편 안전한 통신회선을 유지할 수 있다.

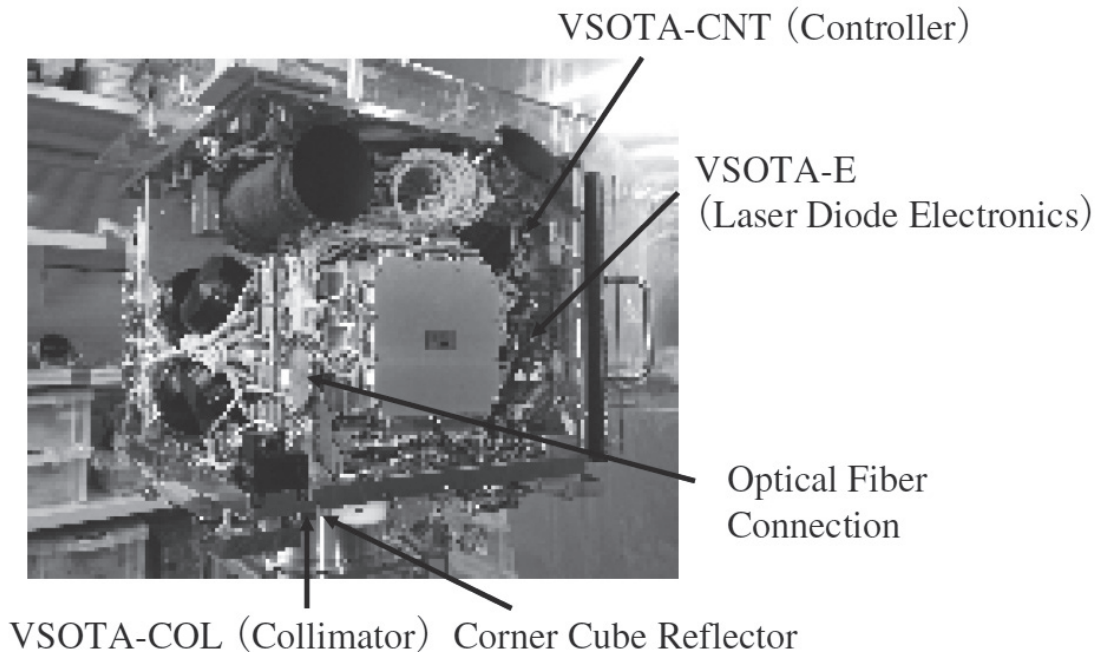
3.2 위성인터페이스

그림7에 VSOTA의 탑재위치를 나타냈다. 위성의 외형은 50

cm³, 중량은 약 60 kg이다. 일반적인 공동 주위성을 근거로, 고도 500~900 km, 강 교점 적경통과의 지방시가 9~15시의 태양 동기궤도를 상정해서 설계되어 있다. 태양전지 패널에 의한 발생전력능력은 최대 100 W이고, 소비전력 50 W, 이 중 VSOTA에 할당된 전력은 정격 3.5 W, 최대 10 W정도이다.

RISESAT에는 정격의 태양지향, 지심지향 등의 다양한 자세제어모드가 관측목적에 응해 정의되고 있고, 이중 레이저에 의한 다운 링크 실험은 임의의 지표점을 추종하는 자세제어모드에서 행해진다(그림8).

RISESAT에는 NICT가 주체로 되어 개발한 코너 큐브 리플렉터(CCR)가 탑재되고, 광통신 실험시의 SLR(레이저거리)에 의한 궤도개량과 자세검출 등 거친 포착 추적의 지원 기기로서 이용할 수 있도록 하고 있다.



림7: VSOTA 탑재위치

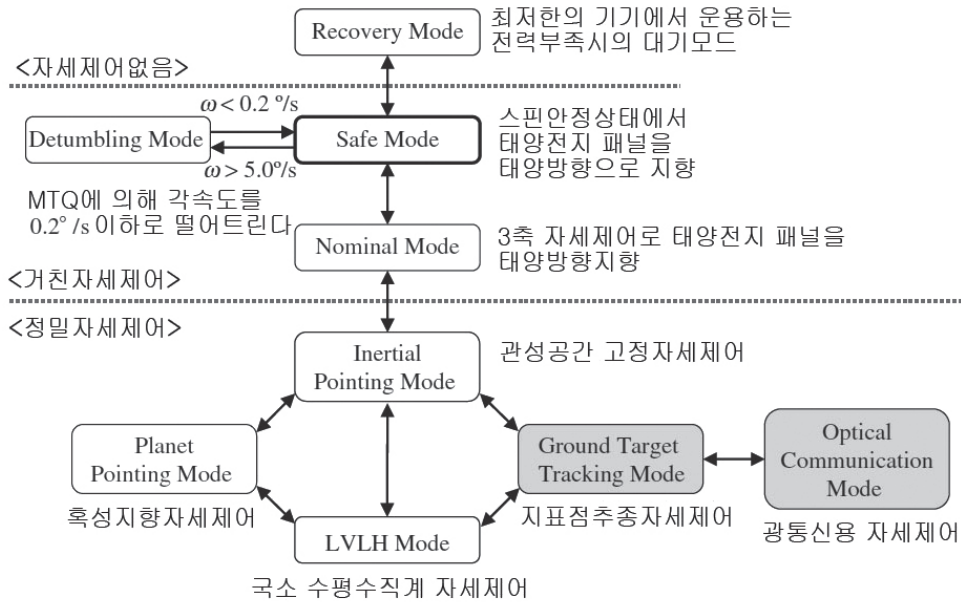


그림8: RISESAT의 자세제어모드

3.3 지상국

그림6에서 나타낸 실험의 개요에서 사용하는 광 지상국은 A-CETS실험과 SOTA실험에서 사용한 NICT 코카네이 본부의 1 m 글라스 망원경을 중심으로 하고, 가고시마 우주기술센터의 구경 30 cm 클래스 광학망원경, 새롭게 정비하는 구경 30 cm 클래스의 기반국이다.

3.1에서 말했듯이 RISESAT 광 데이터 전송실험에서는 우선 데이터 전송속도는 관계없이 초소형 인공위성에서 광통신에 의해 데이터를 다운 링크할 수 있는 것을 실증하는 것에 집중한다. 통신 속도를 실험적으로 100 kbps정도로 억제하고, 미래의 고속인 광통신 기술 확립에 발판이 되는 것을 목표로 했다.

위성버스 측에는 데이터의 에러율 BER 평가용의 의사 랜덤부호 및 에러 정정부호가 나타낸 미션 시험 데이터가 보존되어 있고, 이것들은 VSOTA 통해 변조해서 다운 링크할 수 있다. 변조

에는 디지털데이터를 직접 강도 변조하는 ON-OFF-Keying 외, 심우주통신의 표준화에서 채용되어 있는 펄스위치변조(PPM)도 시험적으로 탑재하고 있다. 지상국 수신기에는 avalanche형의 광검지기(APD) 외 초전도 나노 와이어 단일 포톤 광검출기(SSPD)⁹⁾ 등에서 수신을 시도했다.

데이터의 전송속도는 VSOTA로의 명령에서 몇 단계 전환할 수 있도록 한다. 실제 위성의 자세제어능력이 예상 값을 초과하는 경우에는 보다 고속인 데이터수신이 가능으로 된다.

대기요란 데이터를 취득하기 위한 검출기와 AD 샘플러도 병행해서 설치하고, SOTA에서 취득한 대기요란 데이터에 접속해서 계속된 축적을 행한다. 또 VSOTA는 우주에 설치해서 지상국으로 향한 강한 방사강도를 가지는 점광원으로 볼 수 있고, 이것을 사용해서 미래 미션을 목표로 정비하고 있는 지상국의 요소 기술 예를 들면 능동광학(AO)소자의 시험을 행하는 것도 국내 외의 지상국을 시야에 넣어 엑스트라 성공으로 계획하고 있다.

4. 결론

RISESAT는 상세설계를 마친 후, 약 3년 동안 발사기회가 얻어지지 않아 2017년에 프로젝터를 본격 재개했다. VSOTA도 포함해 부품 레벨의 기계 환경시험, 열진공시험, 각종 동작기능 시험, 시스템과의 전기 맞물림 시험을 실시해 2019년 1월 18일에 엡실론 로켓 4호기에 의해 JAXA 우치노우라 우주공간관측소에서 발사되었다.

발사기회를 기다리는 동안, 세계의 소형위성과 그것들에 탑재된 광통신미션이 속속 출시되어 광통신의 고도화가 진행되고 있다. 이 사이 RISESAT에 탑재되어 HPT와 VSOTA 협력에서 지향 정도를 향상시키기 위해 지상에서 가시광의 펄스레이저를 송신하고 HPT에 의해 지상국위치의 시야내의 각도와 그 변동을 실험 중에 파악하고, 위성자세를 평가하기 위한 시뮬레이터의 개발과 실장도 행해왔다.

발사는 몇 년 연장했지만, 소형위성에 의한 과학은 앞으로도 일본이 갖출 필수 기술이고, 대학과 국립연구기관이 가진 기술과 인재육성을 포함해 개발 의의는 크다고 생각된다. 이번에는 기능을 떨어트린 광통신 미래의 한 형태로서 1 kg급의 광통신은 일본으로서 실증해야 하는 하나의 단계로서 생각되고 있다. 지금까지의 개발에 관여해온 관계자분들에게 감사 표하고, 앞으로 초기 운용과 그 후의 실험운용에 임하고 싶다.

참고문헌

- 1) 高橋幸弘, 超小型衛星と衛星搭載型小型光学センサー, 月刊OPTRONICS Vol. 35, No. 415 7月 (2016) 31-34.
- 2) T. Kuwahara, K. Yoshida, Y. Sakamoto, Y. Tomioka, K. Fukuda, M. Fukuyama, and Y. Shibuya, International Scientific Micro-satellite RISESAT based on Space Plug and Play Avionics, Proceedings of 26th Annual AIAA USU Conference on Small Satellite, Logan, Utah, 15 USA, August, (2012).
- 3) H. Kunimori, H. Takenaka, T. Fuse, T. Gotoh, T. Kubooka, M. Toyoshima, K. Yoshida and T. Kuwahara, VSOTA: Optical Communication Terminal on a small satellite HODOYOSHI-2, IEICE Technical Report, Vol. 2012, No. 6, SANE2012-38, (2012) 100-104 (in Japanese).
- 4) D-M. Boroson and B. -S. Robinson, The Lunar Laser Communication Demonstration: NASA 's First Step Toward Very High Data Rate Support of Science and Exploration Missions. In: Elphic R., Russell C. (eds) The Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer Mission (LADEE), Springer, (2015) 115-128, doi:10.1007/978-3-319-18717-4_6.
- 5) H. Takenaka, et al., Satellite-to-ground quantum-limited communication using a 50-kg-class microsatellite. Nature Photonics 11: (2017) 502-508, doi:10.1038/nphoton.2017.107.
- 6) C. Schmidt and C.Fuchs, OSIRIS on BIROS: First results and Outlook, IEEE ICSOS, Naha (2017), DOI:10.1109/ICSOS.2017.8357205.
- 7) 豊嶋守生, 光衛星通信の研究開発動向, 月刊OPTRONICS Vol. 35, No. 415 7月号 (2016) 64-71.
- 8) M. Toyoshima, et al., Results from Phase-1, Phase-2 and Phase-3 Kirari Optical Communication Demonstration Experiments with the NICT optical ground station (KODEN). 24th International Communications Satellite Systems, Conference of AIAA, AIAA-2007-3228 (2007).
- 9) H. Kunimori, M. Toyoshima, and Y. Takayama, Overview of Optical Ground Station with 1.5 m Diameter. Special edition: OICETS Development and in orbit verifications, NICT Journal 58 (1/2), (2012) 43-52.
- 10) H. Kunimori, et al., Characterization of SSPD receiver at optical communication ground station using test equipment and reception of down link photon from a satellite, IEICE Tech. Rep., SAT2016-39, (2016) 37-42 (in Japanese).