

# NICT NEWS

国立研究開発法人  
情報通信研究機構

No.1

2021

通巻 485

FEATURE

## スペースICT特集

Interview

宇宙通信技術の革新で、陸・海・空・宇宙を  
広帯域でシームレスに結ぶ

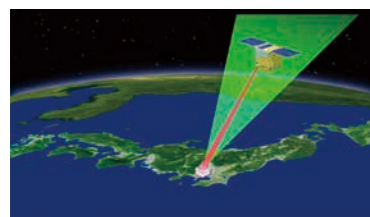
スペースICTの新時代に向けた動きは…



### 1 2021年 年頭のご挨拶 理事長 徳田 英幸

#### FEATURE

## スペースICT特集



#### Interview

### 2 宇宙通信技術の革新で、陸・海・空・宇宙を 広帯域でシームレスに結ぶ スペースICTの新時代に向けた動きは…

門脇 直人

### 4 宇宙通信研究室 第4期中長期計画の取組状況 豊嶋 守生

### 6 衛星通信と5G / Beyond 5Gの連携 三浦 周

### 8 ハイスループット衛星や超多数衛星をつなぐ グローバル通信網の最適化 技術試験衛星 9号機の計画とネットワーク制御技術の実現に向けて 阿部 侑真

### 10 新しい世界を開くキューブサットへの超大容量光通信技術 カラスコーカサド アルベルト

#### TOPICS

### 12 国際宇宙ステーション-NICT光地上局間の双方向光通信 実験成功による2020年グッドデザイン賞受賞 宗正 康

### 13 NICTのチャレンジャー File 14 大倉 拓也 小さな航空機でもインターネット利用を可能にする薄型電子走査アレイアンテナ

#### INFORMATION

### 14 第25回「震災対策技術展」横浜 出展のお知らせ 14 ワイヤレスネットワーク総合研究センター オープンラボ2021開催のお知らせ

#### 表紙写真

2020年2月に完成した可搬型光地上局の写真。光アンテナ部分にあたる35cm望遠鏡が搭載されている。可搬型光地上局は大気の状態に影響を受けやすい衛星-地上間空間光通信において、好条件の場所を選んで光通信を実現する目的で開発された。

本研究開発は、総務省「ICT重点技術の研究開発プロジェクト (JPJ00316)」のうち「衛星通信における量子暗号技術の研究開発 (JPJ007462)」の一環として実施された。

#### 左上図

世界で初めて50kg級超小型衛星に搭載された光通信機器 (小型光トランスポンダ: SOTA) により、鋭いレーザー光を東京都小金井市にあるNICT光地上局に正確に向けて、衛星で撮影したカメラの写真画像を光通信により伝送する実験に成功しました。



国立研究開発法人情報通信研究機構  
理事長 徳田 英幸

## 明けましておめでとうございます。

新型コロナウイルスの感染拡大によりお亡くなりになられた方々のご冥福を謹んでお祈りしますとともに、病院等におきまして感染者、重症者の治療に尽力されている医療従事者の方々に深く敬意を表します。また、令和2年7月豪雨などの災害により、お亡くなりになられた方々に哀悼の意を表し、被災された多くの皆様には、心からお見舞い申し上げますとともに被災地の一日も早い復興を心からお祈り申し上げます。

昨年は、年が明けて間もなく新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の世界的大流行により、未曾有の危機に見舞われました。その対策として各国にて厳しい外出制限等が行われ、ICTを使ったテレワーク、遠隔授業、遠隔医療などが新しい生活様式に必要な不可欠となる一方で、社会全体におけるデジタル化の遅れなど多くの課題が顕在化しました。今後、ニューノーマル社会に対応するため3密を回避した社会経済活動を目指し、非接触・遠隔・超臨場感を提供する高度なICTインフラの整備、サイバーセキュリティの確保などを通じて、社会のデジタルトランスフォーメーションを進めていく必要があります。

NICTは、情報通信分野を専門とする我が国で唯一の国立研究開発法人として、ICTの高度化による社会課題の解決や新たな価値の創造を使命とし、その実現のために、日々、世界最先端技術の研究開発へのチャレンジと、社会展開・実装のためのコラボレーション/オープンイノベーション推進の取組を一体的に進めております。アフターコロナ社会を見据え、昨年6月に特別オープンシンポジウムをオンライン開催し「アフターコロナ社会のかたち」について議論するとともに、高強度深紫外デバイス、防災AIチャットボット・マルチモーダル音声対話システム、AI同時通訳技術、Beyond5Gに向けた研究開発、サイバーセキュリティなど、次世代ICTの研究開発を進めています。

第4期中長期計画の下、研究開発においては、センシング基盤分野・統合ICT基盤分野・データ利活用基盤分野・サイバーセキュリティ分野・フロンティア研究分野の5分野を着実に推進してまいりました。特に、時空標準技術、新型マルチコア光ファイバによる大容量通信、Beyond 5G / 6G、脳情報通信、量子ICT、バイオICTなどにおいて世

界をリードする優れた技術が創出されました。コラボレーション/オープンイノベーション推進の取組としては、引き続きSecHack365やCYDERなど、実践的なサイバー演習によるセキュリティ人材育成を加速したほか、新たに、量子ネイティブの人材育成を目的としたプログラムNQCC (NICT Quantum Camp) を開始しました。また、総務省より「グローバルコミュニケーション計画2025」が発表され、2025年の大阪万博を目指してAI同時通訳の研究開発を開始しています。また、国内外において、研究機関・企業・大学・地方自治体等と共同研究・実証プロジェクトを進めるとともに、NICTが開発した様々な先端技術や総合テストベッドを企業等に活用いただく活動や、ITU・IEEE・IETF等での国際標準化活動も推進しています。

運営方針として掲げている、コラボレーション、オープンマインド・オープンイノベーション、チャレンジャー精神の3点を連動させた取組を推進し、従来のリニア型の研究開発に対して、早期に外部と連携しながら研究開発を進めるノンリニア型の研究開発を進めます。海外機関との連携に関しても、欧米、ASEAN諸国との連携を一層強化していきます。また、NICTで創出された研究成果データについては、継続的にオープン化を進めてまいります。

NICTでは今年4月から新たな中長期目標・計画が始まります。NICTとしては、引き続き国立研究開発法人としての社会的責務を効果的に果たしてまいります。今後とも変わらぬご支援、ご協力を頂きますようお願い申し上げます。

最後になりましたが、本年が皆様にとって素晴らしい年になりますよう祈念いたしまして、年頭のご挨拶とさせていただきます。



Interview

## 宇宙通信技術の革新で、 陸・海・空・宇宙を 広帯域でシームレスに結ぶ スペースICTの新時代に向けた動きは…

宇宙開発が国家事業から民間へと移りつつある。この流れは、ここ10年ほどで加速している。アメリカではスペースX社が、ファルコン9/クルードラゴンでISSに飛行士を送る。小型の衛星を数万基打ち上げ、衛星インターネットを構築しようという計画も持つ。こうした宇宙開発をめぐる激動の時代の中で、日本も宇宙の民間利用に向けて本格的に動き出した。この流れを技術面からバックアップし、更に加速しようというのが、NICTが大学・企業と共に設立したスペースICT推進フォーラムだ。2020年7月に発足したばかりの同フォーラム副会長で、宇宙通信技術の草創期から研究に携わってきたNICTの門脇直人理事に話を聞いた。

——宇宙の商用利用が活発になってきていますが、日本の民間宇宙開発の状況は？

**門脇** 民間レベルの宇宙開発をバックアップするために日本でも宇宙活動法が制定され、2018年11月から完全施行されました。これが宇宙の商業利用に関する関心を高めたとと言えます。宇宙においては様々な活動が想定されますが、それらを実現するための重要な技術の一つが衛星通信技術です。NICTは衛星通信技術を長年研究しており、膨大な技術の蓄積と知見を持っています。これらの研究成果と開発力を活かし、日本の宇宙開発

に貢献していけるのではないかと考えています。

ただし、そのためには国立の研究機関だけでは十分でなく、民間の優れた技術や人材が必要となります。そこで、宇宙通信分野を中心とし、今後の研究開発をどのように進めていくかを自由にオープンに議論する場を作りたいと考えて、スペースICT推進フォーラムを設立いたしました。

——正に宇宙新時代と言えますが、目標の実現に当たってはどのような技術が必要とされるのでしょうか。

### 門脇 直人 (かどわき なおと)

NICT 理事

1986年郵政省電波研究所（現NICT）入所。その後、豪州 AUSSAT 社社員研究員、ATR 適応コミュニケーション研究所、NICTワイヤレスネットワーク研究所長、執行役等を経て現職。博士（情報科学）。

### ■宇宙新時代を支える技術

**門脇** 地上系の無線ネットワークは5Gの時代に入りましたが、現時点で5Gは、あくまでも地上のみです。これを、衛星通信を使って三次元に展開していきたいと考えています。

上空に向かって、ドローン・飛行機・成層圏プラットホーム・低軌道衛星・静止衛星と上方に拡張していく立体的な5Gネットワークの構築です。将来は、月・火星との通信も視野に入れたいと考えています。

もう一つはIoT<sup>1</sup>（モノのインターネッ

ト）で、通信の対象が、人のいる場所から人のいない場所のデータセンシングに移っていきようとしています。例えば海の情報があります。海面温度、風向・風速、気圧などは気象に大きな影響を及ぼすので重要なデータなのですが、今は海の上には使いやすいネットワークがありません。しかし、より柔軟な衛星通信技術を開発することにより海をネットワーク化すれば、リアルタイムでデータを収集できるようになります。

このようなイメージが5Gの先にあるBeyond 5Gの姿と言えるでしょう。

——大容量の光通信技術が重要になってきますね。

**門脇** 光は電波と比べて大容量の通信ができます。また、光通信では衛星搭載用コンポーネントも小さくできるので、今後増えてくる小型衛星・超小型衛星に搭載しやすいのです。

また、量子暗号通信が実現できることも光通信の大きな特長です。光を使った量子暗号通信では、量子鍵をネットワークで配信しなくてはなりません。今のところ、地上の光ファイバーによる伝送では遠くまで届けることができません。しかし、人工衛星と地上の間を光通信で結べば、大陸を超えて量子鍵を届けることができます。海外では比較的大きな衛星を使って量子鍵を衛星通信で送ることに成功している国が既にありますが、私たちは、小型衛星で量子鍵を送る研究を行っています。

量子暗号については、NICTでは50 kg級の超小型衛星SOCRATES<sup>2</sup>（エイ・イー・エス開発、JAXAによって2014年打ち上げ）にSOTA<sup>3</sup>という衛星搭載用

小型光通信機器を搭載し、量子暗号通信が実現可能かどうかの基礎的な実験を既に行っています。

また、衛星がインターネットとつながることで地上のネットワーク同様ハッキングされるおそれもあります。NICTには、量子暗号やサイバーセキュリティを研究している部門もありますから、そこも連携してハッキング対策も進めていきたいと考えています。

### ■次期技術試験衛星で行うこと

——いよいよ次はETS-9<sup>4</sup>での本格的な実験ですね。

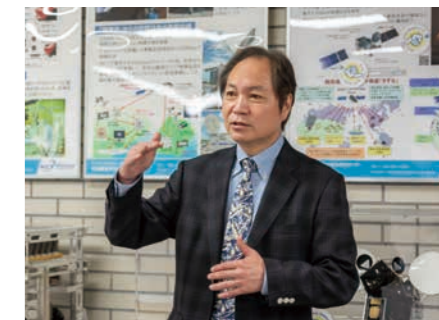
**門脇** 近年の新しい通信需要に対応するための実証プロジェクト「ETS-9衛星通信プロジェクト」が始まっています。

これは、静止衛星と地上の間で、10 Gbps級の光衛星通信の実証とKa帯（20/30 GHz）と言われる電波を使うより柔軟な衛星通信技術を開発、実証しようとするものです。

静止衛星と地上間で10 Gbpsの光通信を実証するのは世界初です。

電波送信用アンテナはアクティブ・フェーズドアレイ・アンテナを採用します。これは、デジタル化したビームフォーマーにより電子的にビームを振ることができ、将来的に100ビーム級のマルチビームによって大容量通信を実現するための重要な要素技術です。またデジタルチャネライザという技術で各ビームに割り当てる帯域幅を柔軟に変更出来ます。これらの技術によりビームの方向や帯域幅を動的に制御することができるので、電波の利用効率が高まります。

NICTは現在、大学やメーカーと協力



して搭載用無線通信装置を開発中で、ETS-9は順調に行けば、2022年に打ち上げられる予定です。

### ■次世代を担う若者にも参加してほしい

——フォーラムの活動の今後の展望は？

**門脇** この分野は技術の進歩が非常に速いです。大型衛星のように開発に5年も6年もかかっているのは、打ち上げるころには古い技術を搭載しているということになりかねません。開発期間が長いとコストもかかります。ですから、小型衛星を使うことによって衛星開発のサイクルを短くし、低コスト化していくことも考えないといけません。また、コストを下げるために民生用部品を使うことも考えています。このような新しい宇宙開発の概念を提示していくのもスペースICT推進フォーラムの目標の一つであると考えています。

そのために、大学・民間企業を含めていろんなアイデアとご意見を頂き、議論をしながら日本の宇宙通信技術の研究開発の方向性を打ち出していきたいと思っています。

またフォーラムには、学生の方々にも参加していただき、一緒に宇宙について語る場にしていきたいです。衛星通信に関心を持った若い世代の研究者がもっと増えてくれればいいなと思っています。

\*1 IoT: Internet of Things  
\*2 SOCRATES: Space Optical Communications Research Advanced Technology Satellite  
\*3 SOTA: Small Optical Transponder  
\*4 ETS-9: Engineering Test Satellite-9

## 宇宙通信研究室 第4期中長期計画の取組状況



**豊嶋 守生**  
(とよしまもりお)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
宇宙通信研究室  
室長

1994年郵政省通信総合研究所（現NICT）入所。ETS-IVによる光衛星通信実験に従事し、その後宇宙開発事業団（現JAXA）出向、ウィーン工科大学在外研究を経て、OICETS、SOTA、ETS-9等の衛星搭載通信機器の研究開発や宇宙実証実験に従事。博士（工学）。

**次**々に打ち上がる小型衛星が、これまでの宇宙開発を変えようとしています。高度化する地球観測衛星、多数の小型衛星による通信サービス、多種多様の超小型衛星など、宇宙開発がより我々の生活の身近な存在になりつつあります。当研究室では、地上から宇宙に至るまでを統合的にとらえ、いつでもどこでも誰とでも通信が可能で、高速化・大容量化・広域利用を実現する、光と電波を利用した衛星通信技術の研究開発を進めています。

### ■グローバル光衛星通信ネットワーク基盤技術

衛星通信の大容量化への期待の高まりや周波数資源逼迫の解決にこたえ、世界最速レベルの10 Gbps級の地上-衛星間光データ伝送を実現するため、衛星搭載用の超高速先進光通信機器（HICALI）の開発を推進しました（図1）。また、NICT光地上局に精追尾機構や大気ゆらぎの影響を軽減するための補償光学システムを開発し整備を進めており、光ファイダリンクの基礎技術を確立する予定です。

光衛星通信の通信品質向上を目指し、50 kg級小型衛星に搭載した小型光トランスポンダ（SOTA）を用いた衛星-地上間光通信実験を成功裏に実施し、さらにSOTAと光地上局間で、光子レベルで送受信を行う量子通信の基礎実験に世界で初めて成功し、2017年7月にNature Photonics誌に論文が掲載されました（図2）。また、国内外の企業や研究機関とグローバルに連携し、衛星-地上間の

光通信実験を推進してきました。特に、国際宇宙ステーション（ISS）に搭載したSONY CSLが開発した光衛星通信端末（SOLISS）と、NICT光地上局間で2020年4月に双方向光通信実験に成功しました（グッドデザイン賞受賞。本号p.12参照）。将来的には、小型地球観測衛星からのデータ伝送や、衛星コンステレーションにおける衛星-衛星間や衛星-地上間の光通信に活用できます。さらに、超小型衛星キューブサットや無人航空機に搭載可能な超小型光通信機器の研究開発に着手しており、キューブサットで10 Gbps級のデータ伝送を目指しています（本号pp.10-11参照）。

グローバルな情報セキュリティ確保は将来にわたる重要な社会課題ですが、その課題を解決する衛星量子暗号技術に関する研究開発を実施しています。総務省直轄委託研究において、8トントラックを改造した可搬型光地上局を完成させ、追尾精度等の評価実験を実施しており、さらに量子暗号用の光通信ターミナルについて、共同研究機関と連携し開発を実施しています（未来ICT研究所量子ICT先端開発センターとの連携）。また、東北大学が開発した超小型理学観測衛星ライズサット（RISAT）が2019年1月に打ち上げられ、NICTが開発した700gの超小型光送信器（VSOTA）が搭載され、各種実験を実施しています。その一環として、正確な軌道や姿勢情報が得られていない人工衛星を、ターゲットと見立てたレーザ測距実験に成功しています。この技術は、宇宙状況把握（SSA）に活用することが可能です。

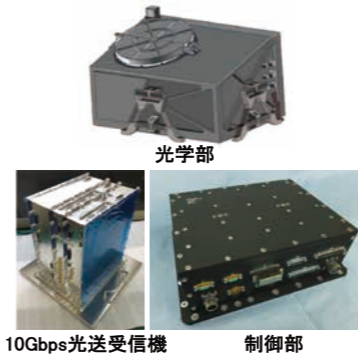


図1 世界最速レベルの10 Gbps級衛星搭載用の超高速先進光通信機器（HICALI）

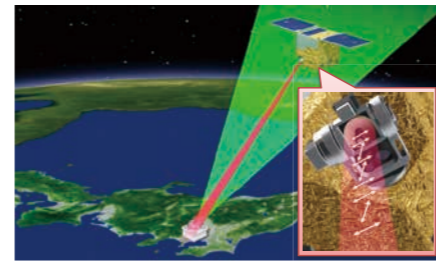


図2 SOTAを用いた世界初の衛星-地上間における光通信と量子暗号基礎実験の成功

### ■海洋・宇宙ブロードバンド衛星通信ネットワーク基盤技術の研究開発

次世代ブロードバンド通信衛星のシステム概念設計を実施し、ユーザー当たり100 Mbpsの新たなブロードバンド、フレキシブルかつKa帯/光のハイブリッド衛星通信システムとして、技術試験衛星9号機（ETS-9）の計画策定へ貢献しました（図3）。ハイスループット衛星通信システムの研究開発を電波利用料受託研究の代表研究機関として推進し、ETS-9の通信ミッションである衛星搭載用固定マルチビーム通信機器の開発を完了するとともに、ユーザー利用実験に必要な衛星搭載用ビーコン送信機器（共通部）の研究開発を実施しました。また、ネットワーク統合制御地球局とゲートウェイ地球局（主局、副局、車載局）の基本設計を実施するとともに、周波数・エリア・RF-光ファイダリンク切替制御機能を総合的に模擬するシミュレータを開発し、高効率な運用制御技術について基本性能評価を実施しました（本号pp.8-9参照）。

将来の搭載フレキシブルペイロードの

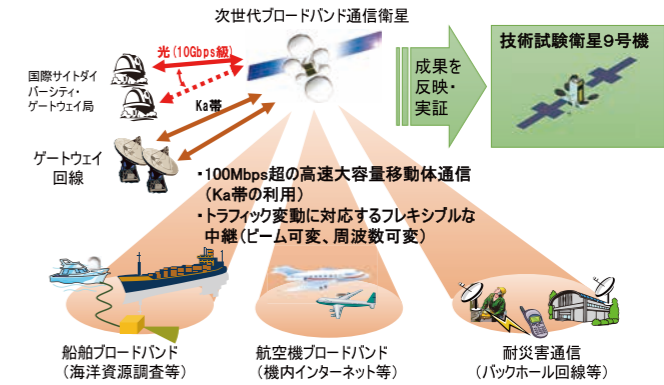


図3 次世代ブロードバンド通信衛星のシステムイメージ



図4 熊本地震の際に設置したWINDS用地球局

基盤技術として、搭載デジタルビームフォーマ（DBF）アレー給電部の系統誤差補正方式を開発し有効性を確認しました。衛星搭載用フルデジタルペイロード技術の検討も実施しており、小型衛星のコンステレーションへ適用可能なフェーズドアレー技術の研究開発を実施しています。また、衛星通信の新たなユースケースとして期待されるIoT/センサネットワークの低速モデムの開発を推進しています。

非常時の地上系通信ネットワークの輻輳・途絶地域に対して柔軟・機動的にブロードバンド通信を提供するため、熊本地震（2016年4月）へ対応し、高森町にNerveNet等と連携した高速インターネット衛星（WINDS）回線を開設し災害時の通信確保に貢献し、各地の防災訓練にも参画し意見交換とシステム向上を行いました（図4、耐災害ICT研究センターとの連携）。また、WINDS衛星を用いた移動体のKa帯伝搬特性測定について、車載地球局移動中に受ける樹木等遮へい物の影響を測定し、標準化文書へ寄与しました。

衛星通信の利用推進の取組として、衛

星通信と5Gの連携の推進を目的に欧州宇宙機関（ESA）との日欧連携の衛星5Gトライアルの計画を立案し、NICTの委託研究課題として推進しています。さらに衛星通信-5G連携に関する国内19機関による検討会を立ち上げ、ユースケース、技術課題等の具体的検討を実施し報告書を公開しました。7月1日に設立された「スペースICT推進フォーラム」にて、衛星の5G / Beyond 5G技術分科会として検討が引き続き行われる予定です（本号pp.6-7参照）。

### ■今後の展望

NICTでは、公的機関として宇宙通信技術を中心とした世界初となる最新の研究開発を推進し、ITU-R、AWG、CCSDS等の標準化活動に貢献していきたいと考えています。また、宇宙に関心を持つ異業種企業を含めた民間コミュニティの形成と異業種連携を促進する「スペースICT推進フォーラム」の活動をサポートし、将来の日本の通信放送衛星等の研究開発や実証計画の方向性を示し、日本の競争力強化に資するよう貢献していきます。

## 衛星通信と5G / Beyond 5Gの連携



**三浦 周**

(みうら あまね)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
宇宙通信研究室  
主任研究員

1998年郵政省通信総合研究所（現NICT）入所。衛星通信とアンテナの研究に従事。ATR出向を経て、現在、技術試験衛星9号機の通信ミッションの研究開発及びBeyond 5Gの宇宙通信の研究開発に従事。博士（情報科学）。

**5** GやBeyond 5Gにおける衛星通信の役割が注目されています。宇宙通信研究室では、衛星通信をはじめとする非地上系ネットワーク（NTN：Non-Terrestrial Networks）と5G / Beyond 5Gの連携の研究開発を進めています。本稿では衛星5G / Beyond 5G連携への期待と、Beyond 5G時代のネットワークのイメージ、衛星5G / Beyond 5G連携で解決が期待される社会課題、今後の展望として当研究室の活動について紹介します。

### ■背景

従来から衛星通信は地球規模で広域にサービスができる特徴や地上通信インフラに比べて自然災害の影響を受けにくい特徴を持ち、放送サービスや通信サービス、非常災害時のテンポラリな通信回線などに利用されてきました。一方で、衛星までの伝送距離が大きく、地上通信に比べて通信速度や伝送遅延の制約があるため、地上の通信サービスとは互いに独立してネットワークが構築されてきました。これに対して最近、衛星通信技術の進化や、5Gのネットワーク技術、標準化の進展を背景として、衛星通信をはじめとするNTNと5G / Beyond 5Gを連携することにより、従来にはないサービスの登場や従来のサービスの大幅な改善が期待されています。

### ■衛星5G / Beyond 5G連携への期待

衛星通信と5G / Beyond 5Gの連携が期待される背景として3つのモチベーションが考えられます（図1）。1点目として、近年、衛星通信技術が進化しています。

静止衛星を超マルチビーム化したハイスループット衛星の登場により高速大容量化が低コストで実現し、また多数の低軌道衛星群によるメガコンステレーション計画の登場で伝送遅延も大幅に低減します。端末も小型低消費電力化して大幅に地上系システムに近づきました。最近では成層圏プラットフォーム（HAPS：High Altitude Platform Station）等の無人航空機を通信プラットフォームに利用する動きもあり、空から宇宙までの空間の通信への利用が進んでいます。2点目として、5G技術を特徴づけるSDN（Software Defined Network） / NFV（Network Functions Virtualization）、ネットワークスライシング、オーケストレーションといったネットワーク技術を衛星系に展開することで5Gとの連携が効率よく実現できる可能性があり、欧州で官民共同プロジェクトが活発化しています。3点目として、通信サービス実現の過程で重要な標準化において、従来衛星通信は地上系の移動通信とは独立して標準化が行われていましたが5Gでは初めて衛星をはじめとするNTNの標準化が地上系の移動通信と同期して進められています。これによりNTNの標準化が進み、プラグ&プレイ化や通信チップの開発、サービス実現に向けた法整備等が進展することが期待されます。

### ■Beyond 5G時代のネットワーク

Beyond 5Gにおけるネットワークは、宇宙から地上までが多層的に3次的に接続される通信ネットワークが前提となります（図2）。地上系、船舶、ドローン、HAPS、静止 / 非静止衛星が連携して、地上、海、空、宇宙空間をシームレスに

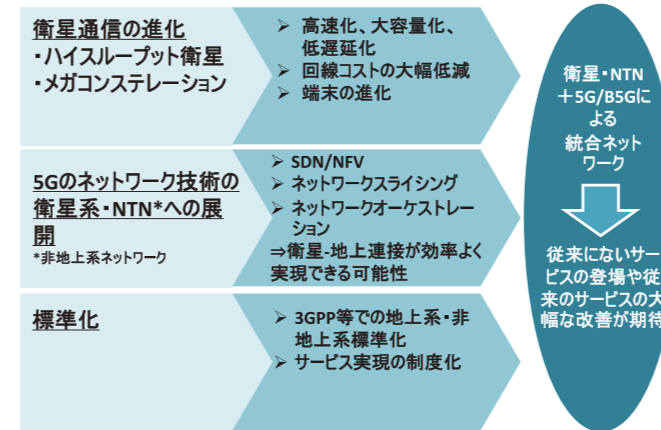


図1 衛星5G / Beyond 5G連携への期待

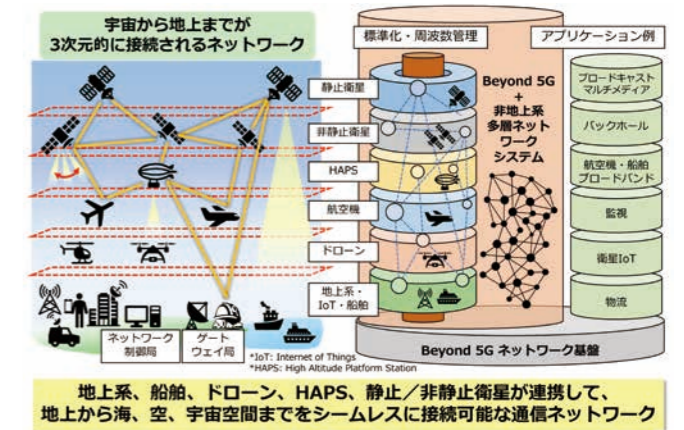


図2 Beyond 5G時代のネットワークのイメージ

つなぐことで、環境が変化し続ける社会において人と人の多様なコミュニケーションを実現し、社会課題の解決を加速できると考えます。3次元の統合ネットワークを実現するためには、静止・非静止の衛星通信プラットフォームで多様な通信を収容する技術や、HAPS・無人航空機によるネットワークの構築技術、あらゆるユースとつながるための端末技術、それら全ての要素をつなぐネットワーク統合制御技術が重要であり、研究開発や実証が必要です。

### ■衛星5G / Beyond 5G連携で解決が期待される社会課題

衛星5G / Beyond 5G連携をキーとして、NTNによって3次元の統合ネットワークを実現することで、様々な社会課題の解決が期待されます（図3）。今後、利用が活発になる地上や海、空、宇宙における通信回線の不足は、船舶、空飛ぶクルマ、ドローン、（無人）航空機、スペー

スプレーン等全てのモビリティに適切な通信を提供し、MaaS（Mobility as a Service）やシームレス物流といったIoT利用の実現、海洋域・非居住地域での産業のICT利活用拡大につながります。今後の我が国の課題である高齢化・人口減少に対しては、地上通信の敷設の難しい過疎地域においてカバレッジの広いNTNによって通信インフラの強化・多様化を促進してスマートシティ化することや、無人化（自動化・遠隔操縦）の推進に貢献します。近年深刻な課題となっている自然災害の激甚化に対しては、5G技術によってネットワークの迅速な切替えの実現が期待でき、従来の衛星通信以上に、災害救助におけるシームレスな通信環境の維持や、携帯電話網等の地上通信インフラの強靱化へ役立つことが期待されます。さらに、昨今の新型コロナウイルス感染拡大を受けたニューノーマルに対しても、NTNの広域性を生かした無人化の推進や、遠隔医療による適

切な医療サービスの提供、リモートワーク環境の提供による地方の活性化等が期待されます。

### ■今後の展望

宇宙通信研究室では、平成31年度に「衛星通信と5G / Beyond 5Gの連携に関する検討会」を開催し、国内の関係機関の参加により、衛星通信と5G / Beyond 5Gの連携に関する具体的な検討を実施し報告書を公開しました（<https://www2.nict.go.jp/wireless/sat5g-scl.html>）。この活動を発展させて今後、国立研究機関として「スペースICT推進フォーラム」（<https://spif.nict.go.jp/>）の活動の中で「5G / Beyond 5G連携技術分科会」をサポートし、衛星通信をはじめとするNTNと5G / Beyond 5Gの連携をキーとして、3次元統合ネットワークの実現と、これによる社会課題の解決や新たなサービスの創出に向けて、国内の本分野の活動を推進します。また、研究開発の取組として、ネットワーク統合制御技術をはじめとする3次元統合ネットワーク実現のためのコア技術の研究開発や、欧州と連携した日欧間のBeyond 5G衛星地上統合技術の研究開発を進めます。当研究室では、地上、海、空、宇宙空間を3次的にシームレスにつなぐことで、あらゆるエリアへの通信を可能とし、今後も変化し続ける社会に対して新しい生活や働き方を提供し、人が主役となる通信の実現に向けて活動を進めていきます。

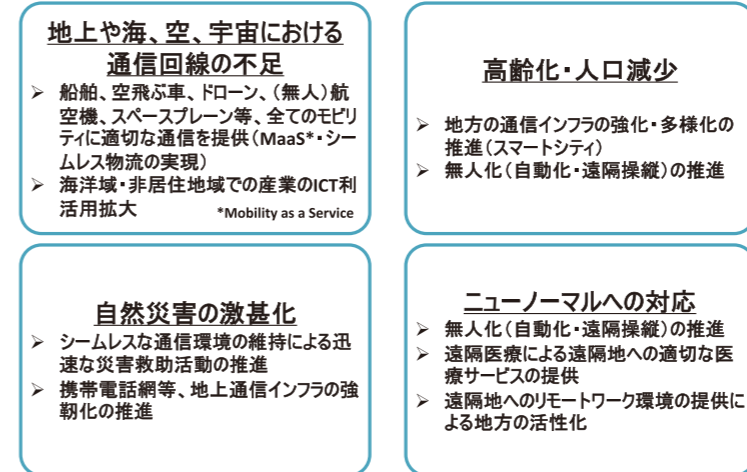


図3 衛星5G / Beyond 5G連携で解決が期待される社会課題

# ハイスループット衛星や超多数衛星をつなぐ グローバル通信網の最適化

技術試験衛星9号機の計画とネットワーク制御技術の実現に向けて



阿部 侑真  
(あべ ゆうま)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
宇宙通信研究室  
研究員

大学院修士課程修了後、2017年NICT入所。2020年博士課程修了。技術試験衛星9号機プロジェクトをはじめ、大規模衛星通信システムのモデリングやリソースとネットワークの最適化に関する研究に従事。博士（工学）。

**衛**星数が急激に増加しており、規模が拡大している衛星通信システム。さらに、通信衛星も高機能化しつつあります。NICTでは、効率的な運用が可能な衛星通信システムの実現を目指し、リソース割当てやネットワーク構築のための制御モデルと最適化アルゴリズムに関する研究を進め、2022年度打上げ予定の技術試験衛星9号機（ETS-9）を用いて一部の技術の実証を計画しています。

## ■衛星通信の背景

宇宙空間の通信衛星と地上間で行われる衛星通信は、主に地上の通信ネットワークに接続できない場所で使われています。衛星通信の身近な利用例は、衛星を介して航空機と地上局が通信する機内インターネットです。また、衛星通信は、災害時に多くの地上ネットワークが利用不可能な場合にも通信回線を提供することが可能です。さらに近年では、IoTの通信需要も急増しており、衛星通信システムの大容量化が求められています。

## ■ETS-9の全体計画

限られた電波資源を有効に利用するために、NICTでは、衛星通信の大容量化技術やフレキシビリティ技術に関する研究開発を推進しており、2022年度に打上げ予定のETS-9での実証を目指しています[1]。

図1にETS-9の通信ミッションの概要を示します。ETS-9には固定ビーム、可変ビーム、光ファイダリンクの通信ミッションが搭載されていて、JAXAが衛星バスを開発し、NICTが通信ミッション

を開発しています。ETS-9で実証予定の技術は、大きく分けて以下の2つです。

## 周波数・エリアフレキシビリティ技術

従来の通信衛星では、各地域に割り当てられている通信リソースは固定のため、災害時など、時間的に通信需要が急増する場合、多くのユーザーが通信できなくなる可能性があります。

この問題を解決するのが衛星通信のフレキシビリティ技術です。周波数フレキシビリティ技術は周波数帯域を、エリアフレキシビリティ技術は通信が可能な領域を柔軟に変更できる機能です。これらの技術を用い、ユーザーの通信要求に応じて衛星搭載機器を制御することで、必要な場所に必要なだけの通信リソースを割り当てることが可能となります。ETS-9には、これを実現するための通信ミッションが搭載されています。通信には20~30 GHz帯（Ka帯）の周波数が用いられており、1ユーザーあたり100 Mbpsの伝送速度を実現することを目標としています。

NICTが提案した周波数フレキシビリティ機能の制御アルゴリズムを用いたシミュレーション結果を図2に示します。このシミュレーションでは航空機への衛星通信サービスを仮定しており、通信要求の時間的な変動に応じて通信リソースの割当てが変更されていることがわかります[2]。このような機能を有する通信衛星の利用により、災害時も含め、通信できる人数がこれまで以上に増えると考えます。

## 光ファイダリンク技術

光通信は、電波を用いた通信に比べて大容量や高秘匿性、低消費電力などの特

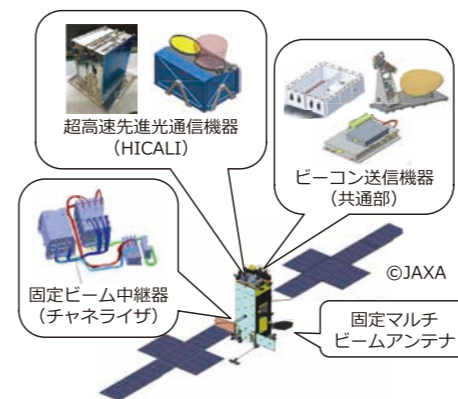


図1 ETS-9通信ミッション（NICTが開発中の主なサブシステムを明記）

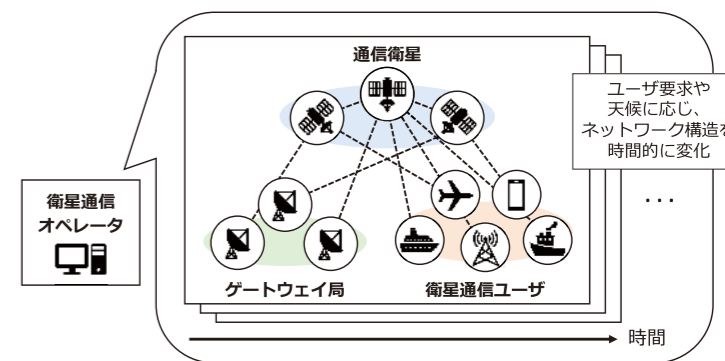
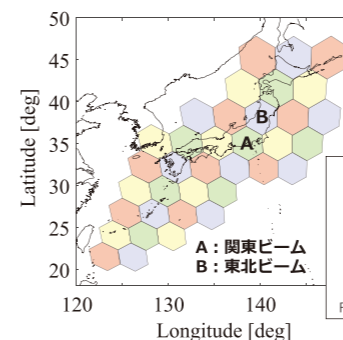
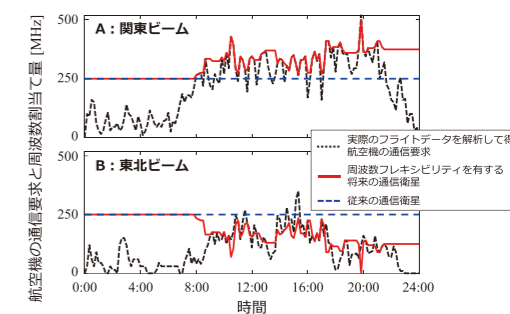


図3 大規模衛星通信システムのネットワーク最適化のイメージ



A シミュレーションにおける通信衛星のビーム配置



B 周波数フレキシビリティ機能のシミュレーション結果

図2 周波数フレキシビリティ機能の制御アルゴリズムを用いたシミュレーション

徴があります。現在、電波で行っている通信を光に置き換えることができれば、より大容量な通信回線が実現できるだけでなく、電波資源不足の解消への貢献も期待されます。

ETS-9では静止軌道と地上間で10 Gbps級の通信回線を実現することを計画しており、そのために超高速先進光通信機器（HICALI）の開発を推進しています。HICALIのアンテナ口径は15 cm、用いるレーザーの波長は1550 nm（C帯）で、この波長は標準化組織であるCCSDS（宇宙データシステム諮問委員会）で議論されている国際標準に準拠しています。また、地上で活用されている光ネットワークのデバイスを宇宙で活用するためのスクリーニングプロセスの確立も目指しています。

一方で、光は大気や雲の影響を大きく受けるため、大容量の通信回線が構築できたとしても、光の信号の乱れや遮蔽が通信品質の低下につながります。そのため、大気ゆらぎの影響を軽減する補償光学技術や、複数地点に配置した光地上

局を切り替えて利用するサイトダイバーシティ技術についても研究を進めています。

## ■超多数の通信衛星をつなぐネットワークに関する研究

近年、多数の通信衛星でグローバルな通信ネットワークを提供できる衛星コンステレーションシステムが計画されています。このような大規模衛星通信システムには、将来的に、軌道、周波数、サイズ、電力等が異なる衛星が存在することが予想されます。また、時間的に変動するユーザー数やその通信要求、利用できる衛星数、電磁波の伝搬状態に応じ、安定した通信回線を常時提供するためのネットワークの最適化が必要です。

筆者は、大規模衛星通信システムを効率的に運用するためのモデルと、全体のネットワークをダイナミックに最適化する制御方法を提案し、開発しました（図3）。このモデルでは、異なる軌道や異なる周波数の衛星がシステムに追加されても同じ枠組みで対応することが可能です。さらに、衛星通信オペレータの負担

となるネットワーク構造の頻繁な変更を回避することも可能です。

このモデルと最適制御方策、大規模衛星通信システムの運用シナリオに基づき、提案した方法の有効性をシミュレーションで確認しました。筆者は、システムが拡大して徐々に衛星数が増えた場合でも、更に性能向上ができると考えています[3]。

## ■今後の展望

ここでご紹介した技術のほか、NICTでは、衛星通信と5Gの連携に関する研究も進めており、ETS-9を実証テストベッドとする利用実験等も検討中です。

大容量で柔軟な通信回線が提供できる衛星通信システムが実現されることで、航空機、船舶、離島、砂漠、山岳地、そして惑星など、どこにいてもユーザーの要求どおりの通信が可能になると考えられます。このような世界を実現するためにも、NICTでは引き続き、新しい衛星通信システムの研究を推進し、成果を発信していきます。

## 新しい世界を開くキューブサットへの超大容量光通信技術



**カラスコーカサドアルベルト**  
ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
宇宙通信研究室  
研究員

2015年マドリード大学及びスペイン国立研究所にて博士課程を修了後、同年NICT入所。宇宙光通信と量子暗号の研究に従事。現在、地上波リンク・ドローン・キューブサットから大型静止衛星に至るまで、多様なシナリオにおける光通信ミッションに携わる。博士（工学）。

**超** 小型衛星キューブサットの技術は過去10年間で大きな発展を遂げてきました。小型衛星の開発にかかる費用も手ごろになり、小型衛星の利用者数は大幅に拡大しており、その傾向は今後も確実に継続していくと予想されます。今後のキューブサットは大学などの教育目的で短期間のミッションから、何百万人もの人々の通信をサポートするメガコンステレーションに至るまで、様々なシナリオで活躍する予定です。キューブサットの超大容量光通信技術が、新しい世界を開拓すると期待されています。

### ■ キューブサット概要

キューブサットは外形寸法が10×10×10 cmサイズの基本ユニット（1U）から構成される超小型衛星で、2個の基本ユニットの場合を2U、3個の基本ユニットの場合を3U…と呼び、実際に打ち上げられたキューブサットの約80%は1Uから3Uのサイズです。小型衛星技術がモジュール開発されたことで宇宙へのアクセスが容易になり、この数年間で1,000機以上のキューブサットが打ち上げられ、その数は年々増加しています。

キューブサットは技術的に成熟度が高いレベルに達しており、教育目的や簡単な実験だけでなく、本格的なミッションにも使用することができる段階になってきました。しかし、依然として地上と衛星の通信は電波（RF）通信に依存しており、通信速度は高々「Kbps」クラスで、周波数帯域は既に逼迫しているため地上へのデータ送信要求の増加に対応するには難しい状態にあります。この課題を解決する有力な技術である光通信は、搭載

する光通信端末のサイズ、質量、電力を低く抑えながら、伝送速度が数桁向上する可能性を持っています。

### ■ キューブサットによる高速光通信の役割

前述したとおり、キューブサットと地上との通信で使用される基本技術はVHF/UHFであり、代表的な通信速度は約10 Kbit/sです。大きな地上アンテナを使用することで、Sバンドは数Mbit/s、Xバンドは数百Mbit/sに到達できますが、キューブサットのサイズ、質量、電力の制約を考えると、RF技術により劇的な通信速度の改善をもたらすのは難しいところです。さらに、既に混雑している周波数帯域は、今後数年間に打ち上げられる膨大な数の衛星をサポートするのは困難な状況になっています。一方、キューブサットの光通信の潜在的な価値は非常に高く、光通信の真の可能性は通信速度を上げ、サイズ、質量、電力を削減できるだけでなく、将来的に更なる高速化の余地があることです。

キューブサットや小型衛星の伝送容量の増加から恩恵を受ける可能性のあるアプリケーションの範囲は非常に広く、通信ネットワーク、宇宙観測、地球監視、防災、深宇宙探査、モノのインターネット（IoT）デバイスへの接続、基礎及び応用研究、教育などが含まれます。これらすべての分野でキューブサットを利用する計画は既にありますが、高速通信が利用可能になると、更に新しいアプリケーションを考えることができます。例えば、メガコンステレーションは、現在の費用の数分の1程度で展開ができ、遠隔地への高速通信を実現し、遅延を大幅

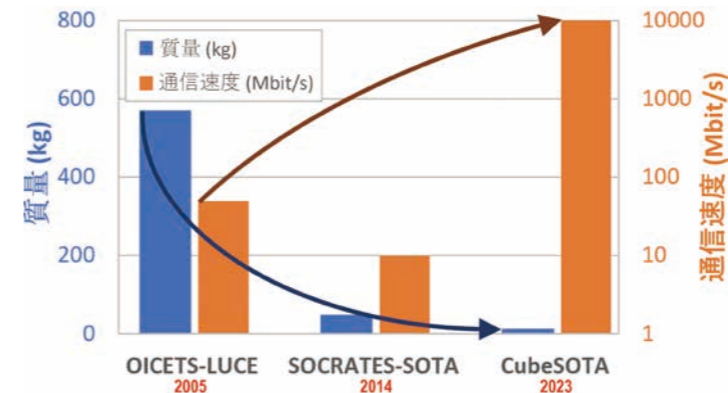


図1 NICTでの低軌道衛星との光通信の伝送速度と搭載機器質量の20年の進化

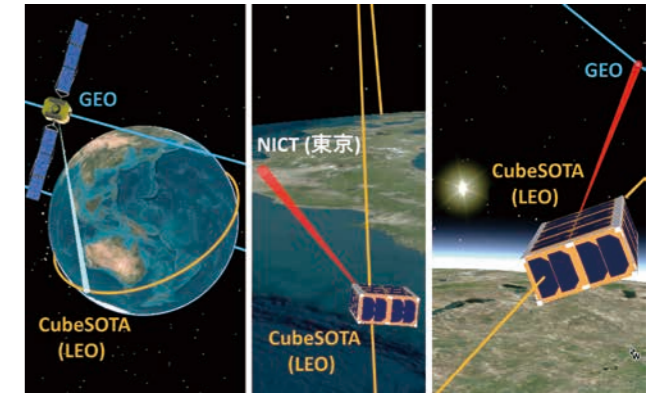


図2 CubeSOTA ミッションの実証実験計画図: 地上との直接通信 (中央) とキューブサット-地上間のデータ中継衛星 (左右)

に縮小します。現在公的宇宙機関にしか手が届かない深宇宙探査ミッションの数は、低コスト化のために大幅に拡大する可能性があるでしょう。最も重要なことは、通信速度が現在キューブサットの最大のボトルネックであるため、キューブサットの機能を拡張し、それを一般ユーザに提供することによって、今では誰も想像できなかった全く新しいアプリケーションがもたらされる可能性がある点です。これがキューブサットの真の価値であり、光通信によって新しい可能性の世界が開くと期待されています。

### ■ NICTの有利な立場

NICTは光衛星通信分野の研究開発で、長い歴史を持っています。低軌道（LEO）衛星に関しては、2006年に光衛星間通信実験衛星（OICETS）を用いて、世界で初めてLEO-地上間における50 Mbit/sの光通信に成功しました。それから10年も経たないうちに、質量5 kg程度の光通信端末の小型光トランスポンダ（SOTA）を開発しました。SOTAを搭載した衛星はSOCRATESと呼ばれ、50 kg級の超小型衛星では世界初となる10 Mbit/sの地上との光通信や量子暗号の基礎実験など、2014年以降様々

な実験を実施しました。現在は、キューブサットのプラットフォームを使用してCubeSOTAと呼ばれるLEO光通信端末により、質量の削減と通信速度の拡大を目指しています。図1に示すように、通信速度の改善は2～3桁、質量はほぼ1桁改善できる見込みです。

キューブサットはロケットで打ち上げるだけでなく、国際宇宙ステーション（ISS）から宇宙空間に放出するサービスも利用できます。日本はロボットアームを使用してISSの日本実験棟「きぼう」モジュールからキューブサットを放出する独自の機構を持っているため、有利な立場にあると言えます。ISSを利用するメリットとしては、年に6回ほどの頻繁な打ち上げ機会があることと、専用コンテナにより打ち上げ時の振動を低減でき、軌道投入前には宇宙飛行士によるキューブサットの事前確認が可能なのが挙げられます。デメリットは、ISSの軌道が低い（約400 km）ため、衛星の寿命が約1年に制限される点がありますが、技術実証には十分な期間であると言えます。

### ■ NICTにおける現在の研究開発の取組

SOTAの小型化の実績を受けて、東京大学と協力してキューブサット向けの小

型光通信システムを開発しています。現在は2台のCubeSOTAを用いて、マルチギガビットの通信を実証する準備をしているところです（図2）。1台目は地上との直接通信を実証し、2台目はデータ中継衛星を介して、衛星間通信を実証できるシステムを検討しています。

これらの開発における課題には、光増幅器、望遠鏡、精密尾光学系及びモデムの小型化が含まれます。実験や実証の目的で衛星を打ち上げる前の最初のステップとして、成層圏プラットフォーム（HAP）等の活用も検討中です。様々な場所での実験を可能とする可搬型光地上局の開発も推進しており、容易に展開できる地上側の技術に関しても研究開発を実施しています。

NICTでは、キューブサット用の高速通信の実現可能性を実証するだけでなく、光通信機器の小型化による普及展開を目指しています。目標は、今後の商用化のために民間に技術移転できる設計を実施し、NICTのプロトタイプ機器を開発することです。超小型衛星において初めて高速通信を実現することで、革新的な科学的研究を推進し、全く新しいアプリケーションの創出と開発が行われることに期待が寄せられています。

## 国際宇宙ステーション-NICT光地上局間の 双方向光通信実験成功による2020年グッドデザイン賞受賞

ワイヤレスネットワーク総合研究センター 宇宙通信研究室 研究員 宗正 康

このたび、NICTが取り組んだ共同研究である「宇宙用小型衛星光通信装置の開発および宇宙実証「SOLISS」プロジェクト」が、公益財団法人日本デザイン振興会が運営する「2020年度グッドデザイン賞」を宇宙航空研究開発機構（JAXA）、ソニーコンピュータサイエンス研究所（Sony CSL）、リコー及びNICTで共同受賞いたしました。

「SOLISS」プロジェクトにおいて、NICTはSony CSLと共同して国際宇宙ステーション（ISS）-NICT宇宙光地上局間のレーザー光を使った双方向光（衛星）通信を実証しました。光衛星通信の特徴は、電波による衛星通信と比べて、はるかに高速・大容量の通信が実現できることです。NICTでは1980年代から光衛星通信システムの研究開発を先導してきました。宇宙通信分野は、従来、国家規模の機関主導による研究開発が主流でしたが、近年では民間企業主導による開発が世界的に活発になってきています。アメリカのスペースXがNASAの商業乗員輸送開発（CCDev）計画の下で、初の有人飛行に成功したことがその一例です。

NICTでは研究開発のみならず、その成果を広く社会へ実装していくためにオープンイノベーションを推進しています。その活動の一環として、NICTとSony CSLは、同社とJAXAが共同開発した「SOLISS」とNICT宇宙光通信地上局との間の双方向光通信実験に向けて2018年から共同で研究を実施してきました。NICTが保有している衛星搭載用光通信ター

ミナルの開発技術を基にした知見を提供し、「SOLISS」軌道上実証試験に必要な計測や実験を共同で行ってきた結果、2020年3月11日にNICT光地上局と「SOLISS」との間で100 Mbpsの双方向光通信リンクを確立し、Ethernet経由での高精細度（HD）画像データ伝送に成功しました。写真はISS「きぼう」船外実験プラットフォームに設置した「SOLISS」から伝送され、NICT光地上局にて受信された画像データです。本成果は、小型衛星搭載用の光通信機器としてEthernetによる通信を実現した世界初の事例ともなりました。

本実験の成功は、NICTが光衛星通信システム開発の知見提供及び光地上局の実験運用に関連した技術支援を行い、JAXAが「SOLISS」の打上げ及びISSでの軌道上運用を支援しながら、Sony CSLが通信試験を実施した結果となります。このような柔軟な研究開発の枠組みを作り上げ、公的研究開発機関の知見や施設を活用し、民間企業の持つ優れた技術とスピード感を合わせることで、従来の宇宙開発にない短期間で機能・性能実証された実例として評価されました。

NICTでは、今後も光衛星通信技術の先進的な研究開発を実施しつつ、日本における宇宙通信技術力強化に貢献できるようにスペースICTのオープンイノベーション推進をまいります。最後になりましたが、今回の実証実験及びグッドデザイン賞受賞にあたり、関係機関の皆様の協力に感謝します。

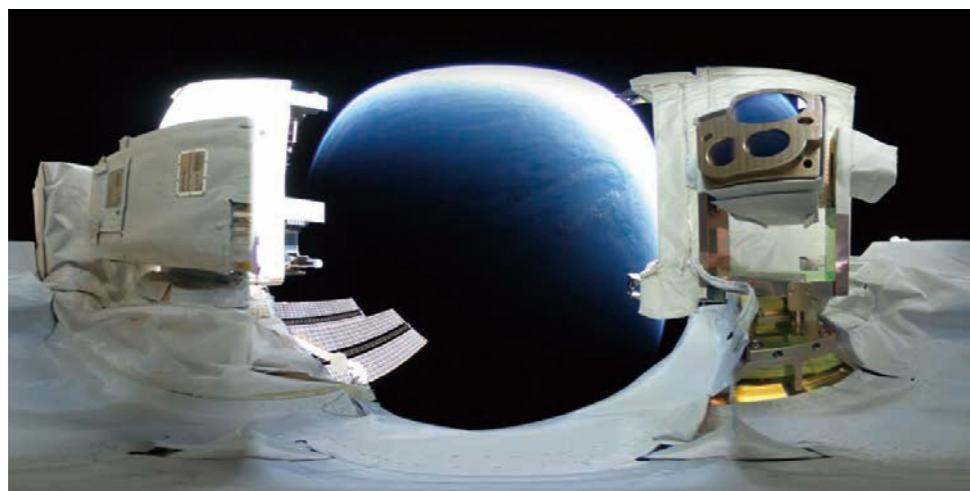


写真 小型光通信実験装置「SOLISS」に搭載されている視野360°のモニタカメラで撮影された高精細度（HD）画像。右側がSOLISS光通信部で、左側が次世代ハイビジョンカメラ（HDTV-EF2）。

© JAXA / Sony CSL

## 小さな航空機でもインターネット利用を可能にする 薄型電子走査アレイアンテナ



### 大倉 拓也

（おおくら たくや）  
ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
宇宙通信研究室  
研究員  
博士（工学）

- 経歴
  - 1990年 岡山県にて誕生
  - 2012年 横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業
  - 2013年 横浜国立大学大学院工学府物理情報工学専攻博士課程前期2年修了
  - 2016年 横浜国立大学大学院工学府物理情報工学専攻博士課程修了後、マイクロウェーブファクトリー株式会社入社
  - 2017年 NICT入所、現職に至る

- 受賞歴等
  - 2020年 電子情報通信学会2019年度（第82回）学術奨励賞受賞

### 一問一答

- Q 研究者になってよかったことは？
  - A 最先端の技術に触れられて、「こんなことができればいいな」を実現するための最初の一歩になれることです。学会・実験等で色々な場所に行けること（ご当地グルメが楽しみの一つ）もあります。
- Q 生まれ変わったら？
  - A（地球外生命体は存在している派なので）宇宙人になりたいです。宇宙を自由に旅して、人類が観測できていない宇宙空間を見たいです。宇宙人から地球がどう見えるのか知りたくもあります。
- Q 研究者志望の学生さんにひとこと
  - A 学生時代、研究室に配属されて「研究って面白い」と虜になり、博士号を取って研究者になろうと決意しました。研究に魅力を感じているならその気持ちを大切にぜひ研究者になってください。

スマートフォンやタブレット端末の急速な普及に伴い、大型航空機等ではWi-Fi通信を活用した機内インターネット接続サービスの普及が進んでいます。また、2020年10月に発表されたボーイング社の民間航空機および防衛宇宙市場の今後の動向を示す「ボーイング市場予測（Boeing Market Outlook, BMO）」によると、民間航空機数は今後20年で25,900機から48,400機に増加するとされ、さらに機種別の需要予測では、リージョナル機（90席以下）やナローボディ機（90席以上）の小・中型航空機の需要がおおよそ35,000機となると見込まれています。これらの航空機においても大型機と同様にブロードバンドサービスを提供するために、航空機向けの衛星通信需要が大きく増加することが想定されます。そこで、衛星通信システムの高速度と大容量化のために周波数の有効利用が必須の課題となっており、航空機に搭載する衛星通信アンテナの高性能化が求め

られています。アンテナの高性能化には一般的にはアンテナ開口面積を大きくする必要がありますが、従来の機械駆動型アンテナではアンテナが立体的に大きくなってしまいうため、小・中型航空機への搭載は困難となっています。そこで、薄型電子走査アレイアンテナの研究開発により、航空機への搭載性を損なわずにアンテナ性能を改善する技術を確認し、変調方式を多値化することで周波数利用効率を30%以上改善し、周波数の有効利用に資することを目的としています。

今年度末までにアレイアンテナの一部を切り出したサブアレイアンテナについて、実際に航空機に搭載しアンテナの性能評価を実施する予定で、無事に目標を達成できれば、航空機におけるインターネット環境の大きく変える「最初の一歩」となると考えています（本研究は、総務省「電波資源拡大のための研究開発（JPJ000254）」の「小型旅客機等に搭載可能な電子走査アレイアンテナ（AES）による周波数狭帯域化技術の研究開発」で実施しています）。



電子走査アレイアンテナのメリット



第25回

# 震災対策技術展 横浜

自然災害対策技術展

会場：パシフィコ横浜

2021年 2月4日(木)・5日(金)

入場方法：当日登録制※ 入場時間：各日 10:00~17:00

※受付にて、アンケートに記入後、入場証と交換。2日間有効

衛星を用いた災害時通信やレジリエントネットワーク技術に関する展示、災害時に SNS で情報収集、情報提供を行う防災チャットボットSOCDA の紹介など最新の研究成果を紹介します。



第24回「震災対策技術展」横浜でのNICTブースの様子

## 災害・危機管理ICTシンポジウム2021

<https://ictfss.nict.go.jp/yokohama2021/>

上記Webサイトにて事前登録をして下さい

開催日：2021年2月5日(金)

主催：次世代安心・安全ICTフォーラム  
国立研究開発法人情報通信研究機構

会場：パシフィコ横浜 アネックスホール

参加費：無料

同時開催

<https://www.shinsaiexpo.com/yokohama/about/>

# ワイヤレスネットワーク総合研究センター オープンラボ 2021



未来を、今を ワイヤレスでつくる



2021年2月12日(金)  
オンライン開催 (Zoomウェビナー)

詳細・お申込み

<https://www2.nict.go.jp/wireless/openlab.html>

ワイヤレスネットワーク総合研究センターでは、陸・海・空・宇宙のあらゆる状況や環境において、人やモノなどが柔軟・確実・高速に繋がる無線ネットワークを実現するための研究開発に取り組んでいます。

オープンラボ2021では、講演やパネルディスカッション、バーチャル展示などを通して、最新の研究開発成果や今後の研究ビジョンを紹介します。



實迫総合研究センター長



- 参加方法 イベント専用サイトのお申込みフォームから事前登録を行ってください。
- 定員 500名 (先着順)

WIRELESS NETWORKS RESEARCH CENTER