

ITU

ジャーナル 12

Journal of the ITU Association of Japan
December 2021 Vol.51 No.12

皆様と50年 次の50年へ!

ITU

一般財団法人

日本ITU協会

特集

宇宙通信最前線

NTNソリューションに関するソフトバンクの取組み
衛星事業における小型衛星の動向と我が国の今後の展開
宇宙光通信
宇宙ゴミ問題と宇宙状況把握

スポットライト

「ICTサイバーセキュリティ総合対策2021」に基づく総務省の取組み
Beyond 5G/6G時代のライフスタイルとその実現技術について
東京2020オリンピックのバドミントン競技の超高臨場ライブ伝送技術実証

会合報告

ITU-R:SG7 (科学業務)

APT:AWG (無線通信グループ)、WTDC準備会合



錦天満宮 花手水

2021



特集

宇宙通信最前線

NTNソリューションに関するソフトバンクの取組み 砂川 雅彦	3
衛星事業における小型衛星の動向と我が国の今後の展開 加藤 松明	8
宇宙光通信 辻 宏之/豊嶋 守生	13
宇宙ゴミ問題と宇宙状況把握 二村 徳宏	18

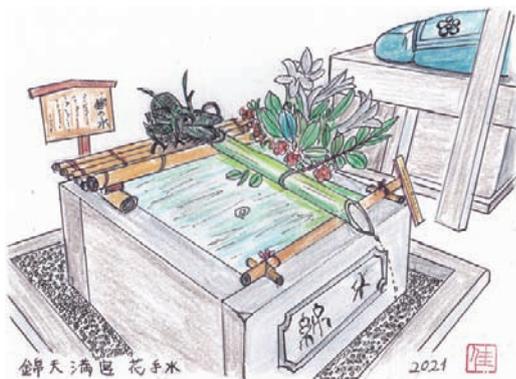
スポット
ライト

「ICTサイバーセキュリティ総合対策2021」に基づく総務省の取組み 廣瀬 一朗	21
Beyond 5G/6G時代のライフスタイルとその実現技術について 小西 聡	26
ITU-T H.430シリーズ活用事例：東京2020オリンピックの バドミントン競技の超高臨場ライブ伝送技術実証 長尾 慈郎/長谷川 馨亮/武藤 誠/並河 大地/紺谷 精一	31

会合報告

ITU-R SG7(科学業務)関連会合報告 竹内 謹治	37
アジア・太平洋電気通信共同体(APT)無線グループ(AWG) 第28回会合(2021年9月6日-14日)報告 総務省 総合通信基盤局 電波部 電波政策課 国際周波数政策室	40
APT 第3回WTDC-21準備会合結果報告 川野 佑公	43

『ITUジャーナル』2021年総目次	46
--------------------	----



錦天満宮 花手水

2021 陸

【表紙の絵】

NPO法人次世代エンジニアリング・イニシアチブ 理事 池田佳和

●錦天満宮 花手水(京都市中京区)
京都の台所といわれる錦市場の東端に錦天満宮がある。鴨川の扇状地である京都盆地は伏流水が豊かで市内にいくつもの名水があり、この「錦の水」もその一つ。コロナ禍のため多くの人を使う手水(ちょうず)の柄杓を止めて青竹筒の流水とし、水盆には季節の花が献納されている。

免責事項
本誌に掲載された記事は著者等の見解であり、必ずしも当協会の見解を示すものではありません。

本誌掲載の記事・写真・図表等は著作権の対象となっており、日本の著作権法並びに国際条約により保護されています。これらの無断複製・転載を禁じます。



ITU (International Telecommunication Union 国際電気通信連合) は、1865年に創設された、最も古い政府機関です。1947年に国際連合の専門機関になりました。現在加盟国数は193か国で、本部はジュネーブにあります。ITUは、世界の電気通信計画や制度、通信機器、システム運用の標準化、電気通信サービスの運用や計画に必要な情報の収集調整周知そして電気通信インフラストラクチャの開発の推進と貢献を目的とした活動をしています。日本ITU協会 (ITUAJ) はITU活動に関して、日本と世界を結ぶ橋として1971年9月1日に郵政大臣の認可を得て設立されました。さらに、世界通信開発機構 (WORC-J) と合併して、1992年4月1日に新日本ITU協会と改称しました。その後、2000年2月15日に日本ITU協会と名称が変更されました。また、2011年4月1日に一般財団法人へと移行しました。

NTNソリューションに関する ソフトバンクの取り組み



ソフトバンク株式会社 テクノロジーユニット サービス企画技術本部
グローバル通信事業統括部 事業推進部

すながわ まさひこ
砂川 雅彦

1. はじめに

1.1 ソフトバンクによる衛星活用の背景と現状

ソフトバンク株式会社（以下、ソフトバンク）の衛星通信の活用は、2011年3月に発生した東日本大震災を契機に本格化した。当時、発災後に300局以上の衛星回線をバックホールとした基地局を構築し運用した。その時の経験を生かして、現在では災害による基地局の倒壊や停電などで、通信サービスがつながりにくいエリアや不通になったエリアを早期に復旧させるため、衛星通信を活用した移動基地局車や可搬型移動基地局、可搬型の衛星アンテナを全国に数百台配備している。また、2013年にはコンパクトな衛星端末を利用した衛星電話サービスを開始し、災害時の連絡手段としてだけでなく、圏外となるような場所や状況でもすぐに使えるサービスとして提供している。さらには、衛星帯域の効率的な活用と同時に、下り100Mbpsの高速化を実現するなど、実際に利用される通信環境での利便性の向上に積極的に取り組んできた。

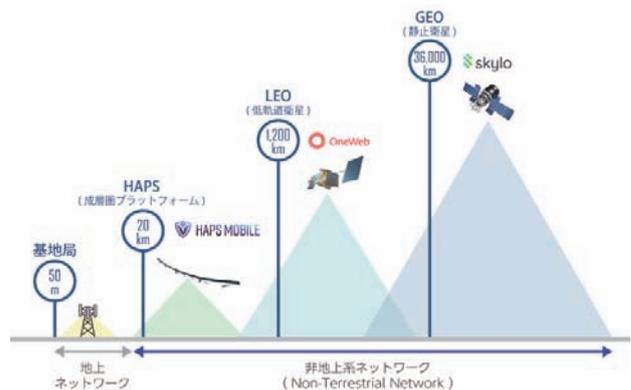
1.2 産業のデジタルディバイドの状況

世界に目を向けると、世界の人口の約半数がインターネットを利用できていないと言われている。原因は様々だが、GSMAが発行するRadar 2021年6月号*1では、2020年時点でカバレッジギャップ（通信エリア圏外が理由でインターネットを利用できないこと）に困っている人口が約8億人と、依然として通信環境による影響が大きいことが示されている。このようなカバレッジギャップは一般消費者向けだけではなく、DX（デジタルトランスフォーメーション）が加速する産業界にも影響する。企業活動において通信の担う役割がますます大きくなる中で、通信環境がないエリアで事業を展開する産業はDXの潮流から取り残され、産業が抱える課題が解決されないままになってしまう。

1.3 3つのNTN（Non-Terrestrial Network）ソリューション
一方で、ソフトバンクは地上のモバイル通信カバレッジにおけるカバレッジギャップの課題を解決するため、上空からの新しい通信技術に目を付け、積極的に活用することに取り組んでいる。いわゆる非地上系ネットワーク（Non-Terrestrial Network（以下、NTN））である。その手段とは、高速・低遅延を実現した低軌道衛星のOneWeb、既存の静止衛星を活用したIoT向けの小型衛星端末を実現したSkylo、そしてスマートフォンなどのモバイル端末へ直接通信するHAPSモバイルの3つである。

1.4 産業のデジタルディバイドの解決

ソフトバンクは、これら3つのNTNソリューションを「3種の神器」と位置付けて、利用用途に合わせながら最適な通信を提供することによって、産業のデジタルディバイドを解決し産業のDX化を導くことで、産業界を含め社会に貢献できるのではないかと考える。



■ 図1. ソフトバンクのNTNソリューション イメージ

*1 Radar: Connectivity from the sky (June 2021)

<https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=60621054&file=080621-Radar-Connectivity-from-the-sky.pdf>

2. ソフトバンクが取り組むNTNソリューション

ここでは、3つのNTNソリューションの概要を説明する。

2.1 OneWeb

OneWeb Ltd. (以下、OneWeb) は、自社の衛星ネットワークを通してデジタルディバイドをなくすというビジョンの下に設立された。2020年11月に英国政府及びBharti Groupに買収され、2021年にソフトバンクグループやEutelsat、Hughes Network Systems、Hanwha Systemsから資金を調達している。2021年10月末時点では、358機の衛星を打ち上げ、2021年末には北緯50度以上でのサービスを開始し、2022年中に世界中でサービスを開始する。2021年5月にはソフトバンクとOneWebで日本での展開に向けた協業に合意し、サービス開始に向けて準備を進めている。

OneWebは、高度1,200kmの12の極軌道に648機の衛星を打ち上げる。地上局は全世界に約40か所展開され、日本でも構築中である。ユーザー端末としては、大容量通信向けのパラボラアンテナと小型な電子式の平面アンテナの開発を進めている。低軌道に多くの衛星を打ち上げることで、従来の衛星通信と比較して高速かつ低遅延の通信サービスを提供する。

短期間に大量の衛星を製造するため、Airbus社とOneWeb Satellites社を設立して、フロリダに専用の工場を建設した。これにより、1日2機のペースでの衛星製造を実現している。OneWebは、同じ周波数を利用する他のLEO事業者と比較して、早期に利用する周波数（軌道位置を含む）をITUへ申請したことで、先着優先のITURルールに基づき上位の優先権を獲得している。また、現在世界中でサービスを提供するため各国の法整備に目下取り組んでいる。



■図2. OneWeb衛星打上げ

2.2 Skylo

Skylo Technologies, Inc. (以下、Skylo) は、2017年に設立された米国のスタートアップ企業で、ソフトバンクグループからも出資している。同社はIoT向けの衛星ナローバンド通信サービスを低価格で提供することで、今まで高額で利用できなかったというユーザーの課題を解決できる。通信速度は20kbpsとIoT向けである。Skyloは衛星を自社で打ち上げることなく既存の静止衛星から通信回線を借りるため、ロケットや衛星の打ち上げ費用などはかからず、さらに、電波を効率よく運用する独自技術を活用することでコストダウンを実現し、低価格な通信サービスを提供できる。

Skyloが提供する小型な端末にはGNSSアンテナや9軸センサを内蔵していることに加えて、外部のセンサと接続できるため汎用性が高い。Wi-FiやBLE、RS-485などのインタフェースを通じて、外部センサ情報を集約して伝送できるハブ端末である。Skyloは低価格な衛星通信と小型な端末に加えて、IoTプラットフォームも提供することでユーザーの需要に対してエンドトゥーエンドでサービスを提供する。

2020年からインドでサービスを開始しており、漁業や農業、物流など様々な業界にサービスを展開している。2021年6月にはソフトバンクとSkyloで日本での展開に向けた協業に合意し、サービス開始に向けて準備を進めている。

2.3 HAPSモバイル

ソフトバンクはHAPS事業を展開するため、2017年12月にHAPSモバイル株式会社（以下、HAPS）を設立した。2019年11月にはソーラーパネルを搭載した成層圏通信プラットフォーム向け無人航空機「HAWK30」（現在はSunglider）のテストフライトに初めて成功した。航空機の翼にはソーラーパネルが備えられており、機体には高性能電池を搭載。日中はソーラーパネルと高性能電池を使用して、蓄電しながら機体を運航する。夜間は日中に蓄えられた電力を用いて、数か月間のフライトが可能な高い運用性を誇る。また、化石燃料を使わない、持続可能でクリーンな機体である。機体にはLTEや5Gの通信サービスを提供するための無線ペイロードが搭載され、1機あたり直径200kmと、地上基地局に比べて非常に広範囲なエリアをカバーできる。カバーするエリアに関しては航空機型のHAPSのため、任意のエリア上空で定点旋回が可能だ。また「Sunglider」は、他社が開発するHAPSの機体と比べると大型で、大きなペイロードを搭載可能な点においても高い優位性を誇る。

2020年9月21日には5回目のテストフライトを実施し、飛



行高度6万2,500フィート（約19km）を記録した。機体の開発開始から約3年という短い期間で、成層圏での飛行に成功した。同テストフライトでは、ペイロードと呼ばれる成層圏対応無線機によるインターネット通信試験にも成功した。成層圏対応無線機を通して、インターネットに接続されたスマートフォンを持つアメリカにいるメンバーと日本にいるメンバーとの間でビデオ通話をするにも成功している。今後は2026年ごろプレ商用予定として開発を進める。

HAPSの特徴は、衛星通信のように特殊な専用端末を必要としないことである。地上と同じ周波数を利用することで、市販のスマートフォンなどのモバイル端末とそのまま通信接続することが可能な点は、大きな利便性と優位性をもたらす。



■ 図3. HAPSモバイル 成層圏を飛行する「Sunglider」

3. NTNソリューションのユースケース

本章では、ソフトバンクが取り組んでいる3つのNTNソリューションが当てはまるユースケースについてそれぞれ説明する。

3.1 OneWeb

OneWebは、地上の圏外エリアに対して、低遅延で大容量の通信を必要とする産業への提供が想定される。

<船舶>

海上は陸上の基地局がカバーしている一部の沿岸地域を除き、圏外エリアになる。このため、圏内エリアの産業と比較して通信環境がないことによる様々な課題がある。

まず挙げられるのは乗組員の減少だ。海運業や漁業などは、一度出港すると数日から数週間、船上での生活を強いられることがある。通信環境が整備されていないことで、

この期間、多くの乗組員は家族との連絡やインターネットが利用できず孤立してしまう。これらが原因で、特に若手の乗組員の数が年々減少して、深刻な問題となってきている。これに対して、高速大容量が特徴のOneWebの通信サービスをリーズナブルな価格で提供できれば、上述のような産業課題を解決できるかもしれない。

また運航管理に目を向けると、日本の輸送業の中でも船舶輸送の割合は大きく、数千隻の船が運航されている。一方で、年間で数千隻の衝突や乗上げなどの事故が起きており、事故原因は見張り不十分など人為的要因が多くを占めている。人による運航作業が多い理由としては、通信環境がないことでICT装置の導入が遅れていることが考えられる。また、今後リアルタイム性の高い自動運航システムが導入されていくことが考えられるが、低遅延が特徴のOneWebのサービスを適用できるかもしれない。

<建設>

日本の地上ネットワークによる人口カバー率は99%^{*2}を超えているが、人が住んでいないエリアのカバー率に関してはまだ課題が残る。工事現場の一部は圏外エリアで、高度化するICT技術が生かしきれない現場が複数ある。他にも、ビル工事現場で、地上を離れた場所では基地局によるカバーが基本的にされていないため、都心であっても高層階の工事になると通信が突然使えなくなるケースもある。建設現場へのOneWebのサービス提供手段として、事務所やポールに端末を設置してLTEやWi-Fiなどを周辺エリアに提供する方法や、大型建機に直接設置して建機の状態管理や船舶同様に低遅延を生かした自動運行に利用する方法などが挙げられる。(図4)

3.2 Skylo

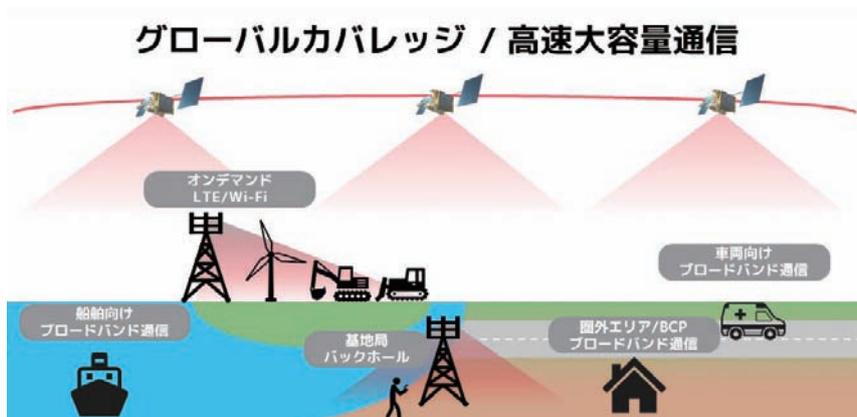
Skyloの特徴である安価かつ小型な端末を生かしたサービスの利用が想定される。

<漁業>

乱獲や領海外の漁獲など違法漁業が後を絶たず、不慮の事故につながるケースが多々ある。漁船の運航管理及び監視は有力視されているが、現状の高額な衛星通信では

*2 「令和2年度携帯電話及び全国BWAに係る電波の利用状況調査の評価結果（案）」に対する意見募集の結果及び評価結果の公表（令和3年2月2日）

https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000492.html



■図4. OneWebユースケース

導入が進んでいない。そこで安価なSkyloのサービスを提供することで、多数の漁船への導入が可能になり、貢献できると考えている。Skyloの端末を搭載することによって、陸地より船団の位置情報を把握できやすいのはもちろんのこと、緊急時にはSkyloの端末を通してSOS通信も可能にする。インドでは実際にSkyloを利用して、SOS通信による救助を行ったケースもあるようだ*3。

<物流>

Skyloの小型で安価な通信サービスは、トラックの位置情報/稼働情報などのフリート管理に貢献することができる。GPSを内蔵した端末をトラックに取り付けることで、地上の圏外エリアにおいても位置情報を把握でき、もし車両に異常が発生した場合に検知することをサポートする。ま

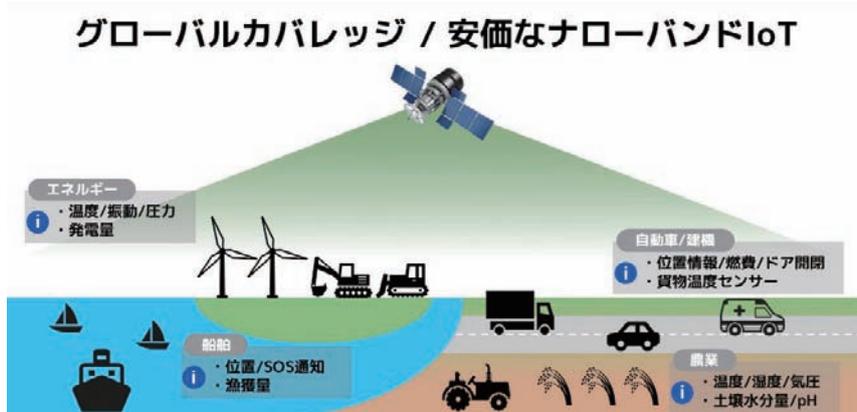
た、コンテナなどの積荷の監視に役立つことが期待されている。コンテナの揺れや振動状況、コンテナ内の温度/湿度などを遠隔から管理できることはユーザーの抱える課題解決につながると考えている。(図5)

3.3 HAPSモバイル

HAPSは衛星通信のように特殊な専用端末を必要とせず、市販のスマートフォンなどのモバイル端末を直接利用できることから様々なユースケースへの適用が注目される。

<カバレッジエリアの拡張>

山間部や島、へき地などの地上通信網が整備できていないエリアで、鉄塔などの地上設備なしに通信サービスを提供できることが魅力の一つ。特に、海外に目を向けると



■図5. Skyloユースケース

*3 Technology comes to the aid of seven fishermen onboard sinking vessel (December 03, 2020)
<https://www.thehindu.com/news/cities/Mangalore/technology-comes-to-the-aid-of-seven-fishermen-onboard-sinking-vessel/article33235296.ece>



通信未整備のエリアは多く存在するので、HAPSが活躍するシーンは多くあると思われる。

<BCP (Business Continuity Plan) 対策>

災害時における通信復旧の手段として、HAPSは活躍できると考えている。地震や津波などの影響で地上の通信設備やネットワークに甚大な被害が出た場合には復旧に時間がかかるが、HAPSであれば被災地の上空に飛ばしてエリア化できる。

<3Dカバレッジ>

将来に目を向けると、今後普及されていくドローンなど無人航空機向けに通信サービスを提供することでもサポートできる。成層圏に浮かぶ基地局のHAPSは地上通信網とは異なり、地上だけではなく上空を含めた3D空間に対して通信カバレッジの構築が可能である。(図6)

4. おわりに

ここまで、高速かつ低遅延の通信サービスをグローバルで提供するOneWeb、低価格の小型端末でナローバンド通信を提供するSkylo、成層圏からLTEや5Gなどの通信サービスでスマートフォンなどのモバイル端末へ直接通信を提供するHAPSモバイルの概要のほか、それぞれの特徴を生かした各産業で想定されるユースケースについて触れて、どのようにアナログな産業が抱える課題を解決していくかを述べた。

今後はさらなる技術革新により、NTNソリューションも高度化していくことが考えられる。具体例として、低軌道衛星でも、フレキシブルなビームフォーミングにより通信サー

ビスのニーズが高い場所に通信ビームのリソースを集中したり、衛星間リンクなどの技術により地上基地局の配置を最適化することでオペレーションを効率化できるなども想定される。また、さらなる衛星業界の競争により、打ち上げコストが低減して、経済性の面で改善されていくと思われる。ユーザー端末の視点では、ハイブリッド端末の開発も進むことが予想される。GEO-LEO間や衛星-地上局間の通信を利用できるハイブリッド端末が普及すれば、シームレスな通信サービスの提供が可能になる。HAPSにおいても、ソーラーパネルの発電効率の向上やバッテリー性能の向上などで滞空時間をより長く、消費電力がより大きい通信ペイロードが搭載可能になることで、経済性の向上が期待される。技術の高度化に伴う経済性の改善により、NTNソリューションへの期待度がさらに高まっていくと想定される。

このようにNTNソリューションも進化しながら、現在は圏外エリアのアナログな産業や圏内エリアと圏外エリアを往来する産業に対して、上空からの通信サービスを提供することで、課題解決につながり、社会貢献できると考える。一方で、真に産業のDXを実現するには、コネクティビティだけではなく、各産業のビジネスを促進することができるプラットフォームにつなげることも必要になる。大手クラウド事業者も衛星通信と接続することで、圏外エリアのユーザーに対して、プラットフォームサービスの提供を始めており、今後このような動きは活発になることが予想される。今後は、NTNソリューションを単にインターネットにつながるソリューションとして提供するだけではなく、各産業に適したプラットフォームへの接続を可能にして、あらゆる産業が圏内エリアで事業を行うことを可能にできれば、重要性はますます高まっていくと想定される。



■図6. HAPSモバイルユースケース

衛星事業における小型衛星の動向と我が国の今後の展開



国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 **加藤 松明**

1. はじめに

「SpaceX社が52基のスターリンク衛星を打ち上げた（2021年5月）」*1、「低軌道衛星通信サービスを目指すOneWebがソフトバンクグループやEutelsat等から資金調達した（2021年5月）」*2のような衛星事業に関するニュースをメディア等で目にするのが最近増えた。なぜ今、SpaceXやOneWebといった探査・科学ではない宇宙事業が注目を集めるようになってきたのか、これまでの宇宙開発の常識とは何が異なっているのか。本稿では、このような疑問に対し、小型衛星の動向や衛星開発の特徴から説明するとともに、小型衛星に対する我が国の取組みについて紹介する。

2. 小型衛星の動向

まずは、インターネット上で公開されている資料を参考に近年の小型衛星の動向について理解したい。本稿では、Bryce Tech社が発行している小型衛星に関する調査結果（Smallsats by the Numbers 2021）を紹介する。なお、小型衛星とは何かという点について少し補足しておきたい。小型衛星について世界共通の定義はなく、例えば、NASAの“Small Spacecraft Technology Program”では180kg以下の衛星を“small spacecraft”としており、さらに質量に応じて、100–180kg級を“Minisatellite”、10–100kg級を“Microsatellite”など、細かな分類が行われている*3。宇宙市場に特化したコンサルティングを行うEuroconsultでは500kg以下、今回紹介するBryce Tech社では600kg以下を小型衛星としている。

2.1 小型衛星の打ち上げ動向

ここ10年間の打ち上げ機数の動向を図1に示す。小型衛星の打ち上げ機数は年々増加の一途をたどっており、2011年の打ち上げ機数が39機だったのに対し、2019年には約10倍の389機に増加している。2020年にはSpaceX社のStarlink、Oneweb社の小型衛星が打ち上げられ、小型衛星の打ち上

げ機数は1,200機程度と大幅に増加している。600kg以上の衛星の打ち上げ機数がこの10年の間で100機から200機程度で安定しているのに対し、Starlink、Onewebというメガコンステレーションによるけん引があるにせよ、この機数の大きな伸びは小型衛星が持つ宇宙事業への期待の高さを表しているものと考えられる。

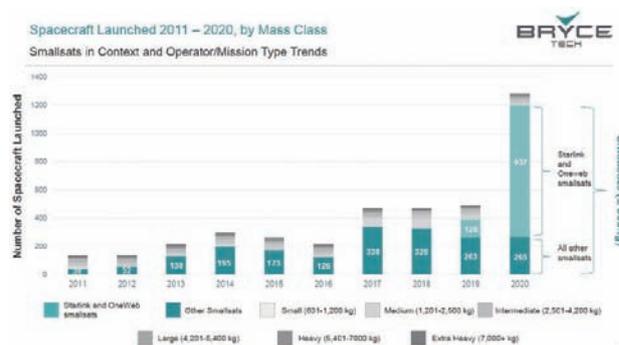


図1. 衛星打ち上げ機数の動向（Bryce Tech社資料（<https://www.brycetech.com/reports>）より抜粋）

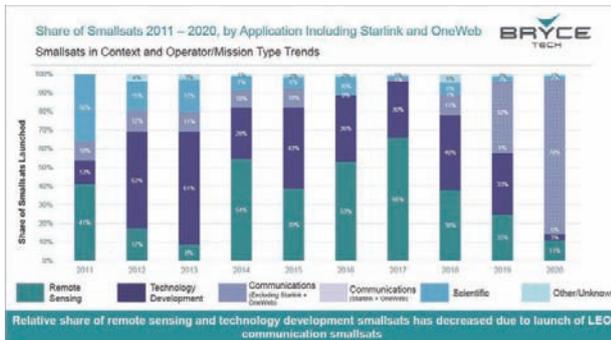
2.2 小型衛星のミッションタイプ

小型衛星がどのようなミッションに適用されているかについてのトレンドを図2に示す。2019年からStarlink、OnewebのLEO通信コンステレーションが打ち上げ始められたことにより通信向けの割合が激増し、小型衛星活用の主たる領域となっているが、これらのLEO通信用コンステレーションを除いた活用割合（図3）によると、リモートセンシングと技術実証への活用が50%以上の割合を占める形で推移している。地球上のあらゆる地点をカバーすることが可能な人工衛星をリモートセンシングに活用することは小型衛星に限らず一般的であるが、小型衛星を群として配備することで、観測の網の目を細かくすることのメリットを得るといえる。また、少なくとも割合の10%、多い時には60%を超える割合となっている技術実証への活用は、後述する小型衛星の短期開発、低コストという特徴を

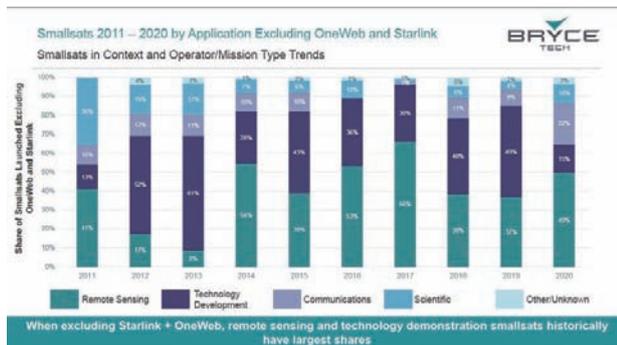
*1 <https://jp.techcrunch.com/2021/05/18/2021-05-17-spacex-launched-52-more-starlink-satellites-to-orbit-on-saturday/>
 *2 https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2021/20210513_02/
 *3 https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/small_spacecraft_technology_state_of_the_art_2015_tagged.pdf



生かすものと理解できる。



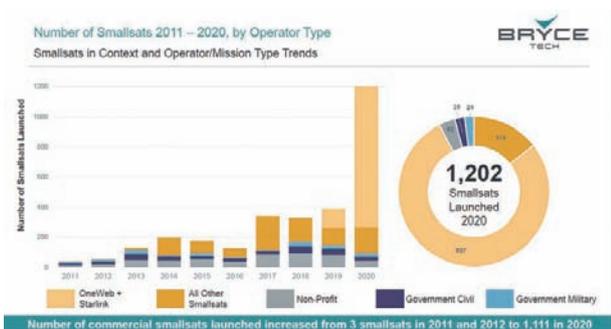
■ 図2. 小型衛星のミッションタイプの動向 (Bryce Tech社資料 (https://www.brycetech.com/reports) より抜粋)



■ 図3. 小型衛星のミッションタイプの動向 (Starlink, OneWeb除く) (Bryce Tech社資料 (https://www.brycetech.com/reports) より抜粋)

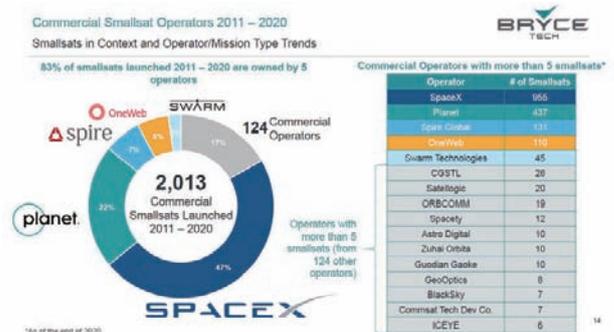
2.3 小型衛星のオペレータ

小型衛星のオペレータについて、政府系・非政府系（商用等）ごとの打ち上げ数を図4に示す。政府系の民生・軍用の衛星が安定的な打ち上げ機数を維持しているなか、



■ 図4. 小型衛星のオペレータタイプごとの機数 (Bryce Tech社資料 (https://www.brycetech.com/reports) より抜粋)

Starlink、OneWebなどの商用オペレータを含む事業者及び非営利団体による機数が増加しており、これまで官の需要で支えられてきた宇宙事業とは異なるトレンドを見ることが特徴的である。このトレンドの中で、商用小型衛星のプレーヤが保有する小型衛星数について図5に示す。ここでもグローバルな通信カバレッジを実現しようとしているSpaceX社が2019年、2020年の打ち上げにより数としては突出しているが、光学画像サービスを展開するPlanet社、Spire Global社やIoT端末のグローバルなコネクティビティの確立を目指すSwarm Technology社なども数十機から数百機の衛星の軌道上への配備を完了しており、様々なサービス分野への小型衛星の実装が進んでいる。



■ 図5. 小型衛星のオペレータタイプごとの機数動向 (Bryce Tech社資料 (https://www.brycetech.com/reports) より抜粋)

3. 小型衛星の特徴

打ち上げ機数、事業への実装などが、商業事業者を中心にここ10年で急速に進展している。この進展の背景について小型衛星のもつ特徴と対比しながら概説する。

3.1 開発費・開発期間・性能

衛星として必要な機能は、数トンクラスの中・大型衛星であっても、小型衛星であっても基本的な違いはなく、その構成は太陽電池パネル付きのスマートフォンを想像していただくと分かりやすい。大きく異なるのは開発費と開発期間であり、数トンクラスの大型衛星では開発費が数百億円に達し、開発期間は5年から長いものでは10年を超えるものもある。一方小型衛星では、中・大型衛星の開発費の1/10以下といわれており、開発期間も2年以下のものが多い*4。

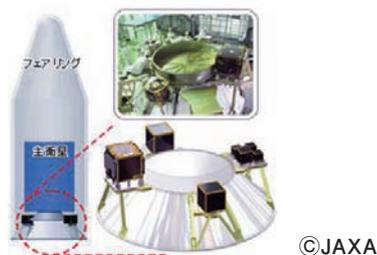
*4 「超小型衛星における国際標準化」、https://www.sjac.or.jp/common/pdf/std/uchu/20210604.pdf

さらに、小型衛星の中でもCubeSatという規格化された小型衛星の登場により、さらなる開発期間の短縮、低コスト化が進んでいる。

小型衛星の性能については、その限られたサイズに必要な機能を詰め込むことから、単体では大型衛星に比較して劣る。しかしながら、2章で示したStarlinkやPlanetなどのように多数の小型衛星により群を構成することによる機能・性能の向上や、進展の著しい地上民生技術、特に半導体に代表されるようなデジタル関連技術の宇宙適用化により、従来の小型衛星と比較にならないほどの高い機能・性能を実現することが可能となっており、これが小型衛星の活用を後押ししている。

3.2 打ち上げ手段

数トンクラスの通信衛星や気象衛星、大型の地球観測衛星などでは、衛星打ち上げに必要な打ち上げ能力を持つロケットを選択し、1衛星につき1ロケットで打ち上げることが一般的である。一方、開発費の安い小型衛星では、1本あたり数十億円が一般的なロケットを単独で購入することはコストの観点から非現実的であり、いくつかの手段がある。従来は主衛星である数トンクラスの衛星への相乗り（ピギーバック方式（図6））が多かったが、近年の小型衛星の打ち上げ需要の増加に伴い、様々な形態が登場している。小型衛星同士の複数相乗り（ライドシェア型（図7））やコンステレーション構築のために小型衛星専用の打ち上げ形態（図8）などが登場し、複数の小型衛星で打ち上げ費をシェアすることが可能となり、1機当たりの打ち上げコストが低下している。加えて、1打ち上げあたり数億円といった打ち上げ手段の価格破壊を狙う小型ロケットベンチャーやISSを利用した衛星放出サービス事業者なども登場しつつあ



■ 図6. 小型衛星搭載方法：ピギーバック方式の例（主衛星の空きスペースに搭載）



■ 図7. 小型衛星搭載方法：ライドシェア方式（多種多様な衛星が所狭しと搭載）



■ 図8. Starlink衛星の60機同時打ち上げの搭載方式（弁当箱のように積みあがっている）(Elon Musk氏 2019年 Tweetより)

り、小型衛星の活用の際に大きな制約となっていた打ち上げコストについて、機会の増加と低コスト化が進展し、小型衛星の活用を後押ししている。

3.3 衛星運用

衛星が打ち上げられた後、所定のミッションを実施するために地上と衛星間のアクセスを確立し、命令の送信や情報の取得・処理を行う必要がある。衛星とのアクセスを確立する機能を担うのが地上局である。また、衛星から得られた膨大なデータを活用可能な形にデータ処理し、いつでも活用できるように保管するためのシステムが必要となる。これらの地上局やシステムを整備し、維持管理するコストは小型衛星を開発する費用と比較しても小さくない。また、無線局免許の取得や周波数調整などの手続きに係る負荷も中・大型衛星と基本的には変わらないため、規模の小さい小型衛星事業者にとって相対的に負担は大きくなる。このような状況の中、クラウドサービスにアクセスするだけで衛星運用ができるサービスコンセプトが公表されており（AWS Ground Station*5、Azure Orbital*6など）、衛星運用の敷居も下がりつつある状況にある。

*5 <https://aws.amazon.com/jp/ground-station/>

*6 <https://docs.microsoft.com/ja-jp/azure/networking/azure-orbital-overview>



4. 我が国の小型衛星への取組み状況と今後の展開

4.1 我が国の状況

我が国における小型衛星への取組みとしては、2002年に打ち上げられた50kg級の技術実証を目的とした μ -LabSat（マイクロラブサット）の開発をはじめとし、その後、技術実証を行うSDS（Small Demonstration Satellite）シリーズ（SDS-1、SDS-4）の開発、科学観測を行う「れいめい（Index: INnovative-technology Demonstration Experiment）」、小型科学衛星（ひさき、あらせ）の開発が行われた。一方大学では、2002年に打ち上げられた50kg級の千葉工業大学の「鯨生体観測衛星」、2003年に打ち上げられた東京大学の「鯨生体観測衛星」、2003年に打ち上げられた東京大学、東京工業大学のCubeSatの開発を皮切りに、その後、CubeSatクラス及び50kg級の小型衛星を中心に数多くの小型衛星が開発されてきた。日本の2000年代の小型衛星の活用領域は、技術実証及び科学観測がメインであったが、2008年に民間事業への小型衛星への活用を目的としたアクセルスペース社が東京大学でCubeSat開発に携わったメンバーを中心に設立され、小型衛星の民間事業への展開が開始された。アクセルスペース社は、2013年に民生事業として初めての小型衛星（WINISAT-1）を打ち上げ、その後も、WINISAT-1の後継機で能力を向上させたWINISAT-RやGRUSなど、リモートセンシング事業を中心に小型衛星の民生利用をけん引している。その他にも、SAR衛星のリモートセンシング情報を活用したサービス事業を実施するSynspective社、QPS研究所、「人工流れ星」事業を計画

するALE社、3U、6UといったCubeSatを中心に小型衛星を活用した事業実現を目指すArkEdgeSpace社など、民生事業を目的とした小型衛星事業者が次々と登場してきている。また、打ち上げロケットについても、小型衛星に特化したロケットを開発するベンチャー企業としてスペースワン社、インターステラテクノロジー社が登場してきている。また、地上局システムに関しては、従来から衛星運用を手掛けてきたスカパーJSAT社が小型衛星運用へ参入、地上局ネットワークや無線局支援を行うインフォステラ社の設立など、小型衛星の開発、打ち上げ、運用という衛星事業に必須な役割を担う日本の事業者が2015年ごろから活発な活動を開始している。

4.2 小型衛星における今後の展開

最近の小型衛星によるゲームチェンジの状況を受け、小型衛星事業を加速する取組みが始まっている。

①政府の取組み

我が国の政策においても小型衛星、特に小型衛星によるコンステレーションへの注目が高まっている。我が国の宇宙開発利用に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るために策定される宇宙基本計画がある。この具体的な工程を示す宇宙基本計画工程表の改訂に向けた重点事項のポイントが令和3年6月に示された（図9）。この中で、宇宙基本計画の5つの柱に対してそれぞれ改訂に向けたポイン

参考資料1		宇宙基本計画工程表改訂に向けた重点事項のポイント		令和3年6月29日 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局
＜最近の情勢＞				
＜重点事項のポイント＞				
1. 宇宙安全保障の確保	<ul style="list-style-type: none"> 安全確保における宇宙の役割が拡大 米国では、極超音速弾道弾等への対応策として小型衛星コンステレーション構築の動きが加速 	<ul style="list-style-type: none"> 準天頂衛星システム、情報収集衛星、通信衛星、SSA衛星等の宇宙システムを統合的に整備。 ミサイル防衛等のための衛星コンステレーションについて、米国との連携の可能性も念頭に検討を行い、先行的な技術研究に着手。 机上演習の取組強化、宇宙システムのサイバーセキュリティ対策のための民間向けガイドラインの開発。 		
2. 災害対策・国土強靱化や地球規模課題の解決への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 災害対策・国土強靱化が喫緊の課題となる中、衛星による貢献の可能性 2050年カーボンニュートラル達成に向けた宇宙からの貢献への期待 	<ul style="list-style-type: none"> 現状状況を大小様々な衛星により迅速かつ効果的に把握できる体制構築に向け、官民共創で観測衛星システムの開発を推進。これにより、統合型G空間防災・減災システムの構築にも貢献。 衛星等を活用した国際的な温室効果ガス観測ミッション構築の策定・推進。 宇宙太陽光発電の実用化に向けた取組の推進。 		
3. 宇宙科学・探査による新たな知の創造	<ul style="list-style-type: none"> 欧米や中国等の火星探査計画が活発化 アルデミス計画について、前向きな取組を進める必要 	<ul style="list-style-type: none"> 2029年度の人間初の火星周回からのサンプルリターン実現に向け、2024年度に火星探査計画（MMX）の探査機を確実打ち上げ。 アルデミス計画について、米国との合意に基づき、ゲートウェイの機器開発等の取組を進める。また、今後の持続的な月面活動を視野に、産業界とともに、有人と無人の両方の研究開発や、活動基盤を支える技術の開発を推進。 		
4. 宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現	<ul style="list-style-type: none"> デジタルトランスフォーメーションを支えるインフラとしての役割が拡大 新たな宇宙活動のための制度環境整備の必要性 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星データの利用拡大に向けて、自治体等とも連携し、地域の課題解決につながるデータ利用ソリューションの集中的な開発・実証を推進。 米国との連携なども視野に入れながら、宇宙港の整備などによるアジアにおける宇宙ビジネスの中核拠点化を目指して、必要な制度環境を整備。 宇宙空間の資源探査・開発等について、新たな法律に基づき、必要な制度整備を推進。 2021年度中目途に、軌道サービスについての我が国としてのルール整備を目指す。 		
5. 産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化	<ul style="list-style-type: none"> 複数的小型衛星コンステレーションの構築に向けた取組が加速 光通信等の次世代の宇宙技術が、民生・安保の分野を開拓。必要不可欠に 	<ul style="list-style-type: none"> 我が国独自の小型衛星コンステレーションの構築に向けて、蓄積してきたアンカー衛星等により、官民連携の下、戦略的な取組を推進。 衛星開発・実証プラットフォームの下で、将来を見据えた基盤技術（AI・宇宙コンピューティング、光通信、量子情報通信、先進的なセンサ等）の開発を推進。 将来宇宙輸送システムについて、技術的な低コスト化等の実現に向けて、国際的な市場動向を踏まえつつ、官民共創で研究開発を推進。 		

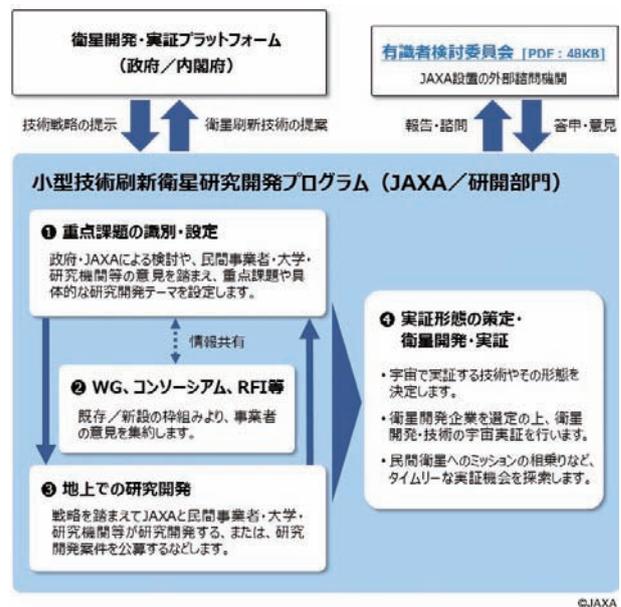
図9. 宇宙基本計画工程表改訂に向けた重点事項のポイント（筆者が赤字下線を加筆）

トが示されており、複数の領域で小型衛星や小型衛星コンステレーションに関連した内容が明示されている。諸外国での衛星コンステレーションの拡大に対し、我が国としてもその能力を最大限に生かすアプリケーション及び技術を獲得していくことの重要性が増していることを示していると考えられる。

② JAXA

JAXAでは小型衛星に関連した事業として主に2つのプログラムを実施している。1つは、民間企業・大学等による超小型の人工衛星を活用した新たな知見の獲得・蓄積、将来のミッション・プロジェクトの創出、宇宙システムの基幹的部品や新規要素技術の軌道上実証実験など、軌道上実証機会の提供を行う革新的衛星技術実証プログラム（革新プログラム）である*7。革新プログラムでは、公募により選定された部品・機器の実証テーマを搭載した100kg級の小型衛星、複数の超小型衛星・CubeSatを一度に打ち上げる。革新プログラムは2016年度より開始され、2019年に1号機を打ち上げ、2号機は2021年度中に打ち上げられる予定である。各号機にて新たに宇宙事業に参画する事業者や新たな技術に挑戦する大学などが選定されており、宇宙産業の裾野拡大への貢献が期待される。

もう1つのプログラムは、2021年度より開始した小型技術刷新衛星研究開発プログラムである。本プログラムでは、我が国の衛星事業の競争力強化を目標に、超小型・小型衛星を活用して挑戦的な技術や衛星開発方法の刷新などにつながる技術を迅速に研究開発・実証することを目的としている*8。前述の革新プログラムとの違いとして、革新プログラムは企業・大学に広く宇宙実証機会を提供することを目的にするのに対し、本プログラムでは国の技術戦略に基づき重点課題を識別し、技術の引き受け手である企業等と連携して研究開発・技術実証を実施することにある（図10）。



■ 図10. 小型技術刷新衛星研究開発プログラムの取組み概要

5. おわりに

本稿では、宇宙事業の中でも特に注目が高まっている小型衛星及び小型衛星によるコンステレーションについて、世界的な動向とそれを可能とする小型衛星の特徴や状況の変化及び日本における取組みについて紹介した。本稿で説明したとおり、小型衛星の持つ短い開発期間、低開発コストに加え、打ち上げ手段の低廉化や打ち上げ機会の増加、衛星運用のサービスとしての提供により、衛星事業への参入障壁は低くなりつつあり、今後、競争の激化が予想される。この厳しい競争環境の中で生き残るためには、現状の小型衛星の特徴を一新するような斬新な技術及びそれに支えられたイノベーティブなサービスを生み出せるかがポイントになると考えており、JAXAでは、企業や研究機関等、外部機関と連携して成果を生み出し、我が国の宇宙産業競争力向上に貢献していきたいと考えている。

*7 <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/innovative/innovative.html>

*8 <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/sasshin/sasshin.html>



宇宙光通信



国立研究開発法人
情報通信研究機構

つじ ひろゆき
辻 宏之



国立研究開発法人
情報通信研究機構

とよしま もりお
豊嶋 守生

1. はじめに

2021年（令和3年）は、民間人のみによる宇宙旅行が世界で初めて実現でき、世界が火星や月への探査に注目するなど、宇宙への関心が高まる年となった。一方、通信の分野でも2020年に始まった地上ネットワーク（Terrestrial Network：NT）の第5世代移動通信システム（5G）の次のシステム、いわゆるBeyond 5Gや第6世代移動通信システム（6G）に向けた検討が世界各国で開始されている。同じく2021年は、情報通信研究機構（NICT）で、第5期中長期計画が始まり、Society 5.0の早期実現に向けた次世代ICT基盤に必要な先端技術として、研究4領域（Beyond 5G、AI、量子情報通信、サイバーセキュリティ）について重点的に研究開発を進めている。ワイヤレスネットワークの研究開発では、陸・海・空・宇宙のあらゆる状況や環境の下で「繋がる」研究開発や、Beyond 5Gや6Gを見据えて、環境と調和した豊かなコミュニケーションを持続的に実現できる無線技術・システムの普及に取り組んでいるところである。特にBeyond 5Gでは、地上、空、海、宇宙を3次元にシームレスにつなぐネットワーク実現に向けて研究開発を開始した。一方、3GPPでは、非地上系ネットワーク（Non-Terrestrial Network：NTN）が定義され、NTNがBeyond 5Gネットワークのなかで重要な位置付けとなっている。そのなかで、光空間・宇宙光通信技術は干渉に強く、小型・軽量化に適した特徴を有し、電波（RF）では達成できない高速・大容量な通信手段として注目されており、NTNにおける通信へ革新的な飛躍をもたらす手段であると期待されている。ここでは、宇宙通信技術に関する研究開発の最新動向として、宇宙光通信を取り上げ、世界動向やNICTの研究開発も交えて紹介する。

2. 最近の宇宙通信の動向

RFの衛星通信では、これまでは主にC/Ku帯の周波数

が用いられてきたが、近年ではKa帯を使い、多数のマルチビームと中継機を装備することで従来の10倍以上の通信容量を実現したHTS（High Throughput Satellite）衛星の市場投入が、欧米勢を中心に進められている^[1]。代表的なHTSは数十～100ビームを有し、総スループットは数十～100Gbpsである。最近では、Very High Throughput Satellite（VHTS）と呼ばれる数千ビーム・1Tbpsクラスの衛星システムが計画されている^[2-4]。

従来のHTSでは、マルチビームの各ビームに対する通信容量の割当てが固定的であることから、運用期間中の通信要求の要求帯域や利用地域等の変化に対応できず、通信容量の不足や無駄が発生することが課題である。そこで次世代HTSには、通信資源を効率的に利用するための衛星中継器のフレキシブル化、デジタル化^[5]が鍵となる（チャネライザ、デジタルビームフォーマ（DBF）、ビームホッピング等）。また、従来のHTSはKa帯の利用が中心であるが、より高い周波帯のQ/V帯を含め、ITUへのファイリングが多数行われており、将来的な電波資源の枯渇を踏まえた大容量化が課題である。そこで次世代HTSには、柔軟性の向上・デジタル化、更なる大容量化、地上の5G/Beyond 5Gとの連携が求められるなか、電波に比べ本質的に飛躍的な大容量化が可能となる光通信を特に大容量化が必要なファイダリンクに利用する技術が鍵となる。光通信はデータ中継衛星への利用が進んでいるが^[6]、大気揺らぎのあるGEOのファイダリンクと地上局間の通信利用は研究開発段階である。

一方、小型の人工衛星の実用化が容易になったことにより、中・低軌道の多数の小型衛星を連携させて一体的に運用する衛星コンステレーション技術は、低遅延・高速大容量通信を実現できるため、民間の企業が通信ビジネスに参入する時代となった。さらに、航空機、船舶、衛星系を含めた移動体向けのNTNへの高速・大容量化では、高度約

20kmで定点に滞空する高高度プラットフォーム局（HAPS）の開発が進められている^[7]。

このようなNTNを実現するための通信技術として、宇宙光通信技術は、干渉に強く小型化や軽量化に適しているため、RFでは実現できない高速・大容量通信技術として光通信が注目されている。光通信を用いると、搬送波周波数が数百THzであり、帯域幅においてはほぼ制限がなく、干渉に強く法的規制を受けないため、非静止衛星通信網の衛星コンステレーションなどへの空間光通信技術の適用が期待されている。

3. 技術試験衛星9号機の開発と光通信システム

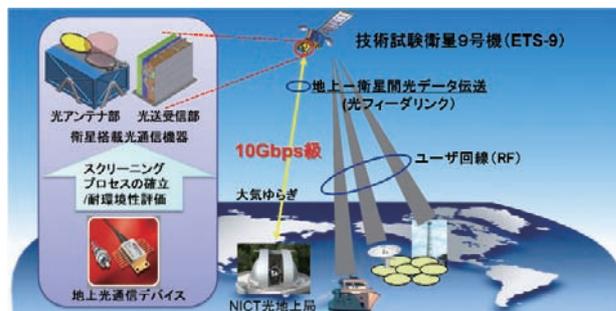
3.1 技術試験衛星9号機

2021年現在、次世代ハイスループット衛星通信システムの技術実証に向け2023年度打ち上げを目指して技術試験衛星9号機（ETS-9）の開発が進められている^[8]。本衛星では、Ka帯を利用した伝送速度100Mbpsでの大容量移動体通信と、ビーム可変、周波数帯域可変によるトラフィック変動に対応するフレキシブルな中継技術の実証、レーザ光による伝送速度10Gbpsでの光ファイダリンク回線の実証、5G/Beyond 5Gとの連携の実証を目指している。ETS-9の通信システムは衛星に搭載される4つの通信ミッションと地上セグメント（Ka帯、光の地上通信システム）で構成される。通信ミッションは、スケーラビリティを考慮したコア技術の実証に絞り、総務省が固定ビーム通信サブシステムとして広帯域チャネライザ・マルチビーム給電部技術^[9]及び可変ビーム通信サブシステムとして広帯域DBF技術^[3]を開発し、NICTが光ファイダリンク通信サブシステムとして光衛星通信技術^[10]及びビーコン送信等を目的とした共通部通信サ

ブシステム^[11]の開発を推進している。図1に通信ミッションの概要を示すとともに、以下に光通信ミッションについて説明する。

3.2 ETS-9の光通信ミッション

ETS-9の光通信ミッションでは、図2に示すように、周波数ひっ迫の課題を解決する手段としてレーザ光を使い、最大10Gbpsの世界最高レベルの通信容量を静止軌道—地上局間にて実証する光衛星通信技術を目指している。ETS-9に搭載する光通信システムをHICALI（High Speed Communication with Advanced Laser Instrument）と呼んでいる。HICALIでは、地上の光通信ネットワーク用に開発された高速のデバイスを宇宙空間で使うため、NICTの高度通信・放送研究開発委託研究を通じ、環境耐性や信頼性を確保するためのスクリーニングプロセスの確立を目指している。HICALIを用いた静止軌道—地上間の光通信実験では、軌道上における光通信デバイスの動作確認、伝送速度10Gbpsの高速光通信機能の確認、レーザ光の伝搬データの取得、気象条件に応じたサイトダイバーシティ実験、補償光学を含む光地上局における新技術の検証を計画している。



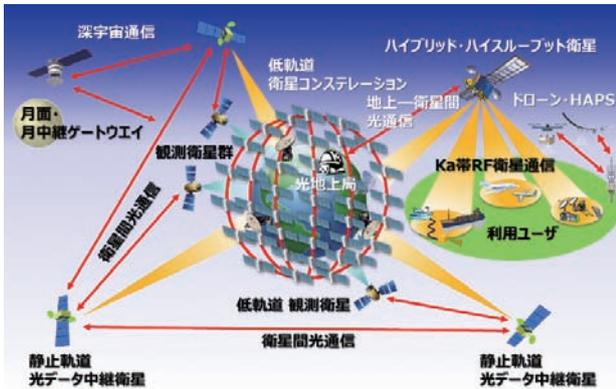
■図2. 10Gbps級ETS-9光通信ミッション

4. 光空間・宇宙光通信の非地上系ネットワークへの展開

近年、キューブサット級超小型衛星により、光通信の利用が軌道上で実証され、衛星通信分野で革新的な変化が起こっている。図3に、光空間及び宇宙光通信技術を用いた主なアプリケーション例を示す。Beyond5G/6G時代のNTNへの光通信技術の応用に向けて、様々な形態が考えられる。このとき、ドローンやHAPSを用いた地上での光空間通信、キューブサットなどの超小型衛星を用いた光通信、衛星コンステレーションのバックボーン通信網への応用、更には深宇宙へのバックボーンの構築が考えられる。



■図1. ETS-9通信ミッションの概要

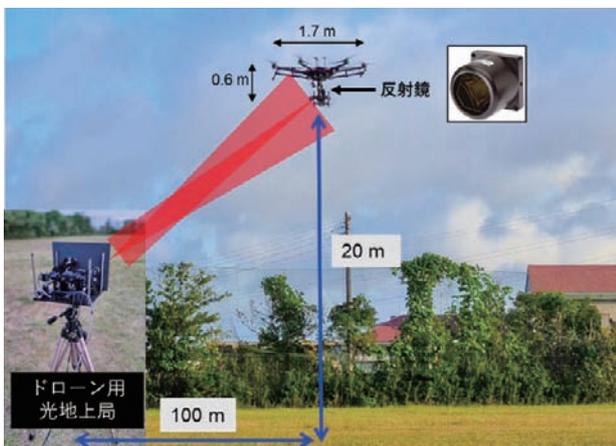


■ 図3. 光空間及び宇宙光通信技術を用いた主なアプリケーション例

4.1 NTNへの空間光通信技術の研究開発

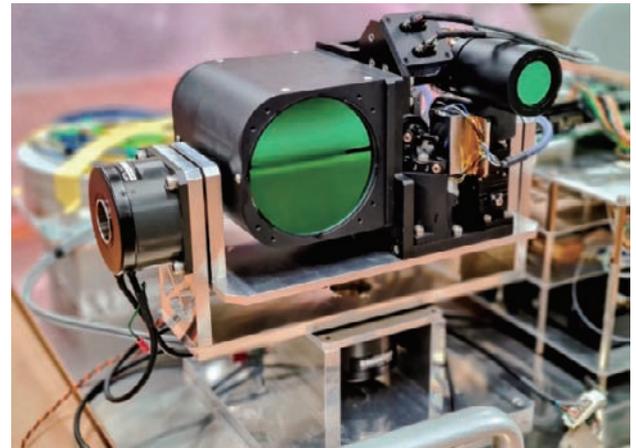
Beyond5G/6Gでは、NTNでの無線通信の速度と容量を向上させることが課題であり、HAPSや無人航空機に対して空間光通信技術を応用することが重要と考えられている。また、緊急時や臨時イベントの場合にドローンを使った光空間通信により一時的な高速通信回線を提供できる可能性がある。NICTは、ドローンなどの無人航空機に光宇宙通信技術を応用することを目的として、超小型光通信機器の研究開発を行っている。図4は、NICTが開発した小型無人機光学地上局を用いて、ドローンの捕捉追跡実験を行った様子を示している。

一方、ブレードを搭載したドローンは振動による姿勢の乱れが大きいので、光通信機器を連続的に追尾するためにはプラットフォームの振動環境を把握する必要がある。さらに、ドローンのホバリング時には、GPSの誤差や局所的な風向き/速度による外乱により姿勢がランダムに変化するため、これらの特性を考慮して機器を設計する必要がある。



■ 図4. ドローンを用いた空間光通信の捕捉追跡実験

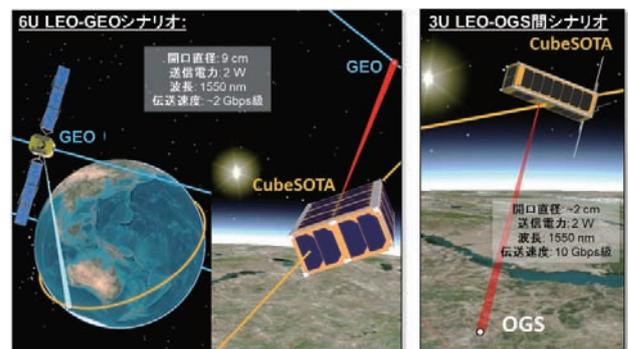
る。また、図5に、HAPS用光通信装置のプロトタイプの外観を示す。HAPSは、上空20kmの高度でのサービスとなるため、ドローンより広域なサービスエリアを提供でき、衛星よりも低遅延での通信サービスが可能であるという特徴がある。一方、HAPSへの搭載環境は、通信ペイロードの電力や重量が制限される上、成層圏環境下という動作環境も厳しく、通信機器の設計に配慮する必要がある。



■ 図5. HAPS搭載用の光通信機器のプロトタイプ外観

4.2 超小型衛星と光通信

超小型衛星の光通信技術の開発を目的に、NICTは、2015年6月に6kg級の小型光トランスポンダ (SOTA) を開発し、50kg級の超小型衛星に搭載された世界初のケースである光通信実験と衛星量子通信の基礎実験に成功した^[12]。現在では、図6に示すようなキューブサット搭載用光通信機器 (CubeSOTA) の研究開発を進めており、6U (1Uは10cm四方) の低軌道 (LEO) - 静止軌道 (GEO) 間で2Gbps級の光通信、3UのLEO-地上間で10Gbps級の光通信の宇宙実証を目指して研究開発を推進している。一方、ソニーコンピュータサイエンス研究所では、2019年9月に国



■ 図6. キューブサット用光通信機器の開発

際宇宙ステーション (ISS) に光通信機器を打ち上げ、NICTの光地上局 (OGS) を利用した光通信の実証実験を行い成功した^[13]。海外では、2018年米国Aerospace Corporationが、1.5UサイズのOptical Communications and Sensor Demonstration (OCSD) キューブサット (AeroCube-7B, 7C) を用いて、LEOと地上の間で、波長1.06 μm 帯強度変調法による100Mbpsの光通信実験に成功している^[14]。このクラスの衛星では世界初の成功となる宇宙実証のため、今後ますます普及が拡大すると考えられる。また、ドイツ航空宇宙センター (DLR) の光通信研究グループは、小型衛星用の光赤外高速通信回線システム (OSIRIS) 計画において、軌道上実証を進めており、1Uのキューブサットで100Mbpsの光通信実験の実証を計画している^[15]。その技術を利用し、2021年1月に3Uキューブサット (PIXL-1) の打ち上げに成功している。

4.3 衛星コンステレーション

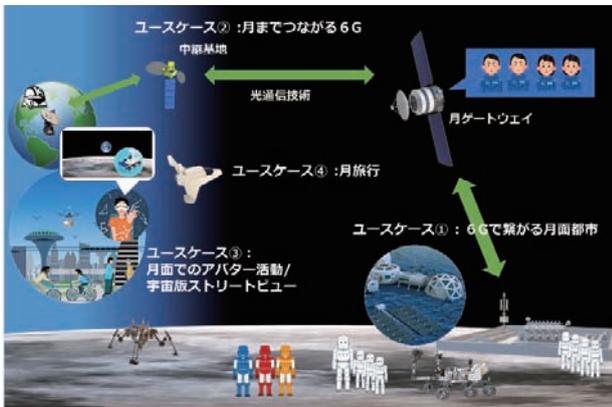
近年、複数の非静止小型衛星との通信サービスをグローバルに提供する衛星コンステレーションの概念が世界中から登場している。頭角を現しているのは、米国のSpace-Xのスターリンクプロジェクトであり、既に1,000機以上の衛星をLEOに打ち上げている。将来的には12,000機の衛星を軌道に乗せ、最大1Gbpsのグローバルインターネット接続を提供する予定である。米国アマゾンには、LEOで3,236衛星を打ち上げる計画 (Project Kuiper) を公表しており、地球上のどこでも高速、低遅延のブロードバンドインターネット接続サービスを提供する計画である。また、光通信の利用についても言及している。米国Laser Light Communications社は、12個の中高度軌道 (MEO) 衛星を使用した33Tbps以上の通信容量の光通信サービスを検討しており、2018年8月にEmpower Space Allianceを設立した。2019年5月にNASAから宇宙通信及びナビゲーション (SCaN) プログラムの宇宙中継パートナーシップの契約を締結した。また、小型衛星を利用した計画では、米国Analytical Space社がLEOへのナノ衛星の打ち上げ、衛星データ中継ネットワークの構築を目指しており、RF通信と光通信の両方を利用する予定である。中国のHuaweiは、Beyond 5Gの時代を見越して、10,000個のLEO衛星 (Massive VLEO) を使用するプロジェクトを発表した。複数の衛星で単位面積あたりの端末数を確保し、テラヘルツや光を利用した異種ネットワークを構築することで、数億人のユーザーの市場を目指す計画である^[16]。日本では、NICTがBeyond 5G研究

開発促進事業において、小型衛星コンステレーション向けの衛星搭載光通信技術の研究開発を推進しており、日本での研究開発が加速することが期待されている。

5. 深宇宙用光データ中継衛星と光通信技術の研究開発

光データ中継衛星については、欧州ではコペルニクスプロジェクトと呼ばれるLEO観測衛星を用いた地球環境測定の方針が推進されている。欧州宇宙機関 (ESA) は、GEOを介して光データを中継する欧州データ中継システム (EDRS) を運用し、1.8Gbpsの光通信回線を実用化している^[17]。日本では、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が2020年11月29日にGEOで光データ中継衛星システムを打ち上げ、沖縄のNICT光地上局を利用した衛星搭載光通信機器の健全性を確認済みであり、今後、観測衛星からの光データ中継を計画している^[18]。米国では、NASAの光データ中継衛星デモンストレーションシステム (LCRD) が2021年にGEOに打ち上げられる予定である^[19]。また、米国のSkyloom Global社は、軌道高度約32,000kmに配置されたMEO衛星を利用し、ユーザーのLEO衛星と光地上局を光通信で接続することで、衛星と地球の通信のボトルネックを解消することを目指している。また、リトアニアのSpace Unionや日本のワープスペースも同様のサービスを検討しており、民間企業による光データ中継サービスの新たな動きも見られる。

深宇宙への開発では、NASAが2025年にISSへの予算配分の終了を宣言する一方で、国際協力等による月への有人宇宙探査計画「アルテミス計画」が推進されている。この計画では、月近傍において、1Gbps級の光通信インフラを構築することが検討されており、高感度なパルス位置変調 (PPM) 方式を用いた光通信技術の利用が検討されている。NICTは、2021年4月1日、Beyond 5G/6G技術の進歩によって実現が見込まれる社会的イメージとユースケース及びそのために必要な要素技術や研究開発ロードマップなどをまとめたホワイトペーパーを作成及び公開した^[20]。そのなかで、図7のように月面都市を想定し、利用シーンから必要なユースケースを検討し、それに必要な要素技術を検討している。ここでは月面都市の開発は2035年ごろに始まり、多くのアバターが月面で作業を行い、月ゲートウェイと地球からリモートで人によって制御されていると考えられている。そのような時代には、地球と月をつなぐ高速・大規模な光通信技術が不可欠であり、将来に向けた通信技術の研究開発が必要と考える。



■ 図7. NICTホワイトペーパーにおける月面都市のシナリオ例

6. おわりに

本稿では、宇宙通信技術に関する研究開発の最新動向及び宇宙光通信を取り上げ、世界や日本の研究開発について紹介した。Beyond 5G/6G時代には地上とNTNが一体となるネットワーク開発が重要であると考えられ、特にNTN及び宇宙では、光通信の役割が重要となると予想される。これまで宇宙通信の開発は公的な機関が主なプレーヤーであったが、今後は民間での開発が期待される。

参考文献

- [1] High Throughput Satellites: On Course for New Horizons, Euroconsult, 2014.
- [2] "ViaSat-3 satellite constellation," <https://www.viasat.com/space-innovation/satellite-fleet/viasat-3/>
- [3] "KONNECT VHTS, Delivering high-speed broadband across Europe," <https://www.eutelsat.com/satellites/future-satellites.html>
- [4] "NEW TO O3b mPOWER," <https://o3bmpower.ses.com/newsroom/new-o3b-mpower>
- [5] "702X: The Flexibility to Meet Changing User Needs," <https://www.boeing.com/space/boeing-satellite-family/702X/index.page>
- [6] "光衛星間通信システム (LUCAS)," <https://www.satnavi.jaxa.jp/project/lucas/>
- [7] 長手, "成層圏プラットフォーム及びHAPS移動通信システムの研究開発," ITUジャーナル, Vol.51, No.10, pp.26-29, 2021年10月.
- [8] 三浦他, "技術試験衛星9号機通信ミッションの概要と固定ビーム系通信ミッションの状況," 第63回宇宙科学技術連合講演会, 1K05, 2019年11月.
- [9] 草野他, "技術試験衛星9号機Ka帯デジタルビームフォーミングの開発," 第63回宇宙科学技術連合講演会, 1K06, 2019年11月.
- [10] 宗正他, "技術試験衛星9号機光ファイバリンク通信サブシステムの開発," 第63回宇宙科学技術連合講演会, 1K07, 2019年11月.
- [11] 織笠他, "技術試験衛星9号機搭載共通部通信サブシステムの開発," 第63回宇宙科学技術連合講演会, 1K08, 2019年11月.
- [12] H. Takenaka, et al, "Satellite-to ground quantum-limited communication using a 50-kg class microsatellite", Nature Photonics, Vol. 11 (8), pp. 502-508, 2017.
- [13] K. Iwamoto, et al., "Small optical inter-satellite communication system for small and micro satellites", Proc. SPIE, 100960T, pp. 212-218, 2017.
- [14] T. S. Rose, et al., "Optical Communications Downlink from a J5U Cubesat: OCSO Program," ICSO 2018, Proc. of SPIE, 11180J, pp. 201-212, 2019.
- [15] C. Fuchs et al., "Update on DLR's OSIRIS program", ICSO 2018, Proc. of SPIE, 11180I, pp. 192-200, 2019.
- [16] W. Tong, "A Perspective of Wireless Innovations in the Next Decade", IEEE Globecom 2018, Keynote Session, Abu Dhabi, UAE, December, 2018.
- [17] H. Hauschildt, et al., "Global quasi-real-time-services back to Europe: EDRS Global", ICSO 2018, Proc. of SPIE, 11180X, pp. 353-357 (2019)
- [18] NICT プレスリリース "光データ中継衛星搭載の光通信機器チェックアウトにおける光地上局との捕捉・追尾成功について", 2021.
- [19] B. L. Edwards, et al., "An Overview of NASA's Latest Efforts in Optical Communications", IEEE ICSOS 2015, Proc. IEEE Xplore, pp.1-8, 2015.
- [20] NICT プレスリリース "Beyond 5G/6G及び量子ネットワークに関するホワイトペーパーの公表", 2021. <https://www2.nict.go.jp/idi/#whitepaper>

宇宙ゴミ問題と宇宙状況把握



特定非営利活動法人日本スペースガード協会 **二村 徳宏**

1. はじめに

人類史上はじめて宇宙空間に人工衛星が投入されたのは1957年の旧ソ連によるスプートニク1号である。そして現在、私たちは日常的に衛星のデータを利用して生活をしている。例えば、天気予報は気象衛星のデータを基にしている。旅行などに行く際、カーナビゲーションやスマートフォンの地図アプリを利用する機会も増えたが、このようなアプリで現在地などを確認することができるのは測地衛星があるためであり、BS・CS放送を見ることができるのは放送衛星があるからである。そのほか、産業分野、災害対策、安全保障を目的とした衛星、さらには科学を目的とした衛星もある。このように、スプートニク1号からわずかに約65年の間に宇宙開発は私たちの生活になくてはならないものになってきた。一方、このわずかな間に私たちは宇宙ゴミという新たな問題も抱えるようになった。

衛星は、運用が終了すると宇宙空間を漂うゴミになる。また、衛星を打ち上げるために使用したロケットの一部なども同様にゴミになる。このような宇宙に漂うゴミを「宇宙ゴミ」という。これらは、年々増加傾向にある。この宇宙ゴミ問題は、近い将来、人類に甚大な被害を及ぼすため、私たちは現時点で基礎的な研究を進め、対策を進める必要がある。実際に近年、宇宙ゴミの除去方法について議論・研究が活発に行われている(Ohkawa et al., 2012, Ebisuzaki et al., 2015など)。そして、どのような対策を遂行するためにも必須であるのが、望遠鏡による宇宙ゴミの状況を把握することである。本稿では、この宇宙ゴミ問題について概観し、加えて、日本唯一の宇宙ゴミ観測専用施設である美星スペースガードセンター(岡山県井原市)における衛星及び宇宙ゴミの観測・監視(宇宙状況把握)について記述する。

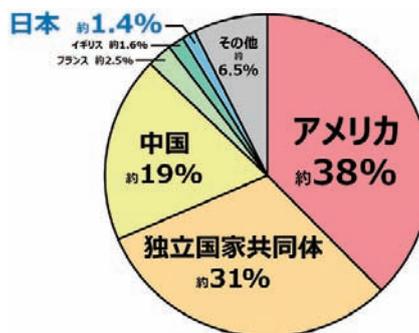
2. 宇宙ゴミ問題の現状

2021年10月中旬までに11,000機以上の衛星が打ち上げられ、約7,800機が現在軌道上にある。これは、宇宙空間の人工物の割合で約32%を占める。そのうち運用を終了したものは約38%であり、これは宇宙空間の人工物全体の約13%である(Celes Track)。そのほか、ロケットの一部(約10%)そして、破片(約57%)などがあり(図1)、現在確認

されている地球の周りにある10cm以上の人工物は2万個を超えている。ちなみに、この中で日本由来のものは全体の約1.4%で300個程度である(Space-Track.org)(図2)。



■ 図1. 宇宙の人工物の種類別個数割合 (Space-Track.org及びCeles Track (2021年10月))

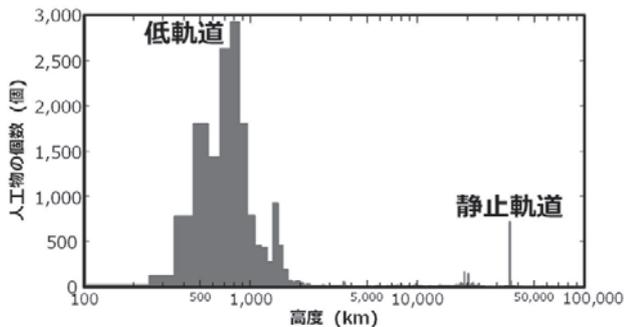


■ 図2. 国別の宇宙の人工物の個数割合 (Space-Track.org (2021年10月))

次にこれらが宇宙のどこに分布しているかを見るために図3に宇宙の人工物の高度分布を示す。約36,000kmあたりに人工物の集中している場所があり静止軌道という。ここに投入された衛星は、衛星の公転周期と地球の自転周期が等しいため、常に地球上の同じ地点の上空に位置し、その速度は約3km/sである。身近なものでは、気象衛星がこの静止軌道で運用されている。また、高度約2,000km以下に約800kmをピークにした分布がある。ここは低軌道と呼ばれ、地球観測衛星などに利用されている。この地点における人工物の速度は約7~8km/sであり、これらが衝突すると衝突速度は10km/sを超えることがある。つまり、宇宙空間には弾丸以上の速さの物体がランダムに飛び回っていることになる。運用中の衛星に衝突すれば、故障の原因に



もなる。実際に人工衛星、スペースシャトル、国際宇宙ステーションには、宇宙ゴミの衝突跡が見つかった。これは宇宙飛行士にとっても命を脅かす大変危険なものである。

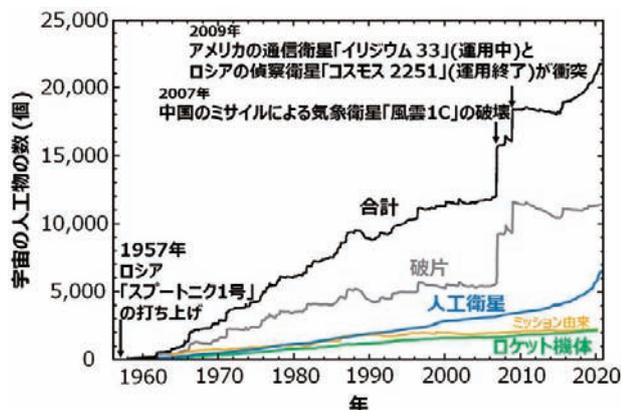


■ 図3. 宇宙の人工物の分布 (Space-Track.org (2021年10月))

3. 将来の宇宙ゴミ問題

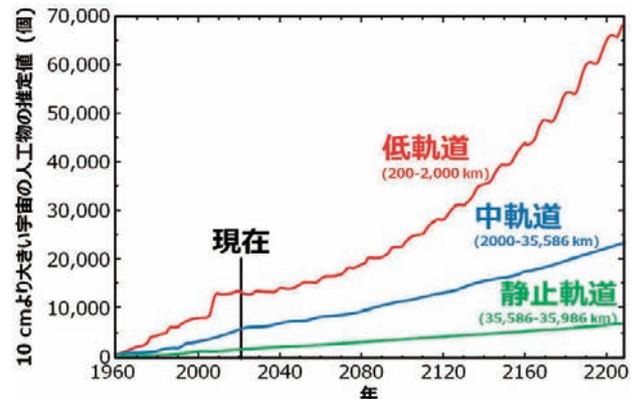
宇宙ゴミは、低軌道のものには地球大気の影響により自然落下し除去されるが、大局的に見て増加傾向にある (<https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/>) (図4)。私たちが毎年衛星を宇宙に投入するたびに増えていく。さらに、宇宙ゴミ同士の衝突も宇宙ゴミ増加の原因である。また、宇宙機同士の事故によって大量の宇宙ゴミが発生した事例もある。2009年に運用中の米国の通信衛星「イリジウム33」と運用を終了したロシアの偵察衛星「コスモス2251」が衝突した影響により、多くの宇宙ゴミが発生した。ほかには、意図的な破壊により宇宙ゴミが増加した事例もある。2007年に中国がミサイルで自国の気象衛星「風雲1C」を破壊したため、大量の宇宙ゴミが放出された。図4を見てもこれら2つの出来事により宇宙の人工物(破片)が数千個増加したことがわかる。

宇宙ゴミは対策を行わなければ、10cm以上のものでは100年後に現在の倍以上になるという推定もある (Liou,



■ 図4. 現在までの宇宙の人工物の増加 (<https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/>)

2011) (図5)。そして、10cm程度もしくはそれ以下の大きさの宇宙ゴミの数はそれらを超えて存在すると予想される。近年では、一度に多数の衛星群を打ち上げる機会 (メガコンステレーション計画) も増えてきており、さらに深刻な宇宙ゴミ問題に直面することになる。私たちは、早急に対策を講じなければいけない。



■ 図5. 将来の宇宙の人工物の増加 (Liou, 2011)

宇宙ゴミの対策として、新たなゴミの発生を防ぐことが基本でありもっとも大切なことである。そのために衛星やロケットは部品が飛び散らないように設計が行われている。また、衛星は特定の軌道で運用されることが多いため、運用停止後はその軌道から退避させる。大気圏に突入させ処理することが難しい静止軌道の衛星については、さらに高い軌道 (墓場軌道) へと移動させる。そして、意図的な破壊を行わないことは当然である。一方、既に漂う宇宙ゴミについて除去する研究も精力的に行われている。例えば、大型の宇宙ゴミをレーザーにより除去する研究 (Ohkawa et al., 2012など) やセンチメートル程度の宇宙ゴミをレーザーで除去する研究 (Ebisuzaki et al., 2015など) などがある。

4. 美星スペースガードセンターにおける宇宙状況把握

現在の宇宙ゴミの状況を知ることは、これによる被害を防ぐこと、さらに将来の宇宙ゴミ問題を解決する上で大変重要である。これは、軌道が決まれば、あらかじめ運用中の衛星を動かすなどの衝突回避処置を講ずることができたり、将来の除去についての研究計画を行うための基礎データにもなる。また、実際に除去を行う際の位置予測などにも有益である。美星スペースガードセンター (岡山県井原市美星町) (図6) は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の宇宙状況把握 (SSA: Space Situational Awareness) 関連

施設の一つで、宇宙ゴミの観測・監視を行っている光学観測施設である。私たち日本スペースガード協会は、JAXAと日本宇宙フォーラムからの業務委託により美星スペースガードセンターで宇宙ゴミの観測・解析を行っている。そのほか、SSA関連観測設備として、レーダー観測を行う上斎原スペースガードセンター（岡山県苫田郡鏡野町）などがある。



■ 図6. 美星スペースガードセンター



■ 図7. 美星スペースガードセンター 1.0m望遠鏡

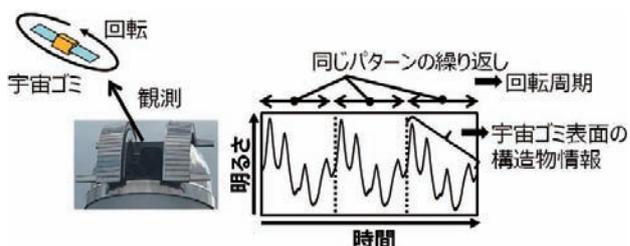
「晴れの国おかやま」というキャッチコピーがある岡山県は、瀬戸内海気候で晴天率の高い地域である。さらに、井原市美星町の夜空は街明かりの影響が少なく、この地域では全国に先駆けて光の害から夜空を守る「光害防止条例」が制定されている。このような晴天率の高さや夜の暗さは、光学観測に大変適している。また、この観測所は東アジア上空の観測・監視という意味でも重要な場所である。

施設内には国内唯一の宇宙ゴミ観測専用の望遠鏡がいくつかある。その中で1.0m望遠鏡は、新しく改修して今年度から運用が開始されている（図7）。理論的には静止軌道の1m以上の物体が観測可能である。また、1.0m望遠鏡は視野が広いので、広範囲の宇宙の監視に適し、物体の追

も速く、高速の宇宙ゴミの観測にも適している。観測を行うと、宇宙ゴミの位置がわかる（図8）。時間を変えて何回か観測を行い、さらに過去のデータと組み合わせることにより、正確にそれらの軌道を求めることができる。これにより、「今後、宇宙ゴミがどこを通るのか？」つまり、軌道を推定することができるので、このような情報は運用中の衛星への衝突回避に役立つ。さらに、観測からは太陽光の反射の明るさの変化を測定することができる（図9）。これも時間を変えて観測を行うことにより、宇宙ゴミの大きさ、回転周期及び構造物などの情報が得られ、将来の宇宙ゴミ除去へ役立つ。そのほか、太陽の反射光を波長帯ごとに観測して宇宙ゴミの情報を明らかにする試みも行っている。また、将来的には10cm以下の微小宇宙ゴミの検出を目指し準備を進めている。これはコンピュータの画像処理技術を利用して宇宙ゴミからのわずかな光をとらえるものであり、実現すれば、未来の宇宙利用において大きな貢献ができると考えている。



■ 図8. 1.0m望遠鏡で撮影した宇宙ゴミの例



■ 図9. 宇宙ゴミの状態解析

5. おわりに

私たちは人工衛星によって、より良い快適な生活を送っている。一方、宇宙環境には宇宙ゴミが増え問題になっている。今後は、この宇宙ゴミを増やさない努力とともに除去をすることも必要である。観測・監視による宇宙ゴミの状況把握は、現在の宇宙ゴミの被害を防ぐだけでなく、将来の宇宙ゴミ対策の必須項目であり、私たちは、これを通して安心・安全な宇宙利用に貢献できればと考えている。

「ICTサイバーセキュリティ総合対策2021」に基づく総務省の取組み



総務省 サイバーセキュリティ統括官室 参事官補佐 **ひろせ いちろう**
廣瀬 一郎

総務省サイバーセキュリティタスクフォース（座長：後藤厚宏情報セキュリティ大学院大学学長）では、今後、総務省が取り組むべきサイバーセキュリティ政策に関する提言として、2021年7月29日に、「ICTサイバーセキュリティ総合対策2021」（以下、総合対策2021）を取りまとめ、公表した。本稿では、総合対策2021に基づく総務省の取組みについて、ご紹介する。

1. 総務省サイバーセキュリティタスクフォースについて

総務省では、2017年1月、東京オリンピック・パラリンピック競技大会を控えて、サイバーセキュリティに係る課題を整理し、情報通信分野において講ずべき対策などを幅広い観点から検討し、必要な方策を推進することを目的として、有識者会議である「サイバーセキュリティタスクフォース」を設置した（事務局は、サイバーセキュリティ統括官室）。

これまで、サイバーセキュリティタスクフォースは、2017年9月に「IoTセキュリティ総合対策」を、2019年8月に「IoT・5Gセキュリティ総合対策」を、2020年7月に「IoT・5Gセキュリティ総合対策2020」を策定してきた。今回の総合対策2021は、これらに次いで、第4次の提言となる。

2. 背景及び状況変化

2020年初以来のコロナ禍においては、テレワークの普及などの社会のデジタル化が急速に進展する一方で、行政サービスにおける様々な課題が明らかになった。これらを背景に、社会全体のデジタル・トランスフォーメーション(DX)の推進が重要な政策課題と改めて認識され、「デジタル社会の実現に向けた改革の基本方針」（2020年12月25日閣議決定）においては、デジタル社会のビジョンとして「デジタルの活用により、一人ひとりのニーズに合ったサービスを選ぶことができ、多様な幸せが実現できる社会」を掲げ、このような社会の実現に向けて、「誰一人取り残さない、人に優しいデジタル化」を目指すこととした。2021年9月1日には、行政を含む社会全体のデジタル改革やDXを強力に進めるための司令塔としてデジタル庁が設置されている。

一方で、サイバーセキュリティ基本法（平成26年法律第104号）に基づき、我が国のサイバーセキュリティ施策の推進に当たっての基本的方針等を定める「サイバーセキュリティ戦略」についても、3年ぶりの改定の検討が進められた。その結果、2021年9月28日に閣議決定されたサイバーセキュリティ戦略においては、サイバー空間があらゆる主体が参画する公共空間へと進化する中で、「誰一人取り残さない」

タスクフォース構成員（敬称略）

(座長)	鶴飼 裕司	株式会社FFRIセキュリティ 代表取締役社長
	宇佐美 理	日本テレビ放送網株式会社ICT戦略本部 専任部長
	岡村 久道	英知法律事務所 弁護士、京都大学大学院医学研究科 講師
	後藤 厚宏	情報セキュリティ大学院大学 学長
(座長代理)	小山 寛	NTTコミュニケーションズ情報セキュリティ部 部長、 ICT-ISAC ステアリング・コミュニティ運営委員長
	篠田 佳奈	株式会社BLUE 代表取締役
	園田 道夫	国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）、 ナショナルサイバートレーニングセンター センター長
	辻 伸弘	SBテクノロジー株式会社 プリンシパルセキュリティリサーチャー
	戸川 望	早稲田大学理工学術院 教授
	徳田 英幸	国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）理事長、 慶應義塾大学 名誉教授
	中尾 康二	ICT-ISAC 顧問、 国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT） 主管研究員
	名和 利男	サイバーディフェンス研究所 専務理事/上級分析官
	林 紘一郎	情報セキュリティ大学院大学前学長・名誉教授
	藤本 正代	情報セキュリティ大学院大学 教授、GLOCOM客員研究員
	吉岡 克成	横浜国立大学大学院環境情報研究院/先端科学高等研究院 准教授
	若江 雅子	株式会社読売新聞東京本社 編集委員

■ 図1. サイバーセキュリティタスクフォースの構成員

サイバーセキュリティの確保（“Cybersecurity for All”）に向けた取組みを進める必要があるとの考え方の下、「DXとサイバーセキュリティの同時推進」「公共空間化と相互連携・連鎖が進展するサイバー空間全体を俯瞰した安全・安心の確保」「安全保障の観点からの取組強化」を通じて「自由、公正かつ安全なサイバー空間」を確保するとの方向性が示された。

総務省が所管するIoTや5Gを含むICT（情報通信技術）に係るインフラやサービスは、デジタル社会や「自由、公正かつ安全なサイバー空間」の基盤となるものであり、国民一人ひとりがICTを安心して活用できるよう、ICTサイバーセキュリティを確保することが、いわば不可欠の前提としてますます重要になっている。

これらの状況変化や2020年の提言の公表後のサイバーセキュリティタスクフォースにおける議論を踏まえて、「IoT・5Gセキュリティ総合対策2020」を改定し、新たな施策を盛り込む形で総合対策2021を策定した。

以下では、重点的に推進すべき施策として、

- ①電気通信事業者における安全かつ信頼性の高いネットワークの確保のためのセキュリティ対策の推進
- ②COVID-19への対応を受けたセキュリティ対策の推進
- ③デジタル改革・DX推進の基盤となるサービス等のセキュリティ対策の推進

- ④サイバーセキュリティ情報に関する産学官での連携・共有等の促進
- ⑤横断的施策

の5つに分類して、総合対策2021に基づく総務省の施策を解説する。

3. 電気通信事業者における安全かつ信頼性の高いネットワークの確保のためのセキュリティ対策の推進

社会全体のデジタル改革やDXの進展とともに、国民の生活や経済活動に必要な多くのやり取りが、電気通信事業者のネットワークやサービスを通じて行われることとなる。そのため、デジタル社会の実現に向けて、国民一人ひとりがICTを安心して活用していくためには、今後本格的な展開が見込まれる5Gのセキュリティ対策の強化も含め、電気通信事業者のネットワークにおけるリスクの高まりに応じた適切なセキュリティ対策を講じ、電気通信事業者における安全かつ信頼性の高いネットワークを確保していくことが重要である。

(1) 電気通信事業者のガバナンス確保の在り方についての検討

電気通信事業者のネットワークへのサイバー攻撃、委託



■図2. 「ICTサイバーセキュリティ総合対策2021」の概要（2021年7月公表）～I改定に当たったの主要な政策課題～



先や内部からの情報漏えいといったリスクに対して適切かつ積極的な対策を講じることにより、ネットワークやサービスの安全・信頼性を確保し、ユーザが安心してICTを利用できる環境を確保することが必要であることから、2021年5月、総務省において、「電気通信事業ガバナンス検討会」を設けた。検討会においては、電気通信事業におけるサイバーセキュリティ対策とデータの取扱い等に係るガバナンス確保の在り方、具体的には、電気通信事業に係る情報の漏えい・不適正な取扱い等、通信サービス停止といったリスクへの対策としての事業者における利用者情報の適正管理の在り方等について検討を行っている^{*1}。

(2) 電気通信事業者による積極的なサイバーセキュリティ対策

IoTのセキュリティ対策としては、これまで端末側の対策として、電気通信事業法(昭和59年法律第86号)における端末設備等規則(昭和60年郵政省令第31号)へのセキュリティ要件の導入や、パスワード設定に不備のあるIoT機器やマルウェアに感染している機器の利用者への注意喚起(NOTICE)といった取組みを実施してきた。こうした対策をより実効的なものにするためには、トラフィックが通過するネットワーク側において、より機動的な対処を行う環境整備が必要と考えられる。

このため、インターネット上でインターネットサービスプロバイダ(ISP)が管理するネットワークにおいて、高度かつ機動的な対処を実現するための方策として、ISPが自らトラフィックの流れ(フロー情報)を把握・分析して攻撃元のC&Cサーバ(マルウェアに感染した端末に対して指令を与えるサーバ)を検知し、検知したC&Cサーバに関する情報を電気通信事業者間で共有し、サイバー攻撃の予兆を捉えて早期に対処することについて、通信の秘密との関係について整理を行っている^{*2}。また、C&Cサーバ検知・共有に当たっての技術面・運用面の課題を把握・整理するための実証事業を行うことを検討している。

このほか、5Gセキュリティに関して、制度面におけるサ

プライチェーンリスク対策、不正な機能や脆弱性の技術検証などの既存の施策を着実に遂行し、我が国の基幹的重要インフラである5G通信ネットワークの安全性と信頼性を確かなものとするとしている。

4. COVID-19への対応を受けたセキュリティ対策の推進

総務省においては、2020年7月の「IoT・5Gセキュリティ総合対策2020」策定・公表以降、COVID-19への対応を受けたテレワークシステム等のICT利用の促進のためのセキュリティ対策を進めてきた。一方で、COVID-19の感染拡大が続く中、特に中小企業等におけるテレワークの普及・定着にはいまだ課題もあるところであり、その対策の強化は急務である。また、ICTを安全・安心に利用するためのサイバーセキュリティの重要性は、COVID-19後のいわゆるニューノーマルの社会においても同様であり、中期的な視点も視野も入れつつ、引き続きCOVID-19への対応を受けたセキュリティ対策に取り組むことが重要である。

(1) テレワークのセキュリティ確保

テレワークにおいては、インターネット経由でオフィスのネットワークへアクセスしたり、私用端末を利用したりすることも想定されることから、これらに対応したセキュリティ対策を実施する必要がある。実際に、テレワーク導入企業に対するアンケートでもセキュリティの確保が最大の課題とされている。

こうした状況を踏まえ、総務省では、「テレワークセキュリティガイドライン」や、セキュリティの専任担当がない場合や、担当が専門的な仕組みを理解していない場合でも、最低限のセキュリティが確実に確保されることに焦点を絞った「中小企業等担当者向けテレワークセキュリティの手引き(チェックリスト)」等を策定し、2021年5月に最新のセキュリティ動向等を踏まえた改定を実施した。これらガイドライン類について、関係省庁や関連団体・企業等とも連携するとともに、オンラインコンテンツ(動画等)の活用も検討しつつ、

*1 2021年11月20日現在、11回にわたって検討会を開催している。資料などは総務省ホームページ参照。https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/sd_governance/index.html

*2 具体的には、2021年10月1日の「電気通信事業におけるサイバー攻撃への適正な対処の在り方に関する研究会」において、第4次取りまとめ案を決定し、ISPにおけるフロー情報分析によるC&Cサーバの検知について正当業務行為と、検知結果の共有について通信の秘密の保護規定に抵触しないと整理した。取りまとめについては、意見募集を経て、2021年11月24日に公表した。資料などは総務省ホームページ参照。https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban18_01000130.html



テレワーク実施企業やテレワーク勤務者に広く周知していく。

(2) トラストサービスの推進

トラストサービスについては、タイムスタンプに関して、2021年4月に、時刻認証業務の認定に関する規程（令和3年総務省告示第146号）に基づき、国による認定制度を整備した。また、eシールに関しても、今後、我が国のeシールにおける信頼の置けるサービス・事業者求められる技術上・運用上の基準等について整理したeシールに係る指針を作成し、2021年6月に公表した。今後は、これまでに整備した国による認定制度を適切かつ確実に運用するとともに、政府におけるデータ戦略、とりわけトラストサービスの基盤となる枠組みの創設に向けた検討の動向を踏まえ、eデリバリー（電子的な配達証明付き内容証明郵便に相当）等、トラストサービスの更なる利用の拡大に向けた検討を行う。

5. デジタル改革・DX推進の基盤となるサービス等のセキュリティ対策の推進

社会全体のデジタル改革やDXは、IoTやクラウドサービス等のサービスの利用や、それらのサービスを組み合わせたユースケースであるスマートシティの構築・運営を通じて進展すると考えられる。今後、デジタル社会の実現に向けた改革を進め、ICTの活用を促進していくためには、このようなデジタル改革・DX推進の基盤となるサービス等における課題に応じた適切なセキュリティ対策を講じ、これらのサービス等を国民一人ひとりが安心して利用できる安全な環境を整備していくことが重要である。

(1) IoTのセキュリティ対策

IoTのセキュリティ対策については、NOTICEやNICTER注意喚起等の既存の取組みを引き続き継続するとともに、NOTICEについては、増減要因の詳細分析や調査対象ポートの拡大等の調査の詳細化・高度化を行うとともに、IoT機器製造事業者との連携や、IoT機器利用者への一般的な周知広報等を通じたIoT機器のセキュアな設定についての周知啓発を進める。

(2) クラウドサービスのセキュリティ対策

クラウドサービスにおいては、一般的に「責任共有モデル」が採用されており、クラウドサービス事業者と利用者・調達者の共通の認識の下、それぞれの管理権限に応じた責任分担を行うものであることを踏まえ、クラウドサービス利

用時の設定ミスを防止・軽減し、安全に安心してクラウドサービスを利用できる環境を整えるため、発生している設定ミスやそれに起因する事故、クラウドサービス事業者における取組状況等を把握しつつ、クラウドサービス事業者における取組みを促す方策を検討していく。

(3) スマートシティのセキュリティ対策

スマートシティのセキュリティ確保のため、総務省において、2021年6月、「スマートシティセキュリティガイドライン（第2.0版）」を公表した。このガイドラインを政府が実施するスマートシティ関連事業における要件として活用するなど、その普及を図り、また、国際標準化も視野に、国際的に発信していく。

6. サイバーセキュリティ情報に関する産学官での連携・共有等の促進

デジタル改革・DX推進の前提としてサイバーセキュリティを確保するためには、サイバー攻撃等に関する情報の収集・分析等を行い、有効な技術や知見を生み出すとともに、それらに関係者間で共有し、社会全体でのセキュリティ対策の底上げを図ることが有用である。そのため、産学官連携してのサイバー攻撃等に関する情報の収集・分析等や適切な共有・公表等を進めることが重要である。

(1) 統合知的・人材育成基盤の構築

情報通信技術を専門とする我が国唯一の国立研究開発法人であるNICT（情報通信研究機構）では、NICTが有する技術・ノウハウや情報を中核として、我が国のサイバーセキュリティ情報の収集・分析とサイバーセキュリティ人材の育成における産学の結節点となる「サイバーセキュリティ統合知的・人材育成基盤」（CYNEX）を構築中である。得られた情報の効果的な共有と適切な管理、育成人材の質の担保やスキルアップの階層化等にも留意しつつ、早期の本格稼働に向けてシステム基盤構築・運営環境整備を引き続き進める。

(2) 攻撃被害時の情報共有の推進

サイバー攻撃の被害を受けた場合に、被害組織においては、共有した情報を端緒に被害を受けたのが自組織であることが特定されて二次被害が発生する懸念があることや、いかなる情報をどのようなタイミングで外部専門機関等に共有すればよいかの判断が判然としないことなどで、外部専門機関等への情報共有が適切に進んでいない。このため、



今後、いかなる情報をどのようなタイミングで外部専門機関等に提供すれば、自組織に不都合が発生する状況避けつつ社会的に求められる情報共有ができるのかをまとめた、ガイダンスを作成・発信していく。

7. 横断的な施策

(1) 国際連携

サイバー空間は国境を越えて利用される領域であり、サイバーセキュリティの確保のためには国際連携の推進が必要不可欠である。そのため、米国をはじめとするG7各国を中心に、二国間及び多国間の枠組みの中で情報共有や国際的なルール作りを多様なルートで進めつつ、情報通信サービス・ネットワーク分野の具体的な施策、研究開発、人材育成・普及啓発、情報共有・情報開示の取り組みを進めていく必要がある。例えば、日ASEANサイバーセキュリティ能力構築センター(AJCCBC)における実践的サイバー防御演習「CYDER」等の実施を通じたASEANのセキュリティ人材の育成支援、国内の産業分野ごとに設立されるサイバーセキュリティに関する脅威情報等を共有・分析する組織であるISAC (Information Sharing and Analysis Center) における国際的なISAC間等の連携促進、ISO/IEC及びITU-TにおけるIoTセキュリティに係る国際標準化の議論への積極的な貢献などを行う。

(2) 研究開発

サイバー攻撃の対象の拡大、攻撃手法・能力の巧妙化・大規模化に対応するには、政府が支援する産学官連携による研究開発の成果を即座に反映した最新のサイバーセキュリティ対策を実施していくことが有効である。このため、NICTや民間企業等と連携しつつ、研究開発の成果が民間企業等への技術移転によって広く普及し、社会実装が進むことを視野に入れながら、サイバーセキュリティ対策に係る研究開発を効果的に推進する必要があることから、NICTにおけるサイバーセキュリティ分野の基礎的・基盤的な研究開発、IoT機器のセキュリティ対策技術の研究開発等を引き続き推進する。

(3) 人材育成

NICTの「ナショナルサイバートレーニングセンター」を通じた、実務者層・技術者層及び若年層を対象とした人材

育成施策について、まず、国の機関等、地方公共団体及び重要インフラ事業者等の情報システム担当者等を対象とした体験型の実践的サイバー防御演習(CYDER)を引き続き実施するとともに、未受講の地方公共団体の受講の促進や、オンライン演習の実施についても積極的に進めていく。また、25歳以下の若手ICT人材を対象として、新たなセキュリティ対処技術を生み出し得る最先端のセキュリティ人材(セキュリティイノベーター)を育成する「SecHack365」についても、我が国における高度セキュリティ人材の育成のため、引き続き、取組みを進める。

(4) 地域におけるコミュニティ形成

地域においては、首都圏と比較してサイバーセキュリティに関する情報格差が存在するほか、経営リソースの不足等の理由により、単独で十分なセキュリティ対策を取ることが難しかったり、セキュリティ対策の必要性を認識するに至らなかったりするケースが存在する。このため、各種民間企業、行政機関、教育機関、関係団体等が、顔の見える関係の中で、イベント等の継続開催による地域のセキュリティ意識向上・人材育成や、国や専門家を招へいた情報提供が持続的・自発的に実施されるコミュニティ(地域SECURITY)の形成を推進する。

8. 今後の課題

サイバーセキュリティタスクフォースは、前述のとおり、2017年に、東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向けたサイバー攻撃の増加を見据えて初めて開催された。おりしも、2021年の総合対策2021は大会期間中に策定され、9月に大会が終了したが、幸いにも、大会の運営に支障を生じるようなサイバー攻撃は確認されていない^{*3}。とはいえ、国内企業へのサイバー攻撃による情報漏えい事案は相次いでおり、総務省が所管する通信・放送を含む重要インフラへのサイバー攻撃により国民生活に大きな影響が及ぶ事態も懸念される。今後も、サイバー攻撃の複雑化・巧妙化は続くことが想定されることから、引き続き、気を緩めることなく対策を継続することが求められる。

総務省としては、本稿において紹介したように、総合対策2021に基づく取組みを、関係省庁、事業者等とも連携しつつ、引き続き積極的に推進していきたいと考えている。

*3 第31回サイバーセキュリティ戦略本部(2021年9月27日)資料7参照。https://www.nisc.go.jp/conference/cs/index.html



Beyond 5G/6G時代のライフスタイルとその実現技術について



KDDI総合研究所 先端技術研究所長 兼 KDDI技術戦略本部副本部長

にし さとし
小西 聡

1. はじめに

日本では、5Gが商用化された2020年3月とほぼ同じ時期にCOVID-19の感染者が増え始め、瞬く間に人々の生活や経済活動、社会の在り方が一変した。我々の生活に焦点を当てると、インターネットを用いたオンライン会議やフードデリバリー、医療の遠隔診断などが一気に普及した。

COVID-19の感染拡大前からデジタルトランスフォーメーション（以下、DXと略記）の必要性が人々に認知されていたが、New Normalとも呼ばれるWithコロナやPostコロナの時代では、人々の生活や経済活動を支えるためにDXの加速が急務となっている。また、近年では、温室効果ガスを削減し、「脱炭素社会・カーボンニュートラル」の早期実現を目指す必要がある。つまり、5Gの次のシステムとして期待されるBeyond 5Gや6G（以下、B5G/6Gと略記）が実現する2030年ごろに向けて、「人々の生活を豊かにし、経済を活性化しながら、環境を守る社会システムの実現」というバランスの取れた新たな社会基盤を実現する必要がある。そのために、情報通信技術に対する期待はますます大きくなる。

本稿では、まず内閣府が掲げるSociety 5.0^[1]を早期に実現するための筆者らの構想を紹介する。筆者らが検討中の2030年ごろのライフスタイルとユースケースについて触れた後に、例としてあるユースケースを概説しつつ、このユースケースの実現に必要な技術についても紹介する。

2. Society 5.0の早期実現に向けた社会構想「KDDI Accelerate 5.0」

情報通信技術によって得られるデータは、我々が存在するフィジカル空間において、様々なデバイスを通じて安全性が担保された状態で取得され、有線や無線のネットワークを介して、データを処理するサイバー空間に送られる。このサイバー空間に集まった様々なデータを用いて、サイバー空間でフィジカル空間に有用な情報やデータを作成し、ネットワークを介してフィジカル空間にいる我々やモノに対して伝えられる。そして、フィジカル空間で受け取った情報やデータを基に、生活や経済活動、社会活動が進められ、その中で新たに収集されるデータをサイバー空間に送る、とい

う循環が行われる中で、新たなビジネスの創出や、組織と社会基盤の変革が行われる。

これはまさしく我が国が掲げるSociety 5.0であり、Society 5.0を早期に実現することがDXの推進につながると考える。このことを踏まえ、KDDIとKDDI総合研究所（以下、総称として「KDDI」と表記）は、2020年8月に「次世代の社会構想」として、「KDDI Accelerate 5.0」を発表し、Society 5.0の世界を早期に実現する必要性を述べている^[2]。

KDDI Accelerate 5.0において、KDDIは、国内外問わず大企業からスタートアップまで幅広いパートナーとともに、新たな社会基盤となるネットワークのみならず、データを処理するプラットフォーム、そして、新たな価値を提供するためのビジネスという3つのレイヤの環境整備を進めることを宣言している。

KDDIでは、前述した3つのレイヤの活動を支えるため、図1に示すような「7つのテクノロジー」の研究開発を推進する。また、オーケストレーションと題し、研究開発やビジネスの連動性を高めていくことに注力する。結果として、フィジカル空間とサイバー空間の間で、生活者・経済・社会から得られるデータの循環を活性化し、生活者一人ひとりが快適で生活できる持続可能な社会の実現に貢献する。

5Gの普及によりフィジカル空間とサイバー空間の融合は進み、フィジカル空間のデータはネットワークやIoTによってサイバー空間に集められ、プラットフォーム上で様々な分析やシミュレーションが行われるようになる。そして、AIやXR、ロボティクスによって、フィジカル空間へフィードバックする技術の研究開発を強化し、両空間の融合を加速する。

筆者らは、フィジカル空間からサイバー空間に送られる「データ収集（図1における左側の矢印）」については、5Gまでのネットワークの進化やセンサーデバイスの発展と普及により、実現しつつあると考えている。一方で、サイバー空間からフィジカル空間に送られる「フィードバック（図1における右側の矢印）」については、まだ十分に実現できていないのではないかと考えている。右側の矢印で示すフィジカル空間へのフィードバックが十分に行われ、フィジカル空間に存在する人々がフィードバックの内容の有効性を実感すれば、左側の矢印で示されるデータ収集の量が多くな



■図1. Society 5.0の実現に寄与する「7つのテクノロジー」

り、データ収集の頻度も上がり、結果的に正のスパイラルが出来上がる。この正のスパイラルができないと、Society 5.0を真に実現することは困難だと考えている。図1において、左側の矢印に比べて、右側の矢印を太く明るく描画しているのは、右側の矢印の重要性を表すためである。

図中の右側の矢印においてフィジカル空間に存在する人々に直接的な影響をもたらす技術が「6. XR」や「7. Robotics」であるが、これらの技術に対してどのような情報やデータを送るべきかを判断するのが「5. AI」であり、判断するためにデータを安全に管理し、運用する機能として、「4. Platform」が必要である。

センサから様々なデータをサイバー空間に上げるためには、「3. IoT」の技術が必要である。サイバー空間のみならず、フィジカル空間に存在する様々なデータを安全に管理するために、「2. Security」の技術が必要である。そして、大量のデータを低遅延かつ信頼性も担保された状態で送受信させるためには「1. Network」が必要不可欠であり、ネットワーク技術には無線通信技術のみならず光通信技術やコアネットワークを支える技術などの様々な技術が存在する。

3. 2030年のライフスタイルとユースケース

世界中で5Gのキラーアプリケーションを模索中である現状において、2030年のライフスタイルやユースケースを明確に答えることは容易ではない。

そこで、筆者らがまとめたB5G/6G向けのホワイトペーパー^[3]に示すように、まず、人間の欲求の分類から始めており、欲求を物質的な欲求と精神的な欲求に分けている。そして、物質的な欲求として、「食」「購買」「健康」「住み方・

暮らし方」を、また、精神的な欲求として、「働き方の変化」「学びの変化」「趣味・遊びの変化」「休養の変化」「交流の変化」に分類し、合計9つからなるライフスタイルについて検討を進めている。

紙面の制約上、すべてのライフスタイルを紹介することはできないが、一例として「働き方の変化」を紹介したい。B5G/6Gが普及する時代では、住む場所を固定せず、好きな場所で好きな環境に囲まれながら仕事ができることを人々が望むようになるのではないかと筆者らは考えている。

このようなライフスタイルをかなえるためには様々な技術が必要になる。例えば、五感体験を直接脳波で伝送し、離れた空間にいても認識齟齬が発生しない世界を作る必要がある。図2で示すようなホログラムを用いて、フィジカル空間の様子を臨場感のある形で相手に伝送するとともに、頭の中で想像した内容を脳波でそのまま相手に伝達できる脳波通信を用いることであれば、遠隔地の同僚との遠隔打合せでもリアルな環境と同様に、高い成果を出せるようになるだろう。



■図2. ホログラム伝送による遠隔打合せ



4. 2030年のライフスタイルの実現に必要なB5G/6Gを支える技術

3章では一例として「働き方の変化」のみに焦点を当てたが、日常の生活を営むためには複数のライフスタイルの変化に遭遇することになる。そして、様々な新たなライフスタイルの実現するためには、様々な技術が必要となる。

本章では、想定するユースケースとして、「家族の誕生日パーティを開催すること」を例に挙げる。まず、パーティの参加者ごとの健康状態に合わせて適切なメニューが選ばれることを考える。このためには、ウェアラブルデバイスや健康管理のためのセンサを通じて個人の健康状態を把握する。また、必要な飲料品や食料品の不足分は図3 (a) に示すようなセンサによって検知され、自動購入することができるようになっている。なお、自動購入に当たっては、家族の健康状態を個別に把握した上で、図3 (b) のようなバーチャルヒューマンがカウンセリングを行いながら、健康と嗜好を味した飲食料品を選ぶことができる。さらに、誕生日パーティ

のような非日常的なイベントが開催される場合も、図3 (c) のように、センサを通じて事前にかつ自動的にドローンを含めた様々な配達ロボットによって必要な飲食物が届けられる。このほか、事前に注文した料理やパースデーケーキなども配達ロボットによって運ばれる。なお、誕生日パーティのリアルな場に参加できない人にも希望に応じてパーティ会場と同様の食材がロボットを通じて届けられる。また、図3 (d) に示すような点群データによる3D画像に加え、触覚情報が伝達されることによって、リモート参加者がリアルな場にいる感覚を得ることができる。

このようなユースケースを実現するためには、ユーザが五感を通じて感じることができる技術に加えて、少なくとも、以下に示す技術が必要になる。

まず、センサによる情報収集を行うためには、様々な場所にセンサを配置しておく必要がある。蓄電池で動作するセンサ用のデバイスは常に正確な位置情報を得ながらサイバー空間へ情報を送る必要がある。このようなメンテナンス



(a) センサによる飲食物の自動購入



(c) ドローン型ロボットによる自動配達



(b) バーチャルヒューマンによるカウンセリング



(d) 点群データによる3D動画：誕生日パーティ

■ 図3. 2030年でのユースケース例



フリーなセンサ用デバイスを実現するために、センサデバイスが自ら必要な電力を作り出すエネルギーハーベスト技術や位置情報を取得するためのVirtual Positioning System^[4]が必要となる。

いうまでもなく、センサで送られる情報のセキュリティの確保には万全を期す必要がある。2030年ごろには量子コンピュータが普及していることを想定し、量子コンピュータでも情報が解読されないような次世代の暗号方式を用いる必要がある^[5]。また、用途に応じて必要なデータだけをサイバー空間に送るような仕組みが必要である^[6]。

現在も、配達ロボットを用いたデリバリーサービスの実験や検証が行われているが、今後は様々な種類のロボットが使用されるようになる。様々なロボットを管理し制御するためには、Platform上にRobotics as a Service (RaaS) と呼ばれる新たな機能が必要となるだろう^[7]。

様々なデータを用いながら、フィジカル空間での次のアクションを決定するのがAIである。フィジカル空間では、身の回りの環境が時々刻々変化する。したがって、同じような環境が生じづらいフィジカル空間では、既知の情報として大量に存在するデータを用いて学習する既存のAIを用いることはできない。よって、従来のAIとは異なった、フィジカル空間特有の課題を解決する「フィジカル空間指向AI」が必要となる^[8]。上述の誕生日パーティの例に当てはめると、誕生日という限られたイベントにおいて、年々、誕生日を祝ってもらう本人や祝福するメンバを取り巻く外部環境が変化しているため、限られたデータを基に対象とする事象を予測する必要がある。また、フィジカル空間指向AIによって得られた結果を基に、フィジカル空間にいるユーザに対して、食習慣や運動習慣、移動手段といった様々な変化を促す働き掛けを行うためには、対象のユーザの個性や趣味嗜好に合わせた情報を送る必要がある。このような働き掛けを実現する技術が「説得AI」である。併せて、ユーザが自ら健康促進のための食事管理や運動のような行動をするか否かは、ユーザがAIを信頼できるか否かに依存する。そこで、このような予測や結論をAIが導いた理由を提示するなどの技術である「信頼できるAI」も必要になるだろう。

これらの新たなAIによって、図1に示す右側の矢印を通じて、サイバー空間からフィジカル空間のユーザに対してどのような情報を伝えればよいかが決まる。ここで、伝えるべき情報を、画像や映像による視覚を含む五感の情報として表現する技術がXRである。まず、画像に関しては、図2や図3 (d) に示すような3Dによる画像伝送が普及するだろう。

3D画像を実現する手段の一つとして、点群データという点の集まりによって3D画像を表現する技術が存在するが、2Dに比べて多くの通信容量が必要となる。そこで、3D画像の品質を落とさずに、点群データを圧縮する技術が求められる^[9]。このほかにも遠隔地にいながらあたかも同じ空間を共有しているかのように感じるためには、触覚や嗅覚を伝達するマルチモーダル連携も必要となる^[10]。

遠隔操作のロボットやロボット間の通信を遅延なく動作させるためには、ロボットが送受信する画像の伝送遅延時間を短くする必要がある。そのためには、最新の映像符号化方式を用いるだけでなく、画像の符号化遅延時間を短縮する技術も必要不可欠である^[11]。

配達ロボットのみならず、家庭内のお手伝いロボットや人の行動を支えるロボットが普及すると、人とロボットが共存できなければならない。これまでは、人からロボットへの指示が中心だったが、今後は、ロボットから人への提案や、人の安全が危ぶまれる場合はロボットから人への指示もあるだろう。このような場合、上述の様々なAI技術に加えて、人とロボットとの相互作用に関するHuman Robot Interaction技術が必要となる^[12]。

これまで述べてきたように、3D画像のような大容量のデータのみならず、センサをはじめとする様々なデバイスから送られる少量データまで、通信サービスのコンテンツはますます多様化するだろう。これに伴って、サービスごとのトラフィック特性やネットワークに求める要件も千差万別になると思われる。遅延時間に関してもネットワークでの遅延のみならず、アプリケーションレイヤまでを考慮した遅延時間の短縮が求められる。更に、自動車の自動運転のみならず、ロボットの自動配達のようにモノの行き来に伴う安全性が必要不可欠であるため、これを支える通信ネットワークも必要になる。

上述の例を踏まえ、今後は人だけではなく、ロボットの位置や移動場所にもカバレッジエリアを提供する必要がある。そこで筆者らは、人やロボットが存在する場所にスポットライトを当てるかのように、カバレッジエリアを動的に構築する新たなアーキテクチャ「ユーザセントリックアーキテクチャ」が必要だと考えている^[13]。ユーザセントリックアーキテクチャでは、分散配置された多数のアンテナ同士が協調してカバレッジエリアを構築する。この実現のために、Cell-Free Massive MIMOという技術の利用が考えられる^[14]。

また、ウェアラブル端末のような身の回りの端末との協調送信を実現し、アップリンクのスループットを向上させる「仮



想化端末」という発想も必要になると、筆者らは考えている^[13]。

このように、2030年ごろの誕生日パーティを構成する一部のシーンを切り取るだけでも、ネットワークのみならず、7つのテクノロジーを構成する様々な要素技術を駆使して初めて実現できることが分かる。

5. おわりに

本稿ではまず、COVID-19がきっかけとなって、Society 5.0を早期に実現する必要があること、また、COVID-19のみならずカーボンニュートラルのような人類全体の課題を解決するために、人々の生活を豊かにするだけでなく、経済を活性化し、かつ、持続可能で安全安心な社会を創ることがこれから求められている事を述べた。このような社会の実現に向けて、KDDIが発表した「KDDI Accelerate 5.0」という2030年に向けた新たな社会構想の中で、3つのレイヤと7つのテクノロジーによって新たな社会を実現することも紹介した。

B5G/6Gが実現する2030年ごろのライフスタイルやユースケースを創り上げていくために、筆者らは「ライフスタイルの研究」と「そのライフスタイルを実現するための技術の研究」という両輪で検討を進めている。本稿では一例として、将来の誕生日パーティを挙げ、このユースケースに必要な技術を前述の7つのテクノロジーの観点から紹介した。

B5G/6Gの実現に向けて、ユースケースの発掘や基礎研究、技術開発、技術の標準化など多岐にわたる検討が必要になる。Society 5.0を早期に実現し、より良い社会を将来に残すために、様々なパートナーや関係者の皆様にご協力並びにご指導ご鞭撻をいただけると幸いである。

参考文献

[1] 内閣府 “Society5.0,” https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/

[2] KDDI総合研究所, “KDDI Accelerate 5.0,” http://www.kddi-research.jp/kddi_accelerate5_0/, 2020年8月.

[3] KDDI, KDDI総合研究所, “Beyond 5G/6Gホワイトペーパー Ver.2.0,” 2021年10月.

[4] “衛星写真からの3Dマップ生成が特長のVPS技術を保有するSturfeeと戦略的パートナーシップを締結”, KDDI株式会社, <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2019/06/24/3883.html>, 2019年6月24日.

[5] National Institute of Standards and Technology, “Post-Quantum Cryptography Standardization,” <https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography/post-quantum-cryptography-standardization>, 2016.

[6] ITU-T, X.1363: Technical framework of personally identifiable information handling in Internet of things environment, 2020.

[7] “TIS, ロボットによる人の業務代行・分担を実現する「サービスロボットインテグレーション事業」を提供～複数のロボットを統合管理するプラットフォーム「RoboticBase」で、人手不足の解消と業務生産性の向上などの社会課題を解決～”, TIS, https://www.tis.co.jp/news/2018/tis_news/20181016_1.html, 2018年10月16日.

[8] “海外最先端の研究者との共同研究プロジェクトの開始～次世代社会構想KDDI Accelerate 5.0の実現に向けて～”, KDDI総合研究所, <https://www.kddi-research.jp/newsrelease/2020/102601.html>, 2020年10月26日.

[9] MPEG-3DG: “MPEG Point Cloud Compression”, <http://www.mpeg-pcc.org/>

[10] “「オンラインでも乾杯の感触を」触覚技術で遠くにいる人との気持ちがつながります コミュニケーションシステム「Sync Glass」を開発”, KDDI総合研究所, <https://www.kddi-research.jp/newsrelease/2021/031501.html>, 2021年3月15日.

[11] “遠隔操作ロボット用映像伝送技術で50ミリ秒の超低遅延映像伝送を実現!～視覚と操作のずれを感じることなく遠隔操作が可能に～”, KDDI総合研究所, <https://www.kddi-research.jp/newsrelease/2020/070901.html>, 2020年7月9日.

[12] ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, <https://dl.acm.org/conference/hri>

[13] 小西聡, “6G時代の社会を支える新たな無線ネットワークアーキテクチャ,” 電子情報通信学会誌104巻10号, pp.1069-1071, 2021年10月.

[14] H.Q. Ngo, A. Ashikhmin, H. Yang, E.G. Larsson, and T.L. Marzetta, “Cell-free massive MIMO versus small cells,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol.16, no.3, pp.1834-1850, March 2017.



ITU-T H.430シリーズ活用事例：東京2020オリンピックのバドミントン競技の超高臨場ライブ伝送技術実証

NTT人間情報研究所

ながお じろう
長尾 慈郎はせがわ けいすけ
長谷川 馨亮むとう まこと
武藤 誠なみかわ だいち
並河 大地こんや せいいち
紺谷 精一

1. はじめに

ITU-T SG16 Q8では、スポーツや音楽コンサートなどのイベントを遠隔地へリアルタイムに伝送し、立体的な実物大表示や音響再現等を駆使して、あたかも会場で観戦しているかのような超高臨場感を実現するImmersive Live Experience (ILE：超高臨場ライブ体験) の国際標準化を進めてきた。本稿では、ILE関連の国際標準であるITU-T H.430シリーズ勧告に準拠したシステムにより、東京2020オリンピックのバドミントン競技を対象にNTTが行った技術実証について解説する。

2. バドミンントンの超高臨場ライブビューイング技術実証

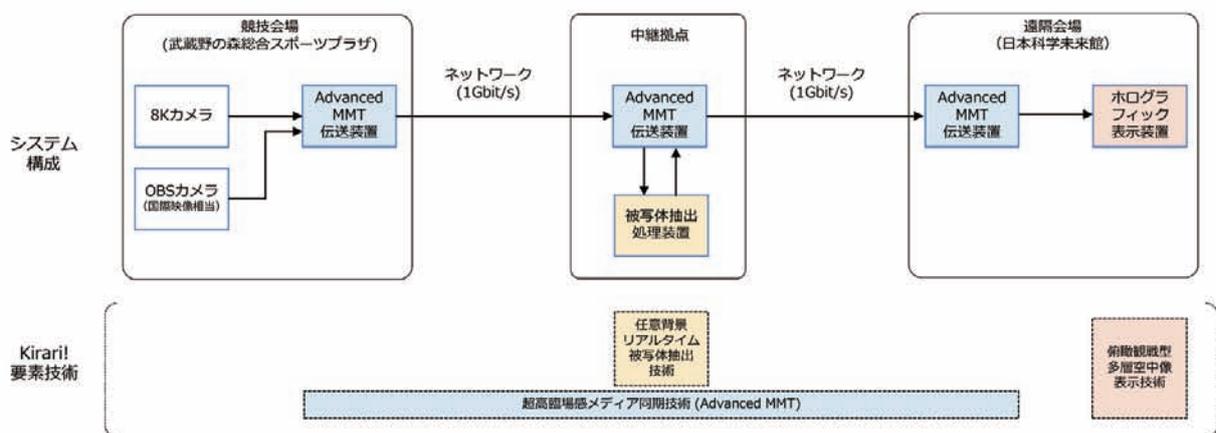
NTTは、東京2020組織委員会が主導する「TOKYO 2020 未来のスポーツ観戦プロジェクト」において、超高臨場感通信技術Kirari!の技術協力を行った。本プロジェクトは、日本科学未来館の観戦者があたかも競技会場で観戦しているかのような臨場感と一体感を提供することを目指した次世代臨場感テクノロジー実証である。本プロジェクトでは武蔵野の森総合スポーツプラザで行われた東京2020オリンピックのバドミントン競技を対象とし、その様子を遠隔会場（日本科学未来館）へホログラフィックに映像伝送した。

本プロジェクトでは当初、一般参加者を招いてのライブビューイング実証を計画していたが、新型コロナウイルス感染拡大予防の観点から中止とした。そこで実施形態を変更し、2021年7月30日～31日、日本科学未来館において、メディア向けに「スポーツ観戦の未来～次世代臨場感テクノロジー実証プログラム～」を公開した（図1）。

本技術実証の概要を、システム構成に沿って説明する。図2は全体のシステム構成図である。



■図1. 東京2020バドミントン競技の超高臨場ライブビューイング技術実証の様子



■図2. 全体のシステム構成



ホログラフィック表示に用いるための映像は、競技会場である武蔵野の森総合スポーツプラザの観客席に設置した8Kカメラで撮影した。また、ホログラフィックな映像と併せて通常の2D映像も表示するため、競技会場ではOBS (Olympic Broadcasting Services) 提供の映像、音声も取得した。

競技会場で撮影、取得した複数の音声、映像は「超高臨場感メディア同期技術 (Advanced MMT)」を用いて、後述の被写体抽出作業を行う中継拠点と、遠隔会場である日本科学未来館へ同期伝送した。伝送には1Gbit/sのネットワークを用いた。

中継拠点では「任意背景リアルタイム被写体抽出技術」を用いて、試合会場から伝送された映像から選手やシャトルの映像のみを抽出した。抽出後の映像もAdvanced MMTにより遠隔会場へ同期伝送した。

遠隔会場 (図3) では、競技会場そのものを再現するために実物大のコートと約100席の観客席を設置した。表示装置として、観客から見て手前側と奥側の2層それぞれで、4K映像をホログラフィックに表示可能な投影装置を使用した。中継会場から伝送された選手とシャトルの抽出映像を、「俯瞰観戦型多層空中像表示技術」により手前側のコートにいる選手はネットの手前側に、奥側のコートにいる選手はネットの奥側に、シャトルは動きに合わせて投影位置を

切り替えながら投影した。これにより、リアルなコートに二人の選手が降り立ったかのような空間を実現した。

ここまでで述べた「Advanced MMT」、「任意背景リアルタイム被写体抽出技術」、「俯瞰観戦型多層空中像表示技術」は、それぞれ超高臨場感通信技術Kirari!を構成する技術要素であり、後述のITU-T H.430シリーズに準拠している。以下で、各技術要素の概要をITU-T H.430シリーズと関連付けながら解説する。

2.1 任意背景リアルタイム被写体抽出技術

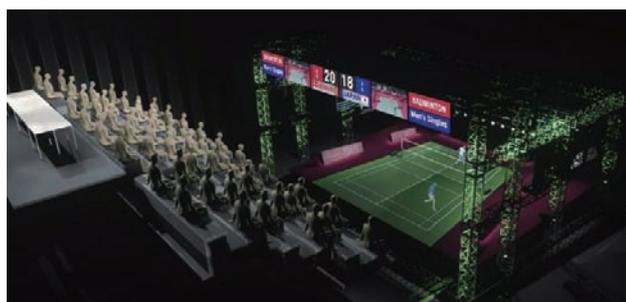
「任意背景リアルタイム被写体抽出技術」はKirari!を構成する技術の一つであり、後述のILEアプリケーションに相当する。本技術は、入力映像の中から特定の被写体に相当する映像のみを抽出する技術である^[1](図4 (a))。

通常、映像の中から被写体のみを抽出する場合は、グリーンバックやブルーバックなどの背景を用意し、クロマキーによりその背景色を消す手法がとられる。本技術では、特別な背景環境を用意することなく、特定の被写体をリアルタイムに抽出することが可能となる。これにより、競技会場で撮影した映像からリアルタイムに選手やシャトルの映像のみを抽出することができる。

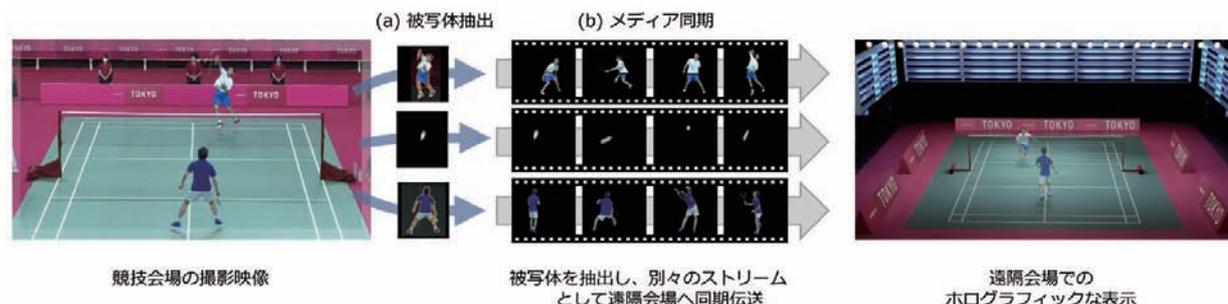
今回、本技術をバドミントン競技へ適応させるにあたり、以下の5点について技術改善を行った。

(1) コートの手前と奥の選手の個別抽出

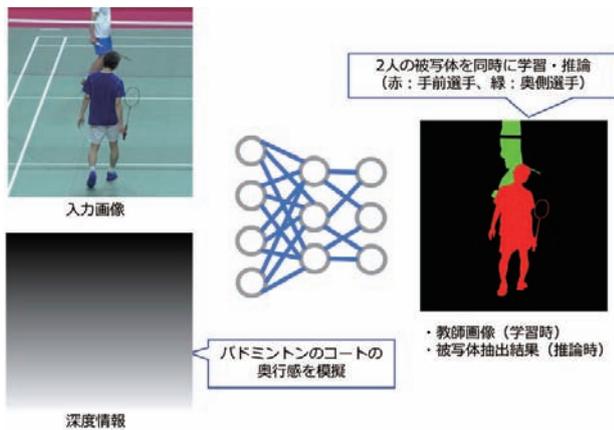
従来技術では、手前と奥の選手を分けて抽出することができなかった。そこで、バドミントンコートの空間を模擬した深度情報を入力し、手前と奥の選手について同時に学習・推論できる深層学習モデルを考案した。これにより、バドミントンのようにコートの手前と奥で選手が分かれる競技においても、個別に選手を抽出することを可能とした (図5)。



■ 図3. 遠隔会場の投影装置



■ 図4. Kirari!の被写体抽出、メディア同期の流れ



■図5. コートの手前と奥の選手の個別抽出の仕組み

(2) 選手映像のフレームレート・解像度向上

従来技術によるリアルタイムの被写体抽出処理は、4K・30fpsまでの入力映像にしか対応していなかった。30fpsでは、スマッシュ等の速い動きに追従できず、途切れ途切れの映像になってしまう。そこで、被写体抽出システムの実装を見直し、処理する映像フレームの多重化や計算リソースの平滑化などの工夫を行うことで、4K・60fpsのリアルタイム被写体抽出処理を可能とした。

また、スペースの制約上、試合会場には1台しかカメラを設置できないが、4Kカメラ1台での撮影では十分な選手像の解像度が得られず、等身大サイズの空中像として投影すると粗さが目立ってしまう。そこで解像度向上のため、8Kカメラで撮影した映像から、専用装置により手前側のコート、奥側のコートに対応する領域をそれぞれ4K解像度で切り出して、被写体抽出システムへの入力映像とした。

これらの改善により、高解像度で被写体の粗さが目立たず、かつ動きが滑らかな映像表現を実現できた。

(3) 微小かつ高速移動するシャトルの安定的な抽出

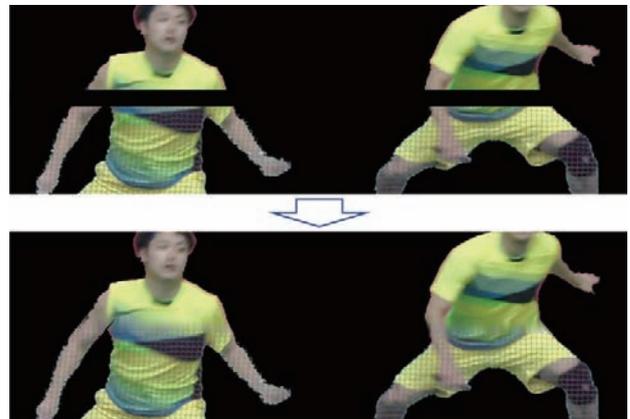
映像中に映るシャトルは非常に小さくかつ高速に移動するため、これまでの画像認識手法ではノイズが多く、ちらつきが目立ったり、シャトルの軌跡が途切れがちになったりと、十分な認識精度が得られなかった。今回、シャトル専用の被写体抽出方式を開発し、正確なシャトル位置の検出と、様々な形に変形するシャトルの高精度な抽出に成功した。

シャトル位置の検出には、映像に映り込むシャトルと同様の小さな物体（客席のガイド照明など）の影響を排除するため、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いて、シャトルの位置情報及び移動情報を同時に学習させる方式を考案した。検出されたシャトル位置・形状と、次フレー

ムにおけるシャトル予測情報（位置・形状・モーションブラーの程度）でフィルタリングして再現率を高め、背景差分法によりシャトルのみを抽出した。この手法により、観戦に用いることができるレベルのシャトル抽出品質を達成した。

(4) 選手映像の欠落部分の自動補完

図6のように、奥の選手がネットと重なった場合、選手像に黒い帯状の欠落が発生する。欠落部分の上下の色情報から欠落部分の色を推定・補完することにより、欠落のない映像をつくり出した。



■図6. ネットの黒帯状部分の推定

(5) 選手の影の自動生成

実際の会場で現れる選手の影を遠隔会場にも再現することで、より自然な選手像をつくり出すことができる。選手の抽出結果を基に、映像から影を検出した。この際、ジャンプの高さや競技会場の照明条件から、選手の影が存在し得る範囲を定めることにより高速化を図っている。

2.2 超高臨場感メディア同期技術

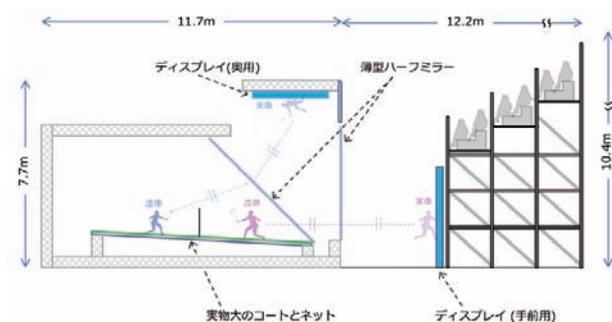
「超高臨場感メディア同期技術（Advanced MMT）」は、メディア伝送規格MMT（MPEG Media Transport）をNTTがITU-T H.430.4に基づき拡張した技術である。本技術では、映像、音声、照明情報といった複数の連続するデータ（ストリーム）を、時刻的な同期を保ったまま伝送できる。本技術実証では、競技会場で撮影した競技映像、音声、競技映像から選手だけを抽出した映像、シャトルだけを抽出した映像、OBSから提供された映像など、複数のストリームを本技術によって同期伝送し、遠隔会場に必要なデータを適切なタイミングで表示することで、臨場感の高い空間表現を実現した（図4（b））。

2.3 俯瞰観戦型多層空中像表示技術

後述のITU-T H.430.5^[4]におけるバドミントン用の表示環境の例では、手前側の選手のみをペッパーズゴーストの原理によりホログラフィックに表示し、奥側の選手は通常の2D表示としているが、本技術実証では手前側、奥側の両方の選手をホログラフィックに表示した。それを可能にしたのが「俯瞰観戦型多層空中像表示技術」である。

本技術では、実際の競技会場に近い高さの観客席を設置し、そこから見下ろす状況下において、手前側と奥側の選手がネットを挟んでリアルに見えるように、コート、ネット、2枚のハーフミラー、LEDディスプレイ、プロジェクタなどの配置を最適化している(図7)。これにより手前側と奥側の選手をそれぞれ正しい位置でホログラフィックに表示できるようになり、あたかも競技会場の観客席から実際のコートを見下ろしているような感覚を体験できる。

しかし、本技術では2つのハーフミラーを用いているため、その間を行き来するシャトルが不連続な動きに見えてしまう課題が発生する。この課題は、2つの層が物理的に分離しているという構造的な問題に起因するため、完全に解決することはできない。そこで、コート側面映像や打球音の解析結果と手動操作を組み合わせることでシャトルの打球タイミングを判定し、より自然に見えるタイミングでシャトルの表示層を切り替えた。これにより、シャトルの動きがダイナミックかつ自然に見えるようになった。



■図7. 装置のイメージと空中像表示の例

2.5 評価・成果・結果など

本技術実証は、2021年7月30日～31日の2日間実施し、東京2020オリンピックバドミントン競技の男子ダブルス、女子シングルス、男子シングルのライブ中継や予選の録画映像を、報道関係者やその他関係者に体験いただいた。体験者からは、「実物大の大きさで見ると、臨場感が全く違う」、「試合中、思わず会場にいるときと同じような歓声

をあげてしまった」など、高い臨場感を体験いただけたという感想を多く得られた。

被写体抽出については、8K・60fpsで撮影した映像からのリアルタイムでの抽出処理に成功した。選手同士が重なった場合に被写体が一部欠けるなど、抽出精度面での課題は残ったものの、おおむね観戦に堪え得る精度の抽出結果は得られた。シャトル表示については、端の方の座席など視聴場所によっては不連続が目立つため、改善が必要となる。

通信性能としては、競技会場から遠隔会場までのエンドツーエンドの遅延時間は、合計2800ms以下であった。表に内訳を示す。MMT伝送遅延には、ネットワークの伝送遅延である、競技会場～中継拠点の約1ms、中継拠点～遠隔会場の約0.1msも含まれる。被写体抽出処理の遅延には、処理時間のゆらぎ等を考慮したバッファも含まれるが、それを除いた抽出処理自体の遅延は400ms以下である。

■表. 遅延時間の内訳

撮影系	17ms以下 (1frame以下)
MMT伝送	1600ms (4K 59.94p ITU-R BT.709、エンコードレート40Mbit/s、FEC5%)
被写体抽出処理	1000ms (入出力バッファ込み)
表示系	~120ms (30fps換算で4frames)

3. 本システムで利用したITU-T勧告H.430シリーズ

ITU-T SG16 Q8では、これまでにILEに関連する国際標準としてITU-T H.430.1^[5]からH.430.5まで5つの勧告を制定してきた。本章では5勧告について本システムとの関係がある部分を中心に解説する。

3.1 ITU-T H.430.1 (要求条件)

ITU-T H.430.1において、ILEは次のように定義されている。

ILEの定義

あたかも視聴会場の視聴者が実際の本会場に入り込み、目の前でイベントを観覧したかのように感動を刺激され、本会場の視聴者と感動を共有する観覧体験であり、センシング、メディア処理、メディア伝送、メディア同期、メディア表現等のマルチメディア技術の組合せで提供される高いリアリティーによって引き起こされる感覚

定義にもあるとおり、ILEは、スポーツ競技会場などの本会場側システムから、本会場から離れたリモート会場に設置された視聴会場側システムへ映像、音声、位置情報等



をリアルタイムで伝送し、多くの観客に同時に超高臨場感を提供することを基本コンセプトとしている。これを実現するためには、映像音声その他の情報を時間ずれなくリアルタイムに会場間で伝送するための同期伝送、伝送された情報を基に情景が目の前で起きているかのように感じさせるための映像の実物大表示や位置の再現等、いくつかの要求条件を満たす必要がある。ITU-T H.430.1はILEが満たすべき要求条件も規定しており、今回の技術実証では全必須要件及び推奨要求条件1(実物大表示)を満たしている。

3.2 ITU-T H.430.2^[2](アーキテクチャフレームワーク)

ITU-T H.430.2は、ILEの基本アーキテクチャを規定している。図8にILEの基本アーキテクチャを示すとともに、H.430シリーズの各勧告と基本アーキテクチャとの関係を示す。アーキテクチャは大きく以下の要素から構成されている。

・環境情報取得

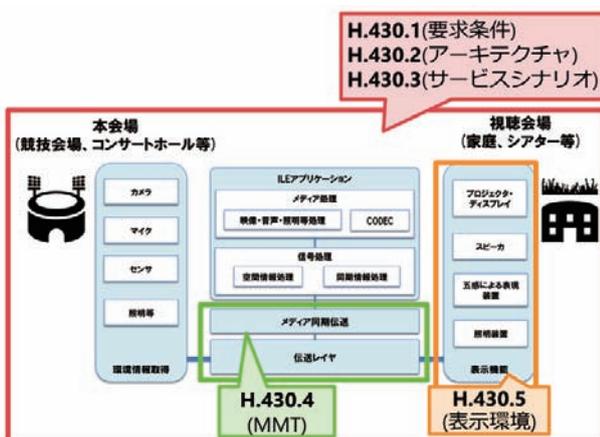
本技術実証では、武蔵野の森総合スポーツプラザでの競技映像撮影、OBS (Olympic Broadcasting Services) 提供の映像、音声の取得がこれにあたる。

・伝送レイヤ及び同期メディア伝送

ITU-T H.430.4^[3]で規定されており、本技術実証では超高臨場感メディア同期技術(Advanced MMT)として実装された。

・ILEアプリケーション

本技術実証では「任意背景リアルタイム被写体抽出技術」により、シャトルのリアルタイム抽出など非常に高度な映像処理が行われている。



■ 図8. ILEシステムの基本アーキテクチャ及びH.430シリーズの各勧告との関係

・表示機能

ITU-T H.430.5で規定されており、本技術実証に関連する表示環境の参照モデルの詳細は3.5節にて解説する。

3.3 ITU-T H.430.3^[6](サービスシナリオ)

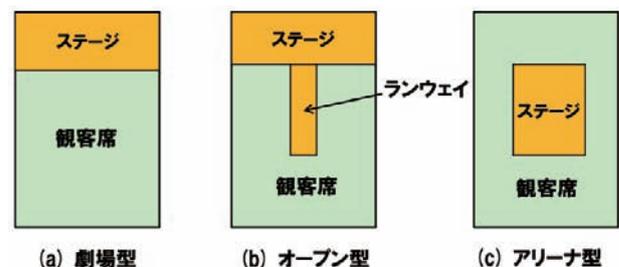
本勧告は、ILEの要件やフレームワークの理解を促進するために、ILEで実現されるサービスシナリオ及びユースケースを記載している。サービスシナリオの一つにスポーツのリアルタイム伝送があり、本技術実証はこのサービスシナリオの1実装形態と捉えることができる。

3.4 ITU-T H.430.4 (MMTプロファイル)

視聴会場で競技等の情景をリアルタイムに再構築して超高臨場感を実現するためには、映像、音声に加え、オブジェクトの位置(空間情報)や演出のための照明情報をリアルタイムに同期伝送する必要がある。ITU-T H.430.4ではMMTでILEの情報を伝送するため、オブジェクトの空間情報及び照明情報を対象として、サービス構成、メディア伝送プロトコル、シグナリング情報を規定している。本技術実証では、競技会場で撮影した競技映像や音声と、その競技映像から選手だけやシャトルだけを抽出した映像等を伝送し、表示環境で時刻同期して表示するために活用されている。

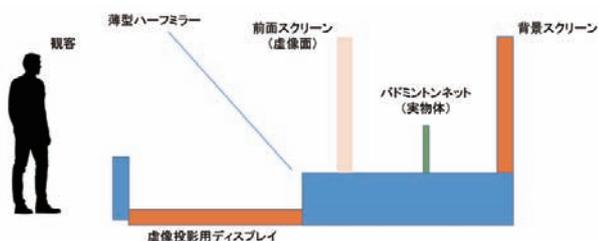
3.5 ITU-T H.430.5 (表示環境)

図9にITU-T H.430.5で規定されている表示環境の分類を示す。本技術実証は、ステージには複雑な構成の表示装置が使用されているものの、ステージと観客が相対する配置であるので、図9(a)の劇場型に分類される。

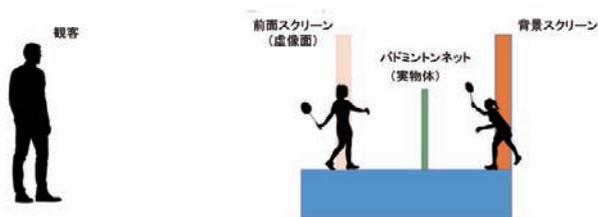


■ 図9. 表示環境の分類

図10に劇場型の実装ガイドライン記載の構成例(a)と、観客からの見え方(b)を示す。図10に示すように、観客から見ると背景スクリーンに表示された選手映像はそのまま



(a) 表示装置の構成例



(b) 観客から見た構成例の見え方

■ 図10. 劇場型表示環境構成例

見えると同時に、虚像投影用ディスプレイに表示された選手の映像は薄型ハーフミラーで反射され、あたかも虚像面に選手が立っているかのように見える。薄型ハーフミラーは透明であるから、虚像面の選手以外の部分は透過してバドミントンネット（実物体）と背景スクリーンが見える。観客からはこれらが同時に見えるので、あたかも二人の選手がバドミントンネットを挟んで対戦しているかのような感覚を体験できる。ここではITU-T H.430.5記載の構成例に従って説明したが、本技術実証ではさらに複雑に設計された、背景にも薄型ハーフミラーを使用する構成が使用されている。

4. おわりに

本稿では、ITU-T SG16 Q8が制定を進めてきたITU-T H.430シリーズを解説するとともに、本勧告シリーズに準拠してシステムが構築され、2021年に実施された技術実証について述べた。

NTTは「TOKYO 2020 未来のスポーツ観戦プロジェクト」において、超高臨場感通信技術Kirari!を用いてH.430シリーズに準拠した技術実証のシステムを構築し、あたかも競技会場で観戦しているかのような、臨場感の高いバドミントンの観戦体験を実現した。今後は、抽出性能向上等の技術的改善、他の競技やエンタメなど他分野への展開などを検討するとともに、Kirari!をはじめとしたリモートワー

ルドを具現化するための研究開発を進めていく。

ITU-T H.430シリーズはこれまでに、要求条件、フレームワーク、サービスシナリオを規定する基本3勧告に加え、国際接続に不可欠なILE特有の情報を映像・音声と共に同期伝送する通信プロトコルを規定する勧告と、超高臨場感を実現する表示環境について規定する勧告が完成している。これら5勧告によりILEを構成するための基本的な規定は整ったと考えられるが、ITU-T SG16 Q8ではさらに高い臨場感を実現するために、引き続きILEに関連する技術の国際標準化を進める予定である。例えば、視覚、聴覚だけでなく、触覚や嗅覚に関する情報を伝送し再現することも臨場感をさらに高めると考えられ、今後の標準化が期待される。

※NTTは、東京2020ゴールドパートナー（通信サービス）です。

謝辞

本技術実証の実現に向け、共に様々な課題を克服してきていただいた東京2020組織委員会イノベーション推進室の皆様、主催者として先導いただいた日本科学未来館の皆様、そして、技術的に支えていただいたパートナー企業の皆様に感謝します。

参考文献

- [1] 柿沼・長尾・宮下・外村・長田・日高：“機械学習を用いた任意背景リアルタイム被写体抽出技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.30, No.10, pp.16-20, 2018.
- [2] ITU-T H.430.2, “Architectural framework for immersive live experience (ILE) services,” <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.430.2>
- [3] ITU-T H.430.4, “Service configuration, media transport protocols, signalling information of MPEG media transport for immersive live experience (ILE) systems,” <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.430.4>
- [4] ITU-T H.430.5, “Reference models for immersive live experience (ILE) presentation environments,” <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.430.5>
- [5] ITU-T H.430.1, “Requirements for immersive live experience (ILE) services,” <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.430.1>
- [6] ITU-T H.430.3, “Service scenario of immersive live experience (ILE),” <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.430.3>

ITU-R SG7 (科学業務) 関連会合報告

総務省 総合通信基盤局 電波部 基幹・衛星移動通信課 (会合当時)

たけうち きんじ
竹内 謹治



1. はじめに

科学業務に関する審議を所掌とするITU-R (無線通信部門) SG7 (Study Group7: 第7研究委員会) 会合及び関連WP (Working Party: 作業部会) 会合が、2021年9月7日(火)~9月24日(金)にわたって開催された。今次各会合も新型コロナウイルスの影響により、e-Meetingにて行われた。日本からは、総務省、国立天文台、(国研)情報通信研究機構、(国研)宇宙航空研究開発機構、(株)NTTデータ経営研究所、ソフトバンク(株)、(一社)電波産業会、(一財)テレコムエンジニアリングセンターから計26名が参加した。

以下、上記各会合の結果概要について報告する。

2. SG7会合

SG7会合は、関連WPの議長等の任命や関連WPから上程される勧告案、報告案、研究課題案等の承認を行っており、John Zuzek氏(米国)が議長を務めている。会合は2021年9月7日及び9月24日にわたって開催され、9月7日の会合においては、WP7A議長であるDr. Beard氏が2020年に逝去されたことに伴い空席となっていたWP7Aの新議長について審議された。審議の結果、同WPの副議長であったJoseph ACHKAR氏(フランス)が新議長に任命された。会合においては29本の文書が入力され、作成された出力文書はなかった。

3. WP7A会合

WP7Aは、時刻信号と標準周波数報時に関する問題を扱う作業部会であり、今次会合よりJoseph ACHKAR氏(フランス)が議長を務めることとなった。

今次会合は、2021年9月8日~9月15日に開催され、16か国・2機関から35の参加があった。会合においては、4件の入力文書について検討が行われ、2件の文書が出力された。主な議論として、UTC(協定世界時)の将来問題(WRC-15 Res.655関連)に関する審議があった。

WP7Aは、WRC-23に向けた、うるう秒の廃止・存続等についての影響をまとめた文書ITU-R TF.[UTC]の作成を行っている。WRC-15において、現在の協定世界時の次

の標準時系についてITU-R以外の関係機関等の意見を幅広く集めWRC-23までに提言を行うこと、またWRC-23までは現行の協定世界時を維持することが決議されている。

今次会合では、ドイツ及びポーランドから、改定提案が入力された。今回会合においても、これまでと同様、新UTCへの移行を志向するフランス、米国、ドイツ等と、新UTCの問題点など新UTCに不利な記述をより多く書き込もうとするロシアとの間で綱引きが続き、審議は難渋した。日本は、新UTCへの移行に賛成の立場から適宜議論に参加した。結果として、ドイツやポーランドの改定提案の一部は文書に採り入れられたものの、報告書全般については今回会合でも結論が得られず、次回会合で継続審議することとなった。報告書の最終版はWRC-23に提出されることとなる。

また、2021年9月7日のSG7会合において、標準時・標準周波数供給サービス(SFTS)の保護に関する報告ITU-R TF.[SFTS Protection Criteria]が承認された事などを踏まえ、ワイヤレス電力伝送(WPT)の高調波がSFTSに及ぼす影響に関するWP1Aへのリエゾン文書についても審議された。審議の結果、当該リエゾン文書はWP1Aに送付されることとなった。

4. WP7B会合

WP7Bは、宇宙無線通信アプリケーションに関する問題を扱う作業部会であり、Catherine SHAM氏(米国)が議長を務めている。

今次会合は、2021年9月8日~9月15日に開催され、29か国・5機関から156名の参加があった。会合においては、日本からの寄書1件を含む64件の入力文書について検討が行われ、17件の文書が出力された。主な議論として、14.8-15.35GHz帯に二次分配されている宇宙研究業務の一次分配への格上げの検討(WRC-23 議題1.13)が審議された。

WP7Bは、議題1.13の責任グループであり、宇宙運用業務と各種業務との共用検討に関する新勧告草案ITU-R SA.[15GHz SRS SHARING]の作成を行っている。日本において同周波数帯はヘリテレ等に利用されている。前回

会合では、米国より宇宙運用業務と固定業務及び移動業務との間の共用に関する研究結果の入力等があり、当該研究結果の妥当性について継続審議となっている。

日本から共用研究に「Helicopter television trans-mission system (HTTS)」を加え、SRS無線局との詳細な干渉検討の実施を提案する7B/134を入力しているが、ロシアからAMSを所管するWP 5Bを経由して入力されるべきではないかと懸念するコメントがあった。当該コメントを踏まえ、パラメータ妥当性の検討をWP5Bに依頼するリエゾン文書が発出されることとなった。

また、米国からのデータ中継衛星 (DAR) システムのダウンリンクと固定業務及び移動業務との間の共用研究に関するセクションの更新を提案する7B/136について、日本から7B/152を基にSRS地球局と被干渉地上局 (LMS局やAMS航空機局) が近接しているといった特異な設定で干渉検討している問題点について指摘を行った。現状日本と米国の間で合意を得ていない箇所があるため、作業文書に双方のコメントを議長報告に残す形で、議長報告に添付された。

5. WP7C会合

WP7Cは、リモートセンシングシステムに関する問題を扱う作業部会であり、Markus DREIS氏 (ドイツ) が議長を務めている。

今次会合は、2021年9月16日～9月23日に開催され、32か国・12機関から202名の参加があった。会合においては、日本からの寄書4件を含む126件の入力文書について検討が行われ、32件の文書が出力された。主な議論については以下のとおりである。

5.1 宇宙天気センサの適切な認知・保護 (WRC-23議題 9.1 topic a)

WP7Cは、RRにおける適切な認知と保護という観点から宇宙天気センサの技術・運用特性、周波数要件、適切な無線業務の選定に関する研究を行う議題9.1aの責任グループであり、予報・警報に不可欠なデータを提供する、受信専用の宇宙天気センサの周波数要件に関する新報告草案ITU-R RS.[SPEC_REQTS_RX_SPACE_WEATHER]や同センサの干渉基準に関する新報告草案ITU-R RS.[RXSW_INTERF_CRITERIA]の作成等を行っている。

今次会合においては、イランから宇宙天気の定義や宇宙天気センサ保護に関するWRC決議657の解釈について、作

業グループ内で共通認識がない旨の指摘があり、これらについての議論に時間を費やした。その結果として、寄与文書については日本提出の3本を含め会合中の議論がほとんど進まなかった。宇宙天気の定義及び寄与文書の審議については、次回会合までの間にコレスポネンスグループで審議することとなった。

5.2 1.4-275GHz帯への分配にて運用されている地球探査衛星業務 (受動) システムの代表的な技術特性及び運用特性

WP7Cでは、共用検討にて活用するために1.4-275GHz帯への分配にて運用されている地球探査衛星業務 (受動) システムの代表的な技術特性及び運用特性をまとめたITU-R勧告RS.1861の改定作業に取り組んでおり、2021年4月に開催されたWP7C会合にて提案 (日本寄書含む) された改訂案が審議され、議長報告に付録された (7C/186 Annex14)。今次会合においては、ITU R勧告RS.1861改訂草案 (7C/186 Annex14) に記載されている温室効果ガス・水循環観測技術衛星 (GOSAT-GW) 搭載高性能マイクロ波放射計3 (AMSR3) 及び水循環変動観測衛星 (GCOM-W1) 搭載高性能マイクロ波放射計2 (AMSR2) の特性情報について、修正すべきパラメータ (TBDとなっていたもの等) の更新を日本 (7C/225) から提案した。審議の結果、当該日本提案、米国提案 (7C/244) 及びESA提案 (7C/273) 等を反映させた文書が作成された。当該文書をもって勧告案への昇格がなされた上で、WP7C議長報告にAnnex4として添付された。

6. WP7D会合

WP7Dは、電波天文に関する問題を扱う作業部会であり、Anastasios TZIOUMIS氏 (オーストラリア) が議長を務めている。

今次会合は、2021年9月16日～9月23日に開催され、20か国・4機関から136名の参加があった。会合においては、日本からの寄書1件を含む48件の入力文書について検討が行われ、19件の文書が出力された。主な議論として、71GHz以上における電波天文業務と能動業務との周波数共用に係る研究 (決議731 (Rev.WRC-19)) が審議された。

WRC-2000で71GHz以上の周波数範囲において周波数再分配を行った。当時は能動業務にこのような高い周波数帯域を用いる具体的な計画がなく、また、技術的にも未成熟であったため、本来であればやるべき周波数共用や両立



性研究を実施せずに再配分を行った。その際、受動業務と能動業務間の周波数共用や両立性検討をいずれは行わなければならないことを、WRC決議731として決議した。

前回のWP7D会合で、この検討を進めるpreliminary draft new report作成のための作業文書を作成した(7D/70 Annex6)。WP7C、5Cでも検討が始まっており、その情報がリエゾン文書として入力された(7D/73、77、80)。日本はこの検討を進めることを目的とし、この周波数帯における既存の周波数共用に関する研究結果と新規情報及び共存の在り方に関する考察を入力した(7D/102)。また米国は、WP7Dで研究を進めていることの情報共有と必要な技術情報の提供をWP5A、5Cに求めるリエゾン返書案を入力した(7D/115)。

7D/102の議論では、米国から現段階での米国における検討例をこの文書に含めることに懸念が表明されたが、日本は本件で対象となる周波数帯域が非常に広く研究が困難であるため、有益な情報をまとめて提示する必要があるという意見を表明し、ドイツも賛同した。その後の議論で米国が特に懸念を持っている箇所を削除することで合意し、議長報告に添付されることが承認された。

前回会合で作成したレポート案はほぼ変更なく議長報告に添付されることが承認された。また、検討を進めるため

の情報提供を求めてきたWP3J、3K、3Mからリエゾン文書(7D/98)に対する返答について、次回会合で情報をまとめることをEditor's noteとして付記した文書(Doc 7D/TEMP/52)を議長報告に添付することを承認した。WP5A、5Cに対して能動業務の技術情報等を提供するよう求めるリエゾン案も承認された。

7. 次回会合の予定

SG7：2022年4月25日、2022年5月6日（ジュネーブ）

WP7A、WP7B、WP7C、WP7D：2022年4月26日～2022年5月5日（ジュネーブ）

8. おわりに

今次会合は、新型コロナウイルスの影響により前回会合と同様にe-Meetingであり会合時間に制約があったことなどから、議論の進捗が停滞気味であり、また、全体的に深い議論が行えていないように感じた。次回のSG各会合については対面での開催も視野に入れて検討されていることから、議論が加速することを期待したい。

本会合に向けてご準備・ご対応いただいた日本代表団を始め関係各位にお礼申し上げますとともに、引き続き日本のプレゼンスを維持できるよう、ご協力をお願いしたい。

ITUが注目しているホットトピックス

ITUのホームページでは、その時々ホットトピックスを“NEWS AND VIEWS”として掲載しています。まさに開催中の会合における合意事項、ITUが公開しているICT関連ツールキットの紹介等、旬なテーマを知ることができます。ぜひご覧ください。

<https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>

アジア・太平洋電気通信共同体(APT)無線グループ(AWG) 第28回会合 (2021年9月6日-14日) 報告

総務省 総合通信基盤局 電波部 電波政策課 国際周波数政策室

1. はじめに

APT無線グループ (AWG: APT Wireless Group) は、前身のAPT無線フォーラム (AWF: APT Wireless Forum) を発展的に再編成し設立されたアジア・太平洋地域における国際会議である。AWGは同地域の新しい無線アプリケーションの普及促進、周波数や無線システムの調和の検討等を目的として、年2回程度開催されている。

AWGは、図1のとおり、WG SPEC (周波数に係るワーキンググループ)、WG TECH (技術に係るワーキンググループ) 及びWG S&A (サービスとアプリケーションに係るワーキンググループ) で構成され、それぞれのワーキンググループには個別議題の検討を行うSub WG (サブワーキンググループ) 及びTG (タスクグループ) が設置されている。

AWG第28回会合 (AWG-28) は、2021年9月6日~14日の日程でVirtual meeting形式で開催された。今会合ではAPT域内の約30か国・地域の政府、無線通信関係機関、民間企業等から425名 (うち日本からは71名) が参加し、82件の入力文書 (うち17件は日本からの寄与文書) の審議が行われ、21件の出力文書 (うち新報告が5件) が作成された。なお、会議の進行に際してはミーティングルームを3つに分け、同時並行で各グループでの審議が行われた。

2. 主な結果概要

今会合の主な議題の結果は以下のとおりである。

(1) International Mobile Telecommunications (IMT)

WRC-15でIMTに特定された1427-1518MHz帯について、APT地域における当該周波数の調和的利用のための配置・アレンジメント (FDD、TDD等) の検討が、2016年9月のAWG-20から行われている。今会合では、我が国から、引き続き、ITU-Rでは既にWRC-19でのIMT特定の結果を踏まえた周波数配置が勧告されており、ITUと同様のアプローチを取るべき (共用検討とは切り離して検討すべき) であり、進展が見込めない場合には検討を休止すべき旨の意見を主張した。審議の結果、ITU-Rの報告/勧告作成の検討が完了するまでAWGでの検討を保留することで合意された。

GSMAが2021年の7月に公表したレポートに基づき、GSMAから、5Gでのミッドバンド (1.5-1.7GHz帯) の使用について、ITUの要求条件を満たすために、2025年から2030年までの間に必要となる帯域幅の検討開始の提案があり、次回会合で議論を継続することとなった。

また、我が国からも貢献し、作成が行われていた「アジ



■ 図1. AWGの検討体制



ア・太平洋地域における6GHz以下でのIMT-2020の実施面に関する検討」及び「アジア・太平洋地域におけるIMT-2020の実施及び展開に関する現状及び将来計画」についてのAPT報告が完成し、承認された。

2GHz帯における地上系IMTと衛星系IMT間の共存のための技術運用方策に関する新報告案については、前回会合と同様、地上系IMTを推進する国（日本、韓国及びベトナム）と衛星系IMTを推進する国・機関（中国、サモア及びInmarsat）との間で意見が対立したためにまともならず、再度、次回会合で議論を継続することとなった。さらに、前回会合において、ベトナムから提案があった、2GHz帯におけるIMTの周波数配置に関する検討については、上記の地上系IMTと衛星系IMT間の共存のための技術運用方策に関する作業が終了するまで、検討を開始すべきではないとする中国、サモア及びInmarsatと、これに反対する日本、韓国及びベトナムが対立し、合意が得られなかったため、次回会合で議論を継続することとなった。

(2) 空間伝送型ワイヤレス電力伝送システム (BEAM WPT)

BEAM WPT利用周波数帯の勧告化に向けて、我が国が提案した検討計画とAPT各国状況把握のための質問票が承認された。次回会合でAPT各国から質問票回答、AWG-30での調査報告の作成を目指す。

また、AWG-23から議論が行われているBEAM WPTに関する新報告については、我が国からBEAM WPTの共用検討を反映する寄書を入力した。次回会合で各国の状況に関する質問票回答が予定されたことから、内容の充実のため次回会合にて引き続きアップデートする予定である。

我が国から提案した、WPTワークショップ開催については、コンビーナが我が国のワイヤレスクレフの石田氏に決定したことを受け、今後はコンビーナを中心に詳細な検討が進められることとなり、次回のAWG-29会合から開催される予定である。

(3) 高高度プラットフォーム (HAPS)

WRC-23の議題1.4「2.7GHz以下のIMT特定された周波数帯におけるIMT基地局としての高高度プラットフォームステーション (HIBS) 利用の検討」に関連し、我が国から、HAPSのゲートウェイリンク (HAPS間通信及びHAPS-衛

星間通信) に関する新研究課題を提案した結果、本研究課題を検討していくことが合意され、「無線通信規則で規定されていないHAPSゲートウェイリンクの利用に関する技術的・規制的分析に関する新APT報告」の策定に向けた作業計画及び作業文書が作成された。

(4) 固定無線システム/地上系無線標準システム (FWS/GBRS)

AWG-23会合において、我が国からの提案により作成が開始された「風によるFWSリンク特性劣化のモデルに関する新APT [勧告/報告]」の作業文書について、我が国から、気象条件に応じたリンクバジェット*の計算手法や伝送距離・伝送容量などを入力した結果、作業文書が更新された。

AWG-26会合において、我が国からの提案により作成が開始された「252-296GHzのポイント・ツー・ポイント無線通信システムに関する新APT報告」及び「275-1000GHzのウォークスルーイメージングシステムに関する新APT報告」の作業文書について、我が国から、前者に関しては、既存のITU-R報告に基づいた測定データ等の更新を提案し、後者に関しては、測距方式の一つであるFM-CW (周波数変調連続波) レーダーの技術運用特性や衣服下にある危険物からの反射特性例などを入力した結果、それぞれ作業文書が更新された。

(5) 鉄道無線

2019年7月のAWG-25から無線を使った列車測位システム (無線検知器、LTE、WiFi等) の検討が開始されている。今会合では、我が国から、日本で使用されている列車測位システム (無線検知器、車軸カウンタ等) に係る情報を入力した。会合の結果、我が国の入力反映された上で、APT報告書として完成し、承認された。

(6) 高度道路通信システム (ITS)

ミリ波帯周波数を活用したITSアプリケーション (車車間・路車間通信/センシング) の検討が、2018年4月のAWG-23から開始されている。今会合では、我が国から、ITSアプリケーションとして、ミリ波を使った車両検知システム、ミリ波を使った路車間・路路間ネットワークを入力した。会合の結果、我が国の入力反映された作業文書が取りまと

* 送信点と受信点との間の経路 (リンク) に存在する利得と損失の合計値 (許容可能な伝搬損失)

められ、AWG-30での完成を目指して作業が継続されることとなった。

(7) 衛星アプリケーション (MSA)

「衛星技術を使ったIoTアプリケーションの発展に関する新報告草案に向けた作業文書」については、我が国から、航空及び海上で使用するESIM (Earth Stations In Motion) に関する追記を入力したところ、会合での議論において、航空及び海上ESIMを対象とすべきであるとの立場を取る我が国等と、広帯域かつ高電力のESIMは対象とすべきでないとの立場を取るインドとの間で意見が対立した。

関係者による非公式会合の結果、ESIMは航空及び海上分野のIoTアプリケーションを実現するための技術である旨の合意が得られ、我が国の入力どおり、作業文書の項目として、「航空及び海上分野のIoTアプリケーション」が盛り込まれた。

(8) AWGの再編

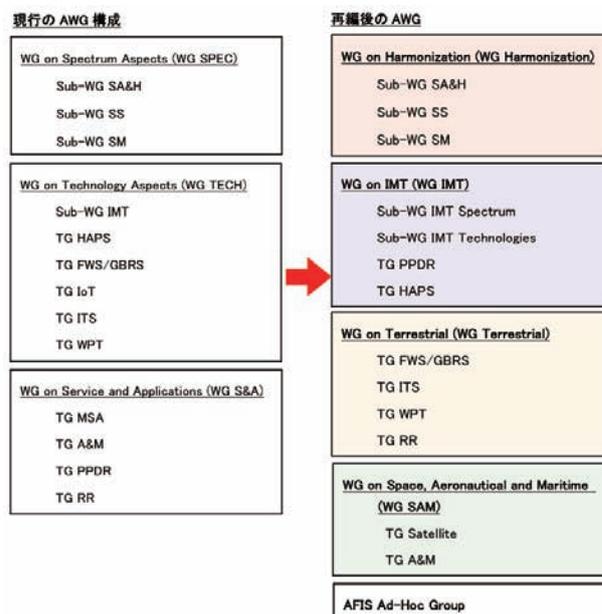
AWG再編について、前回のAWG-27会合後から、CG (Correspondence Group) を設置の上、議論が行われたところ、その結果を基に、AWG-28会合においても議論が実施された。会合の結果、①AWGの各グループの所掌事項 (ToR: Terms of Reference)、②AWGの作業方法 (Working method)、③APT文書公開ポリシーの改訂について合意された。

また、AWG再編後の体制については、図2のとおりとすることで合意され、具体的には、以下のように再編されることとなった。

(ア) Working Group on Spectrum Aspects (WG SPEC) が、Working Group on Harmonization (WG Harmonization) と改称された。

(イ) Working Group on Technology Aspects (WG TECH) 及びWorking Group on Service and Applications (WG on S&A) が廃止されるとともに、新たにWorking Group on Terrestrial (WG Terrestrial) 及びWorking Group on Satellite, Aeronautical and Maritime (WG on SAM) が新設された。

(ウ) IMTを取り扱う、Working Group on IMT (WG IMT)



■ 図2. AWG再編後の体制

が新設されるとともに、その下に、Sub Working Group on IMT Spectrum (Sub-WG IMT Spectrum) 及びSub Working Group on IMT Technologies (Sub-WG IMT Tech) が新設された。

(エ) 予定されていた活動を終了した、Task Group on IoT (TG IoT) が解散となる一方、Task Group on Modern Satellite Applications (TG MSA) が廃止され、その代わりに、Task Group on Satellite (TG Satellite) が設置された。

(オ) その他のSub Working Group及びTask Groupについては、特段の変更はなく、新設されたWorking Groupの下に、活動内容及び活動量を踏まえ、配置された。

3. 次回会合について

AWG第29回会合 (AWG-29) の日程は未定で、APT事務局で他会合の予定と調整した後に周知されることとなった。今後のAWG会合においても、我が国が積極的に議論を主導するとともに、アジア・太平洋地域との連携をより一層強固なものとし、同地域の無線通信の発展に貢献してまいりたい。



APT 第3回WTDC-21準備会合 結果報告

総務省 国際戦略局 国際戦略課

かわの たすく
川野 佑公



1. 概要

APT 第3回WTDC-21準備会合は、2022年6月に延期されたエチオピアで開催予定のWTDC-21に向けて、アジア太平洋地域の共同提案の策定を目的として開催される地域準備会合の第3回である。(第1回会合模様は、ITUジャーナルVol.50 No.10 2020.10を、第2回会合模様は、ITUジャーナルVol.51 No.6参照) 準備会合は全4回の開催であり、第3回の今回は2021年10月5日から8日にかけてオンラインで開催された。我が国からは、プレナリー副議長を菅田専門官、WG3議長を大槻主査が務めた。

2. 運営体制

議長より、プレナリーで副議長を務めていた山口前専門官及び韓国のMr. Sung Joon Choiの辞任、日本より菅田専門官、韓国よりMr. Sangwon Koのノミネートの説明があり、両氏はプレナリー副議長に任命された。また、WG3で副議長を務めていたマレーシアのMs. Anna Amalina Imam Bawehの辞任の説明があった。この結果、今後は表1の体制で準備会合が運営されることになる。

3. 各作業部会の検討結果

3.1 作業部会1 (WG1)

我が国より提案していたeHealth協力の推進に係る新決議案について、第2回会合の審議後に複数か国と内容を調整し、改めて本会合に提出していたところ、インドネシア、韓国、タイ、オーストラリアから文言の修正や追記の意見があった。そのため、オフラインでのドラフティングが実施

された結果、暫定APT共同提案の草案としてまとまりプレナリーへ提出された。

決議64(電気通信/ICTサービスのユーザー/消費者の保護と支援)について、サイバーセキュリティの健全化を直接的及び明確に記載する提案がマレーシアより提出され、韓国及びオーストラリアから“Cyber wellness”の明確化やオンライン児童保護についてコメントがあり、これらの意見を踏まえ暫定APT共同提案の草案としてプレナリーへ提出された。

ITU-D主要優先事項について、優先事項1「接続性」においては軽微な修正がなされ、その他優先事項2「デジタルトランスフォーメーション」、3「環境の有効化」、4「リソースの動員と国際協力」については、特段の修正はなかった。また、優先事項5「ICT利用における、信用、信頼、セキュリティの構築」については優先事項1の記載内容に含まれるとして削除され、プレナリーへ提出された。

3.2 作業部会2 (WG2)

決議8(情報及び統計の収集及び普及)について、統計調査の各指標や調査方法は、全加盟国の同意の下で実施するように修正する提案がインドネシアより提出されたところ「コンセンサスを得る」ことに言及するような文言を記載すべきでないというタイ及びイランからの意見が反映された形で、暫定APT共同提案の草案としてプレナリーへ提出された。

決議48(通信規制当局間の協力の強化)について、GSR^{*1}の効率向上のための文言修正が中国からされたところオー

■表1. 体制図

会合	議長	副議長
Plenary : (準備会合全体の統括及び意思決定)	Dr. Ahmad R. Sharafat (イラン)	菅田 洋一氏 (日本) Mr. Sangwon Ko (韓国)
WG1 : (SGの研究課題等)	Ms. Mina Seonmin Jun (韓国)	Ms. Yapeng Wang (中国) Ms. Maryam Espandar (イラン)
WG2 : (作業方法、宣言、行動計画等)	Ms. Gisa Fuatai Purcell (サモア)	Ms. Thasawan Samorwong (タイ)
WG3 : (地域イニシアティブ等、その他ICT開発全般)	大槻 芽美子氏 (日本)	Mr. Bhavesh Trivedi (インド)

*1 Global Symposium for Regulatorsの略

オーストラリア及びタイからの地域やステークホルダーの参加を促す文言を追記する意見が反映され、暫定APT共同提案の草案としてプレナリーへ提出された。

アデイスアベバ宣言の草案については、特段修正されることなくプレナリーへ提出された。

3.3 作業部会3 (WG3)

決議37 (デジタルデバイドの解消) について、ソフトバンクより「HAPS^{*2}」の追記、マレーシアよりCOVID-19に言及する追記の提案があり、オーストラリア、イランを含めたオフラインでのドラフティングが実施された結果、「HAPS」及び「COVID-19」が追記された形で暫定APT共同提案の草案としてプレナリーへ提出された。

決議67 (児童オンライン保護でのITU-Dの役割) について、オーストラリアよりオンライン上での児童保護が促進される文言を追記する提案がなされ、暫定APT共同提案の草案としてプレナリーへ提出された。

また、決議69 (開発途上国のための国内CIRTの創設とそれらの間の協力の促進) についてオーストラリア及び韓国より、CIRT^{*3}設立の明記やPaCSON^{*4}への言及についての追記などの提案がなされ、暫定APT共同提案の草案と

してプレナリーへ提出された。

中国から提出された、決議85 (IoT及びスマート・シティ) に「AI」を追記する提案及びデコタルエコノミーに関する新決議提案について、中国は新決議案に反対した日本、オーストラリア等の国と議論を行い、修正提案を次回の第4回会合に提出することとなった。

4. プレナリーの結果

本会合最終日に行われたプレナリーでは、各作業部会から提出された暫定APT共同提案の草案について決議が取られ、表2のとおり8つの文書が承認された。また、作業部会1から提出されたITU-D主要優先事項及び作業部会2から提出されたアデイスアベバ宣言については、APT viewとして11月に開催される電気通信開発諮問委員会 (TDAG) に提出されることとなった。

5. 今後の運営

5.1 APT WTDC-21準備会合及びAPT共同提案

準備会合は今後一回の会合を予定しており、次回第4回会合は2022年1月24日から28日に、タイ (バンコク) 及びオンラインのハイブリットでの開催が予定されている。

■表2. 暫定APT共同提案の一覧

	文書	担当者
1	第1研究委員会課題6の修正 消費者情報、保護及び権利：法律、規制、経済基盤、消費者ネットワーク	Ms. Yapeng Wang (中国)
2	決議8の修正 情報及び統計の収集及び普及	Mr. Anang Raghutama (インドネシア)
3	決議37の修正 デジタルデバイドの解消	Ms. Syahniza Md. Shah (マレーシア) 大山 真澄氏 (ソフトバンク)
4	決議48の修正 通信規制当局間の協力の強化	Ms. Wang Ying (中国)
5	決議64の修正 電気通信/ICTサービスのユーザー /消費者の保護と支援	Mr. Norman Razali (マレーシア)
6	決議67の修正 児童オンライン保護におけるITU-Dセクターの役割	Ms. Nicola Bennett (オーストラリア)
7	決議69の修正 開発途上国のための国内CIRTの創設とそれらの間の協力の促進	Ms. Airisha Strasser (オーストラリア)
8	新決議 パンデミックとの戦うための情報通信技術の利用	中島 功氏 (日本)

*2 High Altitude Platform Stationの略

*3 Computer Incident Response Teamsの略

*4 Pacific Cyber Security Operational Networkの略



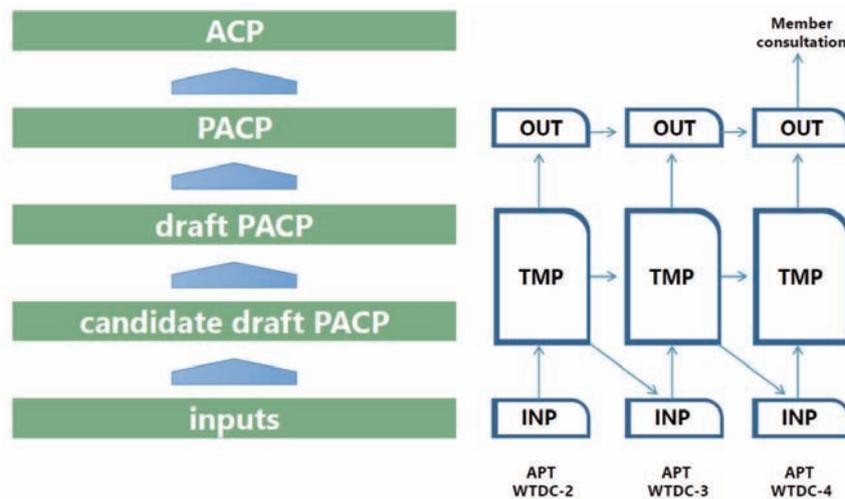
WTDC-21へ提出するAPT共同提案は、図1のプロセスを経て、2022年2月から3月に実施されるAPTメンバーのコンサルテーションにかけられる。決定されたAPT共同提案は2022年4月にITUへ提出される予定となっている（図2）。

5.2 今後の会合日程

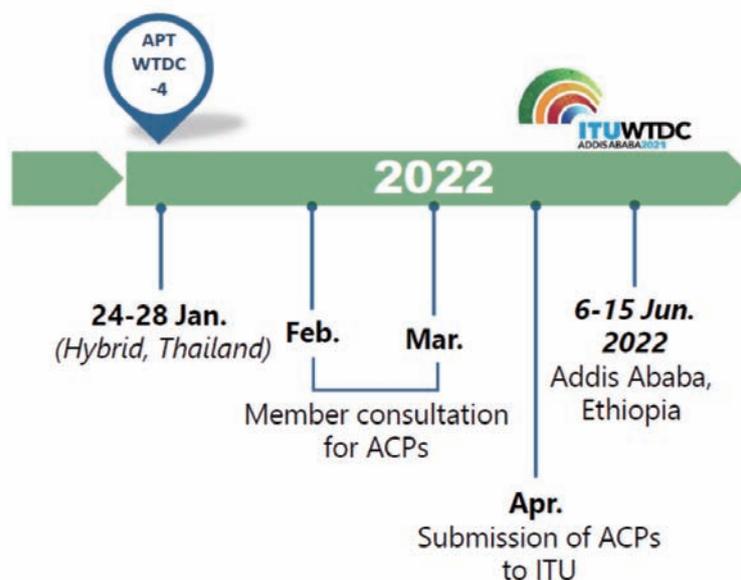
WTDC-21が2022年6月に延期されたことに伴い、2021年11月にTDAGの開催が予定されている。そのほか、地域間会合及びITU理事会が予定されており、表3に今後の日程をまとめておく。

■表3. 今後の日程

2021年11月8日～12日	TDAG（バーチャル）
2021年12月13日～14日	第2回地域間準備会合（IRM）（バーチャル）
2022年1月24日～28日	APT第4回WTDC-21準備会合（タイ&Web）
2022年3月14日～15日	第3回地域間準備会合（IRM）（ジュネーブ）
2022年3月21日～31日	理事会（ジュネーブ）
2022年6月6日～15日	WTDC21-本会合（エチオピア）



■図1. APT共同提案提出プロセス



■図2. APT共同提案提出スケジュール

『ITUジャーナル』 2021年 総目次

Vol.51 No.1 ~ No.12

題名	筆者	所載
<年頭挨拶>		
●令和3年 総務大臣年頭所感	武田 良太	No. 1
●すべての人々にとってより安全、持続可能、接続可能な未来のデジタル化に向けて	Houlin Zhao	No. 1
●新年を迎えて	山川 鉄郎	No. 1
●2021年を迎えて	亀山 渉	No. 1
<トピックス>		
●第52回世界情報社会・電気通信日のつどい記念講演 データ主導社会の実現に向けて	谷脇 康彦	No. 3
●これからのAPT：2021年バージョン	近藤 勝則	No. 3
●ITU-T H.702の展開状況 —標準提案作成から採用システムが内閣総理大臣表彰の受賞—	山本 秀樹	No. 4
●一般財団法人日本ITU協会創立50周年 一般財団法人日本ITU協会 創立50周年を迎えて	山川 鉄郎	No. 9
総務大臣 祝辞	武田 良太	No. 9
日本ITU協会 50年のあゆみ		No. 9
歴代理事長からのメッセージ	五十嵐 三津雄／品川 万里／ 有富 寛一郎／森 清／ 鈴木 康雄／小笠原 倫明／ 福岡 徹／南 俊行	No. 9
●「日本ITU協会創立50周年記念式典」開催	一般財団法人日本ITU協会 企画部	No.10
<特集>		
●特集 アフターコロナ・ニューノーマル下で活躍が期待されるICTソリューション 新型コロナウイルス対策としての画像認識、顔認証ソリューション	高 聖明	No. 1
映像解析で“3密”をリアルタイム検知「COVID-19対策 映像解析AIソリューション」	柳原 尚史	No. 1
COVID-19時代に世界で注目されるコネクテッド・ワーカーによる現場DX	久池井 淳	No. 1
職場クラスター拡大防止対策に貢献する「コロナトレーサー [®] 」とは	松村 淳	No. 1
SNSをはじめとしたデジタル空間の健全化への取り組み	奥村 高大	No. 1
●特集 日本におけるオンライン診療サービス最前線 ITU-Tにおけるオンライン診療の標準化動向 Trends of telemedicine standardization in ITU-T	山本 秀樹	No. 2
コロナ禍を機に活用の広まるオンライン診療	原 聖吾／桐山 瑤子	No. 2
シェアNo.1のオンライン診療システム「CLINICSオンライン診療」	篠崎 智洋	No. 2
●特集 ローカル5Gの展開 「ローカル5Gオープンラボ」による共創活動	渡辺 憲一	No. 3

題名	筆者	所載
コラボレーションでひらくローカル5Gの未来 富士通のローカル5Gへの取り組み 森ビルの5G構想	神田 隆史 渡部 宗一	No. 3 No. 3
●特集 インノベーション・スタートアップ企業のご紹介 —AI for Good Global Summitより— インノベーション・スタートアップ企業のご紹介 —AI for Good Global Summitより—	金子 麻衣	No. 4
●特集 eスポーツ最前線 その1 日本の動向と課題について 国内外のeスポーツ動向と企業戦略	岡安 学 岩田 理史/ グリーン・コーディー	No. 5 No. 5
eスポーツの医療・福祉分野への活用とアクセシビリティへの課題	田中 栄一	No. 5
●特集 eスポーツ最前線 その2 サードウェーブとeスポーツ ゲシビ社の戦略	尾崎 健介 真鍋 拓也	No. 6 No. 6
●特集 ITU AI/ML in 5Gチャレンジ 第1回 ITU AI/ML in 5G Challenge ITU AI/ML in 5G Challengeについて—Global Round日本開催分の開催報告—	岡本 康史 橘 拓至	No. 7 No. 7
●特集 CESオンライン2021レポート 駆け抜けられぬオンライン展示会 チラ見への対応がオンラインを活性化する 日本のスタートアップ企業の取り組み 立体的な音場を実現する革新的な音楽体験「360 Reality Audio」	杉沼 浩司 加藤 浄海 知念 徹/海鋒 俊哉	No. 8 No. 8 No. 8
●特集 国内のオープンイノベーション×スタートアップ優良事例 イノベーション・エコシステムの形成に向けて オープンイノベーションの取り組み 脳波AIプラットフォームを通じて、ブレインテックの未来を創造する	鈴木 せいら 廣江 朋也 松原 秀樹	No. 9 No. 9 No. 9
●特集 eスポーツ×SDGs最前線 隆盛する世界のeスポーツと勃興する日本の現状 地方自治体のコンテンツ活用施策について —アニメ・ゲーム・eスポーツコラボにおける自治体としての課題と活路— 群馬から発信する障がい者eスポーツの形作りとeスポーツ活動	浜村 弘一 関山 篤/小山田 絵里子 濱川 博成	No.10 No.10 No.10
●特集 ICTと教育 教育改革とコロナ禍におけるトライグループのICT教育戦略 —「Try IT」「AIタブレットサービス」「オンライン集団LIVE 夏期講習」の事例から— 360度、3Dだけではない学習効果の高い「VRschool」 マイクラを使ったデジタルものづくり教育の実践 —Minecraftカップ—	宝田 亮祐 金谷 建史 土井 隆	No.11 No.11 No.11
●特集 宇宙通信最前線 NTNソリューションに関するソフトバンクの取り組み 衛星事業における小型衛星の動向と我が国の今後の展開 宇宙光通信 宇宙ゴミ問題と宇宙状況把握	砂川 雅彦 加藤 松明 辻 宏之/豊嶋 守生 二村 徳宏	No.12 No.12 No.12 No.12

題名	筆者	所載
<ITUホットライン>		
●ITU電気通信開発局長の新戦略 (局長英日メッセージ付)	川角 靖彦	No. 1
●COVID-19とITUの活動	鳥越 祐之	No. 2
●ITU-R会議準備会合 (CPM) について規定した決議 ITU-R 2-8 一和訳と解説一	橋本 明	No. 2
●ITU-Rにおける議長・副議長訓練資料	新 博行	No. 4
●第12回ITUカレイドスコープ2020学術会議報告	松本 充司 / Ved P. Kafle	No. 4
<スポットライト>		
●O-RANによるオープン化、マルチベンダー接続	ウメシュ・アニール	No. 1
●2020年世界情報社会・電気通信日の特別記念局8J1ITU運用報告	木下 重博	No. 1
●スマートシティ社会に有効なセキュリティ技術の研究と日欧実都市での実証 —日欧共同研究開発プロジェクト「M-Sec」の紹介—	道口 恵子 / Vanessa Clemente Núñez	No. 1
●衛星通信と5G/Beyond 5Gの連携の動向	三浦 周	No. 1
●アフリカ市場の動向とビジネス環境	杉野 晋介	No. 2
●DX活用による地域活性化事例 —北海道神恵内村陸上養殖システム—	武野 竜也	No. 3
●コロナ禍でのサイバーセキュリティ対策「IoT・5G セキュリティ総合対策2020」について	横澤田 悠 / 中村 公洋	No. 4
●デジタル国家エストニアにおける新型コロナへの対応について	牟田 学	No. 4
●低軌道衛星を用いる衛星IoTプラットフォーム技術	山下 史洋	No. 4
●グローバル・ビジネスレビュー ～国際競争に打ち勝つための戦略的取組事例～	総務省 国際戦略局 通信 規格課 / 金子 麻衣	No. 5
●Time of Flight方式デブスカメラとセンサー技術	安 陽太郎	No. 5
●6Gに向けたテラヘルツ波通信技術の動向	寶迫 巖	No. 5
●テラヘルツ波帯の無線通信規則の改定と今後の展望	小川 博世	No. 5
●ボディアエリアネットワークの標準と実装の状況	田中 宏和	No. 6
●IoTセキュリティ研究開発最前線	吉岡 克成 / 塩治 榮太郎 / 笠間 貴弘 / 田辺 瑠偉 / 秋山 満昭 / 井上 大介	No. 6
●2020年度APT研修 地域におけるデジタルディバイド解消に向けたEアプリケーションのための基本的なネットワーク計画スキル向上 Development of fundamental network planning skills for E-application in regional community to bridge the digital divide	一般財団法人日本ITU協会 国際協力部	No. 6
●WSISフォーラム2021ハイレベルトラックの結果概要	山口 典史 / 大槻 芽美子	No. 7
●Beyond 5G戦略に沿った取組みの進捗状況について	総務省 総合通信基盤局 電波部 移動通信課 新世代 移動通信システム推進室	No. 7
●データ社会推進協議会の取組み	眞野 浩	No. 7
●自律型ネットワーク構築のためのAI (人工知能) / ML (機械学習) 統合 —次世代電気通信の今後の道筋	中尾 彰宏	No. 7
●情報通信研究機構 (NICT) のBeyond 5G (6G) に向けた標準化活動	中川 拓哉	No. 8
●Trusted Web構想の概要	大槻 孝之	No. 8

題名	筆者	所載
●Wi-Fi6の先にどんどん進む無線LAN技術	小林 佳和	No. 8
●[スマートIoT推進フォーラム総会の講演から] スマートIoT推進フォーラムの活動概要	神谷 健司	No. 8
公共インフラにおけるIoT、AI等の活用と3次元でのデータ管理	中村 和弘	No. 8
IoTを活用した原価管理や多品種少量生産の収益性改善	曾根 健一郎	No. 8
●ポストコロナ時代におけるデジタル活用に関する懇談会の概要	岡本 健太	No. 9
●異システム間の周波数共用技術の高度化に関する研究開発	新保 宏之	No. 9
●ワイヤレス電力伝送の実用化と今後の展開	庄木 裕樹	No.10
●成層圏プラットフォーム及びHAPS移動通信システムの研究開発	長手 厚史	No.10
●HAPS電波伝搬モデルの国際標準化状況	表 英毅	No.10
●医療AIプラットフォーム技術研究組合の取組み	宇賀神 敦	No.11
●令和3年版情報通信白書の概要	総務省 情報流通行政局 情報 通信政策課 情報通信経済室	No.11
●インフラモニタリング情報モデル標準化に向けた取組み	原田 崇	No.11
●「ICTサイバーセキュリティ総合対策2021」に基づく総務省の取組み	廣瀬 一朗	No.12
●Beyond 5G / 6G時代のライフスタイルとその実現技術について	小西 聡	No.12
●ITU-T H.430シリーズ活用事例：東京2020オリンピックのバドミントン競技の超高 臨場ライブ伝送技術実証	長尾 慈郎／長谷川 馨亮／ 武藤 誠／並河 大地／ 紺谷 精一	No.12
<ITUクラブ通信>		
ITUクラブ講演 デジタル分野における海外展開の取組み	大森 一顕	No. 4
<会合報告>		
●ITU-R SG5 WP5D (第36回) の結果について	丸橋 弘人	No. 1
●ITU-R SG6関連会合 (2020年10月) 結果報告	植田 史菜	No. 1
●ITU-T FG-AI4H会合報告	川森 雅仁	No. 1
●ITU-R SG4 (衛星業務) 関連WP会合及びSG4会合報告	服部 理	No. 2
●ITU-R SG5 WP5D (第36回bis) 等の結果について	丸橋 弘人	No. 2
●ITU-R SG7関係会合の結果について	安藤 麻里愛	No. 2
●ITU-T SG5 (環境、気候変動と循環経済) 会合報告	奥川 雄一郎／原 美永子／ 東山 潤司	No. 2
●第8回ITU-T SG11会合報告	釧吉 薫	No. 2
●第32回 ASTAP会合&第4回 APT WTSA準備会合報告	総務省 国際戦略局 通信 規格課	No. 2
●ITU理事会バーチャルコンサルテーションの結果概要	山口 典史／小澤 亮二／ 大槻 芽美子	No. 3
●ITU-R SG1関連会合 結果報告	青野 海豊	No. 3
●ITU-R SG5関係会合 (WP5A、5B、5C) 及びSG5会合の結果について	稲葉 亮／内田 寛武／ 伊敷 勉	No. 3
●ITU-T SG13 (2020年12月会合) 報告	後藤 良則	No. 3

題名	筆者	所載
●ITU-T SG20 (IoT及びスマートシティ)	渡邊 敏康／大塚 智史／ 佐々木 俊哉	No. 3
●アジア・太平洋電気通信共同体 (APT) 第15回総会及び第44回管理委員会の開催結果について	伊藤 未帆	No. 3
●ITU理事会作業部会 (2021年1-2月) の結果概要	山口 典史／小澤 亮二／ 大槻 芽美子	No. 4
●ITU-T SG17第8回特別会合報告	磯原 隆将／三宅 優	No. 4
●TSAG及びWTSA地域間準備会合報告	総務省 国際戦略局 通信規格課	No. 4
●ITU-T FG-VMの活動報告	中尾 康二	No. 4
●第7回 ITU-T FG-QIT4N報告	釧吉 薫	No. 4
●ITU-R SG4 (衛星業務) 関連WP会合及びSG4会合報告	服部 理	No. 5
●ITU-T FG-AN会合報告	ウォン・レオン	No. 5
●ITU-R SG5 WP5D (第37回) の結果について	丸橋 弘人	No. 6
●ITU-R SG6関連会合 (2021年3月) 結果報告	伊地知 大輝	No. 6
●ITU-T SG2の第8回会合状況	一色 耕治	No. 6
●ITU-T SG13 (2021年3月会合) 報告	後藤 良則	No. 6
●第4回ITU-D SG会合結果概要	小澤 亮二／財津 奈央／ 川野 佑公	No. 6
●アジア・太平洋電気通信共同体 (APT) 無線グループ (AWG) 第27回会合 (2021年3月22日-30日) 報告	総務省 総合通信基盤局 電波部 電波政策課 国際周波数政策室	No. 6
●APT WTDC-21第2回準備会合及びITU地域準備会合 (PRM-ASP)、地域間準備会合 (IRM) の結果概要	山口 典史／大槻 芽美子／ 財津 奈央	No. 6
●ITU-R SG7関係会合の結果について	福田 萌人	No. 7
●無線通信アドバイザーグループ (RAG) 第28回会合結果概要	木原 隆博	No. 7
●第9回ITU-T SG11会合報告	釧吉 薫	No. 7
●ITU-T SG15 第7回Geneva本会合結果報告	村上 誠／近藤 芳展／ 鬼頭 千尋／金井 拓也	No. 7
●ITU-T FG-AI4EE 第3回会合報告	山田 徹	No. 7
●ITU-T FG-AN会合報告	ウォン・レオン	No. 7
●第2回APT WRC-23準備会合 (APG23-2) 結果報告	総務省 総合通信基盤局 電波部 電波政策課 国際周波数政策室	No. 7
●ITU-R SG5 WP5A第25回会合の結果について	丸橋 弘人	No. 8
●第6回ITU-T SG3会合報告	本堂 恵利子	No. 8
●ITU-T SG9 (映像・音声伝送及び統合型広帯域ケーブル網) 第6回会合報告	河村 圭	No. 8
●ITU-T SG12 (Performance, QoS, and QoE) 第10回会合	松尾 洋一／山岸 和久／ LEBRETON PIERRE	No. 8
●ITU-T SG16 (Multimedia) 第7回会合 Digest of the 7th ITU-T SG16 (Multimedia) meeting	山本 秀樹	No. 8
●ITU-T SG17第9回会合報告	磯原 隆将／三宅 優	No. 8
●FG AI4H会合報告	川森 雅仁	No. 8

題名	筆者	所載
●2021年TDAG結果概要	財津 奈央	No. 8
●第5回世界電気通信/ICT政策フォーラム専門家グループ会合 (IEG-WTPF-21) 結果概要	山口 典史/小澤 亮二/ 大槻 芽美子	No. 9
●ITU-R SG1関連会合結果報告	木原 隆博	No. 9
●ITU-R SG5 WP5D (第38回) の結果について	丸橋 弘人	No. 9
●ITU-T SG5 (環境、気候変動と循環経済) 会合報告	小林 栄一/服部 光男/ 原 美永子/東山 潤司	No. 9
●ASTAP-33 会合報告	重野 誉敬/長屋 嘉明/ 山口 大輔/真塚 裕理	No. 9
●ITU-R SG4 (衛星業務関連) WP会合報告	竹内 謹治	No.10
●ITU-T SG2の第9回会合状況	一色 耕治	No.10
●ITU-T SG20 (IoT及びスマートシティ)	渡邊 敏康/三上 雄一郎/ 三藤 米利紗	No.10
●APT PP-22第1回準備会合の結果概要	菅田 洋一/梶田 孝一郎/ 大槻 芽美子	No.10
●ITU理事会バーチャルコンサルテーションの結果概要	大槻 芽美子	No.11
●ITU-T SG11 WP会合報告	釧吉 薫	No.11
●ITU-T SG17第10回会合報告	磯原 隆将/三宅 優	No.11
●ITU-R SG7 (科学業務) 関連会合報告	竹内 謹治	No.12
●アジア・太平洋電気通信共同体 (APT) 無線グループ (AWG) 第28回会合 (2021年9月6日-14日) 報告	総務省 総合通信基盤局 電波部 電波政策課 国際周波数政策室	No.12
●APT 第3回WTDC-21準備会合 結果報告	川野 佑公	No.12
<この人・あの時>		
●シリーズ! 活躍する2020年度日本ITU協会賞奨励賞受賞者 その1	石川 寛/石田 渉	No. 3
●シリーズ! 活躍する2020年度日本ITU協会賞奨励賞受賞者 その2	井上 統之/奥山 卓	No. 4
●シリーズ! 活躍する2020年度日本ITU協会賞奨励賞受賞者 その3	鴨田 浩和/斉藤 洋之	No. 5
●シリーズ! 活躍する2020年度日本ITU協会賞奨励賞受賞者 その4	榊原 守浩	No. 6
●シリーズ! 活躍する2020年度日本ITU協会賞奨励賞受賞者 その5	白波瀬 武史	No. 7
●シリーズ! 活躍する2020年度日本ITU協会賞奨励賞受賞者 その6	傳寶 浩史	No. 8
●シリーズ! 活躍する2020年度日本ITU協会賞奨励賞受賞者 その7	周 意誠/戸枝 輝朗/ 外村 喜秀	No. 9
●シリーズ! 活躍する2020年度日本ITU協会賞奨励賞受賞者 その8	中島 佳宏/西本 友成	No.10
●シリーズ! 活躍する2020年度日本ITU協会賞奨励賞受賞者 その9	山本 賢一/ルマント ルディ/ 量子鍵配送ネットワーク標準 化チーム	No.11

ITUAJより

編集後記

宇宙というと、2021年は、初めての商業宇宙船で半年以上の国際宇宙ステーション滞在を終え地球に帰還したというニュースが思い浮かびます。帰還した飛行士がインタビューに答えるのを、オンライン会見であったことを特に意識することなく見ました。

しかしながら、このような環境は当たり前ではなく、いまだ世界の約半数の人々はインターネットに接続できていないと言われていています。通信環境が圏外となるような場所や状況に対してインターネットを利用できる環境を、また、更に進んだ通信環境の実現をと、宇宙通信の研究開発が進められてきました。

本特集「宇宙通信最前線」では、利用の広がる小型衛星や、新たな課題である宇宙ゴミについても解説しています。どうぞご精読ください。

ITUジャーナル読者アンケート

アンケートはこちら https://www.ituaj.jp/?page_id=793

編集委員

- | | | |
|-----|-------|------------------|
| 委員長 | 亀山 渉 | 早稲田大学 |
| 委員 | 菅田 洋一 | 総務省 国際戦略局 |
| 〃 | 山口 大輔 | 総務省 国際戦略局 |
| 〃 | 石川 幸恵 | 総務省 国際戦略局 |
| 〃 | 服部 恵二 | 総務省 総合通信基盤局 |
| 〃 | 中川 拓哉 | 国立研究開発法人情報通信研究機構 |
| 〃 | 荒木 則幸 | 日本電信電話株式会社 |
| 〃 | 中山 智美 | KDDI株式会社 |
| 〃 | 福本 史郎 | ソフトバンク株式会社 |
| 〃 | 熊丸 和宏 | 日本放送協会 |
| 〃 | 山口 淳郎 | 一般社団法人日本民間放送連盟 |
| 〃 | 菰田 正樹 | 通信電線線材協会 |
| 〃 | 中兼 晴香 | パナソニック株式会社 |
| 〃 | 牧野 真也 | 三菱電機株式会社 |
| 〃 | 長谷川一知 | 富士通株式会社 |
| 〃 | 飯村 優子 | ソニーグループ株式会社 |
| 〃 | 神保 光子 | 日本電気株式会社 |
| 〃 | 中平 佳裕 | 沖電気工業株式会社 |
| 〃 | 小川 健一 | 株式会社日立製作所 |
| 〃 | 吉野 絵美 | 一般社団法人情報通信技術委員会 |
| 〃 | 島田 淳一 | 一般社団法人電波産業会 |
| 顧問 | 齊藤 忠夫 | 一般社団法人ICT-ISAC |
| 〃 | 橋本 明 | 株式会社NTTドコモ |
| 〃 | 田中 良明 | 早稲田大学 |

編集顧問より

5G、6G時代の情報インフラと危険

東京大学名誉教授

さいとう ただお
齊藤 忠夫



半導体技術は20世紀の後半急速に発展し、コンピュータの小型化を進め、マイクロプロセッサは世界を変革してきた。しかし、コンピュータに関して、プロセッサ以外の情報技術では20世紀の発展では不十分であって、21世紀になってからの発展も大きい。例えば、大容量記憶装置は20世紀から存在するが、2000年ごろの磁気記憶装置は容量も小さく、21世紀に入ってからの垂直記憶技術の発展が今日のシステムを作っている。

技術の発展の中で、携帯通信技術の発展も大きい。システムは2000年代の3Gから、4Gに進み、2020年代には5G携帯の時代に入る。3G、4Gでは、世界の人口のすべてが高速伝送を活用している。2020年からはそのなかで、さらに多数の端末が使われそうになっている。5Gシステムでは世界人口100億人に対して、その10倍、100倍の端末があり、1兆端末が通信するという期待も語られている。こうした期待は地球が無尽蔵の人口を支えることができると信じられていた20世紀の古い期待である。

2020年になった今日では、地球温暖化は実感できる気候変動、その結果としての森林火災などの異常を起し、地球の容量の限界も実感されている。世界で100億人の人口を支えることの困難、CO₂問題、プラスチック汚染問題が古い技術の誤りであるという理解も進んでいる。多くの技術ではその発展が地球の将来に与える影響に注意が向いている今日、影響が指数関数的に増える携帯通信技術については、端末数の増加が人類の将来を豊かにするという考えは過去の話である。技術の普及が良いことだと言うためには、地球環境を考慮することが求められるが、そうした議論は希である。ITUでも個々の技術について、人間に害にならないようにする議論は多様にあるが、端末数の増加と地球温暖化の関連はあまり語られることはない。5Gシステムの端末数の単純な増加を期待するだけでなく、2030年以降の地球を考える議論が求められている。これからの技術では常に地球の容量の理解が重要である。

ITUジャーナル

Vol.51 No.12 2021年12月1日発行/毎月1回1日発行

発行人 山川 鉄郎

一般財団法人日本ITU協会

〒160-0022 東京都新宿区新宿1-17-11

BN御苑ビル5階

TEL.03-5357-7610(代) FAX.03-3356-8170

編集人 岸本淳一、石田直子、清水万里子

編集協力 株式会社クリエイト・クルーズ

©著作権所有 一般財団法人日本ITU協会



一般財団法人 日本ITU協会