

NTT

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可
令和5年6月1日発行 毎月1回1日発行 第35巻第6号(通巻411号)

技術ジャーナル

6

JUNE
2023
Vol.35 No.6

特集

超カバレッジ拡張を実現する 非地上系ネットワークの取り組み

トップインタビュー

梶村 啓吾
NTTコミュニケーションズ 代表取締役副社長

グループ企業探訪

エヌ・エフ・ラボラトリーズ

from NTTコミュニケーションズ

AI自然言語処理のビジネス活用——要約サービスの進展について



NTT 技術ジャーナル

6 JUNE
2023
Vol. 35 No. 6

CONTENTS

4 トップインタビュー

事業の基本は「人財」。
「共感」が新しい価値を生む原動力となる
梶村 啓吾

NTTコミュニケーションズ 代表取締役副社長



8 特集

超カバレッジ拡張を実現する 非地上系ネットワークの取り組み

- 10 完全遠隔無線制御型水中ドローンを実現する海中音響通信技術
- 14 Beyond 5G/6Gに向けた多層型NTNの研究開発
- 18 超広域大気海洋観測技術に向けた海洋観測機器の位置制御技術

21 挑戦する研究者たち

谷保 芳孝
NTT物性科学基礎研究所 上席特別研究員
めざすは「顔の見える研究者」。
興味と好奇心をドライビングフォースに、永遠の若手として材料創製に挑む



25 挑戦する研究開発者たち

西野 卓也
NTTコミュニケーションズ イノベーションセンター
テクノロジー部門 Metemcyber PJ
イノベーションは社会を面白くすることではない



30 明日のトップランナー

稲垣 卓弘

NTT物性科学基礎研究所
特別研究員

「光発振器ネットワーク」をさまざまな
課題に応用し、情報処理システムの
未来へ新たな一歩を踏み出す



34 グループ企業探訪

株式会社エヌ・エフ・ラボラトリーズ
高度セキュリティ人材を育成し、セキュ
リティ意識を当たり前のものに



38 form NTTコミュニケーションズ

AI自然言語処理のビジネス活用——要約サービスの進展
について

Webサイト オリジナル記事の紹介 42

7月号予定

編集後記

NTT技術ジャーナルはWebで閲覧できます。

<https://journal.ntt.co.jp/>



本誌掲載内容についての
ご意見、ご要望、お問い合わせ先

日本電信電話株式会社
NTT技術ジャーナル事務局
E-mail journal@ml.ntt.com

本誌ご購入のお申し込み、
お問い合わせ先

一般社団法人電気通信協会
ブックセンター
TEL (03)3288-0611
FAX (03)3288-0615
ホームページ <http://www.tta.or.jp/>

企画編集

日本電信電話株式会社
〒100-8116 東京都千代田区大手町1-5-1
大手町ファーストスクエア イーストタワー
NTTホームページ URL <https://group.ntt.jp/>

発行

一般社団法人電気通信協会
〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋2-1-1如水会ビルディング6階
TEL (03)3288-0608 FAX (03)3288-0615
URL <http://www.tta.or.jp/>

©日本電信電話株式会社2023

●本誌掲載記事の無断転載を禁じます●

※本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェアなどの名称は、
各社の商標または登録商標です。

View from the Top

NTTコミュニケーションズ
代表取締役副社長

梶村啓吾

PROFILE :

1989年日本電信電話入社。2012年NTTコミュニケーションズシステム部長、2017年同取締役ソリューションサービス部長、2020年NTTコムエンジニアリング代表取締役社長を経て、2022年6月より現職。



事業の基本は「人財」。

「共感」が新しい価値を

生む原動力となる

2022年、組織の再編成を実施した新ドコモグループ。グループの機能統合と事業責任の明確化を行い、お客さまへの提供価値の向上とさらなる成長をめざしています。組織の再編成を通じて、社会・産業の構造変革と新たなライフスタイル創出により、「あなたと世界を変えていく。」の実現をめざす新ドコモグループの法人セグメントを担う梶村啓吾NTTコミュニケーションズ代表取締役副社長に再編成後、注力している取り組みとトップとしての信条を伺いました。

足し算ではなく掛け算で 社会や産業のDXに貢献

DCC (NTTドコモ,NTTコミュニケーションズ, NTTコムウェア) の組織再編成から2年目を迎えますが、振り返ってみていかがでしょうか。

2021年に発表した「新ドコモグループ中期戦略」に基づいて、2022年1月にDCCで経営統合、2022年7月にグループ会社間の事業移管などを含む組織の再編成を実施しましたが、私はこの再編成のタイミングで副社長に就任しました。NTTコミュニケーションズ (NTT Com) が提供する全サービスの統括責任者としてのプラットフォームサービス本部長に加

え、コーポレート、技術・イノベーション、社内システム、情報セキュリティを所掌している立場から、DX (デジタルトランスフォーメーション)、CX (カスタマーエクスペリエンス)、GX (グリーントランスフォーメーション)、EX (エンployeeエクスペリエンス) すべての領域で変革を推進しています。

この再編成によって、NTT Comはこれまでのコアビジネスである、固定ネットワーク、クラウド、データセンタなどに加え、NTTドコモの5G (第5世代移動通信システム)、IoT (Internet of Things)、NTTコムウェアのソフトウェア開発力を合わせ、全国のすべてのお客さまにトータルソリューションをワンストップ

でご提供できるようになりました。

再編成時、NTT Comは約100のサービスを提供しており、そこへNTTドコモの約200のサービスが加わり、サービスの数は約300となりました。私はこれを足し算ではなく掛け算でとらえており、さらに営業力の強化を掛け合わせると可能性は無限に広がると非常にワクワクしました。

また、この1年は、新たに加わったサービスを従来からのNTT Comのお客さまへ重点的にご提案するスタートダッシュ施策に加え、5Gやドローン、ロボット、XR (クロスリアリティ) 等のIoTといった技術を組み合わせる新しい価値を創造し、お客さまのニーズに合わせてご提供することに努めてきました。



おかげさまで、ファーストステージにおける成果は各所に表れており、お客さまには「NTT Comからの提案の幅がさらに広がる」と期待を持っていただいていると実感しています。変革のネクストステージとなる2023年はさらなる飛躍をめざし、この期待にこたえるべく、早期にお客さまに向けた具体的な価値を提供していきたいです。

お客さまの期待にこたえる姿勢に心強さを感じます。具体的な取り組み例をお聞かせいただけますでしょうか。

大企業向けには遠隔管理や最適化を実現するIoTソリューションの拡大（エネルギー、自動車等）、低遅延でセキュリティの高い5Gとdocomo MEC™（Multi-access Edge Computing）活用ソリューション等の成果が出始めています。例えば、クマヒラ様の「AI顔認証モバイルゲート」に5Gと「docomo MEC™」を組み合わせ、大規模イベントなどにおける入場管理業務の効率化を図る共同検証を実施し、1分間にゲートを通過できる人数が、従来環境と比較して23%増加という成果を得ました。また、自動運転やドローンの自律飛行においても続々と実験成果が出ていますので今後商材化につなげていきたいですね。

このほか、グローバル展開されているお客さまのモバイルサービスに対するニーズも高く、しっかりとこ

れに対応していくとともに、中小企業向けのサービス創出などについて移動・固定融合サービスのラインアップも強化していきます。引き続き、モバイル・クラウドファーストでの先進ソリューションによって、社会や産業のDXに貢献していきたいと思えます。

サービスは「つくって、売って、使ってもらう」ことが大切

新たな価値提供、社会に与える影響を考えるとワクワクします。NTT Comのユニークな技術についてサービス戦略と合わせてご紹介いただけますでしょうか。

ソリューションサービス部長時代に、お客さま個々の要求に合わせさまざまなSIプロジェクトを立ち上げやり抜いてきましたが、個別SIはどうしても手間がかかり、リードタイムが長い、スケールしないという課題があります。以来、全社を挙げて、この課題をブレイクスルーすべくお客さまへの提供価値をベースにソリューションをリピータブルな「モデル」化するというイノベーションに取り組んでいます。

そして、このソリューションモデルを支えるサービスがデータと価値をつなぎ、データドリブンでDXを実現するプラットフォームであるスマートデータプラットフォーム（SDPF）です。ネットワーク、クラウド、ス

トレージ、セキュリティ、AIエンジン、データ利活用機能など、80以上のコンポーネントを、ビジネスに応じて必要な機能を選択して自由に組み合わせ利用することができます。先述のとおり、今回の再編成でモバイル、端末、デバイスなど新たなケイパビリティが強化されましたから、これまで提供してきたSDPFと組み合わせることで提供できる付加価値が格段に高くなつた範囲になりました。

さらに、これらのコンポーザブルなサービス戦略を支えるテクノロジーとしては、ネットワーク付加機能を仮想化するVxV（Virtual Everything Function）基盤や、コンポーネントをインテグレーションするDevOpsプラットフォーム「Qmonus（クモナス）」などの技術があります。これまでも、DCC連携サービス第一弾となったFlexible Mobile Connectをはじめ、さまざまなサービスのスピーディな開発・提供に貢献しています。IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想の柱の1つである、Cognitive Foundationの核となるマルチオーケストラ部分にも今後Qmonusが組み込まれる予定があるなどNTTグループ各社でも活用が始まっています。道半ばですが、世界的にみても通信事業者がこのような技術に内製開発で取り組んでいるのは他に例をみないと思います。

そして、現在このSDPFを活用し

て、多岐にわたるマーケットイン型のサービス開発プロジェクトを進めており、通信キャリアの強みを活かした「ゼロトラスト型ネットワークサービス」を拡充したり、社会課題を解決するスマートワールド推進でも、スマートシティのデータ利活用基盤やスマートエデュケーションの「まなびポケット」ユーザ500万IDを支える基盤として活用が進んでいます。

盤石な技術に裏打ちされたサービスが提供されているのですね。

私は、サービスは「つくって、売って、使ってもらう」ことが重要で、特に安心・安全に気持ちよく「使ってもらう」ことが大切だと考えています。そして、お客さまから選ばれ続けるサービスを提供するためにはCXが重要だととらえ、サービスの提案・導入時から導入後の運用、トラブル発生時の対応までのカスタマージャーニー全体にわたって、ニーズを先取りし、お客さまの体験価値の向上に向けて全社を挙げて取り組んでいます。

この実現のためには、お客さまの声（VoC：Voice of Customer）からサービスに対する期待と現状とのギャップを分析し、お客さま視点での改善サイクルを回していくことが大切です。例えば、サービスをご利用中のお客さまにはカスタマーポータルを提供していますが、残念ながら2021年のVoC調査では、NPS（推奨度）や満足度は非常に低い結果と



なりました。そのため組織横断でプロジェクト体制を立ち上げ、1年かけて典型的なお客さま像である「ペルソナ」を設定し、お客さまごとのカスタマージャーニーを整理し、ポータルの提供価値を再定義して改善を進めました。

その結果、2022年のVoC調査では、NPS、満足度ともに大幅に改善することができました。このような取り組みをお客さまとのタッチポイントごとに組織横断で進めていきたいと考えています。

人の話に耳を傾けなければ、人としての成長は止まってしまう

新たな技術が次々と生まれるこの時代をどのようにとらえていらっしゃいますか。

唐突ではありますが『スタートレック』というSFテレビドラマ・映画をご存じですか。SF好きの私はこの作品が大好きです。NTTに入社するきっかけの1つにもなりました。私は1989年にNTTに入社して、フリーダイヤル等の電話サービスの設計等を手掛けていましたが、当時すでにデータをネットワークでやり取りする時代が到来する兆候はあったものの、ここまで急速に発展するとは思っていませんでした。

まさに、『スタートレック』に描かれているように、イノベーションが進み、電話時代には考えられなかった世界が現実となりました。2000年当時、「次は宇宙の時代」と訴えても周囲にはあまり理解されなかった「宇宙開発」についても、いまやトレンド・ビジネスです。さらに、その先の未来もIOWN構想によって、現実のものとなりつつあります。

こうした社会を一変するイノベーションはこの仕事の醍醐味ではないでしょうか。そして、イノベーションを起こすためにも、トップは「将来はこうなる」と5年後、10年後の世界を見通して、会社のあり方や方向を示すことを求められていると思います。

収益の安定している事業をあえて見直そうとする人は少ないと思います。組織をまたいで新しいことを始

めようとも思わないかもしれません。しかし、こうした環境ではイノベーションは起きにくいのです。このため、広い視野を持ってビジネス全般を俯瞰していくことに注力しています。現在進行中の私たちの取り組みがそれを具体化したものです。

また、物事を多角的に見る必要性も感じています。ポジションが上がったり、年を重ねたりすると人の話に耳を傾けなくなる傾向にあるように思います。そのあり方はトップに限らず、人の成長を止めてしまうのではないのでしょうか。だから、私は社員との対話を欠かさず、コミュニケーションを図るようにしています。

コミュニケーションの重要性に気付いたきっかけはあったのですか。

きっかけは、いわゆる仕事上の「失敗」です。いくつかの失敗を経験し、そのたびに多くの人に助けていただき、その方々の話にしっかりと耳を傾けたことで突破口を見出すことができたのです。

私は事業の基本となるのは「人財」だと考えています。「サービスを創る力」「組み上げる力」のスキルアップに加え、新しいイノベーションを起こしていく原動力になる「共感力（人と人のつながりを力に変えるコミュニケーション活性化）」を有する人財を育てていきたいですね。

企業と顧客、社員と社員との「出会い」の場があって、つながりが生まれ、そこで湧き上がる「共感」が新しい価値を生む原動力となります。継続的にイノベーションが巻き起こるように自律的に協力し合い切磋琢磨する「共感する組織」づくりに努めていきたいです。

また、核となる部分はしっかりと持って、その軸がぶれないようにしています。一方で、現代は計画経済の時代とはいえませんが、イノベーションも加速しています。これまでのスピード感覚で物事をとらえられませんから、譲れない核となる部分はしっかりと据えて、あとは状況に応じて臨機応変に変化させていくように心掛けています。



技術者、社員、お客さまに向けて一言お願いします。

技術者の皆さん、プロの方から自分の知らない技術の話聞くのは勉強になるだけでなく楽しいしワクワクします。さまざまな技術やノウハウを持っている人と人がつながることで新しいイノベーションが起きますから、異業種間、競合どうしでも技術交流は大事だと思います。まさに技術は共通言語なのです。そして、マーケットと技術をつなぐ、顧客志

向の技術者として活躍してください。

そして、社員の皆さん、変革に終わりはありませんからネクストステージに向けて一緒に頑張っていきましょう。

最後に、私たちだけでは社会課題の解決には臨めません。NTT Comでは大手町プレイスにOPEN HUB ParkというIOWNをはじめとしたさまざまな技術の実証、共創の場を用意しています。また、IOWN推進室を設置し、ネットワークのソフトウェア化やデータセンタ間へのAPN (All

Photonics Network) 適用、IOWNの実証環境を活用したフィールド実証などの取り組みを加速しています。お客さまとともに目線を未来に向け、いろいろな技術を磨きつつ社会課題解決に向かって共創していきたいと思います。ぜひご一緒によろしくお願いたします。

(インタビュー：外川智恵/撮影：大野真也)

インタビューを終えて

トップインタビューでは、普段のビジネスインタビューでは垣間見られないトップの一面に触れようと、やや斜めからの質問もさせていただくことがあります。やみくもに質問して失礼にあたらないようにとスタッフに副社長のお人柄を伺ったところ、「どんなお話にもこやかに聞いてくださいますから、どんなことでも質問してください」とのこと。前評判どおり、梶村副社長はインタビューの間は笑顔を絶やすことなく、どんな質問にも躊躇なくお答えくださいました。

中でも、梶村副社長のサービス精神を感じたのは趣味についてのお話です。ゴルフやお酒がお好きだそうで、「スコアが今ひとつだったので、3年ぶりにドライバーを変えたんです。やっぱりイノ

ベーションは大切だと思ひましてね」と、ご自身の信念であるイノベーションになぞらえてお話くださいました。お話はここでおしまいでもよかったのですが、「何かでお話していないことを…」と振り向けると、「SF好き」であることを明かしてくださいました。『スタートレック』について語られる梶村副社長はまるで少年のように揚々として、そのお姿とお話に会場全体が引き込まれていきました。人を大切に思い、人とのかわりを大切にされる梶村副社長。インタビューではこのページに収まらないほど、さまざまなエピソードを聞かせてくださいました。梶村副社長の口先だけでなく、実の伴った言葉に信頼感を覚えたひと時でした。



特集

超カバレッジ拡張を実現する 非地上系ネットワークの 取り組み

NTTでは、従来の陸上における通信ネットワークだけではなく、
宇宙統合コンピューティング・ネットワークや海中音響技術により、
水上や水中への通信にカバレッジエリアを拡張する取り組みが行われている。
本特集では、各研究所で取り組んでいる技術について紹介する。

超カバレッジ拡張

海中音響通信

非地上系ネットワーク

衛星通信

台風観測

Extreme Coverage Extension

完全遠隔無線制御型水中ドローンを実現する海中音響通信技術 ————— 10

NTT未来ねっと研究所で取り組んでいる海中音響通信技術，および本技術により実現した世界初の完全遠隔無線制御型水中ドローンについて紹介する。

Beyond 5G/6Gに向けた多層型NTNの研究開発 ————— 14

Beyond 5G（第5世代移動通信システム）/6G（第6世代移動通信システム）時代の超カバレッジモバイルサービスを実現するため，HAPS，低軌道，静止軌道まで視野に入れた垂直方向の多層型NTN（Non Terrestrial Network）について紹介する。

超広域大気海洋観測技術に向けた海洋観測機器の位置制御技術 ————— 18

NTT宇宙環境エネルギー研究所の地球規模で海洋の常時・リアルタイムかつ広域・高密度な直接観測を実現する超広域大気海洋観測技術，およびその主要な取り組みの1つである観測機器の位置制御技術について紹介する。

完全遠隔無線制御型水中ドローンを実現する 海中音響通信技術

6G（第6世代移動通信システム）では、空・海・宇宙のような、これまで移動通信システムとして未踏であった領域への超カバレッジ拡張が期待されています。海中における超カバレッジ拡張を実現するため、NTT未来ねっと研究所では安定した長距離通信が可能な音響通信に着目し、高速化・長距離化・安定化に取り組んでいます。本稿では、NTT未来ねっと研究所の海中音響通信技術や、本技術により実現した世界初の完全遠隔無線制御型水中ドローンについて紹介します。

おくむら
奥村

りょうた
亮太

ふくもと
福本

ひろゆき
浩之

ふじの
藤野

ようすけ
洋輔

おおもり
大森

せいじ
誓治

いとう
伊藤

ゆうや
勇弥

NTT未来ねっと研究所

超カバレッジ拡張における 海中無線通信のニーズ

2030年代の実現をめざして研究開発が進む6G（第6世代移動通信システム）では、陸上における移動通信システムの高度化のみならず、これまで移動通信システムとして未踏領域であった空・海・宇宙も含めた通信エリアを展開する、超カバレッジ拡張の実現が期待されています⁽¹⁾。中でも海中は、海底資源開発や港湾設備工事といった産業分野において通信を利活用した効率化が望まれる一方で、これまで無線通信の利用が難しい領域でした。

陸上無線では電波が広く利用されていますが、海中では減衰が大きく、陸上と同様の使い方をすることができません。低い周波数の電磁波を使用する低周波電磁界通信が実用化されているものの、その伝送距離や伝送速度は極めて限られたものです。そこで、海中でも有効な無線通信の方法として、音波や可視光を利用した通信を挙げることができま。音波を利用した音響通

信は、電磁界通信と比較して高い周波数帯を利用可能かつ長距離伝送が可能です。しかし、利用可能な周波数幅は陸上無線と比較すると大幅に狭く、実用化されている音響通信技術の通信速度は数10 kbit/sと、センサデータ伝送等での利用に限られる性能です。一方で、可視光を使用する光無線通信は利用可能な周波数幅が広いと、音響通信と比較して高速通信が可能です。しかし、海水の濁りや太陽光による干渉の影響を受けるため、高速伝送可能な通信距離が限られるという問題があります。

このように、海中では自由度の高い無線通信利用が困難なことから、資源探査に用いられる無人探査船や港湾工事で使用される海中重機等は、海上の支援船と有線のケーブルにより接続し、遠隔制御が行われています。ケーブルの巻き上げ等の作業のため設備や人員のコストが必要となるほか、ケーブルが潮流で流されるため、作業の効率性や安全性にも課題があります。近年では、より手軽に扱うことができる

小型な水中ドローンも登場し、港湾設備や漁業設備の点検といった場面で、これまでダイバーが担っていた作業を代替する取り組みも進められています。しかし、こちらもケーブルの取り扱いが必要であり、作業の省力化や自律化の妨げになっています。

以上のように、海中における有線通信が柔軟な機器利用の妨げになっており、また水中ドローンといったような海中機器類の市場の広がりとともに、ケーブルを取り払いつつリアルタイムに精細な映像の伝送を実現可能なMbit/sクラスの無線通信技術への強いニーズが顕在化しています。NTT未来ねっと研究所では、利用環境への依存が小さく安定して長距離通信が可能な音響通信に着目し、海中への超カバレッジ拡張を実現するため、海中音響通信技術の高速化・長距離化・安定化に取り組んでいます⁽²⁾。

海中音響通信技術

海中音響通信は海中特有の環境や音波の性質により、高速・安定伝送が難

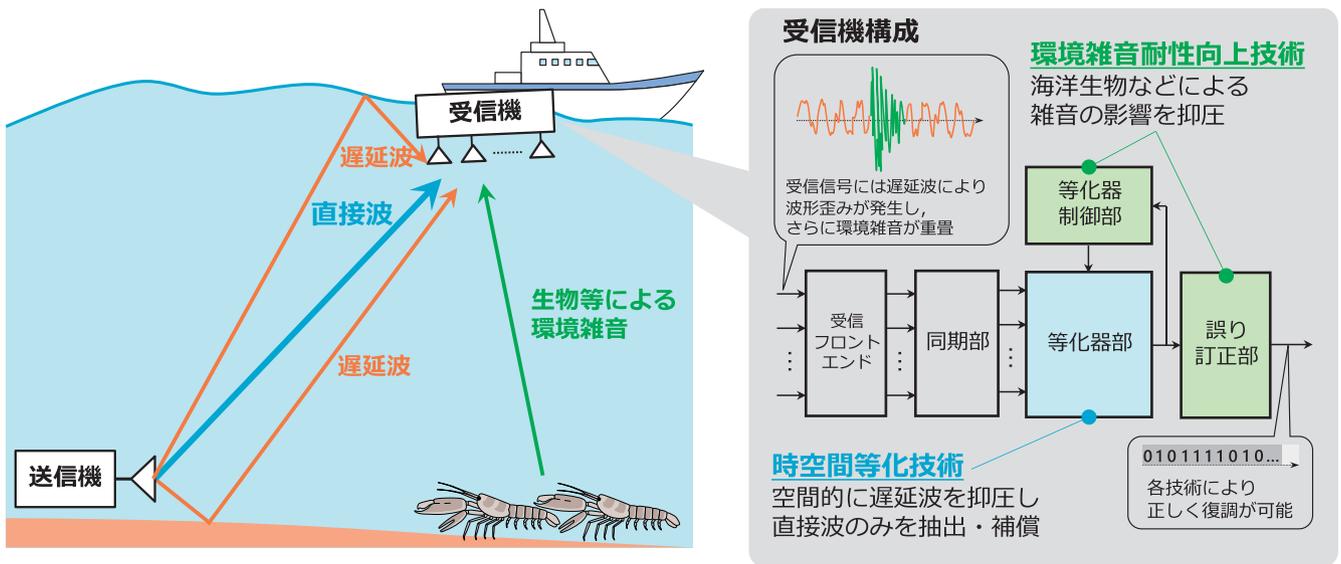


図1 海中音響通信の課題と時空間等化技術・環境雑音耐性向上技術

しいという特徴があります。特に高速化を妨げる要因となるのが、音波が海面や海底、あるいは岸壁等により反射することで生じる、遅延波による問題です。海中で送信された音波は、直接波としてだけでなく、さまざまな経路を経た遅延波としても受信機に到来し、それらが合成された受信信号には波形歪みが発生します。そのような受信信号を復調し通信を成立させるためには、波形歪みを推定し、逆特性により補償する必要があります。海中音響通信では、音波の伝搬速度が約1500 m/sと陸上無線と比べて20万倍低速なため、経路ごとに大きく異なった伝搬遅延となり、また海面や通信装置を搭載した船舶が揺らぐため、それぞれの経路で異なったドップラーシフト*¹を受けることから、伝搬路が高速かつ複雑な変動をみせます。そのため、陸上無線で用いられている歪み補償技術では、この伝搬路変動に追従することができません。

また、音響通信の安定性を損なう要因として、環境雑音の影響が挙げられます。環境雑音の中でも海洋生物が発

する雑音の影響が大きく、特に問題となるのが、日本のみならず世界中の浅い海域に広く生息しているテッポウエビが発する雑音です。テッポウエビは威嚇などのため、頻繁にはさみを鳴らして破裂音を出しており、海中ではパチパチと、テンプラノイズと呼ばれる音が聞こえるほどです。この大音量かつ頻繁な音が音響通信信号に重畳されて受信されると、音響通信の安定性を阻害してしまいます。

これらの課題に対してNTT未来ねっと研究所では、高速化を実現する時空間等化技術⁽³⁾や、安定化を実現する環境雑音耐性向上技術⁽⁴⁾などを考案しています(図1)。時空間等化技術では、海面反射等による遅延波を除去し直接波のみを抽出することで、伝搬路が一定となる期間を長くし、伝搬路の推定・補償性能を向上し、高速化を可能にします。遅延波の除去は、複数のアンテナで受信した信号を使用し、フィルタ処理によって遅延波の到来方向にヌル(指向性の落ち込み)を形成する、すなわち空間的に遅延波を抑圧することで実現します。環境雑音耐性向上技

術では、テッポウエビなどによる大音量の雑音が瞬間的に重畳されることを考慮して時空間等化制御や誤り訂正を行うことで、雑音環境下でも安定した伝送を可能にします。

時空間等化技術および環境雑音耐性向上技術等により、Mbit/sクラスの海中音響通信が実現できることを実海域実験により検証しています。例として、時空間等化技術とMIMO (Multi-Input Multi-Output) *²伝送を組み合わせることで、距離18 mで5 Mbit/sなどの高速伝送に成功しています^{(3), (5)}。さらに環境雑音耐性向上技術とマルチキャリア帯域分割送信技術*^{3(2), (4)}を取り入れることで、距離300 mにおいて1 Mbit/s以上となる

*1 ドップラーシフト：音や光のような波の発生源と観測者の間で相対的な速度差がある場合に、実際の周波数とは異なる周波数が観測される現象。

*2 MIMO：送信、受信のそれぞれで複数の素子を使用することで、無線通信の容量を拡張し周波数帯域の利用効率を向上する技術。

*3 マルチキャリア帯域分割送信技術：異なる共振周波数を持つ送波器を使用し、それぞれで高効率な送信が可能となる帯域の信号を並列に伝送することで、広帯域にわたる信号を送信する技術。

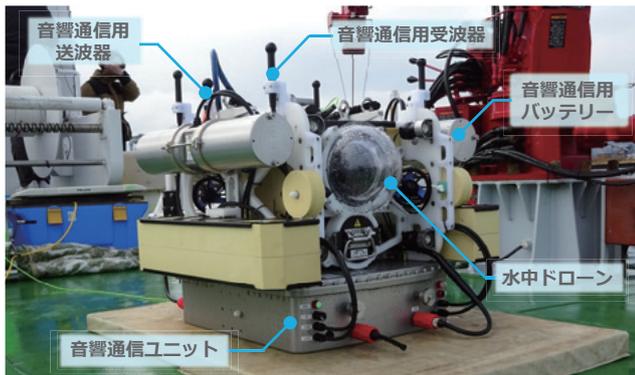


図2 完全遠隔無線制御型水中ドローン

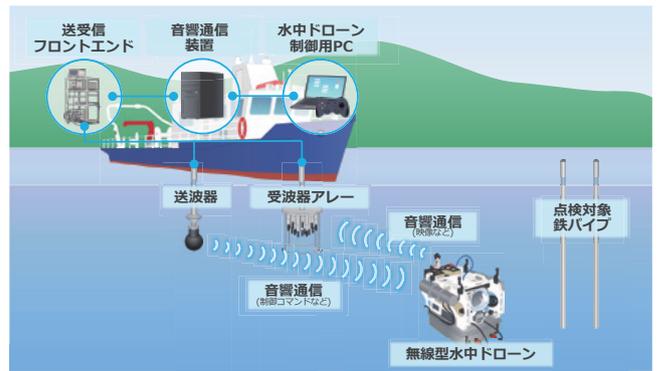


図3 無線型水中ドローン実証実験におけるシステム構成

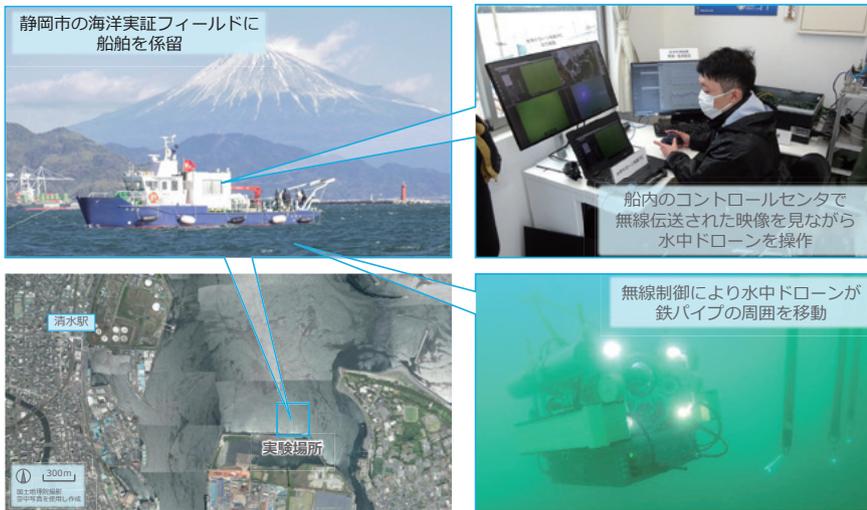


図4 清水港における無線型水中ドローン実証実験の風景

ケーブルがない状態でも遠隔操作や映像伝送が可能であり、海中で2時間以上連続動作することができます。

無線型水中ドローンのフィールド実証実験

海中設備点検を想定し、実践的な港湾環境において無線型水中ドローンの有効性を実証する目的で、静岡市の清水港周辺海域に展開される海洋実証フィールドにて実証実験を行いました⁽⁷⁾。図3に実証実験のシステム構成を、図4に実証実験の様子を示します。設備点検の対象と見立てた鉄パイプを実証フィールドに設置し、またフィールドに係留された船舶上に水中ドローンの遠隔無線制御に必要な装置類を設置したコントロールセンタを設けました。ケーブルを気にすることなく操作可能な無線型水中ドローンの特徴を活かし、コントロールセンタから、映像を見ながら無線型水中ドローンを無線により操縦することが可能であるかの検証を行いました。

水中ドローンの遠隔無線制御では、双方向で音響通信を行います。水中ドローンから船舶上のコントロールセンタへの上り通信では、映像や姿勢のデータを伝送します。実証実験で使用したパラメータにおけるスループット性能は164 kbit/sで、図5に示す、

伝送の実現可能性を確認しています⁽⁶⁾。通信性能がMbit/sクラスまで向上すると、SD画質(640×480 px, 30 fps)のストリーミング伝送トラフィックを収容することができます。海中の精細な映像の伝送を実現できることから、既存の音響通信技術と比較して、ユースケースを大幅に広げることができる性能値であるといえます。

完全遠隔無線制御型水中ドローン

Mbit/sクラスの高速通信が可能な音響通信技術により開拓されるユースケースの1つとして、完全無線により遠隔制御可能な水中ドローンを考えることができます。そこで、NTT未来

ねっと研究所の音響通信技術を搭載した音響通信装置を水中ドローンに適用し、世界初となる、完全遠隔無線制御型水中ドローン(無線型水中ドローン)を実現しました⁽⁶⁾、⁽⁷⁾。開発した無線型水中ドローンを図2に示します。水中ドローン本体の下部には、音響通信装置やアンプ類を水密筐体に格納した音響通信ユニットが接続されます。また、ドローンの上部には音響信号の送信に使用する送波器が4素子、受信に使用する受波器が4素子取り付けられています。その他、音響通信ユニットに電源供給するバッテリーや浮力調整用の浮力材が水中ドローン本体の周囲に配置されています。音響通信により



図5 音響通信により伝送された海中の映像の例
(640x420 px, 10 fps)

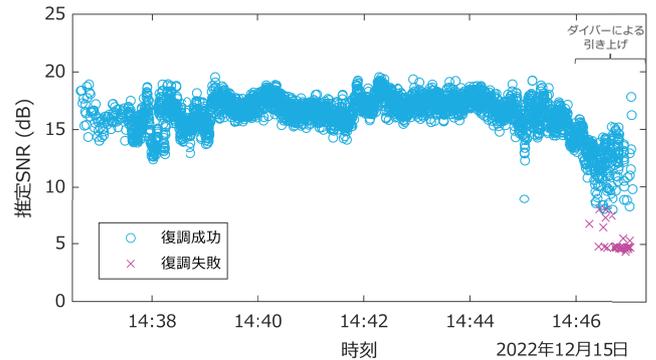


図6 実証実験における上り通信の復調成否およびSNR特性例

640×420 px, 10 fpsの映像を、コントロールセンタの水中ドローン制御用PCに表示可能であることを確認しました。実証実験における上り通信の復調成否および推定SNR (Signal-to-Noise Ratio) 特性の例を図6に示します。無線型水中ドローンを引き上げる際にダイバーの気泡により音波が遮断される場合を除き、復調失敗が発生することなく安定した上り通信が可能でした。コントロールセンタから無線型水中ドローンへは、コントローラ操作による制御コマンドを伝送します。スループット性能は13 kbit/sで、コントロールセンタのPCに表示される映像を見ながらコントローラによる制御を行い、無線型水中ドローンの自由な移動が可能であることを確認しました。映像を見ながら鉄パイプの状態を1本ずつ確認するような基本動作の実証だけでなく、鉄パイプをかわして船舶の底をくぐり抜けて移動するといった、ケーブルがあると不可能な動作にもチャレンジし、遠隔無線制御ならではの自由度の高い操縦が可能であることを実証しました。

なお、この実証実験では音響通信の適用対象が小型であり音響通信装置等の搭載スペースや質量に限られること、また、海中の映像伝送に必要な通信帯域が150 kbit/s前後であった

ということから、音響通信装置等は性能を抑えた構成として搭載し、さらに通信速度より高い安定性を優先した設定で動作させています。

今後の展開

水中ドローンの完全遠隔無線制御以外にも、さまざまなユースケースにおける海中無線通信利用を可能にする超カバレッジ拡張の実現をめざし、海中音響通信のさらなる高速化・長距離化・安定化に取り組んでいきます。また、海中音響通信技術のさまざまなユースケースについて、NTTグループやパートナー企業とともに実用化に向けた取り組みを加速させていきます。

参考文献

- (1) https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/
- (2) 増野・藤野・工藤：“6G時代の多様な無線アクセスを支える先端無線技術の研究開発,” NTT技術ジャーナル, Vol. 34, No. 5, pp.21-24, 2022.
- (3) 藤野・福本：“水中音響通信の高速化に向けた時空間等化技術,” 信学通誌, Vol. 15, No. 4, pp.284-297, 2022.
- (4) 藤野・大森・福本：“海中音響通信の高速化を実現する独自技術「時空間等化技術」のさらなる進化,” 日経ビジネスコミュニケーション, Vol. 59, No. 9, pp.26-29, 2022.
- (5) H. Fukumoto, Y. Fujino, M. Nakano, K. Sakamoto, and T. Tsubaki: “Field Experiments Demonstrating Mbps-Class Underwater Acoustic Communication with Spatio-Temporal Equalization,” Global Oceans 2020, pp. 1-6, Oct. 2020.
- (6) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/11/01/221101a.html>
- (7) 福本・奥村・藤野・大森・伊藤・石原・

田端：“水中音響通信を用いた無線制御型ROVの実験実証,” 電子情報通信学会総合大会, B-5-117, 2023.



(上段左から) 奥村 亮太/ 福本 浩之/
藤野 洋輔

(下段左から) 大森 誓治/ 伊藤 勇弥

将来的には、現在の陸上と同じように海中でもスマートフォンなどで当たり前のように通信ができるような世界の実現をめざし、海中音響通信技術の研究開発に取り組んでいます。

◆問い合わせ先

NTT 未来ねっと研究所
波動伝搬研究部
TEL 046-859-5051
FAX 046-859-3351
E-mail ryota.okumura@ntt.com

Beyond 5G/6G に向けた 多層型NTNの研究開発

NTTではIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の柱の1つとして宇宙通信の拡張を位置付けており、現在、関係機関と連携しながら、宇宙統合コンピューティング・ネットワークの構想を掲げ、上空20 kmの成層圏に無人飛行体を停留させる高高度プラットフォーム (HAPS)、宇宙空間の低軌道・静止軌道まで視野に入れた垂直方向の宇宙通信・コンピューティングインフラの構築をめざしています。本稿ではBeyond 5G (第5世代移動通信システム) /6G (第6世代移動通信システム) 時代の超カバレッジモバイルサービスを実現するため、HAPS、低軌道、静止軌道まで視野に入れた垂直方向の多層型NTN (Non Terrestrial Network) について解説します。

やました
山下

ふみひろ
史洋

まつい
松井

むねひろ
宗大

かのう
加納

ひさよし
寿美

あべ
阿部

じゅんいち
順一

NTTアクセスサービスシステム研究所

はじめに

宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想では、統合インフラはRF (Radio Frequency) 無線や光無線で接続され、究極的にはコンステレーションの分散コンピューティングによって処理を分担し、宇宙で発生するデータを宇宙で処理・分析を完結させることで、地上の災害等の影響を受けず、宇宙で自立して持続可能なインフラをめざしています⁽¹⁾。宇宙統合コンピューティング・ネットワークは3つの機能に対応しています。1番目は宇宙センシングで、地上ネットワークが届かないエリアでのIoT (Internet of Things) 通信と衛星からの観測により、地球規模の包括的なセンシングの実現をめざしています。2番目は宇宙データセンタで、光電融合による衛星搭載機器の低消費電力化を実現することで、大容量の光無線通信とコンピューティング処理を備えたインフラを整備し、より即応性のあるさまざまなアプ

リケーションを開発可能にしています。3番目は、宇宙RAN (Radio Access Network) で、Beyond 5G (第5世代移動通信システム) /6G (第6世代移動通信システム) 時代に向け、地上と静止軌道 (GEO) 衛星、低軌道 (LEO) 衛星、HAPS等の通信インフラを統合し、超カバレッジ・超耐災害性などをめざしています。本稿では宇宙RANの中で、NTT研究所が注力している多層型NTN (Non Terrestrial Network) に関する研究開発を紹介します。

多層型NTNによる Beyond 5G/6G通信サービス

■提案コンセプト

現在、Beyond 5G/6G時代に向けた研究や検討が各国で開始されていますが、地上モバイルサービスエリアの超カバレッジ化もその研究の柱の1つと位置付けられ、衛星通信やHAPSの活用が議論されています⁽²⁾。超カバレッジの概念には地上のルーラルエリアだけでなく、空、海、宇宙も含まれ、

一般にNTNと呼ばれています。NTNでは通常のスマートフォンを用いた携帯電話サービスに加え、船舶・自動車・監視制御等の自動化・無人化で衛星通信やHAPS通信が利用されると予想されています。その際、地上ネットワークを利用できるエリアについては地上ネットワークを活用し、地上ネットワークのエリア外では衛星やHAPSを活用するなど、地上と上空のハイブリッドなネットワーク構成となります⁽³⁾。これまで衛星通信とモバイル通信は通信プロトコルが独立でインタフェース仕様も分かれており、それぞれで回線終端していました。今後はBeyond 5G/6G時代の超カバレッジサービスを見据え、5Gの通信仕様を一部衛星用にカスタマイズされた汎用チップを端末や基地局に実装することで、衛星と地上のシームレス通信接続が期待されています。GEO/LEO/HAPSに対するアクセスサービスを統合した宇宙RANにより、超広域カバレッジサービスを実現することで、

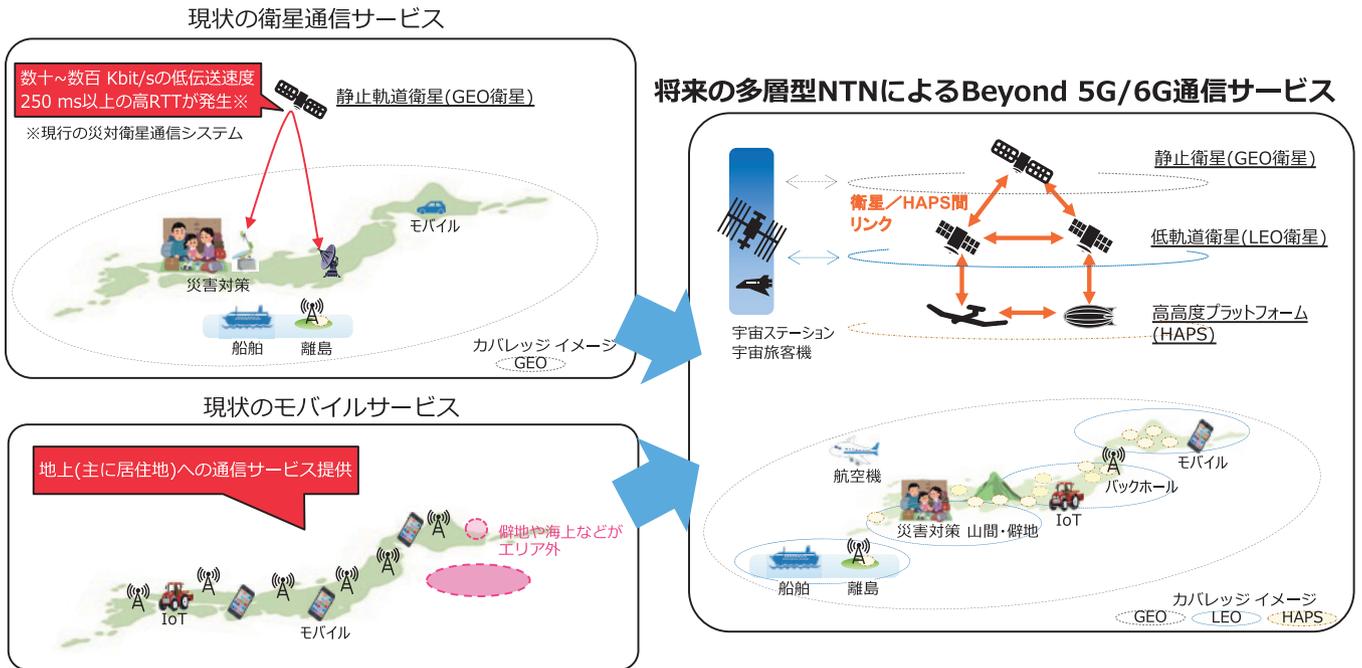


図1 多層型NTNによるBeyond 5G/6G通信サービス

災害対策だけでなく、離島やへき地のエリア化、飛行機や船などの通信環境の飛躍的な改善など、利便性の向上や新たな付加価値の提供が可能となります(図1)。

なお、上空方向のネットワークとして、GEO/LEO/HAPSは、カバレッジ・コスト・遅延・技術成熟度の観点で一長一短があり、いずれか1つに特定されません。例えば、GEOは1機の衛星でカバレッジが最大となりますが、衛星伝搬遅延が250 msとトレードオフがあります。一方でLEOは伝搬遅延が数msですが、上空を移動するため常時接続性を維持するには多数の衛星が必要となります。HAPSは伝搬距離が短く、スマートフォンからのダイレクトアクセスやスポットエリアでブロードバンドサービスを提供できる可能性が高いですが、日本上空で安定した飛行・通信技術を確認し、低価格な通信機器が普及するまでに時間が必要です。その結果、Beyond 5G/6Gの時代では各国の地

域特性や通信事情も勘案し、地上とGEO/LEO/HAPSをベストミックスで柔軟に接続する世界が想定されます。

図2にNTT研究所が関係機関と一緒に考えている、多層型NTN実現までのマイルストーンを示します。スマートフォンのサービスカバレッジ拡大を中心に考えると、まずは軌道が低く、スマートフォンの電波を直接収容できるHAPS利用によるサービスをSTEP1と考えています。一方で、HAPSのみで日本全土や排他的経済水域をカバーするのは設備投資や導入スケジュールの観点で現実的ではなく、早期展開を見据えてHAPSと衛星の連携をSTEP2として考えています。図2においては、これまでにNTT研究所で研究開発実績があるGEO衛星との連携を想定しています。最後にSTEP3として、近年注目を集めているブロードバンドLEO衛星との連携を組み込むことで、多層型NTNの完成をめざします。

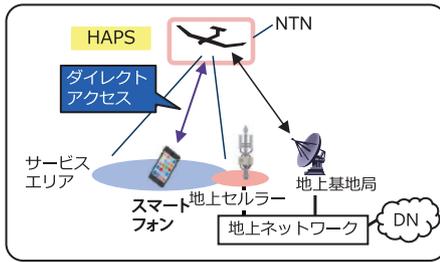
■主要技術

地上とGEO/LEO/HAPSを柔軟に接続するNTNの実現に向けて、以下の技術の研究開発を進めています⁽⁴⁾。

(1) NTNネットワークアーキテクチャ

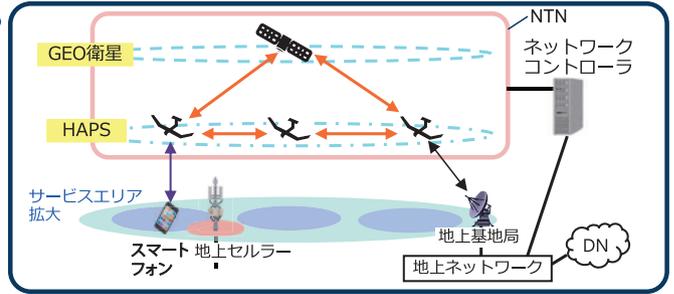
GEO/LEO/HAPSおよび地上セルラー網を組み合わせるトラフィックを収容する場合、ネットワークのアーキテクチャ設計が重要となります。図3にNICT(情報通信研究機構)のBeyond 5G研究開発促進事業委託研究を活用して進めてきた非地上系ネットワークによるカバレッジ拡張システムの研究開発を示します。例えばGEO/LEO/HAPSに対し、gNBを搭載する・しないによりネットワークアーキテクチャやトラフィックのルーティング方法が異なります。このため、多層ネットワークをEnd-Endでシームレスに接続するトラフィック転送アーキテクチャの確立が重要となります。一方で、GEO/LEO/HAPSの上空ネットワークは地上5Gや光ファイ

●STEP1: HAPS単機によるNTN



複数HAPS機体によるネットワーク化、GEO衛星との連携

●STEP2: GEO衛星とHAPSによる多層型NTN



LEO衛星、地上ネットワークとの連携

●STEP3: GEO/LEO衛星とHAPSによる多層型NTN

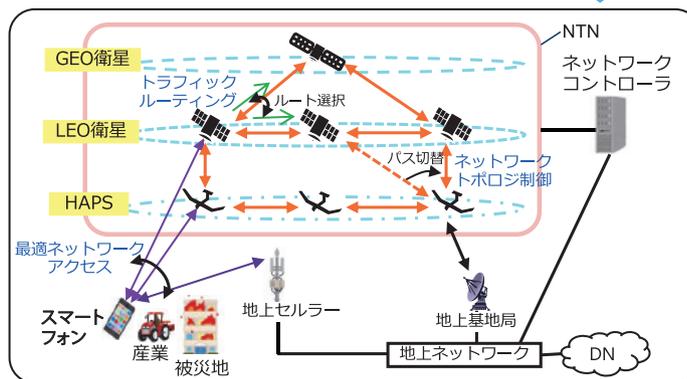


図2 多層型NTN実現に向けた研究開発マイルストーン

課題1: NTNノードのネットワーク化技術

課題2: カバレッジ拡張ユースケースシステムの開発と実証

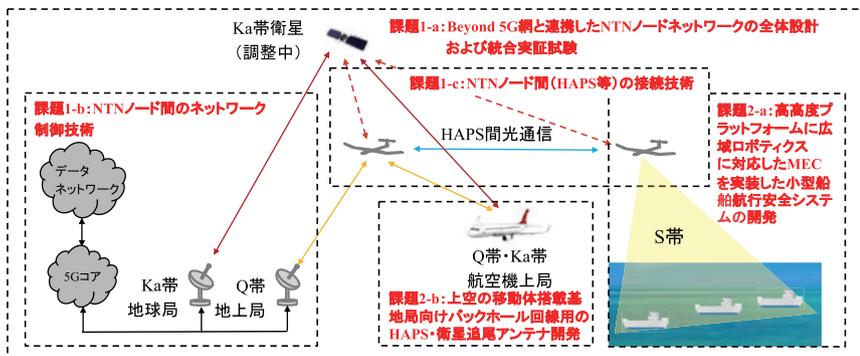


図3 NTNによるカバレッジ拡張通信システムの研究開発

バ網に比べて伝送容量が限られるため、輻輳時・降雨時・災害時などの周辺環境の変化に柔軟に対応するオペレーションが求められます。それぞれのインフラの特徴を加味しながら柔軟にトラフィックを収容する技術を確認するため、現在NTNシミュレータを開発しています。

現在研究開発を進めているGEOと

HAPSを用いた多層型NTNのネットワークルーティングの一例を図4に示します。例えば、海上のスマートフォンのトラフィックを地上のネットワークに転送するには、複数のHAPSをマルチホップするルートのほかに、HAPSからGEO衛星を経由するルートも考えられます。NTT研究所では、システム全体でトラフィックルーティ

ングの最適化を図るため、各リンクの伝送容量や遅延時間のファクタから、End-Endのルートコストを算出し、最適なルートを選定する方法を研究開発しています⁽⁵⁾。

(2) HAPS搭載技術

現在HAPSに搭載できる通信機器の重量・消費電力は限られており、現時点ではHAPS上で地上の携帯基地局相当の信号処理の実施は難しいです。その観点では、さらなるHAPS機体そのものの改良が期待されています。また、海上等のサービスでは、HAPSと地上基地局が大きく離れて運用するケースも想定され、HAPSと基地局を接続するために、隣接するHAPSどうしや、HAPSと衛星の接続するマルチホップ接続が必要となります。現在、マルチホップ接続実現の鍵となるHAPSどうしの光無線接続技術も検討を進めています⁽⁶⁾、⁽⁷⁾。

ルートコスト算出式： $C = \sum_{i=1}^n C_i$

$$C_i = \frac{Br}{R_i(1 - \alpha_i)} + \frac{D_i}{Bd} \quad \alpha_i = \frac{r_i}{R_i}$$

リンク容量の
ファクタ
遅延時間の
ファクタ
リンクの
混雑度

C_i : 通信リンク*i*のコスト値
 n : 通信ルートに含まれる通信リンクの総数
 Br : リンク容量の基準値
 R_i : 通信リンク*i*のリンク容量
 α_i : 通信リンク*i*の混雑度
 D_i : 通信リンク*i*の遅延時間
 Bd : 遅延時間の基準値
 r_i : 通信リンク*i*のトラフィック量

各リンクのリンク容量や遅延時間を考慮し、総合的に最適なルートを選定

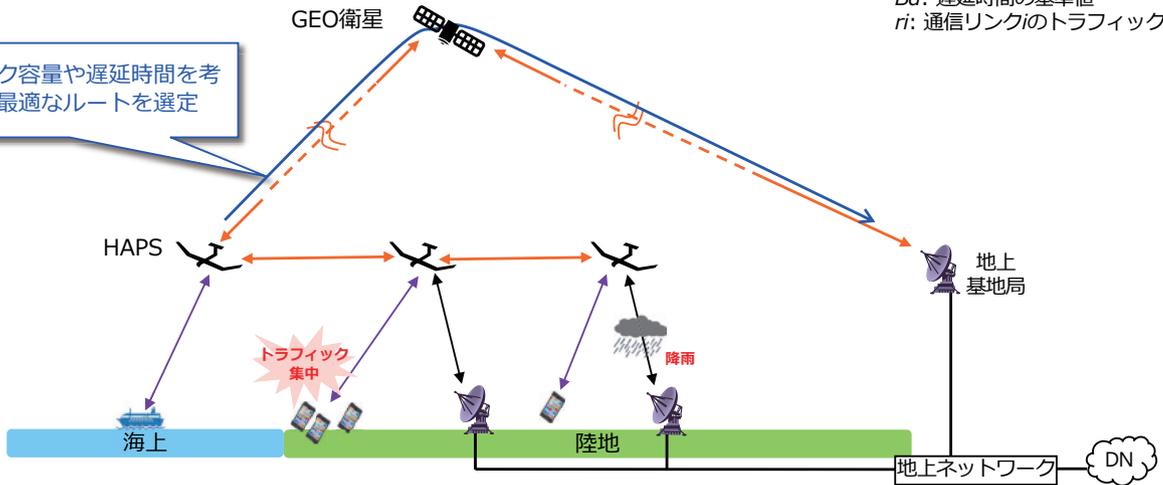


図4 HAPSとGEO衛星から構成される多層型NTNのトラフィックルーティング例

(3) ミリ波伝送技術

NTNサービスにおいて、モバイルユーザを想定したサービスリンクの高速化に伴い、それを束ねる衛星・HAPSと基地局間のフィードリンクにはより高速な伝送容量が求められます。このため、フィードリンクの周波数としてWRC (World Radiocommunication Conference) -19で新規に割り当てされたQ帯 (30/40 GHz帯) を活用することを想定しています。しかし、Q帯は降雨減衰が大きく、日本のような多雨地域では降雨減衰補償技術が必要となります。従来からのダイバーシチ技術に加え、降雨予測に基づいてプロアクティブに基地局を切り替える技術⁽⁸⁾や、前述した衛星・HAPSの光無線接続による降雨迂回制御技術についても研究開発を進めています。

今後に向けて

本稿では宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想を支える多層型NTNとそれを実現するための主要技

術を紹介しました。衛星やHAPSを活用したNTNは大規模な研究開発となるため、NTTだけで牽引することは難しく、関係機関や事業会社と連携しながら、将来の商用化を意識して基盤技術の研究開発に取り組んでいきます。

参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2021/05/20/210520a.html>
- (2) https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/01/17/220117a.html>
- (4) 北之園・箕輪・鈴木・山下・浅井・外山：“非地上系ネットワークによるカバレッジ拡張通信システムの開発-複数のNTNノードの接続およびネットワーク制御技術とそのユースケース開発実証計画-,” 信学総大, B-3-16, 2022.
- (5) 加納・松井・阿部・外園・小原・岸山・山下：“非地上系ネットワークによるカバレッジ拡張通信システムの開発~降雨時におけるUEの可用性評価~, ” 信学技報, Vol. 122, No. 163, SAT2022-37, pp. 48-53, 2022.
- (6) 外園・岸山・浅井：“宇宙RANにおけるHAPS実用化に向けた取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol. 34, No. 10, pp. 17-22, 2022.
- (7) 岸山・浅井・阿部・山下・箕輪・鈴木・北之園・大内・外山：“非地上系ネットワークによるカバレッジ拡張通信システムの開発-Beyond 5Gに向けたNTNノードのネットワーク化技術とカバレッジ拡張,” 信学総大, BI-3-7, 2022.

- (8) 北之園・鈴木・外園・岸山・浅井：“高高度プラットフォーム (HAPS) による5G網と連携した38GHz帯の無線通信システム開発-フィーダリンクにおけるサイトダイバーシチの検討-, ” 信学ツ大, B-3-15, 2022.



(上段左から) 山下 史洋/ 松井 宗大
 (下段左から) 加納 寿美/ 阿部 順一

地上モバイルネットワークと衛星・HAPSネットワークが統合され、さらに融合する世界の実現をめざして、研究開発を推進していきます。

◆問い合わせ先

NTT アクセスサービスシステム研究所
 無線エントランスプロジェクト
 TEL 046-859-4103
 E-mail sat6g-p@ntt.com

超広域大気海洋観測技術に向けた 海洋観測機器の位置制御技術

NTT宇宙環境エネルギー研究所では、地球環境をサイバー空間上に再現し、未来予測を可能にする地球環境未来予測技術の確立をめざしています。地球環境の状態を理解するために不可欠な海洋データを収集するため、常時・リアルタイム・広域・高密度な直接観測を実現する超広域大気海洋観測技術の研究開発に取り組んでいます。本稿では、超広域大気海洋観測技術と海洋観測の位置制御に関する取り組みについて紹介します。

しのぎ づか ひさだ まさき
篠崎 友花 久田 正樹

NTT宇宙環境エネルギー研究所

地球環境の未来予測に向けて

NTT宇宙環境エネルギー研究所では、地球環境の再生と環境適応に向け、地球規模の観測により、サイバー空間上に地球の過去・現在を再現し、未来を予測する地球環境未来予測技術⁽¹⁾に取り組んでいます。海洋は地球の表面積の7割を占め、台風や線状降水帯などの極端気象の発生にかかわるなど、私たちの生活に大きな影響を与えています。海洋で起こる現象のメカニズム解明やモデル化には、海域での直接観測データを充実させることが重要である一方で、海洋特有の難しさがあり、十分な観測が行われていません。本稿では、IoT (Internet of Things) センサを活用し、地球規模で海洋の常時・リアルタイムかつ広域・高密度な直接観測を実現する超広域大気海洋観測技術⁽²⁾と、その主要な取り組みの1つである観測機器の位置制御技術について紹介します。

超広域大気海洋観測技術

超広域大気海洋観測技術(図1)は、

これまで直接観測が難しかった未踏領域を含む海洋のあらゆる場所にIoTセンサを配置し、超省電力・低コストでの観測をめざす観測技術です。将来的には、NTTが進める宇宙統合コンピューティング・ネットワーク⁽³⁾と連携し、IoTセンサが発するLPWA (Low Power Wide Area) の電波を低軌道衛星やHAPSなどを経由して、観測データをリアルタイムに収集する観測を実現します。本技術は、台風や線状降水帯などの気象や、海洋の微生物と栄養塩などの海洋生態系のメカニズム解明、さらにはサイバー空間上で

の地球環境のモデル化に資する海洋観測データの取得をめざします。現在、海洋観測で主に利用されているリモートセンシングでは質的にも量的にも十分ではありません。一方で、海域において常時・リアルタイムな直接観測を広範囲かつ高密度に実現するには、海洋特有の課題を解決する必要があります。代表的なものとして、観測機器の低消費電力化、通信の確保、耐候性の向上、位置制御が挙げられます。

■低消費電力化

長期間での海洋観測において、観測機器の低消費電力化は不可欠です。現



図1 超広域大気海洋観測技術

在の海洋観測では、電力をバッテリーと太陽光発電に依存していますが、陸上と比較して観測期間中のバッテリー交換は困難であり、荒天時は太陽光発電による電力供給もできません。海洋で長期的な観測をするためには、搭載するセンサや推進装置などで消費する電力を低減させることが重要となります。観測期間の長期化は観測機器の交換頻度を減らすことになり、観測コストの削減につながります。

■通信の確保

地球上のあらゆる場所に設置した観測機器から、リアルタイムに観測データを収集するためには、広範囲で大量の通信の確保が不可欠です。現在、陸上から離れた海洋でも、主に衛星通信を活用して観測データを収集することが可能ですが、一度に送信可能なデータ量に制限がある、通信コストが高価であるなどの問題があります。また、データの送受信に波の影響を受けないなど、海洋特有の環境でも安定した通信が必要です。

■耐候性の向上

台風のような荒天下において、安定した海洋観測を実現するためには、過酷な環境であっても、観測の継続が可能な観測機器の耐候性の向上が不可欠です。海上は陸上と異なり、電子部品

の水没や塩害などの環境対策が必要となります。また、波や風による揺れが常に存在し、特に台風のような強い風や高い波により、致命的なダメージを受ける可能性があるため、海洋環境を想定した観測機器の開発が重要です。

■位置制御

海流や風などの影響を受ける海域において、広範囲で高密度な観測を実現するためには、観測機器を偏りなく配置する位置制御が不可欠です。海底にアンカーを設置してケーブルで係留することで、位置を固定する方法もありますが、水深の深い海域では、設置の難易度が高く、定期的なメンテナンスにより大きなコストがかかります。一方で、スクリーブローパーやウォータージェットなどの推進装置により位置制御する場合には、貴重な電力を消費するため、観測期間への影響があります。

以降では、超広域大気海洋観測技術の確立に向けた海洋観測機器の位置制御技術について、詳しく紹介します。

超広域大気海洋観測技術の確立に向けた位置制御技術

超広域大気海洋観測技術を活用した海洋観測では、大量の衛星IoTセンサを偏りなく広域に配置し、観測データを収集することをめざしています。さ

らに、メンテナンスや交換が必要なタイミングで、これらの衛星IoTセンサを回収できるようにします。例えば図2(a)のように、衛星IoTセンサを1カ所にまとめて投入し、格子状に自動的に配置することで、指定の領域を観測することが可能となります。これらの衛星IoTセンサを効率良く回収するには、1カ所に集合させるのが理想です。このような理想に対し、現状のブイなど推進装置を持たない観測機器を用いた場合、海流や風に流されることで、観測密度の偏りが生じます。さらに、海洋に散らばった大量の観測機器の回収には、膨大なコストがかかるため、そのまま投棄されているのが現状です。観測機器の中には、電力などを動力源とした推進機器により移動制御を行うケースがありますが、低消費電力化が求められる長期的な海洋観測には不向きです。このような課題を克服し、前述した理想の観測を実現するためには、海流や波、風などの外力を活用しながら、衛星IoTセンサを所定の位置に配置する位置制御技術の確立が必要です。

そこで、観測機器に海流や風を活用した位置制御能力を保有させる位置制御技術として、2つの研究開発を進めています。1つが、漂流予測情報⁽⁴⁾に

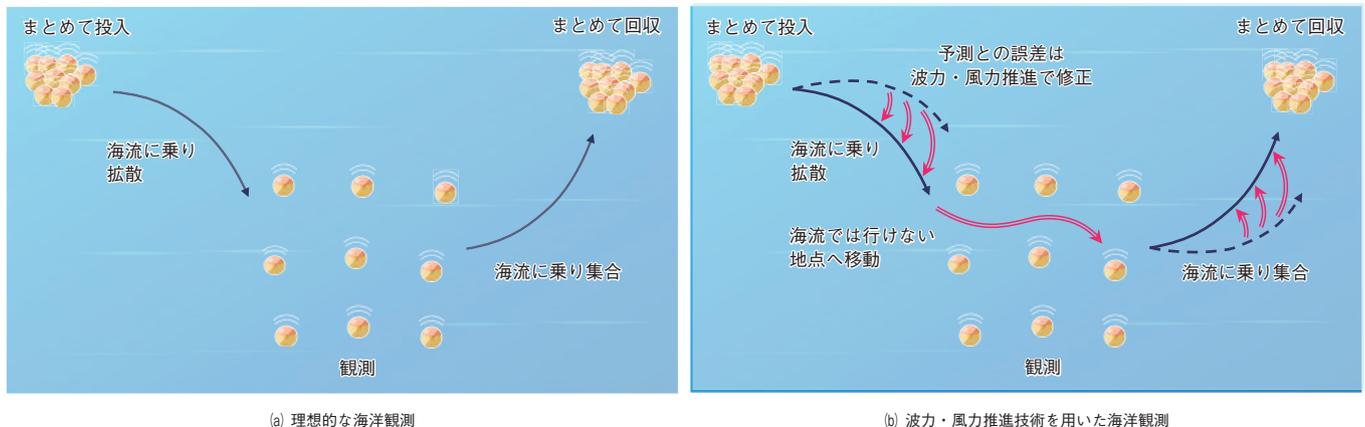


図2 位置制御技術



図3 漂流ブイ

よる位置制御技術です。海域での観測機器は海流や風の影響を受けて海面を漂流します。この漂流を活用することで、位置制御を実現します。もう一つが、波力・風力推進技術です。波・風を活用し、観測機器に推進力を付加して位置制御をする技術です（図2(b)）。これらの技術を組み合わせることで、電力を使わずに位置制御を行う海洋観測の実現をめざしています。

■漂流予測情報による位置制御技術

ある地点に投入した浮体が、海流等の影響を受けてどのように漂流するかを予測するのが漂流予測です。漂流予測では、気象庁の海流や風の予報データをインプットとし、浮体の形状によって海流と風の影響をどの程度受けるかをモデル化することで、浮体の移動方向と移動量を予測します。衛星IoTセンサの海域での動きを予測し、投入場所や時間を調整することで、移動を制御します。現在の漂流予測は精度が低く、予測精度の向上が不可欠ですが、予測と実績を比較するための観測データが少なく、高度化が進んでいない状況です。私たちは、漂流観測を継続的に実施することで、観測データ

を蓄積し、漂流予測精度の向上をめざしています。

2023年3月に沖縄県の宮古島沖で、漂流予測精度の検証のため、水温計とGPSを搭載した漂流ブイ（図3）による漂流観測実証を開始しました。海流や風の漂流ブイへの影響をモデル化し、漂流予測を行うとともに、実際に漂流観測を行うことで、漂流予測の精度検証を行っています。漂流予測と漂流軌跡の乖離を解析して原因分析することで、予測精度の向上に向けた予測モデルの検討と必要なインプットデータの収集を進めています。

■波力・風力推進技術

海域での位置制御では、観測機器を漂流させることで位置制御を行うとともに、衛星IoTセンサの位置を修正する推進力を観測機器に付加することが重要です。海洋観測において、周囲の環境から無限に供給可能な波や風を動力源とすることで、電力を使わない推進手法を確立し、波や風を直接推進力に変換できる推進器の開発をめざしています。動力源に波力・風力の両方を活用することで、天候の変化に合わせて柔軟に推進力を得られる技術を検討しています。また、超多数での運用を想定しているため、観測機器の保管場所や、設置・回収時の船舶への積載を考慮した、全長1 m、重さ25 kg程度の小型な観測機器を目標に研究開発を進めています。現在、波力や風力を推進力に変換できる仕組みを設計し、シミュレータを活用して仮想的な検証を行っています。検証結果に基づいて試作機を製作し、推進力の検証と観測機器の改良を進めていきます。

今後の展望

本稿では、超広域大気海洋観測技術のうち、観測機器の位置制御に関する取り組みについて紹介しました。長期

的な海洋観測の発展に向けて、電力に依存しない位置制御技術の実現が大きな課題となっています。超広域大気海洋観測技術では、海流や風を活用し、漂流予測に基づいて衛星IoTセンサを漂流させ、波力・風力推進技術を活用した位置制御を実現します。海域での観測データを充実させることで、海流などの物理現象の正確なモデル化が可能になります。さらに台風・線状降水帯や、生態系の研究にも有効な、多種多様な検討材料を集めることができ、さまざまな分野で研究の発展が期待できます。2023年の夏には台風予測精度向上に向けた台風観測を計画しており、本稿で紹介した漂流予測を用いて、漂流ブイを台風の進路上に設置し、台風通過前後の海水温の変化等を観測する実験の検討を進めています。

■参考文献

- (1) <https://journal.ntt.co.jp/article/20365>
- (2) <https://www.rd.ntt/research/SE0008.html>
- (3) <https://journal.ntt.co.jp/article/19855>
- (4) <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN2/gyoumu/hyoryu.html>



(左から) 篠崎 友花 / 久田 正樹

海洋の観測環境を整備することで、海洋のデジタル化や地球環境未来予測技術に貢献します。

◆問い合わせ先

NTT宇宙環境エネルギー研究所
企画担当
TEL 0422-59-7203
E-mail se-kensui-pb@ntt.com

挑戦する 研究者たち CHALLENGERS



谷保芳孝

NTT 物性科学基礎研究所
上席特別研究員



めざすは「顔の見える研究者」. 興味と好奇心をドライビング フォースに、永遠の若手 として材料創製に挑む

世界的な社会課題である環境問題解決のため、さまざまな研究開発が展開されているグリーンイノベーション。低炭素社会や循環型社会の実現に向け、環境・資源・エネルギー分野の革新的な技術等の研究開発が活発に行われる中、機能性材料の研究において世界的成果を続出するNTT物性科学基礎研究所 谷保芳孝上席特別研究員に研究成果と研究者としての姿勢を伺いました。



グリーンイノベーションに向けた機能性材料を追究し、社会課題の解決に挑む

現在、手掛けていらっしゃる研究について教えてください。

グリーンイノベーションに向けた機能性材料を追究しています。上席特別研究員に任命された際に、長期的に取り組める研究テーマとしてグリーンイノベーションを掲げました。

ご存じのとおり、CO₂削減は全世界的な課題です。エネルギーを効率的に利用して、限りある資源を有効活用し、

持続可能な社会の実現が求められる中、エネルギーを生み出す、あるいはエネルギーを効率的に活用する手法等、私たち研究者はさまざまなアプローチでこの課題に挑んでいます。こうした中、私は材料の研究者として、材料面から少しでも貢献できることはないかと考え、持続可能な社会の実現に資する新機能デバイスの創製に向けて、次世代材料の合成、物性制御技術の確立に臨んでいます。具体的には材料の物性解明、学理構築に基づくデバイスの高効率化、低損失化の実現、新しい材料の合成技術、デバイス化技術の確立によるデバイス動作の原理実証です。

新しい素材の発見や合成、そしてデバイス技術革新は、



社会を大きく変える可能性があり、これが材料の研究の面白さでもあります。中でも、私たちは窒化アルミニウム（AlN）に着目し、一世紀以上に合成されてから絶縁体として利用されてきたAlNを半導体として利用することに2002年に世界で初めて成功するなど、AlNの半導体デバイス応用の可能性を拓きました。今回は、このAlNにまつわるグリーンイノベーションに寄与する世界にインパクトを与えられた研究成果について紹介します。

社会課題の解決に寄与し、世界にインパクトを与える研究成果とは期待が高まります。

2006年、私たちはすべての半導体の中でもっとも短い波長で発光することが理論的に予測されているAlNを用いた発光ダイオード（LED）の動作に世界で初めて成功し、半導体発光素子で世界最短波長210 nmの遠紫外発光を観測しました。

AlNは、青色発光ダイオードや高密度DVD用半導体レーザーに用いられている窒化ガリウム（GaN）と同じ結晶構造を持つ直接遷移型半導体です。そして、AlNはバンドギャップエネルギー（動けない電子が自由電子になるためのエネルギー）が、半導体中で最大の6 eV（エレクトロンボルト）を持つことから、AlNで発光素子を作製できるようになれば、すべての半導体の中でもっとも短い波長210 nmで発光することが理論上予測されています。

紫外光のうち、波長300~400 nmは近紫外光と呼ばれ、波長200~300 nmは遠紫外光と呼ばれます。真空紫外光と呼ばれる波長200 nm以下の紫外光は、大気で吸収されるため、真空中といった特殊な環境下でないと利用できません。

遠紫外の光源は、水銀ランプやガスレーザーなどのガス光源として使われています。しかし、水銀ランプは水銀の有害性があり、ガスレーザーはガスの交換が必要、大型、低効率といった実用上の問題があります。これらのガス光源を半導体素子化できれば、環境の観点から無害であるばかりでなく、高信頼化、小型化、高効率化、長寿命、可搬といった特徴により、既存のガス光源の置き換えだけでなく、新しい産業の創出が期待できるのです。

しかし、AlNでは、これまで半導体発光素子の作製に必要な不可欠なn型、p型ドーピング（半導体中で電子や正孔が自由に動けるようにするために、純度の高い半導体結晶に不純物を加えること）ができなかったためにAlNの発光素子は実現していませんでした。こうした状況において、私たちがAlNでドーピングできなかった原因は、結晶欠陥や不純物が多く混入して半導体の純度が下がるといった結晶成長上に問題があることをつきとめたのです。

私たちは高純度AlNを作製するため、Al（アルミニウム）とN（窒素）原料ガスの供給流速の増加により副次的反応を抑制する技術の開発、1200℃という高温での結晶成長に耐える装置を改良しました。この結果、AlN中の結晶欠陥と不純物密度をそれぞれ従来の10分の1以下に低減させ、世界最高品質の結晶成長技術を確立することに成功しました。これにより理論上で最短波長発光可能と予測されていたAlN発光ダイオードを実現し、半導体発光素子の遠紫外光応用の可能性を示すことができたのです。



世界トップの研究者として材料分野をけん引

マスメディアでも大きく報じられた2022年の成果についてもお聞かせください。

クリーンエネルギー活用に必須なパワーデバイスのさらなる低損失化が求められる中、2022年は世界で初めて、AlNを用いたトランジスタ動作に成功しました（図1）。

家電、PC・スマートフォンからサーバ機器、電気自動車など幅広く利用されている半導体パワーデバイスの材料は主にシリコン（Si）ですが、半導体材料に絶縁破壊電圧（絶縁性を失って電流が流れ出してしまいう電圧）の高いワイドバンドギャップ半導体を用いることでパワーデバイスの低損失化、高耐圧化が可能になることから、炭化珪素（SiC）やGaNといったワイドバンドギャップ半導体を用いたパワーデバイスの開発が進められています。

また、それよりも絶縁破壊電圧の高いウルトラワイドバンドギャップ半導体を用いることで、パワーデバイスのさらなる性能向上が期待できます。

ウルトラワイドバンドギャップ半導体としては、AlN、ダイヤモンド、酸化ガリウム（Ga₂O₃）がありますが、絶縁破壊電圧が半導体で最大級のAlNを用いてパワーデバ

イスを作製できれば、電力損失をSiの5%以下、SiCの35%以下、GaNの50%以下にまで低減できることが理論的に予想されています。

また、ウルトラワイドバンドギャップ半導体の中でもAlNは、産業応用に適した大面積ウエハ上への作製が可能であり、また、GaNとのヘテロ接合形成による多様なデバイス構造を作製できるなどの利点があります。しかし、これまでAlNパワーデバイスに関する報告は少なく、またその特性も優れたものではありませんでした。

こうした中、私たちは20年以上にわたって蓄積してきた技術を結集し、高品質AlNのための有機金属気相成長法(MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition)装置を独自に開発し、本製法により作製した高品質AlN半導体を用いて、良好な特性のトランジスタ動作に初めて成功しました。AlNトランジスタの電流-電圧特性は、

オーミック特性による線形性の良い電流の立ち上がりと極めて小さいリーク電流(電子回路上で絶縁されていて本来流れないはずの場所・経路で漏れ出す電流)を示しました。パワーデバイスの性能として重要な絶縁破壊電圧も1.7 kVと大きい値を実現しました。

さらに、AlNトランジスタは従来の半導体材料と異なり、高温でも安定して動作することを明らかにしました。AlNトランジスタでは高温で性能が向上し、500℃において、電流は室温の約100倍に増加しました。また、500℃においてもリーク電流は 10^{-8} A/mmと非常に小さく抑えられました。その結果、AlNトランジスタは500℃においても 10^6 を超える高いオンオフ電流比を示しました(図2)。

先進性と技術力は国内外で高く評価されていますね。

おかげさまで、これらの研究成果をご評価いただくこと

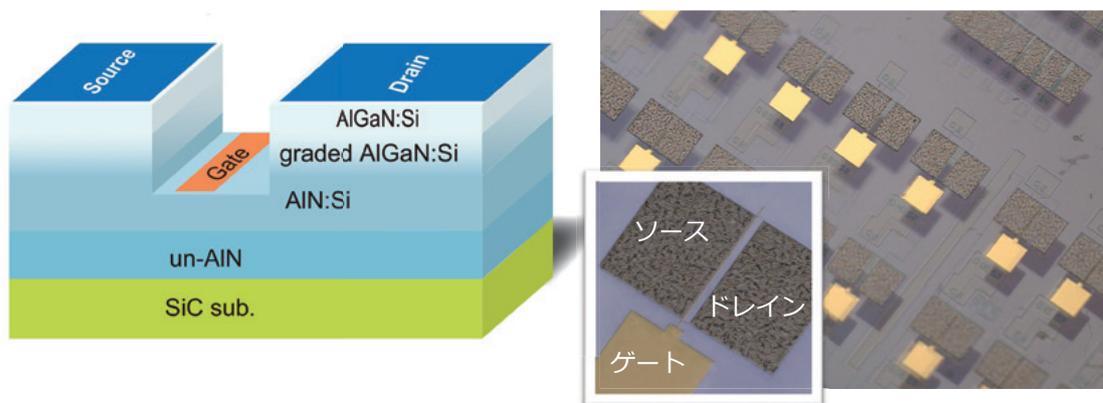


図1 AlNトランジスタの模式図と顕微鏡写真

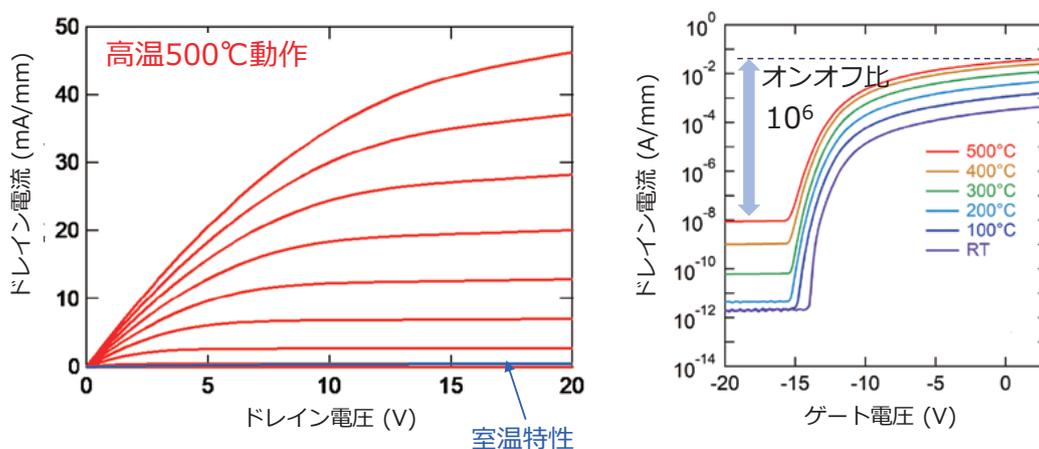


図2 AlNトランジスタの500℃高温動作



ができました。文部科学大臣表彰若手科学者賞を2011年に37歳でいただきました。同賞は萌芽的な研究、独創的視点に立った研究等、高度な研究開発能力を示す顕著な研究業績を上げた40歳未満の若手研究者を対象としたものです。また、同じ年に当該研究分野の研究者としての登竜門である化合物半導体トップ国際会議International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) の Young Scientist Award をいただきました。これも40歳未満の科学者による化合物半導体の分野での業績を表彰するものです。さらに、参加者1000名を超える国際会議International Workshop on Nitride Semiconductors (IWNS) にてBest paper Awardを、そして、ワイドバンドギャップ半導体紫外発光デバイスに関する先駆的研究が評価され、平成30年度(2018年)日本学術振興会賞を44歳でいただきました。



「量」が「質」を創る

研究者として大切にしていってほしいことを教えていただけますでしょうか。

常識や定説といわれていることや教科書に載っていることであっても鵜呑みにしないことです。教科書に掲載されていることは、記載当時の手段で見出された解だからです。それらを参考にしつつ他の可能性を模索すること、そして、頭と手を両方動かすこと、よく考えて、よく実験することを大切に研究に臨んできました。

考えて、考えて、考え抜いても分からないけれど、どこか直感のようなものが働いて「うまく行くかもしれない」という自分でも気付かない何かに突き動かされることがあります。そんなときに「やっちゃえ！」という思い切りでひたすら実験することで成果を得られることがあるのです。私は世界初の青色LEDに必要な高品質結晶創製技術の発明に成功した天野浩先生を尊敬しているのですが、その天野先生は「GaNでは青色LEDはできない」というこの分野の定説を覆されました。定説からすれば、誰もが見向き

もしない材料の可能性を信じ、実験を1500回以上行って上手くいかなくてもあきらめずに続け、偉業を成し遂げたのです。成果を得るまでは相当苦しかっただろうなと思います。しかし、研究活動は誰も答えを持っていないことに挑戦する行為でもありますから、うまくいかないのは当然のことです。

昨今では、何事においても効率化が叫ばれますが、材料研究は本当に泥臭いというか、量をこなすことで見えてくるものがあります。研究は「質」が大事だといわれますが、「量」的に数多く取り組むことで、センスが磨かれ、経験・知見が蓄積されて初めて「質」に値するものが何であるかが分かるようになるのではないかと思います。

その意味では、長期的な取り組みを認めてもらえる環境は研究者にとっては非常に大事ですね。NTT物性科学基礎研究所ではそれができますからありがたいことだと思っています。

研究者の責務、そして喜びとはどんなものでしょうか。

世の中から「こんなことができたらいい」という希望や困難、難解、不可能と呼ばれることに最前線に立って挑戦できることは研究者にとっては喜びであると思います。挑戦によって、新たな可能性を提案し、切り拓いていくことは研究者の責務であるといえましょう。

こうした研究活動を営んでいくうえで、好奇心や仲間を持つことは大切です。若いころは研究のプロセスを1人ですべて手掛けないと気が済まなかったのです。しかし、経験を重ねて多くの人とともに取り組むことで大きなことを成し遂げられると知りました。基礎研究においてはさまざまな専門家の持つ技術やアイデアからのそれぞれのアプローチによって新しいものが生み出される可能性が高くなります。特に若手のアイデアによって活性化されることがあるのですよ。

最後に、私は失敗を恐れず挑み続ける「永遠の若手」でありたいと思っていると同時に「顔の見える研究者」になりたいと思っています。先達の残した偉業から学びつつ、それを受け継ぎながら研究者としてのオリジナリティ、強みをつくり上げ「この研究なら谷保さんだね」と認識していただけるような研究者になりたいのです。

若い研究者の皆さん、興味と好奇心をドライビングフォースに信念と覚悟を持って研究活動に勤しんでいきましょう。

挑戦する 研究開発者たち CHALLENGERS



西野卓也

NTTコミュニケーションズ
イノベーションセンター テクノロジー部門
Metemcyber PJ

イノベーションは社会 を面白くすることでな くてはならない

社会や産業のDX（デジタルトランスフォーメーション）が加速する現代、サプライチェーンを介して不正なソフトウェアが混入する、サプライチェーンセキュリティリスクが顕在化しています。NTTコミュニケーションズ イノベーションセンター テクノロジー部門の西野卓也氏に研究開発の概要と開発の背景、そして、研究開発者としての姿勢を伺いました。



脅威インテリジェンス流通基盤 「Metemcyber」プロジェクトを担う

現在、手掛けている研究開発の概要をお聞かせいただけますか。

「Metemcyber」プロジェクトで、サイバー攻撃をはじめとするサイバーセキュリティ上の脅威に関する情報を取り扱っています。それらを集約して使いやすく加工した、脅威インテリジェンスの運用や活用に関する研究開発が私たちのミッションです。「Metemcyber」は、良質なCTI（Cyber Threat Intelligence：脅威情報）をブロックチェーン上で流通させるための脅威インテリジェンス流通

基盤です（図1）。ブロックチェーン上でCTIを流通させることで、可観測性が高いCTIの流通をめざすとともに、これまで暗黙知であったインテリジェンス活用状況の可視化を行います。

また、「Metemcyber」では、CTIの共有（売買）をブロックチェーン上でまとめて管理することで、①インテリジェンスに基づく活動の横断的な参照、②セキュリティ対応に関する気付きの共有、③より金銭的な価値の高いActionableな脅威インテリジェンスの生産、といった特徴を実現しています。

さて、私たちはサイバー攻撃を観測する業務に従事して



いたのですが、サイバー攻撃の分析には、観測できる範囲にとどまらない情報が必要になります。サイバー攻撃の発見、事例等をはじめとするサイバーセキュリティ情報の収集を行い、第三者から提供された情報を分析に活用していました。このサイバーセキュリティ情報の提供はボランティアベース、無償で展開されていることも少なくありません。攻撃者が利益を得ている一方で、その攻撃から守ろうと情報提供している人たちが無償で働いていることに、私たちは疑問を感じていました。そこで、有益な情報に対して金銭的なフィードバックをすることで、情報の流通をより活性化させるとともに情報の質を高めることができるのではないかと考え、そのためのプラットフォーム「Metemcyber」のプロジェクトを立ち上げました。

「Metemcyber」は社会課題に呼応し、かかわる人たちにとって「三方良し」の環境をつくり出したのですね。

私たちは「Metemcyber」を構築するにあたり、3つの条件を設けました。まず、誰でも自由に参加できること。次に不健全にみえる通貨に依存しないこと。最後にトレーサビリティの確保です。

「誰でも自由に参加できる」について、限られた人間だけが参加できるプラットフォームは、特定の参加メンバーを攻撃することで活動の妨害が可能です。誰もが自由に参加できるオープンなコミュニティであることは、妨害のコストを上げるシンプルな方法であり、攻撃行為への抑止力にもつながります。また、匿名性も重要です。サイバー攻撃の情報を提供する行為は、それに対する報復と背中合わせであり、情報の提供者や受領者に対するプライバシー保護が必要になる場合もあります。ユーザが安心してサービスを利用するためには、これらの仕組みを提供する必要があります。

「不健全にみえる通貨に依存しないこと」について、米国や中国のようにサイバー攻撃の発信源として知られている国の通貨を利用すると、サイバー防御への投資が国家間の経済活動として不健全にみえてしまう場合があります。私たちは、国家の関係に依存しない決済手段を模索した結果、仮想通貨による支払い方法に気付きました。これは一長一短ある決断だと思いますが、情報提供のコントロールを特定の国に依存させないことで、地政学的なリスクを取り除くことができます。

最後の「トレーサビリティの確保」については、情報提供者を安心させるために重要な仕組みだと考えています。例えば、情報提供者が脆弱性を企業に報告しても、企業の担当者が最優先で対処できないことがあります。最悪の場合

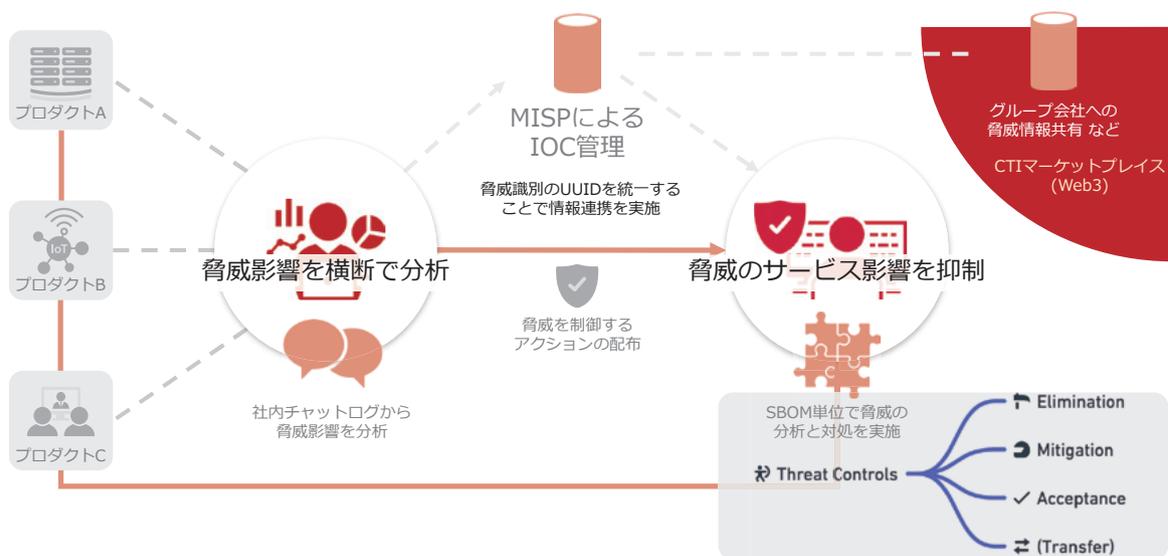


図1 Metemcyber アーキテクチャ



図2 SBOMを利用したインテリジェンス活用サービス

合は放置され、情報提供者との関係性が悪化した結果、大きなインシデントが発生した事例もあります。この問題を回避するため、情報提供者や受領者だけでなく、脆弱性対応をサポートするコーディネータの活動も含めた可視化が必要になります。これはあくまで脆弱性対応の例ですが、脅威インテリジェンスの運用も同様の配慮が必要になります。関係者が誠実に対応している状況を、プライバシー保護の仕組みと矛盾せずを確認できることが必要でした。

これらを実現する技術がブロックチェーン技術です。私は過去にブロックチェーン技術を手掛けていたこともあり、2020年にブロックチェーン技術を利用した脅威インテリジェンス流通基盤である「Metemcyber」を開発し、プロジェクトのリーダーとして活動を開始しました。同じ年にはEthereum in the Enterprise - Asia Pacific 2020において事例を発表し、実証実験を開始しました。

「明らかになったインテリジェンスをうまく活用できていない」という現実

実証実験は順調に運びましたか、その成果を教えてくださいませんか。

実証実験においてアンケート調査やハンズオンを実施する中で明らかになったのは、企業の多くがインテリジェンスを必要だと実感していながら「インテリジェンスをうまく

活用できていない」という現実でした。このように、インテリジェンスを共有するプラットフォームを提供しても、活用できていないのであれば、それをサポートする必要があります。ユーザインタビューを分析した結果、企業は自分たちが扱うソフトウェアの問題箇所を、正確に把握できていないことに気付きました。そこで私たちは、SBOM (Software Bill Of Materials) を利用したインテリジェンス活用サービスの開発をスタートしました(図2)。SBOMは「ソフトウェア部品表」と呼ばれるもので、一般的には特定のソフトウェアに含まれるコンポーネントの依存関係を記述するために利用されます。

さて、SolarWinds製品への攻撃、Codecovのセキュリティインシデントといった事例を皮切りに、2021年ごろからサプライチェーンを狙ったサイバー攻撃の危険性が本格的に認識されるようになってきました。さらに、Typosquattingはもちろん、Dependency Confusionと呼ばれる新たなサプライチェーン侵害のテクニックも報告されています。このようにソフトウェアサプライチェーンのセキュリティに注目が集まる中、SBOMの重要性は上がり続けており、2022年9月には米国政府機関のソフトウェア調達にSBOMの内容が盛り込まれる事態に至りました。世界がSBOMの重要性を受け入れていく一方で、これまで技術者や企業はSBOMを開発のライフサイクルに取り入れてきませんでした。それは、ソフトウェアは複



雑に組み上げられており、分解しても車の部品のように規格化されたモジュールとして取り出すことはできず、サードパーティのパッケージがどのように使用されているかも不明な状況で、プログラムコード断片に一意の識別子やバージョンを付与しても意味のある管理にはならないからです。

さらに、コンポーネントの利用方法を知らなければ実際のリスクを評価することもできません。例えば、タイヤがパンクする欠陥を見つけたとしても、そのタイヤが使われているのは走行中の車なのか、木にぶら下げたブランコのような遊具なのかで対処の優先度は大きく変わります。これはSBOMに限った話ではなく、現場が求めているのは実際のサービスへの影響を考慮した脆弱性評価です。こうした現状を踏まえつつ、私たちは前人未踏ともいえるSBOMの商用化に挑むことにしました。

ニーズにこたえるサービスの商用化を見込んで社内トライアルを開始されたそうですね。

脅威インテリジェンスとSBOMを用いた迅速かつ効果的なサイバー脅威対策手法を発明して、2022年から社内トライアルを展開しています。

実験的に始めたユースケースは、SBOMを利用したアタックサーフェスマネジメントの取り組みでした。私たちが考慮したことは「SBOMの生成や収集が目的になるような運用をしない」ことでした。SBOMのユースケースは、脆弱性の識別、ライセンス管理、ポリシーやコンプライアンスの検証と多岐にわたります。実際の使い道を決めてからT字型に運用の幅を広げていくアプローチを取り、脆弱性管理の観点から最初の取り組みを始めました。その理由は大きく分けて2つで、社内に脆弱性管理をするシステムがすでに存在すること、そして、パッケージの脆弱性を検知し、それを解決するための対策を提案してくれるサービスであるGitHubのDependabotと機能や性能を比較検証できるためです。

これだけ聞くと、すでに脆弱性管理ができていますので取り組む意味がないと感じるかもしれません。しかし、「既存の脆弱性管理システムをSBOMでどう改善できるのか」「業界標準のサービスと比較して、新たにSBOMを利用す

る意味があるのか」という2点は、これまで議論されておらず、その意味で既存の脆弱性管理システムに対するSBOMのメリットやデメリットを確認する素晴らしい試金石になりました。

また、SBOMを利用する立場についても考える必要があります。私たちの議論では対象となる利用者の人物像をプロダクト担当者、脅威アナリスト、ガバナンスマネージャの3つに絞りました。正直なところ、すべてのロールで実際の検証ができたわけではないのですが、誰がどう使うのかを意識しながら検証を進められた点は非常に良かったと思います。

ただ、すべてのプロダクトにいきなりSBOM管理は適用できません。「アトミック性（これ以上細分化できない最小単位）を意識したソフトウェア開発」と「パッケージマネージャ」の存在が不可欠だからです。これらを考慮せずにつくられたプロダクトに対して、大規模なSBOM管理はうまくいきません。SBOM管理が可能なプロダクトに対し、アラート通知の効率化やオートクローズ対応を行うことで、開発者や運用者にセキュリティ対応時の余裕をつくるのが最初のポイントであると実感しました。

このように、SBOMによる脅威インテリジェンス利用の効率化に取り組んできたことが注目を浴びて驚いています。2023年3月には、幅広い分野の会員と連携しサイバーセキュリティの観点から安全なICT社会の形成に寄与する活動を推進する団体「ICT-ISAC」に講師としてお招きいただき、私たちのSBOMを活用した脆弱性管理の取り組みについて報告させていただきました。



「面白い」「流行に踊らされない」姿勢で挑む

ところで、これまで手掛ける研究開発者がいないという現状において、なぜ西野さんとそのチームがSBOMを実現できたのか、客観的に分析していただけますでしょうか。

先述のとおり、技術的な面でいえば、ソフトウェアは複雑に組み上げられていたのですが、プログラミングの方向性としてコンテナ化が進んできたこと、各プログラミング言語でパッケージ管理やライブラリを配布する仕組みが整ってきたことが要因の1つに挙げられます。

さらに、米国でソフトウェアのサプライチェーンにかかわる大きなインシデントが発生し、それがSBOMという

言葉が世界に大きく広がる契機となりました。国内外を問わず、SBOMに取り組むようになったわけですが、私たちのプロジェクトの大きな強みはNTTコミュニケーションズ（NTT Com）という通信インフラを手掛ける企業であるため、サイバー攻撃を観測するための大規模な監視設備が整っているということです。また、セキュリティ情報を理解し、それを監視、検証する人材もいるという有益な環境を整えることができていることです。その中で、自分で言うのは少し恥ずかしいところもありますが、私自身もさまざまな経験や知見を蓄えてこのプロジェクトに携わっていることもユニークなオリジナリティととらえられるかもしれません。私は、2015年にNTT Comに入社しましたが、学生時代はバイオインフォマティクスを専攻し、機械学習や統計の知識を活かしてセキュリティの研究を行っていました。そして、サイバーセキュリティのエンジニアとしてNTT Comに入社し、悪性サイトクローラによる脅威インテリジェンス収集システムの開発に携わりました。マルウェアの自動分析と脅威インテリジェンス管理基盤の開発や運用、マルウェアサンドボックスのマルチベンダ性能比較プラットフォームの開発を手掛け、ブロックチェーン関連にも従事した経験と知見を携えて今を迎えています。一般的なセキュリティ関連の研究者、技術者と比較して、ブロックチェーンの経済面に関する勉強がサービス開発にとっても役立っています。経済的なインセンティブをどう扱うか、商品としてどう売り出そうか等について考え、そのうえでユーザに喜ばれることまで意識して、サービス開発をカバーしていることは強みであると考えています。

研究開発者として大切にしていることを教えてください。

私は、イノベーションは社会を面白くすることではなければならないと強く思っています。これを世の中に出したら「皆が楽しめる」と思える技術をめざして頑張ってきました。画家のゴッホの残した言葉があります。“Normality is a paved road: it's comfortable to walk but no flowers grow.”（普通であるということは舗装された道路みたいなもので歩きやすいが、花は咲かない）。この言葉は、誰かの心に刺さるものは挑戦することでしか創れない、ということの意味をしています。当たり前ではつまらない、普通じゃないから面白い。この言葉にならって、技術的な困難に挑戦することで、社会を面白くできると私は確信しています。

また、研究開発者として、最先端技術の可能性を解きほぐし、社会的インパクトを評価することで、企業の新しい道を切り拓く人になりたいという思いを持って仕事をしています。今回のSBOMについても同様に、周囲からは時期尚早ではないかと言われていましたが、私たちのチームが持っているセキュリティの知見を活かせば、実運用に落とし込めると自負して、日本におけるSBOMの道を切り拓くことができました。

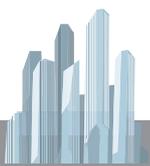
こうした姿勢を保つために大切にしてきたことは「面白い」と、「流行に踊らされない」姿勢です。面白いことというのは、自分たちが関心を寄せていることにとっても集中できている良い状態です。だからこそ、面白いことを追究していくと自然と最先端をキャッチアップできるようになるし、組織の良い循環を生み出すと思います。

また、私たちはエンジニアとして、技術の中身を理解したうえで流行に乗るから良いプロダクト、良いサービスを提供できると考えています。舗装された道路を、ただ漫然と歩いても面白い花は見つかりません。だからこそ、私はエンジニアとして手を動かすことを大切にしています。陳腐な言葉かもしれませんが、技術を知っていても、それを使えなければエンジニアとしては生き残れません。エンジニアは舗装された道ばかりを進める職業ではないからです。イノベーションは社会を面白くすること。困難への挑戦がイノベーションにつながっていること。技術的な困難に立ち向うためのエンジニアがいること。どれか1つが欠けても、社会を面白がらせるイノベーションは成立しません。流行に踊らされて、つまらないことに取り組む状態を避けるためには、確かな技術力が必要です。

若い研究開発者の皆さん、論理的な追究をするだけでなく、もっと自分自身が面白いと思う感情や感性も大切にし、チームでその感覚を共有してみてください。

最後に、NTTグループはサプライチェーンセキュリティリスクに取り組むオープンコンソーシアム「セキュリティ・トランスペアレンシー・コンソーシアム」の設立に向けて準備しており、私もその一員として活動しています。そして、2023年7月には「Threatconnectome」というSBOMを用いたAttack Surface Management（攻撃対象領域管理）ツールをOSS（Open Source Software）化する予定ですので、ぜひ皆さんにお使いいただければと思います。

明日のトッパー

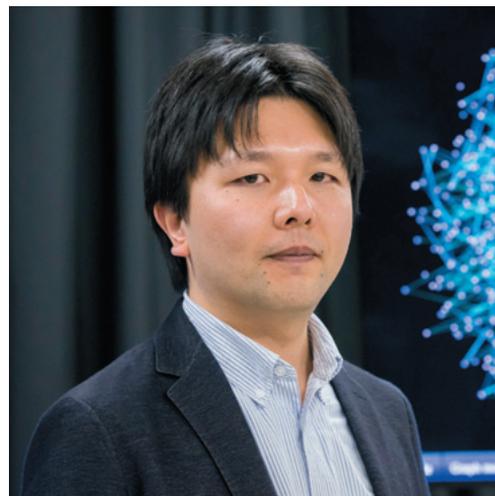


NTT物性科学基礎研究所

稲垣卓弘 特別研究員

「光発振器ネットワーク」をさまざまな課題に応用し、 情報処理システムの未来へ新たな一歩を踏み出す

高度な情報処理が求められる計算機学の分野では、ネットワークにおける無数の選択肢の組合せから最適解を導き出すために、焼きなまし法と呼ばれるアルゴリズムが広く使われています。しかしより複雑なネットワークが構築されていく現代において、従来の方式によるアプローチは限界を迎つつあります。この壁を打破するために、量子アニーリングをはじめとして、さまざまな物理システムを応用した情報処理の手法が提案されています。今回は光の技術を用いて新しいコンピューティングシステムの研究に取り組む稲垣卓弘特別研究員にお話を聞きました。



◆PROFILE：2012年東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。同年、日本電信電話株式会社入社。2019年より特別研究員。日本物理学会2015年応用物理学会講演奨励賞を受賞。2016年日本電信電話社長表彰発明考案表彰、2018年先端技術総合研究所所長表彰（報道特別賞）、2022年物性科学基礎研究所所長表彰（業績賞）等を受賞。量子光学、量子エレクトロニクスを用いた情報処理の研究に従事。

光を用いたコヒーレントイジングマシンの 技術で組合せ最適化問題を解決

◆現在コンピューティングの課題となっている「組合せ最適化問題」とはどのようなものなのでしょうか。

組合せ最適化問題とは、複数の選択肢の組合せの中から目的に適したものを探索していく課題です。例えば「右と左のどちらへ進むか」といった簡単な2択の選択であっても、その選択の回数が増えるにつれて組合せの数は指数関数的に増えて膨大な数になるため、現代のコンピュータをもってしても組合せすべてを網羅する最良の答えを導き出すことは非常に困難です。この難問の解決法として、ヒューリスティックと呼ばれる手法で近似解を高速に導き出す、焼きなまし法などのアルゴリズムが用いられています。焼きなまし法は非常に強力なアルゴリズムですが、組合せ最適化問題における選択肢のネットワーク構造が大規模化・複雑化するにつれて、優れた成績の近似解を得るための計算時間やエネルギー消費が課題になってきました。

この組合せ最適化問題を高速かつ高精度に問題を解くための手法として近年注目を集めているのがイジングモデルです。イジングモデルとは、磁石のS極とN極のように上向きと下向きの2種類の状態（スピン）を持つネットワークのモデルです。このモデルを利用して、組合せ最適化問題における2択の選択肢をスピ

ンの上向きと下向きに置き換え、選択肢の関係性をスピンの相互作用によって、組合せ最適化問題をイジングモデルによって解くことができます（図1）。これまで超伝導量子ビットのネットワークを用いた量子アニーリングマシンなど、このイジングモデルに基づいて物理システム上で組合せ最適化問題を解くための手法が提案されています。

◆実際にイジングモデルを用いた物理システムとはどのようなものなのでしょうか。

NTTの基盤技術である光発振器のネットワークを用いてイジングモデルを表現することで、コヒーレントイジングマシン（CIM：Coherent Ising Machine）と呼ばれる新しい仕組みの情報処理システムが実現しました。この計算機では、縮退光パラメトリック発振器（DOPO：Degenerate Optical Parametric Oscillator）と呼ばれる特殊な光発振器を用いることで、出力される光を0位相と π 位相の2つの状態に分けることができます。この2つの状態をイジングモデルのスピンの向きに置き換えることにより、光発振器のネットワークを用いてイジングモデルを表現しています（図2）。

これは焼きなまし法や量子アニーリングとは異なる、新しい原理の計算機になります。具体的なCIMの特徴の1つとして、すべての光発振器の間に同じ位相もしくは反対の位相の光結合のネットワークを設定することができるという点が挙げられます。光には「同位相が結合するとエネルギーがプラス、逆位相どうし

組合せ最適化とイジングモデル Ising model

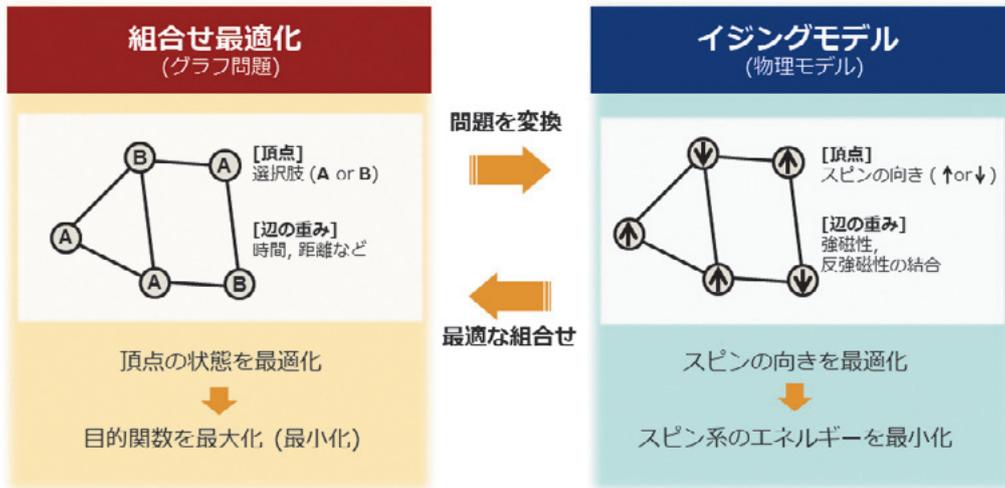


図1 組合せ最適化問題とイジングモデルの概要

イジングモデルの物理実装 Ising machine

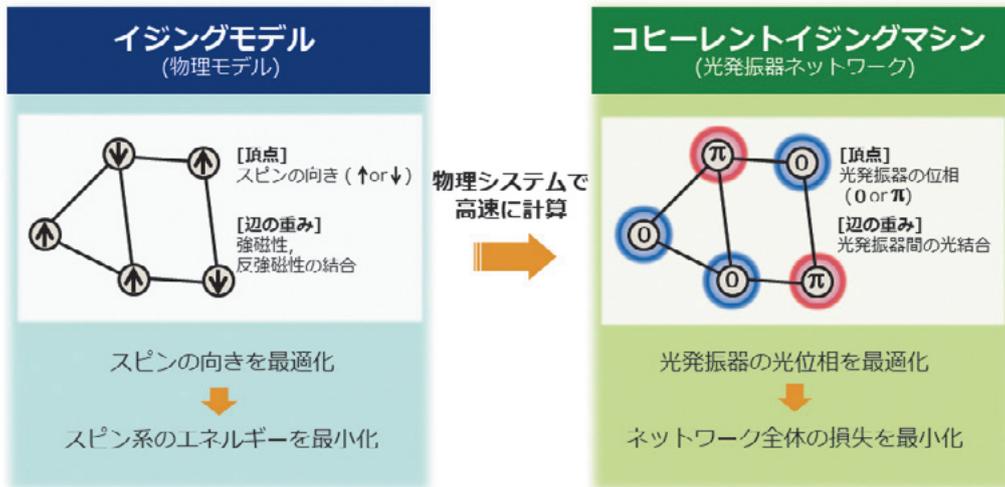


図2 イジングモデルを用いたコヒーレントイジングマシンの概要

が結合するとエネルギーがマイナスになる」という性質があり、CIMではネットワーク全体の光結合で生じるエネルギー損失が少なくなるようにすべての光発振器の0位相と π 位相の状態が自然に選択され、イジングモデルとして見たときに全体のエネルギーが低い状態にスピンの向きが変化します。これを組合せ最適化問題として置き換えることで、優れた成績の選択肢の組合せを導き出すことができます。

これまでも物理システムを用いて組合せ最適化問題を解く研究は数多く提案されてきましたが、大きな課題として「均質な物理素子を多数用意して、それらの間に複雑なネットワークを実装する」というものがありました。例えば量子アニーリングの技術では、超伝導量子ビットを並べてそれらの間に配線することでネットワークをつくるため、素子ごとの品質のばらつきや配線の空間的な制約が複雑なネットワーク構造の実装における大きな課

題だったので。そこでNTTのCIMでは、単一の巨大な光発振器を時間領域で多重化することで均質な光発振器を多数発生させ、この課題を解決しています。1つの光ファイバの輪の中に山手線のように時間をずらして光パルスを走らせることで複数の光発信器をつくることができ、均質な光発振器を数多く実装することが可能になります。また、時間領域の多重化により個別の測定が不要になり、1つの検出器で時間ごとに異なる光発信器が計測可能になるため、検出器とフィードバックシステムの測定結果を基に複雑なネットワークをつくることも可能になっています。このような技術を用いて実装を行い、全長5 kmの光ファイバリングの中で最大10万個の光発振器を持つ大規模システムが実現しています（図3）。現在はこの技術を用いて組合せ最適化問題の解探索を行い、創薬や無線周波数割り当てなどさまざまな分野での活用が期待されています。

◆現在はどうような研究に取り組まれているのでしょうか。

現在ではCIMの研究で実現した光発振器の大規模ネットワークを基礎として、人工光ニューロンによる光スパイクニューラルネットワーク（光SNN）を実現する研究にも積極的に取り組んでいます。私はもともと「人間の脳の仕組みはどうか」といった生物学的な学問領域に非常に興味があり、共同研究者の方と議論を重ねるうちに「CIMで用いたDOPOの特性を応用して脳の神経細胞のスパイク（発火現象）を模擬できるのではないか」という着想を得て研究がスタートしました。

DOPOを研究に用いるメリットの1つとして、光発振器の励起光強度を変えることで人工光ニューロンの発火モードを自由に選択できるという点が挙げられます。現在の研究で着目している

Class-IとClass-IIと呼ばれる2種類の神経細胞の発火モード以外にも、生物の神経細胞にはさまざまな発火モードが存在し、それらが連携しながら高度な情報処理を行っていると考えられています。そのためDOPOにより、複雑な脳の神経細胞の発火モードを再現し多様性のある人工光ニューロンのネットワークを構築できるのは、脳の情報処理の仕組みを解明するうえで大きなアドバンテージになると期待をしています。

これまでの研究成果として、最大256個の人工光ニューロンのネットワークの実験を実証しました。ここでは基本的な人工ニューロンの発火ダイナミクスの観測実験から始まり、ネットワークにおける自発的な同期現象やカメラ状態と呼ばれる同期相と非同期相の共存した状態の観測実験などを行っています。

◆光SNN研究の今後の展望をお聞かせください。

研究の新たなステップとして、光SNNの規模を拡大して1万個の人工光ニューロンの実験装置の構築を始めています。一般的な機械学習のアプリケーションに向けたテストを行うにあたって256個ではまだ不十分であるため、次の目標として1万個のネットワークをめざしています。人工ニューラルネットワーク(ANN)による画像認識や時系列予測などの情報処理をSNNモデルに適用する研究も近年盛んなので、私たちの人工光ニューロンのネットワークを使ってこれらを物理システムに実装していきたいと考えています。

人間の脳を完全に模倣するためには、100億個から1000億個という大規模なニューロンのネットワークの実現が究極的な目標になると思いますが、まず私たちの研究では神経細胞の持つ発火モデルの多様性が、脳の情報処理においてどのような役割を果

コヒーレントイジングマシンの実装

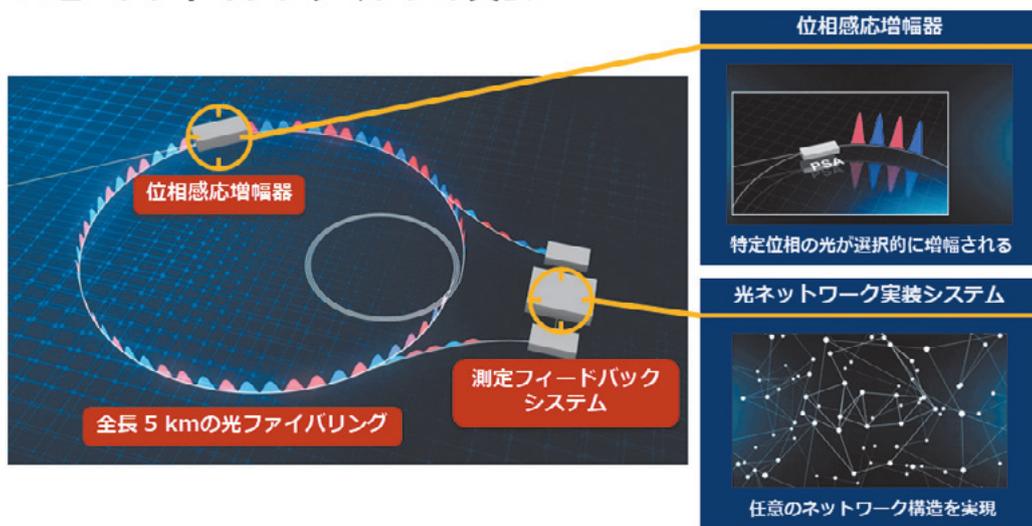


図3 コヒーレントイジングマシンの実装システム

たしているのかを解き明かすことに挑戦していきたいと考えています。より一層人間に近い情報処理を実現するために、今後はClass-IとClass-IIを含めてさまざまな発火モードに関する知見を光SNNに取り入れて、私たちの脳の情報処理モデルの解明に挑戦していきます。

一寸先の闇に飛び出し 新たな地平を拓く研究者に

◆現在ご所属されているNTT物性科学基礎研究所にはどのような印象をお持ちでしょうか。

一般的に「企業の研究所は、指定されたテーマに沿って研究開発が行われる」というイメージが広く定着していると思います。しかし私の所属しているNTT物性科学基礎研究所は、企業の研究所でありながら非常に高い自主性を持って研究テーマを選択できる研究所です。私たちの研究所では量子情報技術やオンチップ光回路から生体電極によるセンシングウェアまで幅広い研究を行っており、この研究の多様性を支えているのは、やはり研究者に与えられる研究テーマの自主性だと私は感じています。研究グループごとにある程度の方向性はありますが、私が人工光ニューロンの研究を始めたときにそうであったように、研究者自身がやりたいと思ってその理由をしっかりと説明できれば、新しい研究テーマの立ち上げを積極的に応援してもらえる研究所なのだと思います。研究は目標が達成できたときにはとても楽しい反面、その道のりの大半は辛くて苦しいものです。そのため「研究目標が研究者自身のモチベーションに沿っているか」ということが最終的な研究成果の質を大きく左右すると私は考えています。そういった点で、研究テーマの自主性が尊重された中で基礎研究に取り組んでいるNTT物性科学基礎研究所は、他の企業の研究所を見渡しても稀有な存在なのではないかと思っています。

また私たちの研究所には、理論家が多く在籍していることが大きな強みだと感じています。基礎研究から開発まで技術をつな

げていくためには多くの実験が必要になりますが、私たちの研究では優秀な理論家の1つのアイデアが劇的なブレイクスルーを引き起こして実験の難しい課題を解決してしまうことがよくあります。私のグループでは理論家と実験家が同じオフィスにいるため、データの取れたその日に相談してフィードバックのやり取りを行いながらスピーディに実験を進めることができます。実験結果から理論家がより適したパラメータの予測を行い、その予測を反映して実験家が次の実験をするフィードバックループはとても心強いもので、進むべきルートを明るく照らしてくれる灯台のようだと日々感じています。そしてこれこそが、NTT物性科学基礎研究所の最大の強みであると思います。

◆最後に、研究者・学生・ビジネスパートナーの方々へメッセージをお願いします。

私にとって研究の醍醐味は、誰も知らない領域に真っ先に足を踏み入れる瞬間だと思います。研究を進めていると自分のつま先に線が引いてあるように感じることもあり、その線の先にある人類未踏の真っ暗な領域に踏み出すときに覚える恐怖心と高揚感が私はとても好きです。9割以上の場合そこから先は崖になっていて転落してしまうのですが、その一方で新天地に踏み出せることもこれまでに何度かありました。ここで成功するために重要なことは、自分自身が「おもしろい」と思ったことに失敗も覚悟して取り組むことだと考えています。NTTの研究所ではそうしたトライアンドエラーの環境が十分に提供されており、そうした環境の中で日々研究を進められることはとても幸運であると感じています。「落ちて大丈夫なように準備をして、先が真っ暗でも踏み出してみる」というこの転落と前進の繰り返しを、私が研究者として生きている間はずっと続けていきたいと考えています。

また近年では、異なる研究分野の境界線において新しい研究テーマが立ち上がることが多々あります。例えば私が現在取り組んでいる光SNNの研究は光学・脳科学・計算機学など研究領域が多岐にわたるため、研究を1人で進めることはできないと感じています。そうした状況では、適切な専門性のある人に「助けてください」と言えることこそが、難関を突破するうえで必要不可欠であると日々感じています。現在社内だけでなく社外の多くの方にご協力をいただいておりますが、研究者のネットワークにおける専門分野の多様性が大きな力につながるため、これからも異なる研究分野の研究者にも面白いと感じてもらえるような研究を続けていきたいと考えています。もしこの記事を読んでご興味を持ってくださる方がいらっしゃれば、お声がけいただけるとありがたいです。新たな領域と一緒に挑戦していけることを願っています。



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)



NFLabs.

高度セキュリティ人材を育成し、 セキュリティ意識を当たり前 のものに

エヌ・エフ・ラボラトリーズは、PC初心者であっても高度セキュリティ人材に育成する研修プログラムを提供している。公的機関のセキュリティ関連の会合に委員として参加し、誰もがセキュリティに対する意識を持つことが当たり前の世界になることをめざしている小山覚社長にその思いを伺った。



エヌ・エフ・ラボラトリーズ 小山覚社長

PC初心者であっても 高度セキュリティ人材に育成する

◆設立の背景と会社の概要について教えてください。

ビジネスを変革、創出するデジタルトランスフォーメーション（DX）の拡大により、ICTが社会や人々の生活に欠かせないものとして浸透しています。一方、ICTの利用によるマルウェアや標的型攻撃をはじめとしたサイバー攻撃は、巧妙かつ高度化しており、世界中で被害が拡大する傾向にあります。こうした環境の中、多くの企業においては、セキュリティリスクへの対策を的確に実施・運用できる人材の確保が課題であり、セキュリティ人材の育成が必要不可欠になっています。

このようなニーズにこたえるため、エヌ・エフ・ラボラトリーズ（NFLabs.）はNTTコミュニケーションズ（NTT Com）のCSIRT（Computer Security Incident Response Team）やセキュリティオペレーションセンタ（SOC）の運用・監視、ソリューションのノウハウと、株式会社FFRIセキュリティのサイバーセキュリティに関する高い研究開発・技術力を活用し、研究開発やビジネスを通じた高度セキュリティ人材育成を目的に、2019年1月に設立されました。

図1に示す企業としてのミッション、ビジョン、バリューを掲げ、中でも特に特徴的なものとしては、高度なセキュリティ技術は悪用されるとNTTグループの信用が失墜するだけでなく、社会的にも大きな影響を及ぼすので、「倫理観、誠実さ」を強調したものになっており、研究開発者約10人を含む74人（2023年3月）により、デジタル社会

のセキュリティ対策に貢献できる人材を輩出しています。

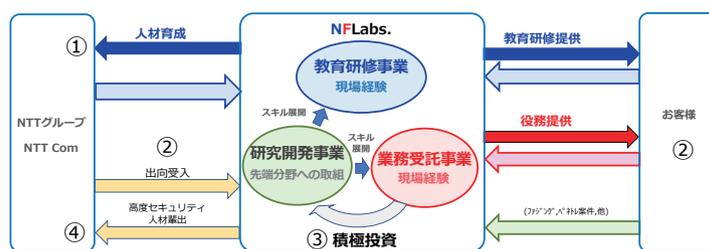
◆具体的にどのような事業展開をしているのでしょうか。

事業は「教育研修事業」を中心に、「業務受託事業」、「研究開発事業」の3本柱で展開しています（図2）。

教育研修事業では、PC初心者でも研修終了後には即戦力として仕事ができるようなレベルへの成長をめざして、セキュリティ人材全般に必要なスキルを学習する、37日間の「BootUP研修」と、さらに高度なセキュリティ人材を意識した、マルウェア開発・解析、エシカルハッキング・ペネトレーションテストが可能なレベルをめざす89日間の「高度技術研修」で構成される研修プログラムが準備され、研修プラットフォームを活用しながら、現場における実践的研修も行われています。当初はNTT Comグループの社員を対象にスタートし、約130人が高度セキュリティ人材となり、2020年以降は特定のお客さま向けの教育研修を



図1 ミッション・ビジョン・バリュー



- ① NTT Comおよびグループ向け教育研修事業で人材育成を請け負う
- ② NTT Com社員を受け入れ、NFLabs.で現場経験を積ませ、お客様案件を受託し**利益創出**
- ③ 創出した利益を先端セキュリティ分野の研究開発事業に**積極投資**し、社員のスキルアップに還元
- ④ 現場経験を積んだ高度セキュリティ人材をNTTグループに輩出

図2 事業展開

開始し、多くの高度セキュリティ人材を輩出しています。こうした社内外の高度セキュリティ人材でチームを組み、各種コンテストに参加し、657チームが参加した「Hack The Box Business CTF (Capture the flag) 2022」では世界10位、日本1位、世界最大級のCTFで470チーム参加の「DEFCON 2022」では28位、日本最大級のCTFである「SECCON 2019」では3位を獲得しており、CTFにチームで参加する取り組みをととしてグローバルで通用する人材を育成しています。

業務受託事業では、企業等に向けてペネトレーションテスト、脅威情報の収集やマルウェア解析などのセキュリティオペレーション支援業務を通じて、お客さまが安心して事業を展開できる環境を提供し、必要に応じてお客さまのもとにもエンジニアを派遣しています。

研究開発事業では攻撃手法の研究開発などを通じた実践的スキル習得や、研究開発成果の収益事業への展開・事業支援、攻めのセキュリティを実現するサービス開発を実施しています。

こうした事業と並行して、長崎県立大学情報セキュリティ産学共同センターの共同ラボにおけるセキュリティ対策技術の共同研究をはじめ、長崎県立大学、東京電機大学等の9つの大学・高専からインターンとして研修生を受け入れ、愛媛大学、小山高専等の8つの大学・高専においてセキュリティに関する講義を行う等、産学連携でセキュリティに関する取り組みを行っています。

高度セキュリティ人材の育成により社会課題を解決し、セキュリティ意識を当たり前のものに

◆事業を取り巻く環境はどのような状況でしょうか。

2017年ごろから、オリンピックの東京大会を見越してサイバーセキュリティへの関心が高まる中、それに対応できる人材が不足しているということが大きくクローズアップされてきました。同時に種々のサイバー攻撃を受ける事例が日本国内で多く発生するようになり、特にロシアのウクライナ侵攻が始まったところからその動きがさらに顕著なものとなってきました。

こうした動きを背景に、NTT Securityや株式会社FFRIセキュリティをはじめとした多くの会社が、サイバー攻撃への対策や対応を行う事業を展開しています。また、2022年12月に政府が、国家安全保障戦略の中で「新たにサイバー攻撃に対して先手を打って対抗措置を取る「能動的サイバー防御」を明記するとともに、サイバー防衛に従事する人員を2万人規模に拡充する」ことを盛り込む方針を発表しており、ますますセキュリティ人材に対する需要が高まってきています。

企業においても同様にセキュリティ人材のニーズが高まり、高度なセキュリティ人材の育成サービスを行う会社も出始めています。人材育成のためにはその講師も必要になる中、実践を取り入れたNFLabs.のプログラムは、高度セキュリティ人材の育成のみならず、自らの講師の育成も行っており、追い風に乗って大きく成長を始めています。もちろん、これらに興味のある人材の採用やお客さまから人材をお借りして育成してお返しするといった取り組みも実施しており、各種コンテストにおける入賞実績と合わせて、人材の質・量ともに充実した会社になってきています。

◆今後の展望についてお聞かせください。

日本におけるサイバー攻撃への対策・対応やセキュリティ人材の確保は社会的な課題になっていますが、NFLabs.は高度セキュリティ人材の育成をととしてこの課題解決に取り組んでいきます。その先には、サイバー空間にかかわるすべての人がセキュリティに対する認識を持ち、安全な世界を築き上げることが、めざしていく方向であり、社会的使命でもあると考えています。とはいえ、そこに至るまでには相当なるリソースと時間を要しますので、まずはセキュリティの意識付けが進んでいる大企業を中心に高度セキュリティ人材の育成を進め、そこを基点としてそのグループ会社、サプライチェーン上の会社への啓発活動とともに、セキュリティ教育・人材育成を展開していくことを考えています。これを具体的に進めていくために、当面はNTTグループをメインターゲットとして現在の事業に着実に取り組んでいくことに注力していきます。

研修理解の個人差をアクティブラーニングで解消

ソリューション事業部
教育ソリューション担当
武井 香織 さん



◆担当されている業務について教えてください。

NFLabs.には、NTTドコモグループ向けとそれ以外のお客さま向けの2系統の教育チームがありますが、その両チームのマネージャとして、将来的な教育の方向性を決めています。

NFLabs.の研修の特徴は、テクニカルスキルがほとんどない方であっても、講師の密なサポートによりメンタル・マインドとテクニカルの両面から37日間のBootUP研修と、89日間の高度技術研修の2段階の研修をとおして、最終的にはペネトレーションができるくらいのレベルまで引き上げていくことです。

会社設立準備段階のころ、7人の講師が外部の研修を受講し、その内容をディスカッションしながら机上でスキルマップとカリキュラムを作成しましたが、実際に研修を始めてみると足りない領域が見つかり、それをマップにフィードバックするとともに教材を作成する、といったことを繰り返しながら現在の体系を組み立ててきました。

また、研修における受講生の理解度の差が非常に大きく、さらに理解できない分野が人によって異なることが分かり、その要因分析と対応策の研究を進める中で、アクティブラーニングを強化し、インタラクティブな教育を行うことで、1人ひとり伸びていくような仕組みとしました。

◆今後の展望について教えてください。

講師が張り付かなくても独学でスキルアップしていけるようなコンテンツ、環境をつくっていきたくと思います。そして、私たちがこの教育の中で習得してきた、受講生の理解できていない部分を把握するためのインタラクティブな問いかけを演習の中に取り入れて、1人で講師とやり取りをしているかのような演習環境を用いて、素人でも高度

なセキュリティ人材へと育つ仕組みをつくり、それを世界中の人に使ってもらいたいと思っています。

さらに、セキュリティの仕事、技術は使い方によっては攻撃者にもなり得るものなので、受講生の方には、企業で求められるような高度セキュリティ人材の1人として、平和にその技術を活用していただきたいと思います。

高度セキュリティ人材育成のカギとなる講師陣

ソリューション事業部
教育ソリューション担当
武 佑香 さん



◆担当されている業務について教えてください。

具体的な研修日程の調整やその担当となる講師陣の調整、コンテンツの整理を担当しています。また、NFLabs.の研修受講者を講師とするための育成を担当しています。特に、講師は誰でもなれるわけではないにもかかわらず、優秀な講師がいなければ研修が成り立たなくなるので、非常に重要な役割を担っています。

当初、研修コースをつくり上げてきたメンバはすべて異動しており、講師の増員や入れ替えが定期的に行われている状況です。人数が増えるに従い、全員が同じ方向を向いて研修生を育成していくことの難易度が上がってくるので、これをどのようにキープしていくかというところが、ポイントになります。幸いにも新しい講師もこのような考えを柔軟に受け入れてくれるので、講師全員が一体感を持った研修ができていると思います。

私自身はSOCから異動をしてきて、この研修を私自身も受講したので、実践に則したカリキュラム作成や講師とのディスカッションにおいてこれが役立っています。

◆今後の展望について教えてください。

セキュリティはニッチな分野といわれているとおり、なかなかそれにかかわる人が少ないというのが現状です。いつまでもニッチなままでは、セキュリティの重要性は認知

されないで、皆が当たり前で説明できるような世の中になってくれたらいいと常々思っています。セキュリティの勉強をするにも相応の時間を必要とするので、社会人から始めるには多くの制約があります。そこで、学生を中心にセキュリティに興味を持ってくれる人を増やしていくこと

が大事だと思っており、そこに注力していくつもりです。

セキュリティを意識するのが当たり前という考えを、万人が共通で持つ世界を築いていくためにも、セキュリティを語ることでできる人材や講師を育成していくことが重要だと思っています。

エヌ・エフ・ラボラトリーズ ア・ラ・カルト

■趣味の同好会的な勉強会

社員の中でセキュリティに関する勉強会が同好会のように立ち上がっています。例えば、海外のセキュリティトレーニングプラットフォームを使って皆で黙々と勉強をする会、コンテストサイトでひたすらコーディングをしてそのランクを上げていく会、ペネトレーションテストの資格を取得するために、研修用のサイトで攻撃方法を学ぶ会等、社員発の勉強会が毎週定期的に行われているそうです。こういった活動をとおして、メンバどうしがコミュニケーションを図っているという、まさに同好会なのです。これが高じて、例えばペネトレーションテストのマシン攻略をゲーム感覚で時間も忘れて取り組み、仲間内で攻略法を教え合うといった、半分趣味と化しているような人も大勢いるようです。

■キーワードは「Need-to-know」

NFLabs.のビジョンにも入っている倫理観を持つエンジニアを育て、社員が大切にしている価値観、バリューでも誠実であることが特長になっています。セキュリティ技術はいくらでも悪用ができ、犯罪に使えるようなものなので、それを正しく使うということを強く社員には伝えています。その先に、「Need-to-know」という、知らなくていい人に余計な情報を伝えない、知るべき人に正しく伝えるということ強く意識しているそうです。一方で、「Need-to-know」に注意しながらも、社外に技術力の高さを発信してほしいということもあり、多くの社員が外向けに技術ブログ（図3）を書いてアウトプットしているそうです。



図3 エンジニアブログ

AI自然言語処理のビジネス活用 ——要約サービスの進展について

NTTコミュニケーションズでは、AIサービスとしてCOTOHAシリーズを展開していますが、「COTOHA Summarize」は自然言語処理や音声認識・合成のAPI（Application Programming Interface）をセットにして提供しているCOTOHA APIサービスの要約API部分のサービス名になります。ここでは、「COTOHA Summarize」の利用事例を紹介するとともに、最近の自然言語処理の動向についても触れていきます。

はじめに

インターネットの普及に伴い、数多くの文章が作成・公開されています。動画等の大容量コンテンツが増大した効果もありますが、2020年には総データ量がゼタバイトを超えたといわれ、毎年数10%の成長率で増大しており、すでにすべてを把握することは不可能となっています。データ量の増大とは反比例するかのようになり、掛けた時間に対するコスト意識（タイプ：タイムパフォーマンス）が2022年の新語大賞に選ばれたように、より短い時間で内容を把握したい、というニーズも顕在化しています。増大するデータ量に対して、それに対して割くべき時間はますます短くなってきているのです。

ビジネスシーンでも、タイプを意識した取り組みの必要性は広がっています。情報の受け手側はその情報が自身に関連するものなのか、また、どの程度時間をかけてもよいのか分からない状態に対応する必要があるため、必要な情報の見落としや読み飛ばしてしまうリスクも高まっています。

これを解決するのが「COTOHA Summarize」です。COTOHA Summarizeが生成する要約によって、情報やレポート全体の概要を把握することができるようにするとともに、その情報やレポートに費消すべき時間も事前に決定することができるようになります。

COTOHA Summarizeについて

COTOHA Summarizeは、NTT研究所で研究開発された要約モデルを基にNTTコミュニケーションズ（NTT Com）で機能追加して提供している要約サービスです。2020年4月にニュース情報や各種レポート、ビジネス文書等の要約に適したモデル（日本語および英語の要約モデル）の提供を開始し、2021年4月にコンタクトセンタ等におけ

る顧客とオペレータとの対話の要約に適したモデル（コンタクトセンタ用の要約モデル）も追加提供しています。

COTOHA Summarizeでは要約したい元の文章と要約で得たい文字数・文数（または元の文章に対する圧縮率）を指定することで、生成型および抽出型の要約が可能となっています。抽出型の要約は元文章のうちの重要な文を指定された文数分を選んで要約するのに対し、生成型の要約は、元文章の文をそのままではなく、指定された文字数に応じて、新たに要約としての文章を生成するものです。

要約サービスは、他のサービスやシステムと連携して利用することが多いかと思います。COTOHA SummarizeでもAPI（Application Programming Interface）提供となるため、他のサービスやシステムからAPI連携させて要約利用することができます。例えば、文章を管理しているシステム側から要約したい文章と要約方法を指定（生成・抽出の種類、要約文字数等の要約率等）してAPIをコールすることで、要約結果をシステム上に反映させることなどが可能となります。

ここでは、NTT Com提供のサービスとの連携例として、「コンタクトセンタでの利用」「チャットでの回答での利用」の2つを紹介させていただきます。

コンタクトセンタでの利用

コンタクトセンタは、顧客からの問い合わせをオペレータが対応し解決していく組織となります。オペレータが対応する顧客には、エンドユーザだけでなく、代理店や販社、社内部署等も含まれ、顧客からの問い合わせに直接対応するオペレータとオペレータの支援・管理を行うスーパーバイザー（SV）から構成されています。

コンタクトセンタでは、一般的に応答率（着信したコールに対するオペレータが応答できた率）等の向上が求められています。オペレータはコール終了後に、問い合わせ

への対応業務やコール内容の引継ぎ業務等のアフターコールワーク（ACW）を行う必要があります。ACWには、対応を引き継いだオペレータやSVが顧客との対話内容や対応内容を簡易に把握できるように要約を記述する必要があります。応答率等の向上のために、オペレータ作業の効率化が求められており、そのためにACWの自動化による作業時間短縮が期待されています。

これらの課題を解決するために、コンタクトセンタソリューションが提供され、オペレータと顧客との問い合わせ対応内容を音声認識・文字起こしをし、対話内容を管理・分析できるようになってきています。対話内容の自動要約も提供されており、当初は、フィラー（言い淀み）の除去や定義済みの不要語の削除が中心でしたが、最近では機械学習を用いた生成要約が導入されてきています。

NTT Comが提供するコンタクトセンタソリューションであるCOTOHA Voice Insight 音声マイニングプランにおいても問い合わせ対応内容を音声認識・文字起こしをし、対話内容を管理・分析する機能が提供されていますが、要約機能（オプション契約が必要）については、COTOHA Summarizeのコンタクトセンタ用のモデルでの生成型を利用した要約が表示されています（図1）。

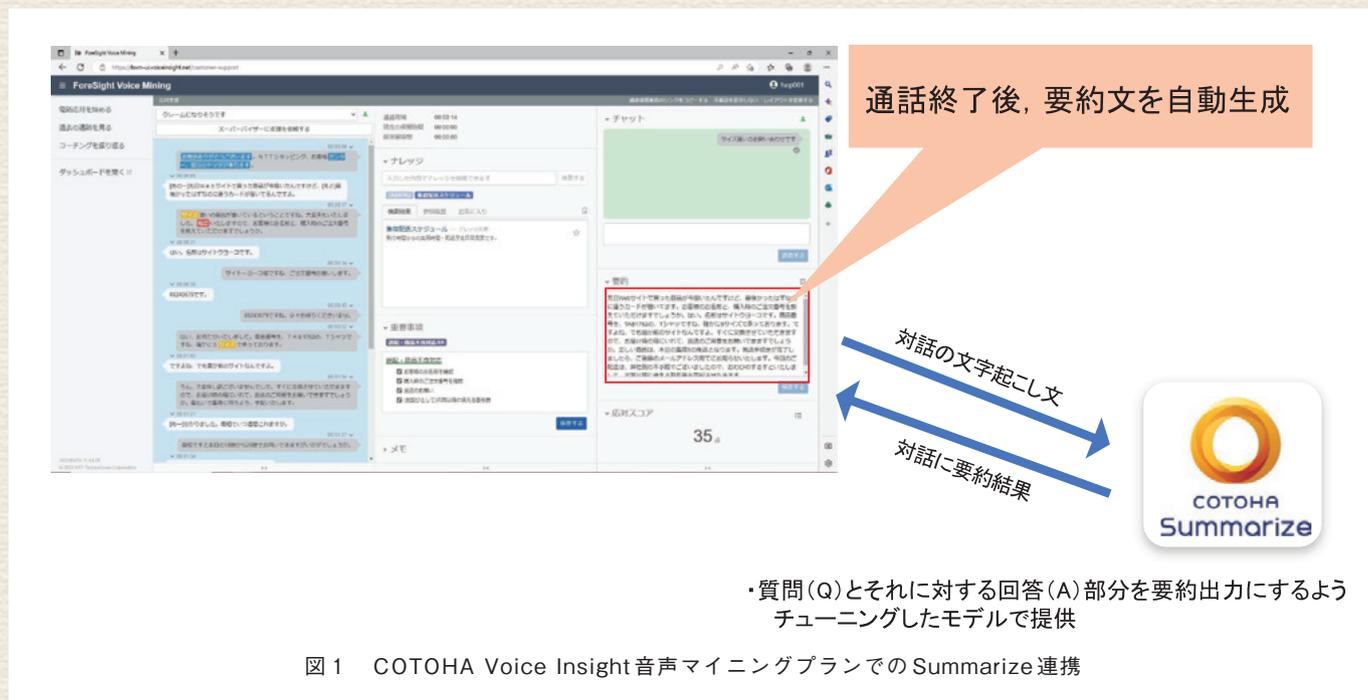
COTOHA Summarizeでは、要約として問い合わせと

回答部分を要約出力するように機械学習していますが、発話者それぞれについて要約出力する等、より把握しやすい要約へと改善を続けています。また、コンタクトセンタによっては、問い合わせ回答の要約だけでなく、賞賛やお礼等の言葉を引継ぎ内容として要約に表示したい、という声もいただいています。これらにこたえるために要約結果をカスタマイズする方法についても改善していく予定です。

チャットでの回答での利用

顧客接点の拡大に伴い、コンタクトセンタ以外にチャットボットでユーザサポートをする企業も増えており、それに対応するように、顧客からのチャットでの質問に対して、チャットボットが回答するサービスが広く提供されています。チャットサービスにおいては、高い回答精度を得るためにはFAQコンテンツの作成が欠かせない作業となっており、この作業は導入時の大きな負担になっていました。

NTT ComでもチャットサービスとしてCOTOHA Chat & FAQを提供していますが、FAQコンテンツの作成が不要な「ドキュメント回答プラン」も用意しています。「ドキュメント回答プラン」では、FAQコンテンツの作成・更新を行わなくても、必要なマニュアルやドキュメントを



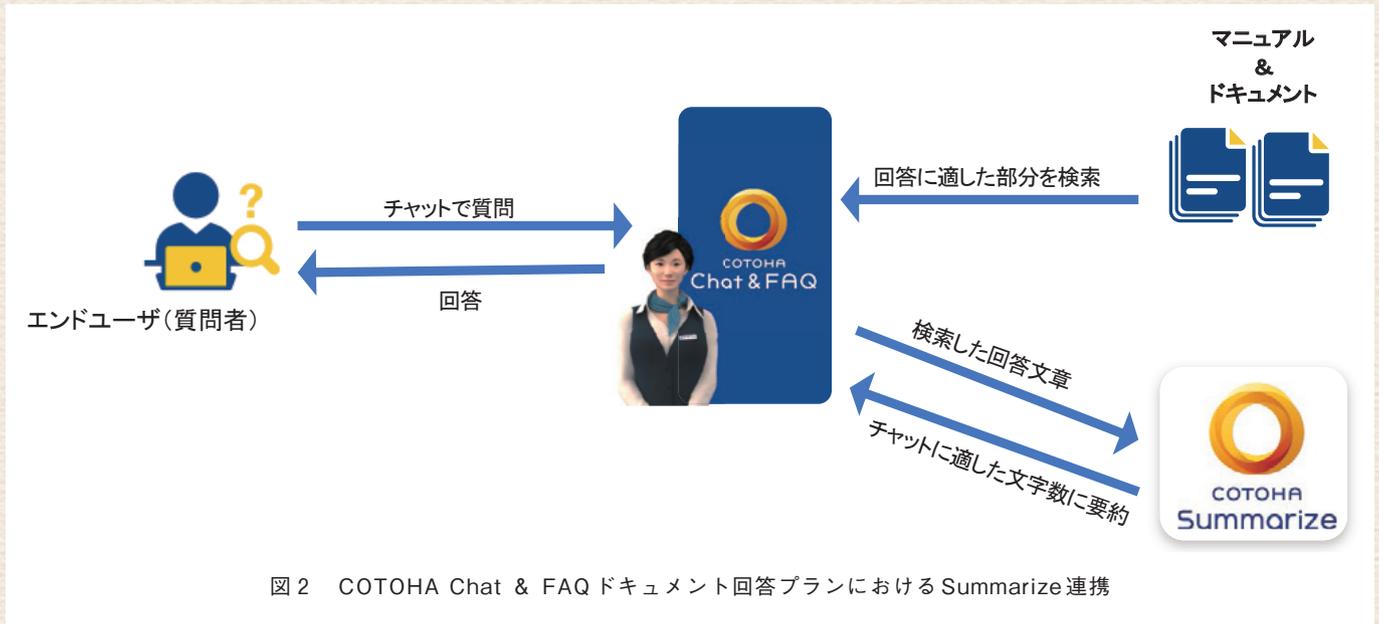


図2 COTOHA Chat & FAQ ドキュメント回答プランにおける Summarize 連携

登録しておくだけで、自動的にチャットの回答を探し出して、チャットに適した長さにCOTOHA Summarizeで要約してチャット応答します（図2）。事前のFAQ作成作業が不要となるため、提供価格の低廉化と構築期間の短縮が可能となっています。

AI自然言語技術の動向について

ここまで、COTOHA Summarizeの利用シーンについて紹介してきましたが、AI技術については2022年後半から生成AIが複数発表され、社会的にも大きな注目を集めています。画像生成AIの分野では、Stable DiffusionをはじめとするオープンソースのAIモデルが公開され、MicrosoftのEdgeブラウザでもImage Creatorという画像生成AIが提供されています。この画像生成AI以上にインパクトがあったのはChatGPTをはじめとする文章生成AIの技術だといえるでしょう。

ChatGPTは2022年11月にOpenAI社からリリースされました。2023年2月にはMicrosoftでもChatGPT技術を活用したチャット検索が「Bing」で公開され、Googleでも対話AI「Bard」が公開されています。これ以外にも各社から文書生成AIの取り組みが発表されています。

これらは、直感的なプロンプトに対して、出力として得たい内容を自然文で記載することで回答を得られるもので、

プログラミングレスでも利用できるものです。

基本的な機能は文章生成AIですが、プロンプトへの入力内容を工夫することで指定した文章の要約をさせることもできます。

これらのAIモデルは、大規模言語モデル（LLM：Large Language Model）と呼ばれるものが使われており、数千億の内部パラメータを有し、大量のデータで学習させています。このため、モデルサイズも巨大になり、実行には大量のサーバリソースが必要となっています。また、プロンプトに入力した文章が学習に利用されるため、社内文書の漏洩等のセキュリティリスクを含めた運用性にも課題を有しています。

NTT Comでも、これらのLLM等の技術状況を踏まえながら、運用性、成長性およびセキュリティ等の課題を解決したAI言語サービスを考えていきます。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーションズ
 コミュニケーション&アプリケーションサービス部
 E-mail summarize-support-aps@ntt.com