

NTT

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可
令和5年2月1日発行 毎月1回1日発行 第35巻第2号(通巻407号)

技術ニジャーナル

2 FEBRUARY
2023
Vol.35 No.2

特集

新たな価値創造をめざす
デジタルツインコンピューティング構想
実現に向けた取り組み

データガバナンスを支える基盤技術特集

トップインタビュー

丸岡 亨

NTTコミュニケーションズ 代表取締役社長

グループ企業探訪

ドコモgacco

from NTTコミュニケーションズ

激変する社会課題の解決に向けた挑戦! ワークスペース検索・予約サービス「droppin」



NTT 技術ジャーナル

2

FEBRUARY
2023
Vol. 35 No. 2

CONTENTS

4 トップインタビュー

入社当時と変わらぬ希望と熱意を胸に。
陸・海・空・デジタル空間にチャレンジ
丸岡 亨

NTTコミュニケーションズ 代表取締役社長



特別企画

デジタルツインコンピューティングの 研究開発とSFプロトタイピング

8 SF的想像力で描き出す, NTTの新技术の未来

12 特集

新たな価値創造をめざす デジタルツインコンピューティング 構想実現に向けた取り組み

14 「デジタルツインコンピューティング構想の実現に向けた
グランドチャレンジ」の最新動向について

17 感性コミュニケーションの実現に向けた脳科学応用技術

21 Another Me 技術による「獅童ツイン」実現の試み

25 交通整流化に向けたデジタルツインの活用

30 包摂的サステナビリティの実現に向けた連成技術の研究開発

34 特集

データガバナンスを支える 基盤技術特集

36 IOWN時代のデータ流通を実現するデータガバナンス

41 IOWN時代のデータガバナンスを実現するトラステッド・データスペース技術

45 量子コンピュータ時代を見据えたセキュア光トランスポートネットワーク技術

50 セキュリティトランスペアレンシー確保技術によるソフトウェア構成の
分析・可視化

53 IOWNプロダクトデザインセンタがめざす, IOWN技術の
早期実装・普及

57 主役登場 菊池 亮 NTT社会情報研究所



58 挑戦する研究者たち

守谷 健弘

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
フェロー

研究者は社会の進歩の源泉である。
自らの研究テーマに自信を持って
「その次の主役」をめざそう



62 挑戦する研究開発者たち

川崎 敏行

NTT東日本 ネットワーク事業推進本部
高度化推進部 デジタル技術部門
AI技術担当 課長

技術者としての引き出しを満ちし、
社会を変革する

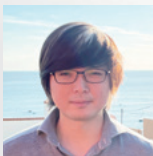


67 明日のトップランナー

芝原 光樹

NTT未来ねっと研究所 特別研究員

パラダイムシフトの中で実現する
新時代のペタビット級空間多重光伝送



74 グループ企業探訪

株式会社ドコモgacco

デジタルテクノロジーによる
学び体験で誰もが自信を持って
自分の人生を選べる世界をめざす



71 from NTTコミュニケーションズ

激変する社会課題の解決に向けた挑戦！
ワークスペース検索・予約サービス「droppin」

Webサイト オリジナル記事の紹介 78

3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
代表取締役社長

丸岡 亨

PROFILE :

1982年日本電信電話公社に入社。2012年NTTコミュニケーションズ取締役、2018年代表取締役副社長を経て、2020年6月より現職。



入社当時と変わらぬ希望と

熱意を胸に、

陸・海・空・デジタル空間に

チャレンジ

新ドコモグループの法人事業ブランド「ドコモビジネス」の展開に伴い、グループ全体の法人向けサービスやソリューションをワンストップで提供するNTTコミュニケーションズ。社会・産業のデジタルトランスフォーメーション（DX）を推進する丸岡亨代表取締役社長にNTTコミュニケーションズの方向性とトップの姿勢を伺いました。

Go Togetherプロジェクト： リスペクトによる新たな価値・ 文化の創造に期待大

新ドコモグループとして本格始動しました。新しいフォーメーションのスタートはいかがでしょうか。

2022年7月に再編成が行われた新ドコモグループは、NTTドコモ、NTTコミュニケーションズ、NTTコムウェアの3社の経営方針を統一し、機能を統合して、法人事業とスマートライフ事業の拡大、通信事業の構

造改革を加速させています。また、新ドコモグループにおいて、NTTコミュニケーションズはグループの法人事業を担う企業として、大企業から中小企業まですべてのお客さまにワンストップで対応し、社会・産業のデジタルトランスフォーメーション（DX）を推進する役割を担っています。

新ドコモグループとなってから、非常に充実した時間を過ごしてきました。7月の本格始動前から「Go Togetherプロジェクト」を掲げて準備を進め、満を持して新体制となり、

お互いのカルチャーやビジネスの理解に努めながら日々の業務にあたっています。このプロジェクトにはグローバルビジネスを展開するときの基本でもある相手への「リスペクト」を基軸に、新たな価値や文化を共に生み出していきたいという思いを込めました。

実際に各所で良い相乗効果が生まれ、課題はあるものの職場ごとに創意工夫をしながら良い刺激を与えているのがとても伝わってきます。やはり物理的に同じオフィスで仕事をしていることが大きいのでは



ないかと思えます。別の拠点で働いていた人がすぐ目の前にいることで、意思疎通がよりスムーズにできて、連携がしやすくなるなど、そんな動きに期待しています。

事業の滑り出しも順調でいらっしやいますか。

「Go Togetherプロジェクト」によって企業文化や手法の融合が進みました。この結果、実際にお客さまへの提案内容も変化し、スピードも増したことで受注が生まれ、新しい事業を順調にスタートさせることができました。新法人事業ブランド「ドコモビジネス」の下、各社のリソースを組み合わせることで提供できるようになった移動固定融合サービス（FMC）のほか、5G（第5世代移動通信システム）・IoT（Internet of Things）等の先端ソリューションを通じて、社会や産業の構造の変革を促すイノベーションの創出に臨み、その成果が出始めています。

新ドコモグループの再編成において、NTTコミュニケーションズとNTTドコモのビジネスは、いわば補完関係にあります。NTTコミュニケーションズは大手企業や大都市圏での法人ビジネスを得意とし、通信サービスだけでなくデータセンタやクラウド、セキュリティなどのICTソリューションを担ってきました。そして、NTTドコモは国内におけるトッ

プブランドであり、全国各地で法人営業の足場を築き、中小の顧客企業へのリーチ力を活かしてきました。両社の法人事業における得意領域を融合することで、全国の手企業のみならず中小企業に至るまで、営業のカバレッジが広がりました。

今後の成長領域としては、従来のソリューションにIoT/FMC等のモバイルソリューション、アプリケーション、NTTドコモが保有する膨大なマーケットデータ等を組み合わせ、「統合ソリューション」としてワンストップで提供していきます。

OPEN HUB Parkで未来の社会を実感していただきたい

有意義な相乗効果を実感されているのですね。

新ドコモグループとして今後特に力を入れたいのは、中小企業のお客さまへのアプローチです。「スタートダッシュプログラム」と銘打ってお客さまのご要望をしっかりと伺っているところです。約160万社のお客さまのご要望は千差万別です。地域によっても事情が異なりますから、地域各拠点のトップが中心となってNTTコミュニケーションズとNTTドコモそれぞれが得意とするスキルを融合させて臨んでいます。

また、新ドコモグループは次世代

に向けて、XR（Extended Reality）事業を手掛けるNTT QONQを創設するとともに、ブロックチェーン技術などを活用した次世代インターネットである「Web3」の技術開発および社会実装についても取り組みを開始しました。このような新しい領域を統合ソリューションに組み込むことによって、その売上に占める比率を、現在の35%程度から2年後の2025年には50%以上とし、事業構造を変革していきたいと考えています。新ドコモグループにおける法人セグメントとしては、2025年度に営業収益2兆円をめざしています。大きなチャレンジではありますが、実現不可能な数字ではないと思っていますし、その期待にこたえていきたいです。

ところで、NTTコミュニケーションズは本社のある大手町プレイスにOPEN HUB Parkを開設されましたね。

OPEN HUB Parkは、DXによって社会的課題が解決された持続可能な未来の世界「Smart World」の実現をめざす共創の場です。NTTコミュニケーションズの変革の象徴として、オフィス空間として利用していたフロアの1つを、新たな共創のためのワークプレイスに生まれ変わらせました。お客さま・パートナーの皆様をはじめ、各分野に精通した400名規模の社員、および社外の専門家である「カタリスト」が共創し、それぞれの技術や知見を掛け合わせることで、新たなビジネスを創出するとともに社会への実装をめざしています。これまでに約1000社、2500名にご来訪、活用いただいています。

ここでは想像力を掻き立てる体験ができます。例えば、5G、SD-WAN/LANや、I OWN（Innovative Optical and Wireless Network）の主要サービスであるAPN（All-Photonics Network）など最先端のICTインフラを配備し、それらを活用したロボット管制の実験が日常的に行われていたり、XR上でさまざまな技術者がコラボレーションできる体験などもできるようになっています。お客さまが保有している技術やアセットをOPEN HUB Parkに持ち込んでいただき、ドコモ

グループの最新のICTソリューションと組み合わせることで、ビジネスコンセプトの創出にとどまらず、社会へ実装するためのさまざまな実証実験をすることができるのです。

IOWNへの期待も高まっていますね。

IOWNに対する期待値は非常に高いと感じています。昨年のNTT R&DフォーラムにおいてIOWNのロードマップが示されましたが、この構想における私たちの役割は、NTTの研究所で生まれた技術を活用し、次世代のICTインフラ基盤となるリモートワールドやデジタルツインコンピューティングの基盤などを実装することです。IOWN構想がめざす社会、「スマートソサエティ」「低炭素社会」「Well-being」の実現をめざして日々取り組んでいます。

IOWN構想では、通信ネットワークで増加する情報流通量に対応しつつ、劇的に消費電力を抑制・削減できます。NTTグループは新たな環境エネルギービジョンであるNTT Green Innovation toward 2040をリリースしましたが、これらの技術を活用して、2040年度までにカーボンニュートラルの実現をめざします。中でも、データセンタにおいては、

再生可能エネルギーへの転換と低消費電力技術の導入を加速させることで、2030年度のカーボンニュートラル実現をめざしています。

お客様のグリーン化に対する意識も非常に高まっていて、多くのお声がけもいただき、NTTアノードエナジーと協働してさまざまな提案をしています。例えば、再生可能エネルギーの電源を新たに設置し、その発電電力を企業に供給する契約であるオフサイトPPAをコンビニエンスストア等と結び取り組みや、再生可能エネルギーを活用し、電気代ごとにdポイントがたまるドコモでんきにも、お客さまから大きな期待を寄せられていると実感しています。他にも一部のデータセンタでは、グリーンメニューを提供し、お客さまのご要望に応じた再生可能エネルギーを選択できるようにしました。

ドコモグループの総合力を発揮して社会的責任を果たす

お客さまに対してどのようなことに注力しているのでしょうか。

IoTが社会生活の中に深く浸透してくる中、ドコモグループの一員となってIoT領域の案件が増えてきたことで、これまで以上に通信キャリアが持つ社会的責任の大きさを実感しています。故障などが発生した際には、ドコモグループの総合力を発揮して迅速に対応しなければなりません。NTTコミュニケーションズとしては、法人事業ならではのCX（Customer Experience）を徹底的に追求し、顧客接点における体験価値を全社横串で継続的にブラッシュアップしていきます。つまり、サービスの提案・導入時から導入後の運用フェーズ、トラブル発生時まで、カスタマージャー

ニーの入り口から出口に至る顧客体験を、総合的に高めていくことが重要だと考えています。

そして、CXを高めていくためには社員1人ひとりのEX（Employee Experience）がカギとなります。私たちはこれまで先進的なワークスタイル変革を推進してきました。例えば、「フレキシブル・ハイブリッドワーク」です。私たちのリモートワーク率は恒常的に70～80%で、時間や場所にとらわれずに働けるようにツールとルールを整備しました。一方で、コロナの収束が見えてきて社会活動が活発化する中で、チームビルディングやお客さまとの共創などにおけるフェイス・トゥ・フェイスでのコミュニケーションの重要性も実感しています。単純にリモートワーク率を数値化することを目標に据えるのではなく、ベスト・パフォーマンスを発揮でき、社員のWell-beingが実現できるバランスを各部署で追求してもらっています。そして、これにより得られた知見をお客さまに展開することで、より社会のお役に立てるのではないかと思います。

最後に研究開発を担当する皆さん、そして社員の皆さんにエールを送っていただけますでしょうか。

私がNTTに入社したのは40年前です。当時はまだ電電公社で、INS（高度情報通信システム）構想を掲げていました。電話という身近なサービスが従来のアナログ主体のものからデジタル主体に変わり、音声だけでなくデータや画像などあらゆる情報が流通するとともに、通信の主体が人対人から人対機械、機械対機械にまで拡大し、世の中が大きく変わっていくという世界観が非常に魅力的でした。民営化を間近に控えた、あの頃に抱いたわくわく感や熱意は今も変わることはありません。

NTT研究所の技術をはじめとしたグループのケイパビリティを活用し、私は「陸」だけでなく「海」「空」「デジタル空間」もチャレンジの舞台に加えたいと考えています。陸上における固定・モバイル通信はもとより、海では、2022年末に完全遠隔無線制御型水中ドローンを実現し、また、2021年よりNTT研究所とリージョナ





ルフィッシュは藻類と魚介類にゲノム編集技術を適用して、海洋中に溶け込んだ二酸化炭素量を低減させる二酸化炭素変換技術の実証実験を開始しています。加えて、空では宇宙開発やHAPS、ドローン。特にドローンの規制緩和に伴うサービス拡大への期待値は高いです。

このような取り組みを通じて6G-IOWN がめざす「超カバレッジ拡張*」に向けて前進することで、陸海空における通信を実現していき

* 超カバレッジ拡張：基地局が移動局端末との通信を行うことができるエリアを、現在の移動通信システムがカバーしていない空・海・宇宙などを含むあらゆる場所へ拡張すること。

いという熱意を持っています。

NTTの研究開発力は世界でもトップレベルです。そこから生まれた製品やサービスはお客さまに高い関心を持っていただいています。私は前職で音声事業を担当していたこともあって、音声認識技術は特に思い入れがあり、こうした技術が活かされているForeSight Voice Mining (FSVM) やAIチャットボットなどを組み合わせながら自社やお客さまのコンタクトセンターの高度化を実現してきました。最近の例では、世界初のPersonalized Sound Zone (PSZ) 技術を活用して製品化した、NTTソノリティのイヤホンMWE001に注目しています。リモートワール

ドが進んでいる中で、世に出すタイミングが非常に良かったと感じています。こうした研究、開発はNTTの事業全体の底上げになると思いますのでぜひ頑張っていたきたいですね。

また、事業の成功は全社員の皆さんにかかっています。社員の皆さんの成長がすなわち事業の成長です。Withコロナの中で対面・リモートを組み合わせた新しい働き方を実現しながら、1人ひとりのキャリア形成を通して、皆さん自身の成長につなげてほしいと思っています。皆さんと会社が共に成長していく好循環の実現をめざします。社員の皆さんもどのようにしたらお客さまの信頼を得られ喜んでいただけるかを考えて行動していただきたいと思います。最先端の技術を活用して、わくわくする世界を創り出していきましょう！

(インタビュー：外川智恵/撮影：大野真也)

※インタビューは距離を取りながら、アクリル板越しに行いました。

インタビューを終えて

「トップとはどのような存在だとお考えでしょうか?」トップインタビューで数多くの方々に伺っている定番の質問です。この質問に、丸岡社長は「トップに必要なのはアイキュー (IQ) とアイキュー (愛嬌) です。先日あるトップに伺った言葉なのですが」と、愛嬌たっぷりの笑顔で答えられました。続けて丸岡社長は「私のIQを高めるには限界があるけれど、意思と愛嬌だけは持ち続けたいと思っています」と、どんな質問にも嫌な顔一つせず、冗談をはさみながら軽快なトークをご披露くださいました。

しかも、どんなお話もエビデンス・ベースド。ご発言への責任感が伝わってきます。こんな社長のあり方に、愛嬌という表現は単に物腰の柔らかさではなく、他者を思いやるお心遣いが含まれていることを実感しました。インタビュー終了後の写真撮影中も会話は止むことなく、さまざまな知見を授けてくださる丸岡社長。大切なのは「リスペクト」「信頼」という丸岡社長が入社当時からお持ちの信念は、こうしたご姿勢に表れているのだと実感したひと時でした。



SF的想像力で描き出す，NTTの新技术の未来

SF（サイエンス・フィクション）はときとして未来をリハーサルし、その未来に備えるアイデアを授けてくれることがあります。今回、NTTが研究開発を進めてきた「Another Me」と「感性コミュニケーション」というテクノロジーの未来像を、SF作家、テックカルチャーメディア『WIRED』日本版による研究機関「WIRED Sci-Fiプロトタイピング研究所」と描き出しました。果たして、その成果とはいかなるもののでしょうか。

きたばた み き たかやま ちひろ
北端 美紀[†] / 高山 千尋[†]
えいとく しんいちろう の と はじめ
永徳 真一郎[†] / 能登 肇[†]
ふかやま あつし なかむら たかお
深山 篤[†] / 中村 高雄[†]

NTT人間情報研究所[†]
WIRED Sci-Fiプロトタイピング研究所

はじめに

SF的想像力を用いて、今ある技術の未来における可能性を拡張する——。そんな目標を掲げ、NTT人間情報研究所はWIRED Sci-Fiプロトタイピング研究所⁽¹⁾、SF作家の吉上亮さん（写真1）、津久井五月さん（写真2）とともに、「Another Me」⁽²⁾と「感性コミュニケーション」⁽³⁾という2つのテクノロジーがもたらす未来像を描き出しました。

今回の記事では、NTT人間情報研究所、WIRED Sci-Fiプロトタイピング研究所（小谷知也さん（所長）（図1）、松島倫明さん（『WIRED』日本版編集長）（図2）、伊藤直樹さん（PARTY代表）（図3）、山辺哲識さん（リーガルストラテジスト）（写真3））、吉上亮さん、津久井五月さんとともに、そのプロセスと成果を振り返っていきます。

〈わたし〉のデジタルツインと、個々の特性の違いを超えた新たなコミュニケーション

まず、NTTが研究開発を進めてきたAnother Meとは、実在の人をデジタル再現したもう1人の自分が、現実の制約を超えて本人として自律的に活動し、その結果を本人の経験として共

有することで、人が活躍・成長する機会の拡張をめざす取り組みです。つまりは、〈わたし〉のデジタルツインと表現できるもので、業務代行や身体的なハンディキャップの克服、人間関係のシミュレーションなど多様な用途を想定しています。

また、感性コミュニケーションは、言語や文化の違いだけでなく、経験や感性などの個々人の特性の違いを超えて、心の中のとらえ方や感じ方を直接的に理解し合える新たなコミュニケーションの実現をめざした取り組みです。

この2つのテクノロジーは、2019年6月に発表した「デジタルツインコンピューティング構想」⁽⁴⁾に位置付けられており、自律的な社会システムや人間の能力拡張、自動意思決定などのためのデジタルツイン構築の基盤をつくっていくことをめざしています。

想像力ならどこへでも行ける

「どちらの技術も社会に与えるインパクトが大きいため、ユートピアからディストピアまで幅広い未来を想像していく必要があると考え、今回SFプロトタイピングを実施しました」。そう語るのは、NTT人間情報研究所の所長

を務める木下真吾です。

SFプロトタイピングとは、SFを用いて未来を構想、それを起点にバックキャストし、「今、これから何をすべきか」を考察する手法。今回は「未来を実装する」テックカルチャーメディア『WIRED』日本版とクリエイティブ集団「PARTY」が共同で立ち上げた



写真1 SF作家 吉上亮さん



写真2 SF作家 津久井五月さん

「WIRED Sci-Fiプロトタイプング研究所」とともにプログラムを実施しました。同研究所が開発したメソッドでは、仮説、科幻（中国語でSFの意味）、収束、実装の4つのステップを想定しており、今回の取り組みでは仮説から科幻のパートを実施。SFプロトタイプングの特徴について、同研究所の所長を務める小谷知也さんは次のように語ります。

「SFプロトタイプングは『ナラティブを通じて“未来の社会で暮らす人々”を精緻に描く』ことが可能です。物語を通じて、ある未来の社会の様相に触れることは、結果的に、全体を一気につかみ取るような、全体をまるごと直観によって把握するような認識の仕方をすることになるわけです。かつてアルベルト・アインシュタインは、『ロジックではAからBまでしか行けない。想像力ならどこへでも行ける』と語ったそうですが、ビジネスや研究や行政の現場に想像力を持ち込むことで、普

段の目線とは異なる『あり得る未来』の可能性を探ってみることが、SFプロトタイプングが提供する価値なのではないかと考えています」。

集団創作的なプロセスで、未来を描く

具体的にどのようなプロセスでプロジェクトは進行していったのでしょうか。NTT人間情報研究所からの研究領域に関するインプットや、研究者へのインタビューを経て、WIRED Sci-Fiプロトタイプング研究所、SF作家、NTT研究員によるアイデア出しや議論の場を定期的に設け、Another Meおよび感性コミュニケーションの未来におけるさまざまなユースケースを導き出していきました。その際、より多角的な視点から未来を検討するべく、『WIRED』日本版の編集者のみならず、クリエイティブ集団PARTYに所属するクリエイターやコピーライター、リー

ガルストラテジスト（弁護士）などのさまざまな専門性のメンバーが参加しました。

『WIRED』日本版の編集長を務める松島倫明さんは「特定の新しいテクノロジーを取り上げるときに、それを他のエマージングテクノロジーや、もっと広くリベラルアーツやカルチャー、ライフスタイルといった広範で分野横断的な視点と掛け合わせて取り上げてきた『WIRED』日本版の取り組みが、プロジェクトの出発点においてスペキュラティブな問いを設定するきっかけとなったのではないかと振り返ります。

また、PARTYを率いる伊藤直樹さんは「エンジニアリングやサイエンスを専門とするNTTの研究員と、スペキュラティブな問いを立てるサイエンスフィクションやクリエイティブの力を融合できたのではないかと振り返ります。そうしたプロセスの中で、認知症患者のためのAnother Meや、地域の関係人口を創出するための活用方法など、これまでは想定できていなかったさまざまなユースケースを検討しました。事実、脳機能を補助する部分的Another Meの実装により、認知症患者が介助者を伴わずとも生活できる町ぐるみのAnother Me活用については、吉上亮さんが小説を執筆する際の起点になった、と振り返っています。

Another Meの法的な位置付けは？

特筆すべきは、リーガルストラテジスト（弁護士）が参加していたことです。社会一般に広く使用される可能性を持つテクノロジーは、法規制と切り離すことはできません。だからこそ、法律の専門家である弁護士が参加することで、その技術が社会実装されていくうえでのハードルの議論が可能にな



図1 WIRED Sci-Fi
プロトタイプング研究所
所長 小谷知也さん



図3 PARTY代表 伊藤直樹さん



図2 『WIRED』日本版編集長
松島倫明さん



写真3 リーガルストラテジスト
山辺哲識さん

りました。PARTYのリーガルストラテジストである山辺哲識さんは「法的観点からの検討」を次のように語ります。

「わたし」のデジタルツインであるAnother Meに認め得る法主体性について繰り返し議論になりました。自然人が当然享有する人権のすべてをAnother Meに認めることは、社会的に不可能です。例えば、Another Meの生存権が保障された場合、所有者でも勝手に消去できませんし、Another Meが人間に対して正当防衛を行う可能性もあります。一方、財産の運用、処分等に関する意思決定とその実行を担保する仕組みがあれば、一定の範囲で財産権を認める余地はあると思いますし、あるいは財団法人等の既存の制度の活用によっても近い結果を実現できるかもしれません。このような議論を吉上亮さんと重ねることで、それがSFプロトタイピング小説のプロットに反映されていきました。

そうしたさまざまな専門性のメンバーが議論を重ねていくプロセスは「異なる立場・異なる視点から出てくる多種多様なアイデアを集約し、1つの主題——物語へ落とし込んでいく制作過程は集団創作である脚本制作の現場に似ているように感じた」と、吉上亮さんは振り返ります。一方、SFプロトタイピングは最終的な完成形が小説であるため、書き手となる作家に最終的なストーリーテリングの決定権が委ねられています。そのため「小説と脚本の中間に位置し、両者の良い部分を活かし、作家単独では獲得し得ない広い範囲に及ぶ視野を獲得しながらも、作家独自の語り口で主題となるテクノロジーへの回答を示すことができ、1人では成し得ない創作活動」だと言葉を続けます。

「痛み」「地方」「家族」といったキーワードを作品に集約

そうしたプロセスを経て、吉上亮さんによる作品『Another pain.』と津久井五月さんによる作品『未完成感性社会』が出来上がりました。『Another pain.』は、2054年の神奈川県横須賀市、三浦半島、観音崎が舞台となり、その海に面した町で暮らしている少女・汀（みぎは）と「祖母」の岬（みさき）が登場します。その汀はAnother Meと呼ばれる存在で、汀の「本体」は岬ですが、自身のデジタルツインである汀のことを、なぜか岬は「孫」と呼んでいます。そして汀は、Another Meなら本来オフにされるべき「痛みを感じる機能」を持ち合わせているという設定です。「なぜ自分は岬の孫なのか」「なぜ自分は痛みを感じるのか」汀が抱えるそんな疑問を解き明かす中で、Another Meの活用のされ方が描かれていきます。

物語の起点となったのは、前述の山辺さんとの議論で登場したAnother Meの法的検討以外にも、「地方」と「家族・パートナーシップ」の視点です。「都会におけるテクノロジーの実装は個人の単位で考えられますが、地方においてはコミュニティや集団の単位で考えなければなりません。また地方へ新技術が波及するプロセスを考えることは、社会全体にそのテクノロジーが普及した日本全体の未来を想像しなければならず、実装のハードルがより高まるがゆえに思索の面白さが増すということに気付きました」と吉上さんは解説します。また、ワークショップでたびたび登場した「Another Meを通じた家族との関係」という点についても吉上さんは着目し、「死別したパートナーや家族のAnother Meをどのように取り扱

うのか」「本体である人間が死した後、遺されたAnother Meは社会においていかなる存在となるのか」といった死生観にまつわる問いを考えていきました。「ときにその人以上にその人らしい経験を蓄積したAnother Meを人間は便利な道具として扱うのか、あるいはそれ以上の伴侶というべき存在として扱うのか、人間と道具の関係、という物語の主題が徐々に定まっていきました」と吉上さんは語ります。

今回のSFプロトタイピング小説を踏まえて、Another Meの研究に従事してきた深山篤はいくつかのポイントを挙げました。1つは、吉上さんの物語でAnother Meの進化のステップが「道具」「奴隷」「人格」「委譲」の順番で進化していくこと。もう1つ大きかったのは、Another Meが感じる「痛み」の概念の導入です。「痛みに関しては1つの考え方の軸になっており、人間と技術・道具の一線について、嗜虐性、心や人格などといった多面的な側面が語られていて、未来のリアリティを感じることができました。また、想定されていない使われ方についても『こういう技術があったら、こういうふうに使ってしまうだろう』という部分まで描写されており、さまざまな観点からユースケースを検討できたと考えています」。

「感性」の計測から使われ方までを描く

津久井さんによる『未完成感性社会』では、「印象分解能（どれだけの細かさで物事の印象の違いを感じ取れるか）」と「印象選考度（区別できる印象1つひとつに対する好みの度合い）」によって、感性を計測・分析する「没入型感性検査」が使用され、個々人に固有の感性コードが導かれている設定が導入

されています。この物語には、ゲームクリエイターが自身の感性を活かし、感性に近い人々に対してマーケティングすることでゲームが大ヒットしている株式会社エステシアという没入型VR (Virtual Reality) ゲームの開発会社が登場し、その企業に勤める小泉亜里沙 (アリシア) が主人公となります。彼女は花形である第一開発室から第六開発室に異動になり、「没入型感性深化」と呼ばれる、人の感性のうちの特定の部分の印象分解能を人工的に高める「感性トレーニング」の実験に参加していく様子が描かれることで、感性活用の可能性を読み解ける物語となっています。

感性コミュニケーションは具体的な研究の幅が広く、「感性」の定義も「コミュニケーション」へのアプローチもさまざまだったため、「感性」の定義をある程度絞り込むことで、津久井さんは作品にまとめていきました。発想の起点となった研究の1つに、将棋やカーレーシングにおけるプロの判断を分析するものがあります。「人それぞれの『ものの見方』や『美意識』そのものをデータ化するのは難しいですが、特定のルールや状況下での振る舞いを記録・比較するという方法であれば、たしかにその人の感性 (さまざまな印象に対する好みや選別眼の鋭さ) を明らかにできるかもしれないと納得しました」と津久井さんは語ります。

そうした研究を踏まえて、VRゲームに似た疑似体験空間での人の振る舞いを計測・分析する「没入型感性検査」という設定が作品には盛り込まれています。この検査を起点に、検査結果を表現する方法や、ビジネスや教育の分野での利用法を考えることで、作品世界を膨らませていった、と津久井さんは振り返ります。

また、感性コミュニケーションの研究に従事してきた能登肇は作品が生まれることで「各研究者の間での共通認識が生まれた」と語ります。

「今回、感性の計測から具体的な使い方までを一貫して描いてもらったことで、感性というテーマを主軸にした研究のゴールイメージの1つが明瞭になり、検討すべき事項を整理できたと考えています。その際に、人はどのようにしてこの技術を受け入れられるのか、という社会に浸透していく部分を具体的に描いていただいたおかげで、そのイメージもついてきたと考えています」。

描かれた未来を研究計画に落とし込む

今回のSFプロトタイプは未来を描く「科幻」のフェーズまでだったため、この後描かれた未来像をバックキャストして研究計画に落とし込むステップに進んでいきます。

「まずNTT内部のメンバーに対して、アウトプットの小説があることでAnother Meや感性コミュニケーションがサービスとして受け入れられるイメージを伝えることができるのではないかと考えています。また、外部に対する情報発信という点でも効果的だと感じています。小説になったことで興味を持ってもらい、私たちの研究のコンセプト・世界観の理解を深めやすくなり、そこから議論を起こしやすくなる結果として、技術の検討や社会浸透が進んでいくといいなと考えています」。

吉上亮さんによる『Another pain.』、津久井五月さんによる『未完成感性社会』についてもNTT技術ジャーナルに同梱の冊子および弊社ホームページ⁽⁵⁾に掲載されています。ぜひ目を通して

いただき、Another Meや感性コミュニケーションが広く受け入れられた世界はどのように変化するのか、そこでどのような課題が発生するのか、一緒にご議論いただけますと幸いです。今回のプロトタイプを起点に皆様と議論していくことが研究を次なるステップへと進めてくれると考えています。

■参考文献

- (1) <https://wired.jp/sci-fi-prototyping-lab/>
- (2) 深山・石井・森川・能登・永徳・井島・金川：“Another Me技術による「獅童ツイン」実現の試み,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 2, pp.21-14, 2023.
- (3) 太田・志水・中根・村岡：“感性コミュニケーションの実現に向けた脳科学応用技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 2, pp. 17-20, 2023.
- (4) https://www.rd.ntt/dtc/DTC_Whitepaper_jp_2_0_0.pdf
- (5) https://www.rd.ntt/dtc/sf_prototyping/



(左から) 中村 高雄/ 高山 千尋/
北端 美紀/ 深山 篤/
能登 肇/
永徳 真一郎 (右)

人が自分のありたい姿で働き、暮らしていくことを支援する技術であるAnother Meと感性コミュニケーションに取り組んでいます。今後も、技術が普及した未来の社会と、そこで生きる1人ひとりの人間の理解に努めながら研究開発に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
NTTデジタルツインコンピューティング研究センター
E-mail dtc-office@ntt.com

新たな価値創造をめざす デジタルツインコンピューティング構想実現に向けた 取り組み

本特集では、NTTデジタルツインコンピューティング研究センターで
実現に向けて取り組んでいるデジタルツインコンピューティング構想
およびゴール像として設定した4つのグランドチャレンジの概要、
並びにグランドチャレンジの実現に向けた
具体的な研究開発の取り組み状況について紹介する。

IOWN

ブレインテック

AI

未来社会探索エンジン

サステナビリティ

Digital Twin Computing

「デジタルツインコンピューティング構想の実現に向けた グランドチャレンジ」の最新動向について 14

デジタルツインコンピューティング（DTC）構想実現に向けた営みとして、デジタルツインの共通利用に向けた取り組みと、グランドチャレンジ達成に向けた最近の活動を紹介します。

感性コミュニケーションの実現に向けた脳科学応用技術 17

異なる感性を持った人々が互いに理解・尊重し合える世界の実現をめざした、脳科学応用技術の取り組みについて紹介します。

Another Me技術による「獅童ツイン」実現の試み 21

実在の人の外見・内面を再現し自律的に活動する人デジタルツインの実現をめざす「Another Me」の社会実装の第一弾として取り組んだ「獅童ツイン」の概要、および主要技術について紹介します。

交通整流化に向けたデジタルツインの活用 25

渋滞が発生しないような最適化された交通流を実現するための、断片的な断面交通量データを補完推定し、リアルな交通需要データを生成する技術について紹介します。

包摂的サステナビリティの実現に向けた連成技術の研究開発 30

包摂的サステナビリティの実現に向けて、複数のシミュレーションモデルを協調させるための連成技術の概要と政策評価のプロトタイピング、および将来の展望について紹介します。

「デジタルツインコンピューティング構想の実現に向けたランドチャレンジ」の最新動向について

NTTでは IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) における大きな柱の1つとして、実世界とデジタル世界の掛け合わせによる未来予測や最適化の実現をめざす「デジタルツインコンピューティング (DTC) 構想」があり、壮大な研究開発目標であるランドチャレンジを設定し、研究開発を進めています。本稿では、DTC 構想実現に向けた営みとして、デジタルツインの共通利用に向けた取り組みと、直近におけるランドチャレンジ達成に向けた活動を紹介します。

なかむら たかお もり こうや
中村 高雄 森 航哉
きたはら りょう
北原 亮

NTT 人間情報研究所

デジタルツインコンピューティング構想とランドチャレンジへの取り組み

NTTが掲げるIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の主要な構成要素としてデジタルツインコンピューティング (DTC) 構想があります。これは、実世界における

モノ・ヒト・社会に関する高精度なデジタル情報を掛け合わせることで、従来のICTの限界を超えた大規模かつ高精度な未来の予測・試行や、新たな価値を持った高度なコミュニケーションなどの実現をめざすものです。それによって、世界中のさまざまな社会課題の解決や革新的サービスの創出を通じ、スマート社会の実現を加速します

(図1)。

デジタルツインコンピューティングは、ヒトといったマイクロな世界から地球規模のマクロな世界まで幅広くとらえるものであり、その適用分野は多岐にわたります。私たちは、大きな研究開発目標として特に4つの「ランドチャレンジ」を設定することで、DTC 構想の実現をめざしています

ヒト・モノなどのデジタルツインを合成することで多様な仮想社会を構築し、新たな価値を創出する計算パラダイム

- **デジタルツインの自在な掛け合わせ**
多様なデジタルツインを相互作用させる共通手段を提供
- **大規模・高精度・複合的な未来予測**
過去や現在の把握に加え、いくつもの複合的な未来像の提示
- **多様性を再現したヒトのデジタルツイン**
ヒトの内面・個性のデジタル化と、人間社会の多様性に基づく相互作用の計算



図1 デジタルツインコンピューティング構想とは

人間の内面，個人，社会集団，都市，地球規模までを含めたデジタルツインを自在に掛け合わせ，高精度かつ高速な未来予測を行い，実生活へのフィードバック・制御によってスマート社会を実現

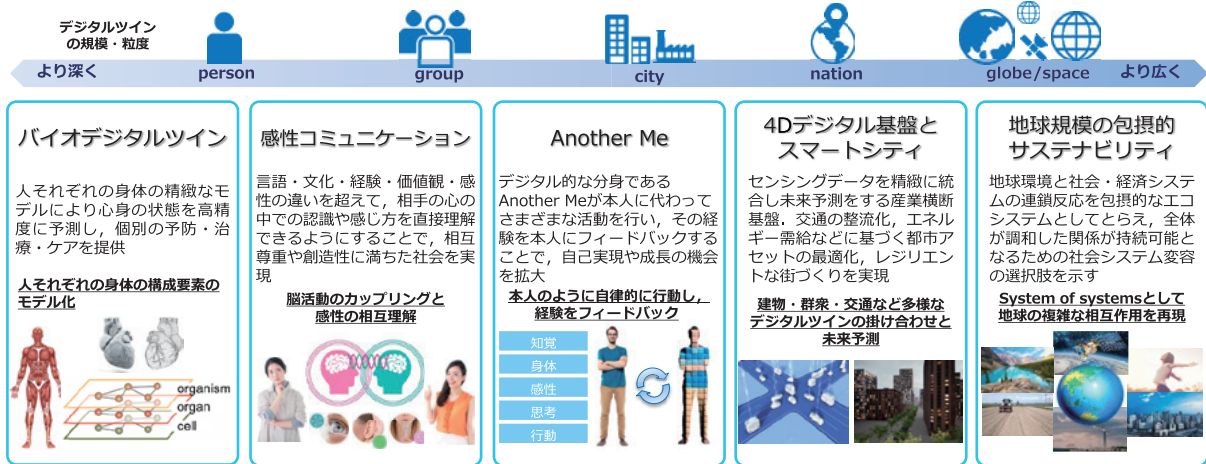


図2 デジタルツインコンピューティングの拡がり

(図2)。

- ① 言語や文化の違いだけでなく，経験や感性などの個々人の特性の違いを超えて，心の中のとらえ方や感じ方を直接的に理解し合える新たなコミュニケーションを実現する「感性コミュニケーション」
- ② 実在の人をデジタル再現したもう1人の自分が，現実の制約を超えて本人として自律的に活動し，その結果を本人の経験として共有することで，人が活躍・成長する機会の拡張をめざす「Another Me」
- ③ 社会や人々をデジタルで高精度に表現し，それらを相互作用させることで未来の社会の姿を探索し，そこから個人の望む行動を選択できる仕組みをめざす「未来社会探索エンジン」
- ④ 地球環境が備える自律性とその一部としての社会・経済システムの自律性を調和させた包摂的な平衡性と，そこへ導く社会システム変容の複数の選択肢を示す「地球規模の包摂的サステナビリティ」

デジタルツインの共通利用に向けた取り組み

DTC構想でめざすグランドチャレンジでは，ヒト・車・建物・気象環境など，さまざまなデジタルツインを組み合わせてアプリケーションを構築するため，これら多様なデジタルツインを自在に組み合わせたり，相互作用を演算することが必要です。そこでは，デジタルツインの相互接続性を確保することが非常に重要となるため，私たちはDTC構想の実現に向け，必要なデジタルツインの共通利用に向けた取り組みとして，IOWN Global Forum (IOWN GF)において関連業界のさまざまなステークホルダとの連携にも力を入れています。

これは私たちNTT一社で実現できることではなく，関係する業界の企業や大学・研究機関の皆様と一緒に，技術仕様や枠組みを決めていく必要があります。このための議論の場として，ネットワークインフラストラクチャからアプリケーションレイヤまでをカバーし，さらに技術のプロバイダからユーザまで幅広いスペシャリストが参加し

ているIOWN GFは最適と考えられます。これら幅広い立場からの要件や知見を合わせることで，デジタルツインの相互接続性を確保するための効果的な方式を議論できます。

2022年2月より，IOWN GFではDigital Twin Frameworkというタスクフォースを立ち上げて，デジタルツインの相互接続性にかかわる議論を開始しています。2022年11月現在で，日米欧にまたがる10社以上の企業・大学・研究機関からなる30名程度のスペシャリストが定期的に参加しており，隔週でのオンライン会議やConfluenceを通じた議論とドキュメント作成に活発に携わっています。

活動の概要としては，ユースケース分析とギャップ分析から着手し，今後IOWN GFで定義すべき技術スコープの明確化から議論を始めています。IOWN GFが定義したユースケースの中にもデジタルツインの活用が効果的なスマートシティのエネルギー効率化・温室効果ガス排出削減や安全監視のようなユースケースは多く，それらの分析をとおして必要となるデジタルツインの相互接続性の課題とは何かを

明らかにしています。その結果、数多くのステークホルダがデジタルツインのデータを交換し加工や変更を加える過程での、データモデルのインターオペラビリティとアクセスコントロールが重要な課題であるという共通認識が生まれつつあり、今後これらの課題の解決策をタスクフォースの中で議論していく予定です。

グランドチャレンジの最新動向

本特集においては、以下のとおり上記グランドチャレンジに関する研究内容やその実現に向け必要となる技術の開発状況、直近の活動模様について報告します。

■感性コミュニケーションの実現に向けた脳科学応用技術

感性コミュニケーションについては、心の中のとらえ方や感じ方などの感性を直接的に理解し合える新たなコミュニケーションモダルの創出をめざし、感性の情報そのものが含まれるヒトの脳情報を活用する脳科学応用技術として、脳波データから違和感・納得感をデコードする技術、感性情報が含まれる脳の状態を脳内表象として可視化する技術、互いの理解度を高めるための脳波カップリング技術などを紹介します⁽¹⁾。

■Another Me技術による「獅童ツイン」実現の試み

Another Meについては、実在する人の外見・内面を再現し、自律的に活動するヒトデジタルツインの実現に向けた社会実装として、歌舞伎役者の中村獅童氏のデジタルツインを構築し、歌舞伎公演で上演するまでの挑戦と、その実現に用いた少量のデータから個人の機微な癖も再現可能な身体モーション自動生成技術、および低コストで多様な話者・口調を再現する任意話者音声合成技術について紹介します⁽²⁾。

■交通整流化に向けたデジタルツインの活用

未来社会探索エンジンについては、人々が活動する社会をデジタルで高精度に表現し、人々の行動を繰り返し変化させながら未来を探索する仕組みを構築するために、今回は特にデジタルツイン上での交通流の再現と予測にフォーカスし、交通流デジタルツイン生成技術として、既知の断片的な断面交通量データから補完推定することで、リアルな交通需要データを生成する技術について紹介します⁽³⁾。

■包摂的サステナビリティの実現に向けた連成技術の研究開発

地球規模の包摂的循環シミュレーションについては、包摂的サステナビリティの実現に向けて、環境と経済、社会の間の複雑な相互作用を理解したうえでの政策決定のために、それらを計算機上に再現することで評価できるための仕組みの構築に取り組んでおり、今回は複数のシミュレーションモデルを協調させるための連成技術と政策評価プロトタイプング、その将来展望について紹介します⁽⁴⁾。

おわりに

私たちの掲げた「グランドチャレンジ」は一見達成困難にもみえる大胆な未来構想です。これは、従来培ってきた技術をさらに伸ばすことや新たな着想を追加していくだけでは実現が難しいため、高い目標に最短距離で到達するための解くべき課題を見出しそれにトライすることでゴールをめざす、バックキャストによる研究手法が重要です。そのためには、有力なユースケースの設定や特に注力すべき領域の見極め、技術課題の抽出、社会実装された際の影響評価などが必要となってきます。

今回「感性コミュニケーション」

「Another Me」については、Sci-Fiプロトタイプングという手法を用い、技術が実現した際におとずれる可能性のある未来社会を小説で具体的に表現することで、起こり得る社会の変化やそこで暮らす人々の認識や課題を浮き彫りにし、研究開発へとフィードバックする取り組みを行いました。本取り組みについては、本誌特別企画にて紹介するとともに、別冊付録としてその小説がありますので、ぜひ一読ください。

■参考文献

- 1) 太田・志水・中根・村岡：“感性コミュニケーションの実現に向けた脳科学応用技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.35, No.2, pp.17-20, 2023.
- 2) 深山・石井・森川・能登・永徳・井島・金川：“Another Me技術による「獅童ツイン」実現の試み,” NTT技術ジャーナル, Vol.35, No.2, pp.21-24, 2023.
- 3) 藤島・高木・横谷・中田：“交通整流化に向けたデジタルツインの活用,” NTT技術ジャーナル, Vol.35, No.2, pp.25-29, 2023.
- 4) 福田・丸吉：“包摂的サステナビリティの実現に向けた連成技術の研究開発,” NTT技術ジャーナル, Vol.35, No.2, pp.30-33, 2023.



(左から) 中村 高雄 / 森 航哉 / 北原 亮

グランドチャレンジをDTC構想のゴール像として、自らの専門性に加え新分野にもゼロから挑戦し、異分野との連携やSci-Fiプロトタイプングなどの多様な取り組みにも積極的にトライすることで、その実現に向けた技術確立・研究開発を進めています。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
NTTデジタルツインコンピューティング研究センター
E-mail dtc-office@ntt.com

感性コミュニケーションの実現に向けた 脳科学応用技術

異なる感性を持った人々が互いに理解・尊重し合える世界の実現をめざした脳科学応用技術の取り組みについて、本稿では、脳波データから違和感・納得感をデコードする技術や、感性情報が含まれる脳の状態を脳内表象として可視化する技術、互いの理解度を高めるための脳波カップリング技術、心の中のイメージを再現する心的イメージ再構成技術を紹介します。

おおた
太田

あいり
藍李

しみず
志水

しんや
信哉

なかね
中根

あい
愛

むらおか
村岡

よしひと
慶人

NTT人間情報研究所

感性コミュニケーションにおける 脳科学の取り組み

デジタルツインコンピューティング (DTIC) における感性コミュニケーションでは、経験や感性などの個々人の特性の違いを超えた相互理解の実現、それによって相互尊重が促進される世界や、協調性・創造性が強化される世界の実現をめざしています。その中でも私たちは、心の中のとらえ方や感じ方などの感性を直接的に理解し合える新たなコミュニケーションモダルの創出をめざし、感性の情報そのものが含まれるヒトの脳情報を扱うことで感性コミュニケーションを実現しようと考えています。現在私たちは、コミュニケーションの現場へも適用可能で、一般利用にもっとも近い脳情報である頭皮脳波 (脳波) に着目し、脳波から得られる脳情報を活用したさまざまな研究開発に取り組んでいます。

アドバイスに対する感性情報の 検出「感性デコーディング技術」

相手の発話に対する違和感、受容などの反応は、コミュニケーションにおける重要な感性情報です。しかし、現状のコミュニケーションでこれらを適切に相手に伝えることは容易ではありません。例えば、指導者が何らかのアドバイスをを行う場面においては、受け手が感じた違和感を適切に伝えられない場合や、アドバイスに従ったものの実は納得できていない場合などが存在しており、これらのコミュニケーション齟齬が効率的な指導を妨げていると考えられます。そこで私たちは、脳波計測によって違和感、受容などの感性情報を検出するための「感性デコーディング研究」の取り組みを進めてきました。

先行研究では、極めて不自然な文章を提示したときに生じる違和感によって特定の脳反応 (事象関連電位^{*1}) が発生することが報告されており、違和感に関連する事象関連電位として

は、違和感を発見したときに生じる N400^{*2} と呼ばれる反応が明らかになっています。しかし、これらの研究で提示される文章はコミュニケーションで用いられるような自然な文章ではなく、明らかな意味誤り文 (例: 彼は温かいパンに靴下を塗った) や、世界知識誤り文 (例: タンポポの花は黒い) などでした。また、先行研究のような言語的なコミュニケーションに限らず、非言語的なコミュニケーションにおいても他者の感性の理解は極めて重要となります。そこで本研究では、より自然な文章で書かれた指示短文を提示するタスクと、将棋の差し手アドバイスを提示するタスクで脳波計測実験を実施しました。

短文タスクの結果 (図 1 (a)), より自然な指示文の場合でも、受け手が違和感を覚えたときには先行研究と同様

*1 事象関連電位: 内的・外的事象に時間的に関連して生じる、脳の一過性の電位変動。

*2 N400/N600: 事象の発生から約400/600 ms 後にみられる、脳波の陰性 (Negative) の電位変動。

のN400がみられ、受け手が違和感を覚え提案を受け入れない選択をした場合、つまり提案に対する強い拒絶を示したときには、より強いN400がみられることを確認しました。また、将棋タスクの結果（図1(b)）、将棋の指し手アドバイスにおいても、想定した手と一致せず受け手が違和感を覚えたときに短文タスクと同様のN400がみられ、自分の意見と一致はしないがその手を受け入れる場合にはN400が減弱することを発見しました。さらに、将棋タスクではN400の反応と併せて、N600と思われる反応が生じていることを確認しました。N600は論理的思考やルールの理解における矛盾に対して、解決策を見出すプロセスで生じることが報告されていることから、今回は違和感のある差し手を解釈しようと

働いた認知プロセスによって反応が生じたのではないかと考えられます。

先行研究を発展させたこれらの新しい知見から、より自然な文章をやり取りする一般的な言語コミュニケーションの場面や、非言語コミュニケーションの場面において、違和感の有無や、違和感が生じたときに最終的に合意できるかどうかを、脳波から推定できるようになる可能性が示唆されました。今後は、各反応が生じる正確な条件などを詳細に調査し、脳波データから感性状態を検出するリアルタイム感性デコーディングの実現をめざし、取り組みを進めていきます。

“脳の表情”を知覚可能にする
「脳内表象可知覚化技術」

従来の言語・非言語コミュニケー

ションでは、感情や認知状態などの感性情報を100%正確に他者に伝えることは不可能です。また、自分自身のことであっても、感性の状態を完全に理解することは容易ではありません。感性伝達に関するこれまでの研究の多くは、感性情報の中でも特に知見が多く扱いやすい「感情」のみに焦点を当てており、さらに、感情は数種類のカテゴリや2軸の次元で評価するものがほとんどで、新しい感情や詳細な感情の違いを表現しきれないという課題がありました。この課題に対して私たちは、感情に限らずさまざまな感性状態はそのときの脳の状態に表現されていると考え、“脳の表情”を多次元的な表現でリアルタイムに知覚可能にする「脳内表象可知覚化技術」を構築しました。

本技術では、多様な感性状態を伝達可能にするため、脳波データから感性に関する脳情報（＝脳内表象）を抽出し、7次元に圧縮、これを可知覚化用パラメータとして用いることで、感性の状態に応じたさまざまな幾何学図形を描画し、リアルタイムでアニメーション表示します（図2）。また、脳内表象については脳の個人差を考慮し、事前に取得したモデル作成用脳波を用いて脳内表象の個人モデルを作成します。モデル作成用脳波は、目的に応じてどのような感性情報を持たせるかを決定し、例えばさまざまな感情を想起しているときや、さまざまな味を味わっているときの脳波データを取得します。さらに、図形化には感性状態を多次元的に表現する手法の1つとして、“Rose of Venus^{*3}”と呼ばれる幾何学図形を採用することで、さまざまな感性の状態を図形の大きさや色、模

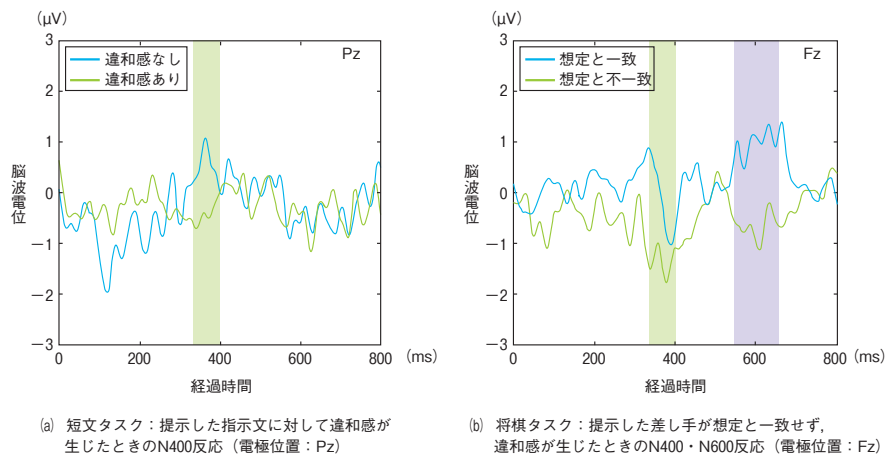


図1 短文タスク・将棋タスクにおける脳波計測実験結果

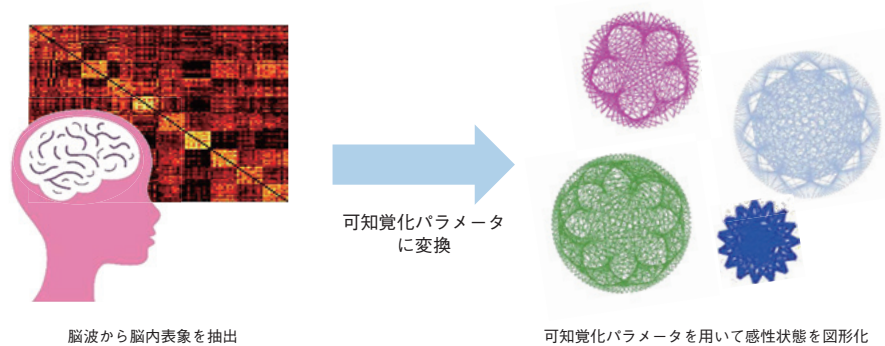


図2 脳波データを用いた、感性状態に関する脳内表象の可知覚化

*3 Rose of Venus：金星と地球の公転周期の差を利用して、それぞれの位置を一定時間ごとに線で結ぶと描ける「五弁花」の図形。

様の形として表現することを可能にしました。

また、本技術を用いた効果検証実験の結果、相手が美味しいと感じたかどうかを推定するタスクでは、相手の脳内表象を見ながらタスクを行うことで推定誤差が減少し、脳内表象によって他者の感性の理解が促進されるといった効果を確認しました(図3(a))。さらに、感情的なエピソードを話した後に、自分でそのときの感情を説明するタスクでは、自分の脳内表象を見ることで自己の感情特定の難しさが減少し、脳内表象によって自分の気持ちを特定できるようになるといった効果を確認しました(図3(b))。今後は、本技術をコミュニケーションの場面で使用し続けたときの脳内表象の読み取り精度の変化などを調査する、長期的な効果検証や、より適切な可視化手法の検討を進めるとともに、ALS(筋萎縮性側索硬化症)等の諸疾患を持つ方やVR環境などの表情をつくれな場面のために脳内表象から表情を生成する取り組みを進めていきます。

脳をシンクロさせ共感・協調を促進する「脳波カップリング技術」

私たちは、感性状態の検出や、感性を伝達可能にする取り組みだけでなく、お互いに理解し合い、協調し合

る環境をつくる取り組みを行っています。先行研究では、互いに共感しているときや協調作業を行っているときの2者の脳活動に同期現象がみられることが報告されています。そこで私たちは、介入によって同期状態を誘発することで共感しやすい状態や協調し合える状態をつくり出すことができるのではないかと考えました。また、介入の方法として、現在の同期状態をフィードバックするニューロフィードバック*4を行うことで、脳波の同期状態を引き出せるのではないかと考え、コミュニケーションの質や量の増加、それに伴う円滑な作業の実現をめざした「脳波カップリング技術」の取り組みを行っています。

本技術では、脳波データを4つの周波数帯域(δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波)に分離し、各周波数帯域のカップリング率をリアルタイムで計算、出力することでニューロフィードバックを行います。これによって、使用者は現在のカップリング率やその全体的な推移を画面上で確認しながら、協調タスクやコミュニケーションを行うことができます(図4)。

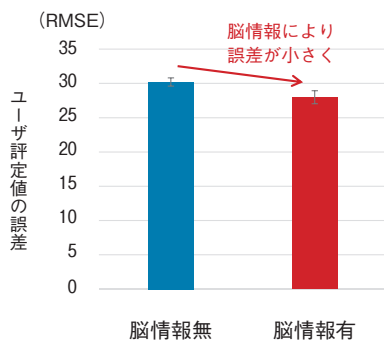
また、本技術を用いた効果検証実験では、脳波に含まれる α 波のカップリング率と協調作業効率に関係があることが確認されました(図5)。今後は、

カップリング率の向上がコミュニケーションの質・量の増加、協調作業時のタスク効率へ与える影響を確認するとともに、カップリング率を向上させるための適切な介入方法の検討を行っていきます。

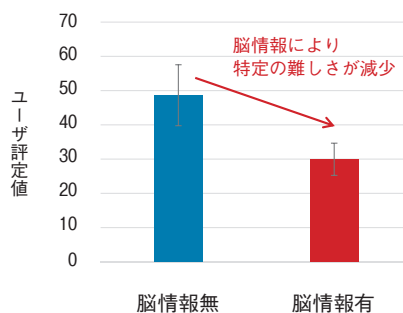
心の中のイメージを再現する「心的イメージ再構成技術」

頭の中に思い描いたイメージ(=心的イメージ)を正確に表現することは非常に難しいことですが、これはコミュニケーションの場面においても、相手に伝えたいイメージを正確に伝えられないという問題に直結します。また、近年の画像生成分野におけるAI(人工知能)の発展により、テキスト情報を基にしたさまざまな画像生成技術が確立されていますが、テキスト情報のみから心的イメージを生成するには限界があります。そこで私たちは、磁気共鳴機能画像法(fMRI: functional magnetic resonance imaging)や皮質内脳波(ECoG: Electrocorticogram)に関する心的イメージデコードの先行研究を基に、より計測が容易な脳波を用いた心的イメージデコードの実現をめざし、取り組みを行っています。

私たちは、取り組みのファーストステップとして、先行研究でも実施されているカテゴリ分類課題を採用し、知覚・想像した画像の内容を推定する検証実験を実施しました。実験で用意した3カテゴリの画像(風景、乗り物、人の顔)の推定精度は、知覚課題においてチャンスレベルを上回りましたが、想像課題では改善の余地があるという結果となりました。今後は、知覚・想像のデコードに最適化したモデルの検



(a) 脳内表象を見たとき・見ていないときの、相手の感じる美味しさの推定誤差



(b) 脳内表象を見たとき・見ていないときの、自分の気持ちの特定の難しさ

図3 脳内表象技術の効果検証実験結果

*4 ニューロフィードバック: 脳波計、fMRIなどで取得した脳情報やコンピュータを用いて、脳活動の調整を行うバイオフィードバックの一種。

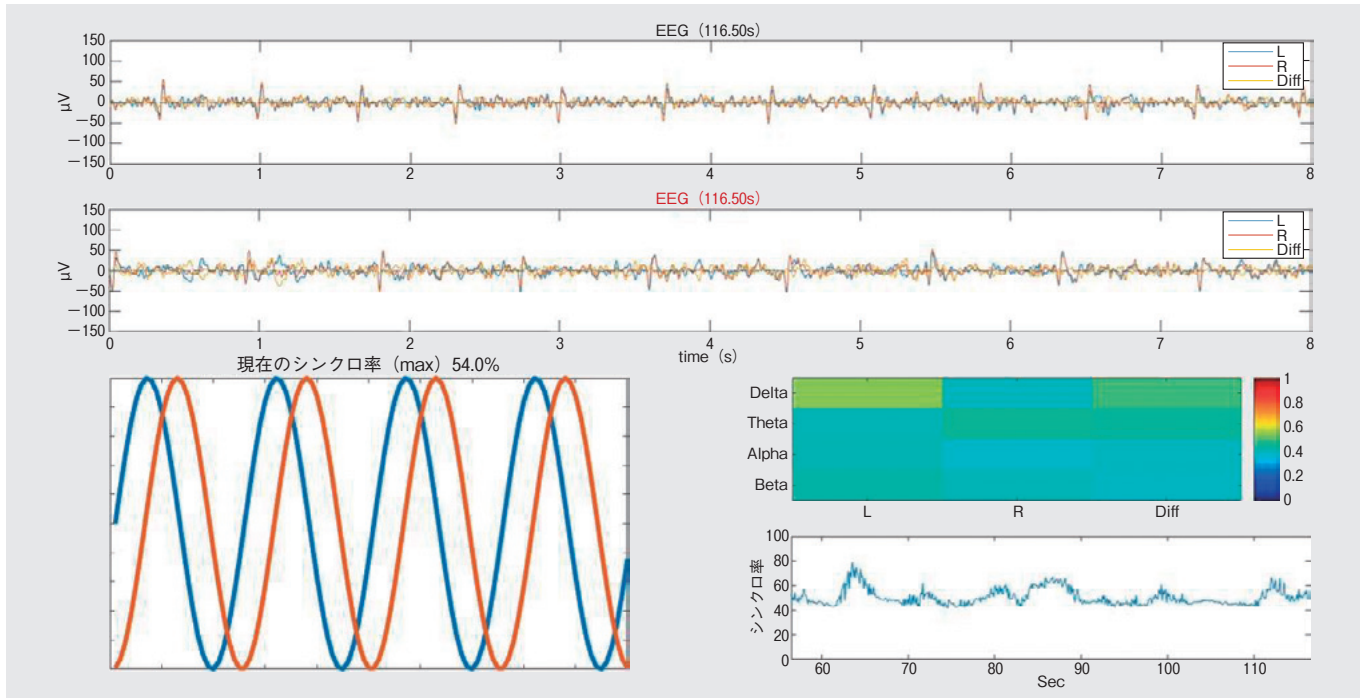


図4 2者のカップリング率のフィードバック画面

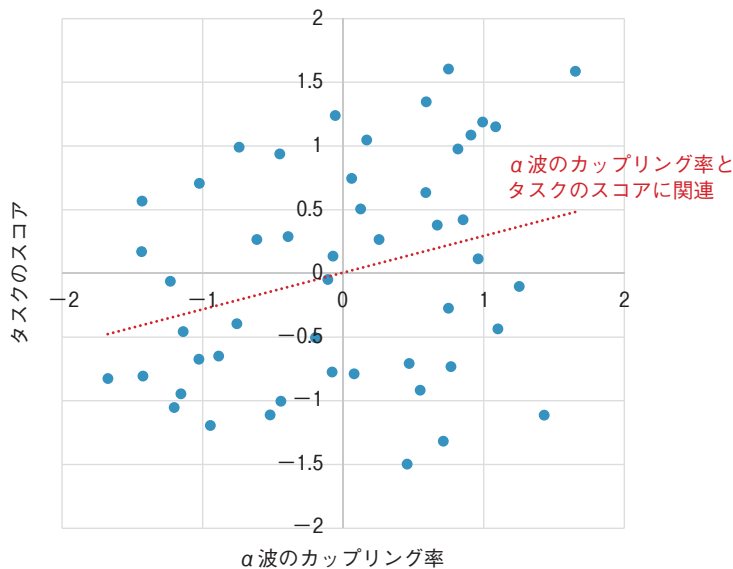


図5 脳波に含まれるα波のカップリング率と協調作業効率の関係

なく、相互理解や相互尊重に必要な感性情報を共有可能にすることで、違ったままでも分かり合える、違ったままでも協調し合える世界をめざして、今後も取り組みを続けていきます。



(左から) 太田 藍李/ 志水 信哉/
中根 愛/ 村岡 慶人

心の中のとらえ方や感じ方などの感性を直接的に理解し合える新しいコミュニケーションモデルの実現をめざして、感性コミュニケーション技術の研究開発を推進していきます。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
NTTデジタルツインコンピューティング研究センター
E-mail dtc-office@ntt.com

討や脳波特徴量の選定を行うことでカテゴリ推定の精度向上を行うと同時に、カテゴリ以外のデコードを検討することでイメージの再構成の実現をめざします。

おわりに

私たちは、本稿で紹介したさまざま

な脳科学応用技術によって、互いの違いに気づき、共感し、思いやりを促進するコミュニケーションや、これまでは表現したくてもできなかった感性を表現可能にし、互いに通じ合えるコミュニケーションの実現をめざしています。そのため私たちは、ヒトの本音や内面すべてを伝達してしまうのでは

Another Me技術による「獅童ツイン」 実現の試み

実在の人の外見・内面を再現し自律的に活動する人デジタルツインの実現をめざす「Another Me」の社会実装の第一弾として、松竹株式会社が主催する「超歌舞伎 2022 Powered by NTT」の主演である中村獅童氏のデジタルツイン「獅童ツイン」を構築し、同公演で上演しました。本稿では、取り組みの概要と、主要技術である身体モーション生成技術および任意話者音声合成技術について解説します。

ふかやま 深山	あつし 篤	いしい 石井	りょう 亮
もりかわ 森川	あきら 輝	のと 能登	はじめ 肇
えいとく 永徳	しんいちろう 真一郎	いじま 井島	ゆうすけ 勇祐
かながわ 金川	ひろき 裕紀		

NTT人間情報研究所

はじめに

デジタルツインコンピューティング (DTC) 構想のグランドチャレンジの1つである「Another Me」では、実在の人のデジタルツインが社会の中で本人に代わり活動することで、時間・空間やハンディキャップなどさまざまな制約を越えて自己実現や成長の機会を拡張することをめざしています。そのようなAnother Meを実現するための要件として「本人性」「自律性」「一体性」(図1)を設定し、その実現に向けた研究開発を進めています。

まず、Another Meが実在の人物として社会の中で活動するには、その

人の見た目や動作などの外見や、性格・価値観などの内面の再現により、その人であると認められる「本人性」が必要となります。さらに、時間や身体的・認知的なハンディキャップを越えるためには、逐一ユーザが操作したり指示したりしなくとも、その場の状況を理解し、本人と同じように判断・行動する「自律性」が必要です。これらの要件が満たされたAnother Meの活動結果から、自己実現による達成感を得たり自分自身の成長につなげたりするには、本人自らが経験したかのような実感とともに活動結果を本人に還元することで、本人のコピーであるAnother Meと本人の「一体性」を

維持する必要があります。

「獅童ツイン」実現への取り組み

3つの要件すべてが極限に満たされた存在はまさに「もう1人の自分 (Another Me)」と呼べるものになりますが、現実的には適用領域に応じてどの要件をどの程度達成すべきか決めていくこととなります。今回、Another Meの社会実装の第一弾として、本人性の実現にフォーカスし、そのための場として演劇の舞台での俳優の再現に挑みました。具体的には、伝統文化としての歌舞伎とNTTの最新テクノロジーを融合させた「超歌舞伎」に取り組みできた松竹株式会社と、超歌舞伎の主演である中村獅童氏の協力の下、中村獅童氏に代わって観客に挨拶をする「獅童ツイン」の作成に取り組みました。超歌舞伎では観客の多くが中村獅童氏や超歌舞伎のファンであるため、本人らしさ、特に外面的な本人性を高いレベルで求められる、チャレンジングな場となります。

さてここで、Another Meのよう



図1 Another Meの3要件

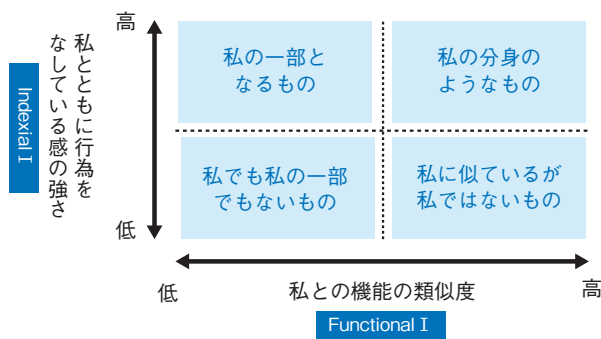


図2 「私」概念の二層構造

な、本人そのものでない存在に本人を認めるとはどういうことでしょうか。私たちは哲学の専門家との共創を通じてその要因を探究し、「機能的わたし」(Functional I)と「指標的わたし」(Indexical I)の2軸で本人性をとらえています(図2)。

「機能的わたし」とは、見た目や動作などの外面的な特徴や、スキル・能力が本人と同様であることを指しています。この観点から今回のプロジェクトでは、およそ半日間のスタジオ収録を行い、中村獅童氏の精巧な3D CGモデルを作成するとともに、本人らしい身振り・手振りと音声を生成できる機械学習モデルを構築しました。

一方で、「指標的わたし」は、その人を特徴付ける過去の経験をAnother Meから感じられるようにすることで、本人に対する指標性(「彼」「彼女」「私」など本人を指し示す意識)をAnother Meが分有し得るという考え方です。今回は超歌舞伎のファンをターゲットに、過去の超歌舞伎公演でファンにはお馴染みの観客への「煽り」を再現すべく、そのようなイメージでの身振りや発声を中村獅童氏にお願い

し、データの収録を行いました。また、伝統文化として違和感のない衣装やセリフ、舞台上の生身の共演者との関係性を感じさせる掛け合いの演出などは、松竹株式会社との綿密な検討のうえで決定しました。

以降、「獅童ツイン」を構成する技術について詳細を紹介します。

少量のデータから個人の機微な癖も再現可能な身体モーション自動生成技術

Another Meから実在する人物と同じ人格を感じられるためには、見た目はもちろんのこと、音声、発話、身体モーションがその人物らしくあることが重要であると考えられます。特に表情、顔や視線の動き、身振り手振りといった身体モーションの差異が、性格特性の差異を感じさせたり⁽¹⁾、他者を識別するために大きな手掛かりとなっていること⁽²⁾を、私たちはこれまで明らかにしてきました。そのため、Another Meにおいて、実在する特定の人物の身体モーションを自動的に生成させてAnother Meのモーションを制御させることが重要になりま

す。実在する特定の人物の身体モーションを自動的に生成することは工学的に非常に難しい技術課題です。これまで、人間らしい身体モーションや、性格特性に応じた身体モーションを発話のテキストから生成する技術^{(3),(4)}に取り組んでいましたが、実在する特定の人物の機微な癖も模倣可能なモーションの生成は実現されていませんでした。

そこで、私たちは、日本語の発話音声およびその発話テキスト情報に基づき、発話時の実在する人物の機微な癖も模倣可能な身体モーションを自動生成する技術を新たに開発しました。実在する人物の映像データ(音声と身体の映った画像の時系列データ)を用意するだけで、自動でその人物らしい身体モーションを生成する生成モデルを構築します。この生成モデルを利用することで、発話音声とその発話テキスト情報を入力するだけで、その人らしい発話時の動作を自動で生成することができます。技術の詳細を説明します。まず、対象となる人物の映像データに含まれる発話時の音声データから音声認識技術により、発話テキストを抽出するとともに、画像データから身体の関節点の位置を自動抽出します。次に、音声と発話テキストから身体の関節点の位置を生成可能なGAN(Generative Adversarial Networks)と呼ばれる深層学習による生成モデルを学習します。学習時に、人物の細かな癖までもとらえて幅広いモーションを生成できるモデルを構築するために、学習時に学習データを適切にリサンプリングする機構に工夫が



図3 モーション生成技術による生成されるモーションの例

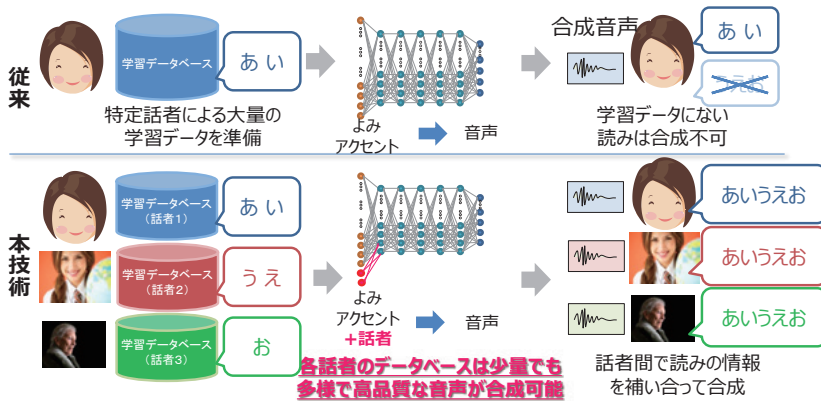


図4 多様な話者性を再現可能なDNN音声合成技術

あり、その人らしさや自然さといった主観評価等にて世界最高性能を保持しています(2022年11月時点)⁽⁵⁾。この技術をベースに、日本語音声を入力とした身体モーションの生成モデルを実現しています。図3は、本人の入力映像、身体モーションの生成結果、入力映像の実際の正解の身体モーションの一例を示しています。さらに現在、特定の個人の大量の映像データ(学習データ)を使用せずとも、少量のデータだけでモデルを学習可能なFew-shot learningの機構を利用した、新しい学習手法を構築しています。この手法を用いることで、中村獅童氏の口上時の10分程度の少量の映像データのみから、本人の繊細な癖までも再現可能なモーション生成モデルを構築し、

その生成結果を基に獅童ツインのモーションを制御することを実現しました。

低コストで多様な話者・口調を再現するDNN音声合成エンジン「Saxe」

本人の個性を再現するうえで、「声」は非常に重要な要素の1つとなります。音声合成技術では、再現をしたい所望の話者の音声を高精度に再現することが望まれます。しかし、所望の話者で高品質な音声合成を実現するためには、その話者が発声した大量の音声データ(例えば、波形接続型音声合成方式Cralinet⁽⁶⁾では、高品質な合成音声を生成するためには数時間~20時間程度)が必要となります。そのため所望の話者の音声合成を実現するために

は、音声収録やデータベース構築等のコストが大きな課題となっていました。この課題に対して、私たちは深層学習(Deep Neural Networks : DNN)に基づく音声合成エンジン「Saxe」を開発しています⁽⁷⁾。この音声合成エンジンでは、大量の話者が発話から構築した音声データベースと深層学習とを活用することで、所望の話者の少量の音声データからその話者での高品質な音声合成を実現しています。この方式の特徴は、大量の話者の音声データを1つのDNNでモデル化することで(図4)、読みやアクセントといった音声を生成するために必要な情報は、あらかじめ用意してある大量の話者の音声データから学習し、所望の話者の声質の特徴は、所望の話者の少量の音声データから学習します。これにより、所望の話者の音声データは少量でも高品質な音声合成を実現しています。また、本人の「声」だけでなく「演技」を再現するうえで、声色だけではなく、抑揚や発話リズム等の話し方の特徴も再現することが重要となります。しかし、演技等の非常に特殊な抑揚は発話リズムを少量の音声データから再現することは非常に難しい課題となります。これに対して、私たちは所望の話者の少量の音声データから、抑揚や発話リズムの特徴を抽出する技術を開発しています。この技術では、少量の音声を入力すると、DNNによりその音声の持つ抑揚や発話リズムの特徴を低次元のベクトルで出力します⁽⁸⁾。音声合成時には、得られた低次元のベクトルと、前述した音声合成DNNとを組み合わせることで、所望



中村獅童ツイン



澤村國矢 獅童ツイン 中村蝶紫

超歌舞伎 2022 Powered by NTT「超歌舞伎のみかた」より © 松竹

図5 「獅童ツイン」の上演の様子

の話者の声色で、任意の抑揚や発話リズムでの合成音声の生成を実現しています。

まとめ

このような技術で実現した獅童ツインは、「超歌舞伎 2022 Powered by NTT」の演目の1つとして超歌舞伎の魅力を解説する「超歌舞伎のみかた」の中で上演され、好評を博しました(図5)。今回の取り組みをとおして、Another Me技術により商用公演に耐え得るクオリティの本人性の再現が可能であることが示されました。今後、獅童ツインの本人性やさらには自律性を成長させていくとともに、さまざまなシーンでAnother Meの社会的価値の実証に取り組んでいきます。

参考文献

- (1) 中野・大山・二瓶・東中・石井：“性格特性を表現するエージェントジェスチャの生成,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 23, No. 2, pp. 153-164, 2021.
- (2) C. Takayama, M. Goto, S. Eitoku, R. Ishii, H. Noto, S. Ozawa, and T. Nakamura: “How

People Distinguish Individuals from their Movements: Toward the Realization of Personalized Agents,” HAI 2021, pp. 66-74, Nov. 2021.

- (3) R. Ishii, R. Higashinaka, K. Mitsuda, T. Katayama, M. Mizukami, J. Tomita, H. Kawabata, E. Yamaguchi, N. Adachi, and Y. Aono: “Methods of Efficiently Constructing Text-dialogue-agent System using Existing Anime Character,” Journal of Information Processing, Vol.29, pp.30-44, Jan. 2021.
- (4) R. Ishii, C. Ahuja, Y. Nakano, and L. P. Morency: “Impact of Personality on Nonverbal Behavior Generation,” Proc. of IVA 2020, No. 29, pp.1-8, 2020.
- (5) C. Ahuja, D. W. Lee, R. Ishii, and L. P. Morency: “No Gestures Left Behind: Learning Relationships between Spoken Language and Freeform Gestures,” EMNLP: Findings, pp. 1884-1895, 2020.
- (6) 間野・水野・中嶋・宮崎・吉田：“顧客へのリアルな音声応答を実現するテキスト音声合成技術「Cralinet」,” NTT 技術ジャーナル, Vol. 18, No. 11, pp. 19-22, 2006.
- (7) 井島・小林・藪下・中村：“多様なユースケースに適用可能な音声合成エンジン「Saxe」,” NTT 技術ジャーナル, Vol. 32, No. 10, pp. 57-62, 2020.
- (8) K. Fujita, A. Ando, and Y. Ijima: “Phoneme Duration Modeling Using Speech Rhythm-Based Speaker Embeddings for Multi-Speaker Speech Synthesis,” Proc. INTERSPEECH 2021, pp. 3141-3145, Sept. 2021.



(上段左から) 深山 篤/ 石井 亮/
森川 輝/ 能登 肇

(下段左から) 永徳 真一郎/ 井島 勇祐/
金川 裕紀

Another Meはまだ生まれたての技術ですが、今後も業界を問わず積極的な連携とともに研究開発を推進し、社会に広く役に立つ技術となるよう取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
NTTデジタルツインコンピューティング研究センタ
E-mail dtc-office@ntt.com

交通整流化に向けたデジタルツインの活用

渋滞が発生しないような最適化された交通流を実現するため、デジタルツインの活用を検討しています。デジタルツイン上における現実世界の交通流の再現や将来の交通流の予測には、細かい時間粒度/空間粒度の交通需要データが必要となります。近年活発化しているスマートシティ化により、5分という短い時間間隔で断面交通量データを取得できるようになりましたが、計測地点数が少なく空間粒度が粗いことが課題となっています。本稿では、断片的な断面交通量データを補完推定し、リアルな交通需要データを生成する技術を紹介します。

ふじしま 藤島	みほ 美保	たかぎ 高木	まさる 雅
よこや 横谷	まさと 暢斗	なかだ 中田	りょうた 亮太

NTT人間情報研究所

スマートシティとデジタルツイン

急速な高齢化や多発する自然災害といった都市課題への対策として近年活発化しているスマートシティへの取り組みがありますが、その実現に向けてデジタルツインの活用が注目されています。高精細な地理空間情報やセンサ情報に基づいて現実世界をデジタル空間上に再現し、現実世界では簡単に実施できない社会実験やシミュレーションを行うことができるのがその理由です。例えば、悪天候で河川が氾濫し道路の一部が寸断されて交通状態が変わる様子のシミュレーションや、建物の配置や形状を変更したときのビル風などの気象影響の評価が可能になります。私たちはこのデジタルツインで人々が活動する社会をデジタルで高精度に表現し、人々の行動を繰り返し変化させながら未来を探索する仕組み、未来社会探索エンジンの研究開発を行っています。

交通流再現の難しさ

そのような人々が活動する社会のデジタルツイン上で行うシミュレーションの1つとして欠かせない要素が「交通」です。交通流シミュレーションは、現実世界をセンシングした情報に基づいて、デジタルツイン上で現実の街の道路交通を模擬することができ、渋滞緩和策の立案や事前評価、オンデマンドバスの運行経路の最適化など、道路交通全般の課題への対応策を評価することができます。都市全体など広域道路網上の車の流れを再現するには、地図データ、交通需要データ、車両モデルの3つの要素が欠かせません。しかし、いずれも現実社会に網羅的なデータセットとして存在するものは少なく、真値の入手は困難であるのが現状です。特に交通需要データには、【調査頻度、対象路線、対象車両】の3つの観点がありますが、これらすべてを満足するデータセットが存在しないため、細かい時間粒度/空間粒度で車両1台1台の動きを再現することが求められ

るデジタルツインでは扱いづらいものとなっています。そこで私たちは、断面交通量^{*1}データに基づく交通需要推定技術とトラフィックカウンタ非設置区間の交通量推定技術を考案しました。5分間断面交通量は【調査頻度○、対象路線△、対象車両□】という性質のデータなので、提案技術は「対象路線」の観点を補うものに当たります。

断面交通量データに基づく交通需要推定技術

従来、交通需要の予測においては、人や車がどこからどこへ、どのような経路で移動するのかを、パーソントリップ調査やアンケート調査の結果などを用いて四段階推定法^{*2}で予測することが一般的でした。パーソントリップ

*1 断面交通量：交差点における各道路の交通量（車両台数）を断面別に示したもの。

*2 四段階推定法：将来の交通需要を推定する手法で、①生成交通量の推定、②発生・集中交通量の推定、③分布交通量の推定、④分担交通量の推定、⑤配分交通量の推定の5つの推定段階から構成されます。交通需要予測の際に標準的に使用されます。

調査は、出発地と目的地の組合せごとに単位時間当りの移動人数（台数）を集計したもので、国や自治体が5～10年ごとに調査を実施しています。ただ、空間粒度が細かい反面、調査は5～10年に1度しかなく、平均的なある1日の情報に過ぎないため曜日変動や季節変動はとらえられません。そこで私たちは、都道府県警察が全国の主要幹線道路に設置したトラフィックカウンタによる5分粒度の断面交通量データに着目しました。設置地点数が少なく空間粒度は粗いですが、隣接する計測地点間の情報から空間情報を補完して車の動きをある程度推測することが可能になります。

この方式ではまず、再現対象エリア内の幹線道路網の構造と断面交通量の

計測地点の配置を抽出します（図1①）。この計測地点を境界として「エリアA」「エリアB」のように車両の発着エリアを設定し、幹線道路の断面交通量を隣接エリア間の交通需要と読み替えます（図1②）。続いて、特定の幹線道路に沿って走る経路を優先しながら、隣接エリア間のごく短い交通需要を連結して長く走る交通需要を生成します（図1③）。そして、交通需要の両端（出発地、目的地）を発着エリア内で分散するようにエリア内の道路に需要を配分します（図1④）。これにより、各計測地点の断面交通量と整合し、かつ、幹線道路での右左折を含むリアルな走行経路を生成できます。大型商業施設の位置や規模、昼夜別の人口分布などに従い、発着地点の

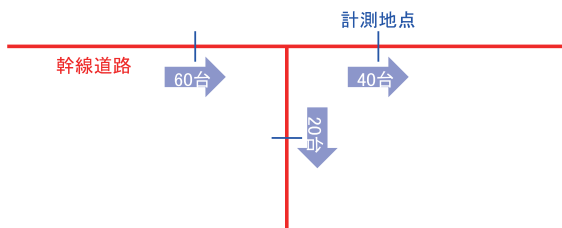
配分条件を変更することで、空間情報の補完精度をさらに高めることができます。この技術により、5分粒度/数km粒度という細かい時間粒度/空間粒度で交通需要を推測することが可能となりました。

発着エリア設定の工夫点

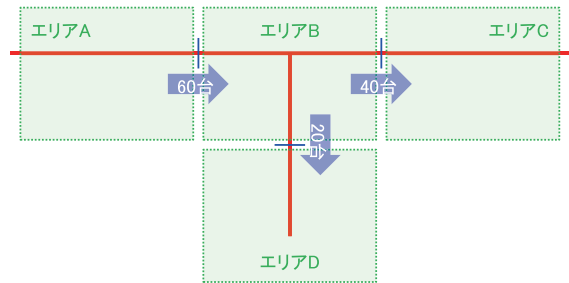
図1②の発着エリアの設定について詳細を説明します。

発着エリアは、断面交通量の計測地点で区切られた幹線道路の各区間に対応するように定義していきます。幹線道路周辺の路地からの発着も考慮したため、各幹線道路区間に付随する路地の選定を行います。一見、幾何学的にエリアを分けるのが良さそうに思えますが、地形の起伏や河川・道路によ

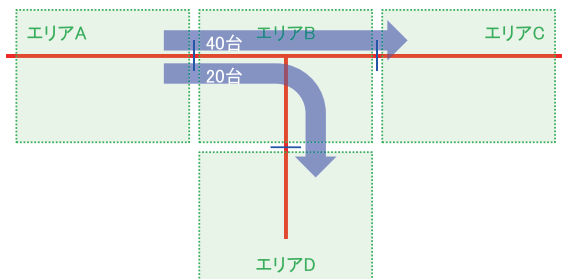
① 再現対象エリア内の幹線道路網と断面交通量の計測地点を抽出



② 計測地点を境界として**発着エリアを設定し**、【幹線道路の断面交通量】を【隣接エリア間の交通需要】と認識



③ 隣接エリア間の**交通需要を連結**して幹線道路を長く走る交通需要を生成



④ 交通需要の両端（出発地、目的地）を**発着エリア内で分散**するよう設定、出発時刻も時間枠内で分散させる

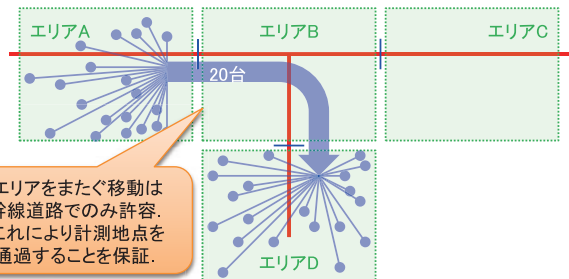
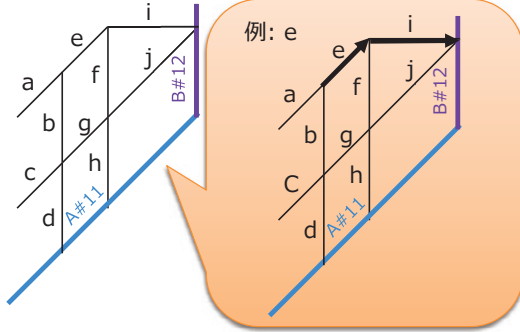


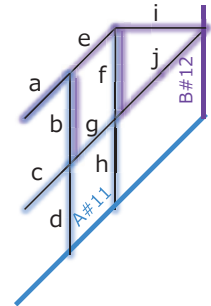
図1 断面交通量データに基づく交通需要推定技術のアプローチ方法

①各路地に対して、その路地からの旅行時間が最短となる最寄りの幹線道路区間を特定

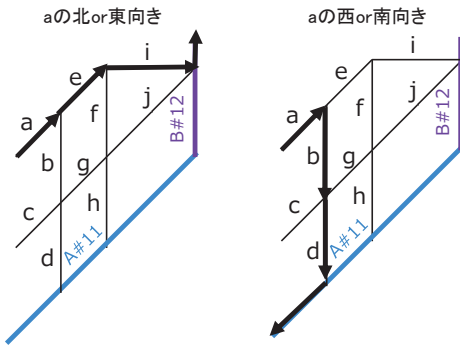


②同じ幹線道路区間を特定した路地をリストアップ

A#11	B#12
a	a
b	e
c	f
⋮	⋮



③目的地の方面によっては最寄りの幹線道路区間が異なるケース



④どの目的地を指定しても常に同じ幹線道路が最寄りと判定される路地のみをリストアップする

A#11	B#12
c	e
d	i
g	j
⋮	⋮

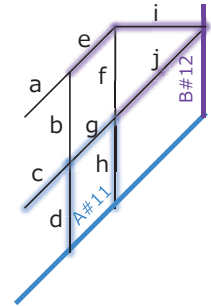


図2 発着エリア設定の手順

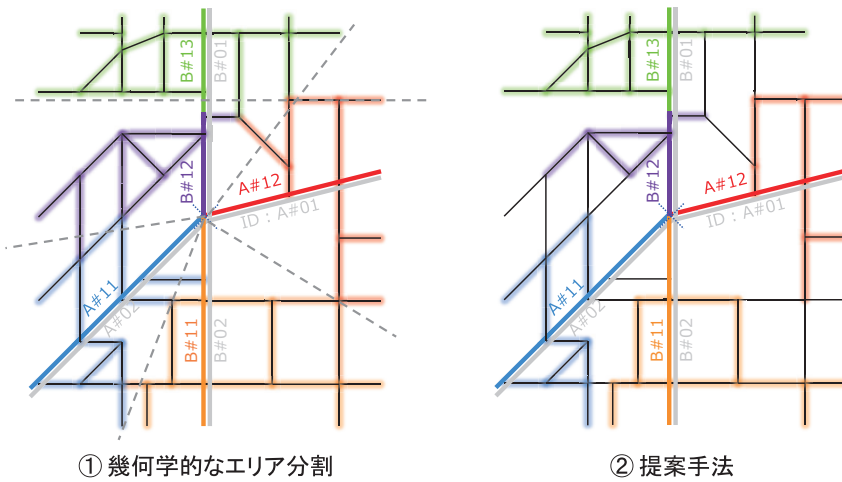
る分断、一方通行や制限速度も考慮すると、車両の走行ルートとしては周辺とはいえない不自然なエリア分けになるケースも出てきます。直感的には、その幹線道路区間が最寄りの幹線道路といえる路地を選定したいため、道路網の情報を踏まえた旅行時間の観点でエリア分割する方式を採用しました。この方法では、各路地に対し、交通流シミュレータの経路探索機能を用いて、その路地からの旅行時間が最短となる最寄りの幹線道路区間を特定します(図2①)。最終的に、同じ幹線道路区間を特定した路地をリストアップしてその区間に紐付けることで、発着エリアを設定します(図2②)。それでも、目的地の方面によっては最寄りの幹線道路区間が異なるケースがある

という課題が残ります(図2③)。これではエリアをまたぐ移動が路地裏で発生し、幹線道路の交通量が乖離してしまうため、どの目的地を指定しても常に同じ幹線道路が最寄りと判定される路地のみをリストアップすることで解決を図りました(図2④)。これにより、経路を指定しなくても単純に発着地を指定するだけで、所定の計測地点を通過することが保証されます。図3②の提案手法で色がついていない道路は、複数の幹線道路に近接しているために目的地の方角によって通る幹線道路が異なることから、リストアップの際に除外された路地です。また、本提案手法の計算コストは路地n本に対してO(n)であり、経路を総当り計算した場合のO(n²)と比べるとはるか

に低コストで計算できます。このように発着エリアを設定することにより、幹線道路の交通量をエリア間の交通需要に変換しても実績値と乖離が生じることを防ぎます。

トラフィックカウンタ非設置区間の交通量推定技術

前述の技術は、リアルな交通需要を生成することができますが、トラフィックカウンタ設置区間にしか適用できないという欠点があります。そこで、トラフィックカウンタ非設置区間にも適用範囲を拡張することをめざし、均衡配分という考え方を導入します。均衡配分とは、ある2地点間を結ぶ経路において、どの経路をどのくらいの車両台数が通るのか、交通量の配分を考え



太線：幹線道路区間(断面交通量計測地点ごとに色分け)

図3 発着エリア分けの例

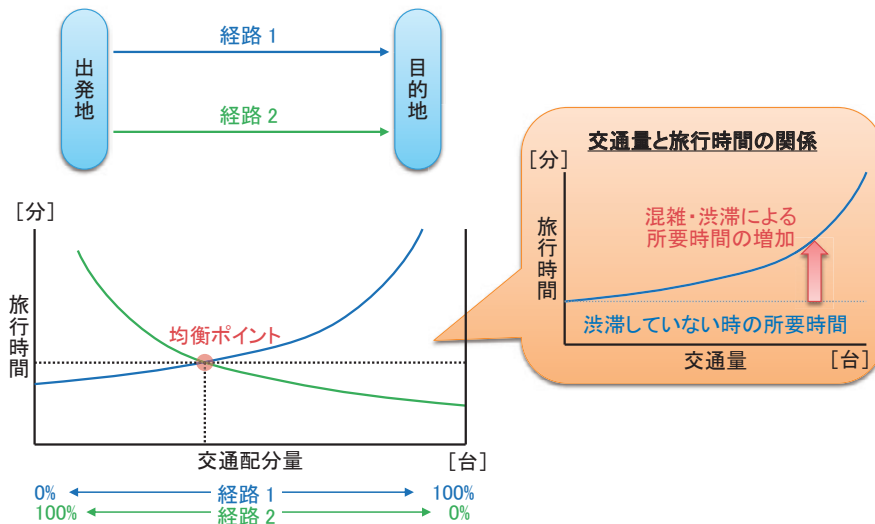


図4 均衡配分とは

際に所要時間に着目する考え方です。

均衡配分の考え方を詳しく説明します。出発地と目的地を結ぶ経路が複数あるとき、ドライバーはその2地点間を移動するのに要する時間(旅行時間)が最小となる経路を選択しようとし、ここで、ドライバーは常に利用可能な経路についての完全な情報を得ているという前提をおきます。旅行時間は交通量に依存しているため、

各ドライバーの経路選択の結果に応じて旅行時間は変化します。例えば、ある経路1に選択が集中すると経路1の交通量は増加し、混雑・渋滞が発生して所要時間は増えていきますが、経路2は選択される機会が経路1より少なくなるために交通量が減り、経路2の所要時間は短くなります。このように交通量と旅行時間の関係は定式化されており、需給バランスによる均衡が生

じます。結果として、ドライバーに情報が十分に行き渡ると、利用される経路の旅行時間は皆等しく、利用されない経路の旅行時間よりも小さいか、せいぜい等しい状態に収束します(図4)。今回はこの収束した状態を応用します。

具体的なアプローチを図5に示します。ここでは、幹線道路と幹線道路を結ぶ抜け道を例にとって処理の流れを説明します。前提として、幹線道路にはトラフィックカウンタが設置されており、抜け道には設置されていないものとします。提案手法に沿って抜け道の交通量を推定してみます。

まず、抜け道ルート(図5の緑線)と並走する幹線道路ルートを探します(青線)。次に、幹線道路ルートと抜け道ルートの旅行時間をそれぞれ推定します。幹線道路ルートについてはトラフィックカウンタで計測した交通量データがありますので、これに基づいて交通流シミュレーションを行い、旅行時間を調べます。一方、抜け道ルートについては交通量データがありませんので、さまざまな交通量を仮定して交通流シミュレーションを行い、旅行時間を調べます。同じルートでも、旅行時間は交通量に依存するため、仮定した交通量によって異なる旅行時間が算出されたはずですが、ここで、均衡配分の考え方に立ち返ると、両ルートの所要時間は同程度であることが自然です。そこで、幹線道路ルートと同程度の旅行時間が算出された交通量を採用すればよいのです。この方法により、交通量推定技術のトラフィックカウンタ非設置区間への拡張が見込めます。

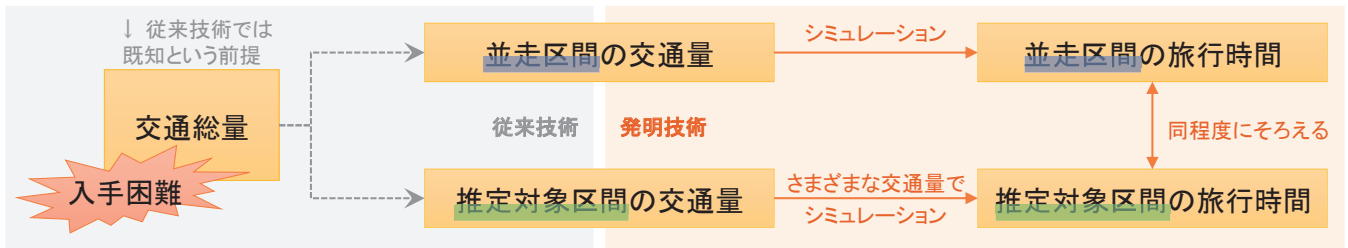
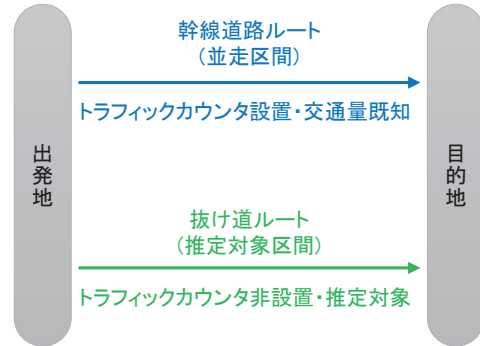


図5 トラフィックカウンタ非設置区間の交通量推定技術のアプローチ方法

今後の展望

本稿では、断面交通量データを用いて過去の交通状況を再現するために必要となる、リアルな交通需要を生成する技術について紹介しました。今後は、交通状況の再現精度向上、および現況を起点とした未来の交通状態の予測に向けて、普及期に入りつつあるコネクティッドカーの車両プローブデータを活用することを検討していきます。車両プローブデータは、断面交通量データよりリアルタイムに入手・処理しやすいことに加え、経路や旅行時間など車両挙動の詳細な把握が可能であるため、デジタルツイン構築のリアルタイム再現に欠かせない情報源となることが期待されます。コネクティッドカーはまだ社会に浸透し始めたばかりでデータ数が少なく、交通状態の全体像をつかむのは難しい段階であるた

め、コネクティッドカーの挙動から非コネクティッドカーの挙動を推定する手法についても検討を進めていきます。

NTTでは、これらの推定、予測、再現の技術を統合した交通流デジタルツイン生成技術の開発に取り組んでいます。



(左から) 藤島 美保/ 高木 雅/
横谷 暢斗/ 中田 亮太

街をセンシングしたデータは今後さらに対象が増え、解像度も時間・空間とも上がっていくことが想定されます。そのデータをデジタルツイン構築にいかにかかすか、また、そのデジタルツインで地域社会や個人が望む社会の実現をどう手助けするか、問いと仮説を繰り返し、交通の観点から未来社会探索エンジンの研究開発に挑戦していきます。

◆問い合わせ先

NTT 人間情報研究所
NTT デジタルツインコンピューティング研究センター
E-mail dtc-office@ntt.com

包摂的サステナビリティの実現に向けた 連成技術の研究開発

包摂的サステナビリティの実現に向けては、環境と経済、社会の間の相互作用を理解したうえで政策立案、評価をしていく必要があります。NTT人間情報研究所はこれに対し、計算機上に環境、経済、社会を再現し、それを用いて政策評価を行っていくというアプローチを取っています。本稿ではその実現に向けて、複数のシミュレーションモデルを協調させるための連成技術の概要と政策評価のプロトタイピング、および将来の展望について紹介します。

ふくだ 哲也
福田 哲也

まるよし まさひろ
丸吉 政博

NTT人間情報研究所

包摂的サステナビリティの実現に向けて

NTT人間情報研究所 NTTデジタルツインコンピューティング研究センターは、地球の環境が備える自律性とその一部としての経済・社会システムの自律性とが包摂的に調和することで可能となる持続性を「包摂的サステナビリティ」と定義しています⁽¹⁾。包摂的サステナビリティの実現に向けて、環境と経済、社会の間の複雑な相互作用を理解したうえで政策の影響評価をしていくことをめざしています。しかし、現実世界の観察だけですべての相互作用を理解するのは困難なことに加え、現実世界において影響を評価するのは、実施コスト、影響発生の時間遅れ、不可逆性などから困難です。そこで、私たちは計算機上に環境、経済、社会を再現し、政策評価ができる仕組みの構築に取り組んでいます。

連成シミュレーション技術の構築

私たちの環境、経済、社会を計算機

上に再現するというアプローチはデジタルツインコンピューティング (DTC) 構想に沿っています。すなわち、各々の事象のデジタルツインをシミュレーションに利用可能なかたちであるシミュレータとして制作し、それらを組み合わせることで現実の再現を試みています。例えば、後に例示する自然環境下での水循環と人間の農業生産活動の組合せなどです。

これを実施するためにはシミュレータどうしを適切に結合させていく技術が必要です。こうした結合技術は連成 (Co-simulation) と呼ばれています。私たちは連成技術にかかわる要求を、DTCホワイトペーパー⁽²⁾、連成に関するサーベイ論文⁽³⁾と既存の仕様 (FMI やHLA, DCP)、および私たち自身で想定ユースケースを設定したプロトタイピングをとおして抽出しています。私たちは以下の3つの観点から要求を抽出することで、最小限のソフトウェア改修でさまざまなユースケースに適用可能な連成技術の提供をめざしています。

- ① 基本的な連成機能を提供できていること
 - ② 計算精度や速度についての解析機能を有していること
 - ③ モデルやデータの再利用が可能であること
- 抽出した要件を図1にまとめました。この要件について詳述します。

①の実現には、まず複数のシミュレータが独立に持っている内部時刻を統一的に管理する仕組み (論理時刻) が必要です。また、複数のシミュレータの変数間の因果関係に従ってデータ交換させる必要があります。そして、このデータ交換が適切な時刻に行われるように、論理時刻に従いながら各シミュレータの進行を管理、制御する必要があります。このとき、各シミュレータで意図的にランダムな擾乱を起こしている場合を除き、計算結果は再現するようにする必要があります。これらは、各シミュレータがネットワーク的に分散したばらばらの環境下で動作している場合でも実行可能である必要があります。最後に、さらなる適用領域

の拡大ため、実システムをシミュレータとみなして連成可能できると望ましいです。

②の計算精度や正確度に関しては、データ交換に起因する誤差の混入や拡大を検知して適宜修正可能にしておく必要があります。連成の速度に関しては連成対象のシミュレータに大きく左右されますが、利用シーンを踏まえたボトルネック解析や、サロゲートを含む高速化機能を、利用しやすいかたちで具備しておくべきです。

③の実現もプラットフォーム上でのユーザの良い経験に直結します。モデルおよびモデル間の接続モデルをセットで再利用可能とすることで、別の連成実験でも容易に利用可能となり、その部分の連成を構築する時間が短縮できます。さらにそれをリファレンスとしてカスタマイズの手掛かりとするこ

とができるようになります。データについても利用可能なモデルとの対応付けを行うことで、初学者を含め利用しやすいかたちで提供できるようになります。モデルやデータの再利用性については、各々レポジトリ、データストアの形態で提供し、ユーザによる実用例の蓄積によって拡張していくことを理想としています。

これらの要求を簡易アーキテクチャ的にまとめたものが図1です。①、②、③の各々が上述のとおり細分化され、合計13個の要求としてマッピングされています。

現在は主に①の基本的な連成機能を提供するソフトウェアを構築し、実験に用いています。実装方法は一通りではありませんが、例えば、次に述べるような方法で実現することができます。図1に示したようにMaster-

Worker型のアーキテクチャを仮定します。シミュレータとWorkerの間のデータのやり取りは、シミュレータ側で利用可能な形式、例えばファイルやAPI (Application Programming Interface) アクセスなどを用いて実施します。Master機能部は各Workerが管理しているシミュレータの時刻を論理時刻上にマッピングすることで統一的に管理しており、適切な時刻に適切なシミュレータを実行するようにWorkerに実行指示を出します。実行指示を受け取ったWorkerはデータ交換用の領域(キューなど)から自分宛のデータを受信し、適宜変換したうえで、適切な時刻のシミュレータの状態変数を書き換えながら、指示された期間分シミュレーションを実行します。必要に応じてシミュレーションの実行タイムステップは再分割され

プラットフォーム全体

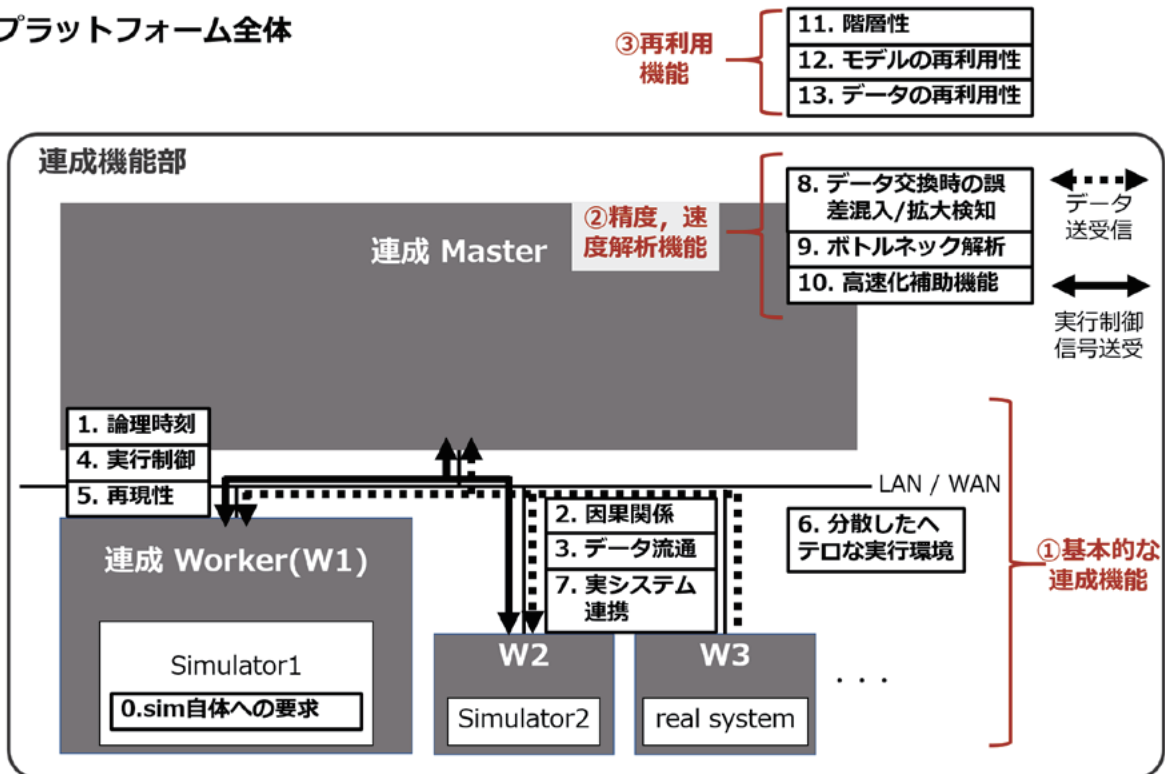


図1 連成プラットフォーム技術の要求概要

たうで代入や実行処理が行われます。シミュレーションの実行後、Workerはシミュレータから、他のシミュレータの渡す結果を受け取り、加工し、データ交換用の領域に送信します。こうした処理を連成シミュレーション全体の終了時刻に至るまで繰り返します。

環境・経済・社会の連成と政策評価のプロトタイピング

私たちは現在、気候変動下における水循環と食糧生産の間の関係性をリアリスティックに評価するPoC (Proof of Concept) の構築に取り組んでいます。水循環については、陸のどこにどれくらいの水が存在するのかを計算するためにIntegrated Land Simulator (ILS)⁽⁴⁾を用いています。食糧生産を計算するためには、経済・社会的な水利用を詳細に表現している統合評価モデルの一種であるGlobal Change Analysis Model (GCAM)⁽⁵⁾を用いています。このように詳細な環境シミュレータと社会経済シミュレータをオンライン連成させるのは新しい試みです。

ILSでは緯度/経度座標で0.5°単位の情報を1時間タイムステップで計算しており、計算結果は1日単位のもので集約されて出力されます。一方でGCAMは水資源利用の地域は(一部の例外を除いて)大規模な河川流域ごとのポリゴン情報として定義されており(例えば日本は1つの流域、1つのポリゴンで表現)、タイムステップも1年が最小単位です。まずはこれらの時空間的な解像度のギャップを埋めなければなりません。そこで私たちはILSから出力される日単位の平均流出量(≒利用可能水量)を流域単位で空

間積分し、それをさらに1年間分時間積分しました。こうすることで、グリッド単位で出力されていた短期間の情報を、ポリゴン単位で定義されている長期間の情報に対して代入することが可能になりました。

これらの手順を経て、ILS側で詳細に計算された地表水の量をGCAMの利用可能水量に代入することで、リアリスティックな水量下における社会経済モデルの挙動を観察できるようになりました。結果の一例として、2020～2040年の日本における米の年間生産量を図2に示します。連成をしていない場合(青)とした場合(橙)で異なる結果が得られており、連成におけるデータ交換が実施されたことが観察できます。生産量の値は当然一致しないものの、近い値の範囲に収まっており、シミュレータの計算処理も適切に行われているといえます。ただし、さらに計算対象期間を伸ばしていくことで、一部計算結果に課題があることがみえてきています。それは経済社会シミュレータが伝統的に特定の環境シミュレータの計算結果を所与のものとして、それを前提条件に計算していることに起因しています。解決方法の確立

は本稿のスコープ外としますが、連成させたことで初めて明らかになった問題であり、現在解決方法を検討しています。

続いて、私たちの連成システム上で政策評価のプロトタイピングを行った結果を示します。ここでは環境政策として水の消費価格を変動させた際の全球的な「水ストレス」の変化を観察しました。水ストレスとは水の利用が環境に与える負荷を評価するための指標です。本実験では利用可能水量に対する水の需要量(消費量)によって評価しています。

水の消費価格を低く設定した場合と高く設定した場合で水ストレスを比較したのが図3です。今回は簡単な比較のため、全世界で共通の価格を設定しています。部分的な例外を除くと、水の価格が高い図3(b)の水ストレスのほうが、水の価格が低い図3(a)に比べて全体的に低くなる傾向が観察されました。

この結果から、単純に水ストレスという指標だけを取り上げた場合には、水消費価格の設定が環境負荷を低減する有効な政策だと分かりました。一方で水消費価格の上昇が、農作物やエネ

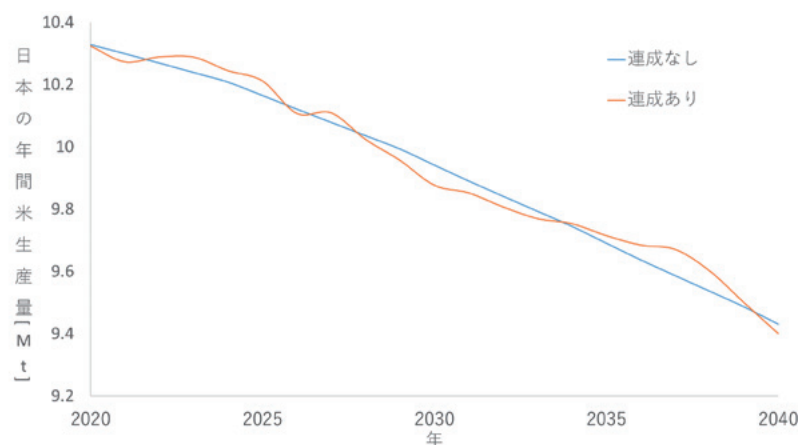
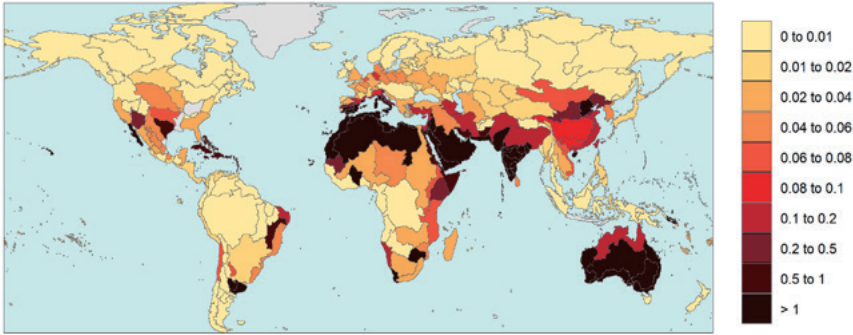


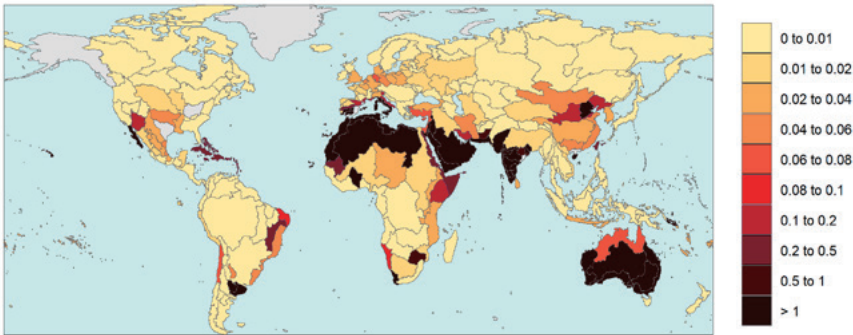
図2 連成有無による結果の比較 (2020～2040年における日本の米の年間生産量)

2030



(a) 水消費価格が小さい場合の水ストレス

2030



(b) 水消費価格が大きい場合の水ストレス

図3 政策評価のプロトタイプ（水消費価格設定による水ストレスの変化）

ルギーなどの生産量や価格に与える影響はこの図からは読み取ることができないため、別途評価が必要になります。今後、将来課題として、水ストレス以外の指標をWell-being等の側面も考慮に入れながら選択し、それをを用いた政策の妥当性評価を実施していきます。

まとめと今後の展望

本稿で紹介した環境、経済、社会連成PoCでは、環境が社会経済に影響を与える片方向連成を実現しました。現在社会経済から環境側への連成も試みており、近日中に双方向連成も実現予定です。紹介した環境、経済、社会連成はグローバルかつマクロなスコープが対象でしたが、私たちの連成技術

でローカルかつミクロな環境社会連成を実施した実績も存在します。洪水発生時の避難誘導を計算したもので、河川、氾濫原、避難民エージェントの3つのシミュレータを連成させることで実現しました。

連成技術の速度面の要求で述べたサロゲートによる高速化は気候分野でも注目されており、業界の需要ともマッチすることから現在注力しています。ユーザフレンドリーな連成のために満たすべき要求はほかにもあります。引き続き実利用シーンと照らし合わせながらデザインし将来的に連成プラットフォームとして公開をめざしています。また、経済社会シミュレータ側で明らかになった課題に対処するため、今後は私たちの目的に沿って理想的な

要件を再検討し、適切にソフトウェアとしてデザインしていきます。こちらでも将来的には公開できるかたちでまとめていきたいと考えています。

参考文献

- (1) 丸吉・六藤・徳永：“環境と経済社会の循環を可視化する連成シミュレーション技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.1, pp.43-46, 2022.
- (2) https://www.rd.ntt/dtc/DTC_Whitepaper_jp_2_0_0.pdf
- (3) C. Gomes, C. Thule, D. Broman, P. G. Larsen, and H. Vangheluwe：“Co-simulation: a survey,” ACM CSUR, Vol.51, No.3, pp.1-33, May 2018.
- (4) T. Nitta, T. Arakawa, M. Hatono, A. Takeshima, and K. Yoshimura：“Development of integrated land simulator,” Progress in Earth and Planetary Science, Vol.7, No.1, pp.1-14, Nov. 2020.
- (5) M. Wise, K. Calvin, P. Kyle, P. Luckow, and J. A. E. Edmonds：“Economic and physical modeling of land use in GCAM 3.0 and an application to agricultural productivity, land, and terrestrial carbon,” Climate Change Economics, Vol.5, No.02, 1450003, 2014.



(左から) 福田 哲也/ 丸吉 政博

地球環境と人間社会の包摂的サステナビリティの実現に向けては、地球科学や経済学だけでなく、政治学や土木、計測工学といった幅広い領域の専門家の方との協力が必要となります。ぜひ社内外の皆様と議論しながら取り組みを進めていきたいと思っています。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
NTTデジタルツインコンピューティング研究センター
E-mail dtc-office@ntt.com

特集

データガバナンスを 支える基盤技術特集

サイバー・フィジカル空間を融合した世界には、
人に関する情報、モノに関する情報を含め多くの情報が流通している。
そのような世界を支えるには従来のセキュリティだけではなく、
それらを安心して利用するためにはデータガバナンスという新たな考え方が必要になる。
本特集ではNTT研究所のデータガバナンスの考え方から、
さまざまな視点でデータガバナンスを支える基盤技術について紹介する。

データガバナンス

トラステッド・データスペース

セキュア光トランスポート

セキュリティ・
トランスペアレンシー

IOWN

Data Governance

IOWN時代のデータ流通を実現するデータガバナンス ————— **36**

データの所有者が安全にデータを他者と共有できるようにデータをコントロールするデータガバナンスの考え方、およびIOWN時代のデータガバナンスに求められる要件について紹介する。

IOWN時代のデータガバナンスを実現するトラステッド・データスペース技術 ————— **41**

IOWNが普及しすべての情報がデジタルツインや AI（人工知能）によって活用される時代を支えるデータ流通基盤であるトラステッド・データスペースについて、その構成要素を紹介する。

量子コンピュータ時代を見据えたセキュア光トランスポートネットワーク技術 ————— **45**

量子コンピュータ時代にも考慮する必要がある、クリプトアジリティ、マルチファクタセキュリティといった考え方を解説し、これらの考え方をセキュア光トランスポートネットワークに取り入れるための取り組みについて紹介する。

セキュリティトランスペアレンシー確保技術による

ソフトウェア構成の分析・可視化 ————— **50**

サプライチェーンを介して、製品・サービス・事業環境がセキュリティ侵害を受ける「サプライチェーンセキュリティリスク」が顕在化している中、NTT研究所が取り組んでいるセキュリティの透明性を確保する技術について紹介する。

IOWNプロダクトデザインセンタがめざす、IOWN技術の早期実装・普及 ————— **53**

NTT研究所が取り組んでいるデータガバナンスを支える基盤技術を活用し、現在のIOWN技術をさらに拡張していく実証計画や、そこで生まれる新たな提供価値について紹介する。

主役登場 菊池 亮（NTT社会情報研究所） ————— **57**

データを安全に流通させられる仕組みをめざして

IOWN時代のデータ流通を実現するデータガバナンス

現在、世界ではデータに対する取り扱いを厳格化する動きがある一方、安全にデータを処理する技術やルールを整備しデータ流通を加速する動きも出てきています。本稿では、データ流通に影響を与える世界の動向を俯瞰したのち、データの所有者が安全にデータを他者と共有できるようデータをコントロールするデータガバナンスの考え方を説明し、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 時代のデータガバナンスに求められる要件を説明します。

すずき
鈴木

かつひこ
勝彦

よこぜき
横関

だいごろう
大子郎

NTT 社会情報研究所

背景

IoT (Internet of Things) デバイスの普及やDX (デジタルトランスフォーメーション) 活動の進展などにより、今まで取り扱うことのできなかつた情報もデジタル化され、そのデータ量も飛躍的に増加しています。究極的には物理空間を構成するモノや人、さらには社会全体がサイバー空間上でデジタルツインとして再現され、それらを相互に連携した分析を行い、物理空

間にフィードバックすることで、両空間が融合した今までにないスマートな世界が到来するといわれています(図1)。その実現には、個人や業種・業界を越えたデータの流通が必要であり、さらにそれらデータは機微な情報も含むため、安心・安全なデータ流通を支える仕組みも必要です。本稿では、近年のデータ流通に影響を与える世界の動向を示した後に、主にセキュリティの観点から、IOWN (Innovative Optical and Wireless Net-

work) 時代のデータ流通を支えるために必要なデータガバナンスの考え方を説明します。

データ流通の動向

データ流通に関し、データ流通を厳格化し制限する動きと、規約などの整備によりデータ流通を促進する動きがあります(図2)。

■個人情報保護などデータ管理の厳格化

世界各国で個人情報保護の動きが進

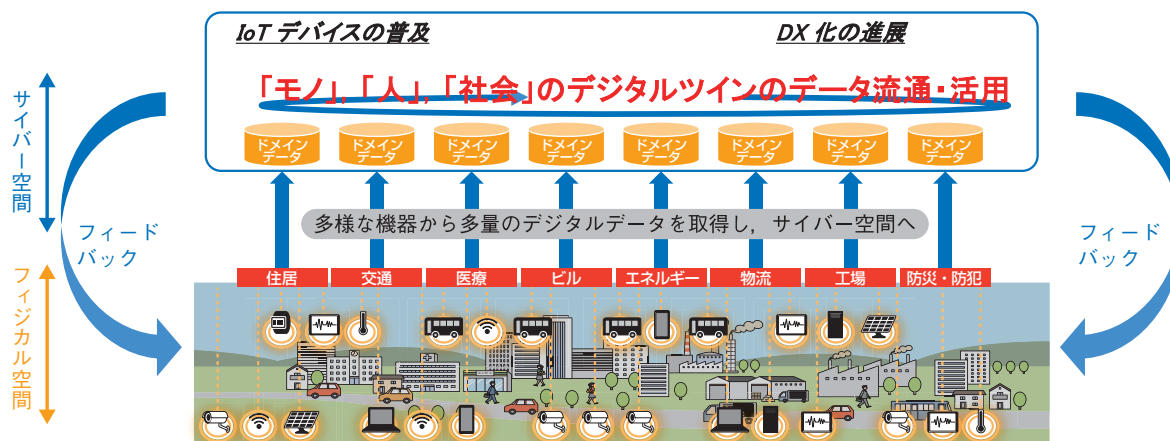
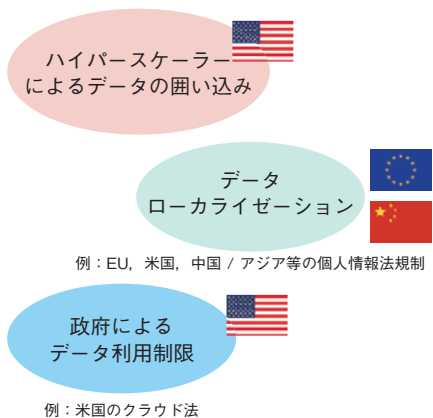


図1 IOWN時代のデータ流通

データ流通を厳格化（制限）する動き



データ流通を推進する取り組み

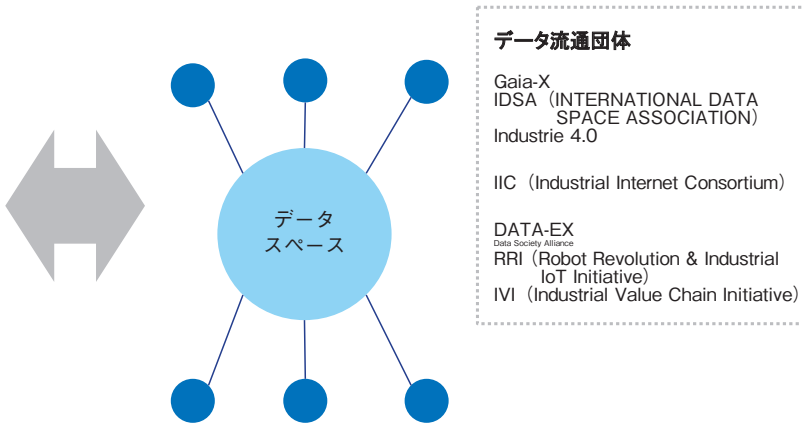


図2 データ流通における世界の潮流



図3 データスペースの登場

んでいます。欧州のGDPR（一般データ保護規則）は有名ですが、米国のCCPA（カリフォルニア州消費者プライバシー法）や、アジアでも中国の個人情報保護法や、韓国、タイ、インドでも個人情報保護法が施行され、個人に関する情報の流通に関してより厳格な管理が求められてきています。

また欧州では、ハイパーケーラーによるデータの囲い込みによる課題も顕在化しており、非個人データを含めさまざまなデータに対する権利保護の強化が求められています。その流れを

受け、より透明性・信頼性を重視した連邦型のデータ・エコシステムを築く取り組みがIDSA（The International Data Spaces Association）⁽¹⁾等の団体により進められています。

■多様なデータスペースの登場

データ流通を活性化する動きとして、欧州を中心にデータスペース構築の動きが始まっています（図3）。データスペースとは、安全性の高いデータ共有の実現を目的としたシステムや仕組みを持つコミュニティを指します。欧州では産業界を中心に1000社規模

の業界別データスペースの構築が始まっており、データ共有の機運が高まっています。企業は原則データを出したくない、出すにしても使用履歴の追跡ができるなどの要求があるため、IDSA等、データを安全に扱うための標準の登場を背景に、多くのデータスペースが生まれてきています。例えばドイツでは自動車産業の競争力強化を目的とし、自動車のサプライチェーン全体でデータを共有するCatena-X⁽²⁾や、オランダのハイテク機器メーカーが集まり少量多品種な複雑な部品データ

の共有をめざす SCSN⁽³⁾、また 業界横断でサプライチェーン上の企業間で温室効果ガス排出量データをブロックチェーン等オープンな基盤で共有することを目的とした Estainium 協会⁽⁴⁾などが有名です。現在、国別や業種別などにデータスペースが登場しており、今後この動きは加速していくものと考えられます。企業を中心としたデータスペースを紹介しましたが、個人が参加する SNS やメタバースなども今後安全なデータのやり取りが求められると考えており、広義のデータスペースと考えられます。

■データスペースの統合や接続

このように登場したデータスペースですが、その統合や接続の動きもみられます。一例として、欧州のバッテリー規制に対する動きとして、バッテリーパスポートと呼ばれる材料調達からリサイクルまでの蓄電池の来歴を管理し、温室効果ガスの排出の削減をめざす取り組みがあります⁽⁵⁾。国別に存在する複数のデータスペースを横断して来歴を追跡する場合、その統合や接続が必要になります。この取り組みは自動車業界から開始されていますが、バッテリーに関連する他の業種にも広がると、業種を横断したデータスペースの統合や接続が求められる機会がますます増えてくることが予想されます。

■レジリエントでグローバルなサプライチェーン

近年のパンデミック、自然災害や国際情勢などにより、サプライチェーンを非常に短期間、かつ頻繁に組み替える事例も多く発生しています。各業界においては材料の調達に遅れが生じ、

調達先の変更に踏み切った事例が散見されますし、半導体供給不足など広範囲な業界に影響を与えた事例も記憶に新しいと思います。

従来のグローバル化と対比した動向として、経済安全保障の観点から重要な部品に関しては国産化を進める、また特定の系列国のみでサプライチェーンを構成するなどの動きもみられます。

データ流通の観点からは、これらサプライチェーンの組み替えに対応し、新しい取引相手とダイナミック、かつスムーズにデータ流通ができることが求められます。

■情報処理技術の進展

最後に量子コンピュータ、5G（第5世代移动通信システム）や6G（第6世代移动通信システム）、IOWN など情報処理技術の進展が挙げられます。大容量、低遅延、低消費電力を実現するネットワークの登場により、遠隔医療や自動運転、ドローンの管制制御等の新たな需要も生まれてきており、従来はネットワーク上を流れることがなかった機微なデータを安全に扱う仕組みが求められます。また、データ転送コストが大幅に低減されることで、分散型のデータセンタやエッジ・クラウド連携など、新たなデータ処理形態の登場が予想されます。今後は効率性と安全性を両立するデータ処理が求められるでしょう。

データガバナンスとは

データガバナンスは、統一された定義はありませんが、データ主権とも呼ばれ、データ所有者が定めたデータ取り扱い方針（ポリシー）が、データの

生成されるときから消滅するまでのライフサイクルにわたって守られることを指します。ポリシーの例としては、データの複製を許可しない、データは常に暗号化していなければならないなどが挙げられます。前章のデータ流通に影響を与える世界の動向を踏まえ、IOWN 時代のデータガバナンスの実現に求められると想定される要件を説明します（図4）。

■散在し分散するデータ管理の実現

先のデータスペースの例で見たようにデータは今後ますます分散して管理されるようになることが予想されます。特定の1社のみではデータを集めることも限界がありますし、国による法制度の違いなどでデータを1カ所に集められないことが増えることも予想されます。また、IOWN APN（オールフォトニクス・ネットワーク）のように大容量・低遅延のネットワークが前提となると、データの移動コストが従来よりも飛躍的に低くなります。今後求められるデータ管理としては、データは原則としてデータ所有者が希望する場所で管理でき、他者とデータ共有を行う場合は必要に応じて仮想的に集める。それら仮想的に集めたデータに対し計算処理を行い、不要になった場合は、破棄する。データを1カ所に集めるデータレイクに対し、分散したデータをあたかも1カ所にあるように見せるこのような技術をデータ仮想化と呼びます。現在データ仮想化は単一データセンタ内など比較的狭い範囲で利用されていますが、今後国やデータスペースを横断し、ダイナミックにデータを

データは原則データ所有者が信頼できる機器を使うデータセンタ等望む場所に配置でき、他者に対しては必要な相手に必要なときだけ仮想的に共有、エンド・ツー・エンドで暗号化や匿名化を強制する等データの処理方式を規定できる

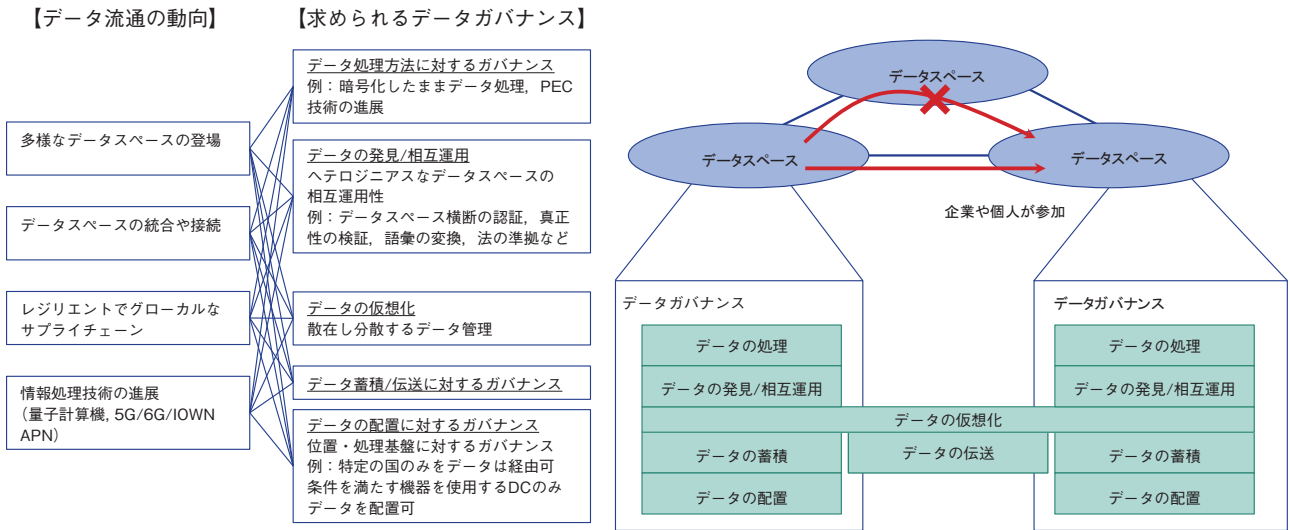


図4 めざすデータガバナンス

仮想統合できる技術が求められると考えます⁽⁶⁾。

■データベースの発見・相互運用性の実現

レジリエント、かつグローバルなサプライチェーンを構成するには、複数のデータベースの相互運用が必要になります。一般にデータベースは、さまざまな参加者やルールに基づいて運営されるため、新規の相手と動的にデータ流通を可能とするにはヘテロジニアスなデータベースを相互に接続し、運用する仕組みが求められます。取引相手やデータを発見する仕組みも必要ですし、相手を発見できたとして、個人や企業などデータベースの参加者は各々のデータベースの独立した認証基盤で管理されているため、異なるデータベースにおいては認証連携などの手段で、相互に、相手の真正性を確認できるようにする必要があります。

す。同様にあるデータベース内のデータの真正性の検証にブロックチェーンを利用しているものがありますが、それらのブロックチェーン間の相互運用性も求められるでしょう。さらにはコミュニティや地域ごとのルール、利用する語彙の変換など、よりセマンティックな相互運用性も最終的には必要になると考えられます。

■データの蓄積・伝送に対するガバナンス

データ保護の一番の基本は暗号技術による暗号化であり、データ盗聴などのリスクに備え、データの蓄積や伝送をする際には暗号技術が当たり前に使われています。しかし、量子コンピュータの登場により RSA 等の既存の暗号が危殆化するリスクが懸念されており、耐量子計算機時代の暗号技術が求められます。現在米国の NIST では PQC と呼ばれる暗号技術の標準

化が行われています。近い将来、これらを利用したデータ蓄積や伝送基盤が求められ、自既存暗号から耐量子計算機暗号へのシームレスな移行や、耐量子計算機暗号自体の危殆化への対応も必要となるでしょう⁽⁷⁾。

■データ処理方法に対するガバナンス

暗号技術はデータを蓄積や伝送する際に用いられますが、そのデータを用いて計算処理を行う際には一般に平文に戻し処理されます。近年では計算処理を行う際も暗号化したまま処理可能な技術も実用期に入ってきています。より一般にプライバシーを保護し、データを処理する技術の総称として PEC*が注目を集めており、Gartner

* PEC : Privacy Enhancing Computation 技術。暗号化したまま計算する、匿名化により本人を特定できないようにするなど、プライバシーを強化した計算技術の総称。

などからも言及されています。PECは準同型暗号や秘密分散に基づき暗号化したまま計算を秘密計算技術や、ハードウェアによるメモリ暗号化技術TEEを活用し暗号化したまま計算処理を行う Confidential Computing 技術、また匿名加工技術や差分プライバシーと呼ばれる個人を特定できないよう加工する技術をはじめ広範な技術群から構成されます。クラウド事業者に対してもデータを保護したいという要求が、PECが注目を集める背景といえるでしょう。これらの技術を活用することでエンド・ツー・エンドにデータを暗号化したまま処理することが可能となり、データ伝送の際に暗号を使うのと同様に、当たり前前に利用される技術となることが予想されます⁽⁸⁾。

■データの位置、処理基盤に対するガバナンス

経済安全性の観点から、データ所有者がデータの蓄積場所や処理してよい場所を選択できる機能や、データを伝送してよい範囲などのデータの配布範囲を制御できる機能が求められるようになって考えています。現在のインターネットは効率性や耐故障性などを重視して設計されており、それに応じた配信経路が選択されますが、今後は、データを蓄積・処理してよい国、地域やデータスペースなどを指定できること、またデータ伝送してよい範囲を指定し、ネットワーク故障発生時などの迂回経路を用いるときも、その範囲を保証される機能など経済効率性だけに基かず経済安全性を実現するデータ流通を支える機能が求められるでしょう⁽⁷⁾。

さらに、データを蓄積・処理を行うクラウドに対する条件や、クラウドが利用するデータセンタに対する条件として利用しているストレージ機器やネットワーク機器、コンピューティング機器の条件等も指定できることも求められると考えています。前者の例としては、真に機微なデータを取り扱う場合、国内の国産のクラウド基盤で処理のみを許可するなどが挙げられます。後者の例としては、特定の機器メーカーの製品上でのみデータを処理することや、SBOM（ソフトウェア部品表）等が有名ですが、脆弱性などの品質上問題ないソフトウェアが使われていることが検証できた場合に限りデータの処理を許可するなどが挙げられます⁽⁹⁾。

今後の展開

今回紹介したデータガバナンスは、データは原則データ所有者が望む場所に配置でき、他者に対しては必要な相手に必要なときだけ共有、エンド・ツー・エンドで暗号化や匿名化等、データの処理方式を指定できるものです。データガバナンスは、今後より安全で柔軟なデータのコントロールをめざしさらなる発展が予想され、さらなるデータ流通の発展が期待されます。

■参考文献

- (1) <https://internationaldataspaces.org/>
- (2) <https://catena-x.net/en/>
- (3) <https://smart-connected.nl/>
- (4) <https://www.estainium.eco/>
- (5) https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/chikudenchi_sustainability/pdf/003_03_00.pdf
- (6) 歌原・福久・緑・竹内・渡辺・池尻：“IOWNプロダクトデザインセンタがめざす、

IOWN技術の早期実装・普及,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No.2, pp.53-56, 2023.

- (7) 村上・谷口・工藤・知加良・清村・向山・飯島・持田・佐成・木村：“量子コンピュータ時代を見据えたセキュア光トランスポートネットワーク技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No.2, pp.45-49, 2023.
- (8) 井上・森田：“IOWN時代のデータガバナンスを実現するトラステッド・データスペース技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No.2, pp.41-44, 2023.
- (9) 上原・鐘本・野村：“セキュリティトランスペアレンシー確保技術によるソフトウェア構成の分析・可視化,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No.2, pp.50-52, 2023.



(左から) 鈴木 勝彦 / 横関 大子郎

データ流通は近年非常に活性化しており、DX化の進展に伴いさらなる発展が期待され、情報通信企業であるNTTグループにとっても注力すべきだと考えています。

◆問い合わせ先

NTT社会情報研究所
企画担当

E-mail solab@hco.ntt.co.jp

IOWN時代のデータガバナンスを実現する トラステッド・データスペース技術

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) が普及し、すべての情報がデジタルツインや AIによって活用される時代を支えるデータ流通基盤であるトラステッド・データスペースについて、その構成要素を説明します。また、暗号化した状態で計算処理を行うことでデータ処理に関するガバナンスを実現する技術群（サンドボックス技術、秘密計算技術、セキュアマッチング技術）を説明します。

いのうえ ともひろ
井上 知洋

もりた てつし
森田 哲之

NTT 社会情報研究所

背景

IoT (Internet of Things) や AI (人工知能) 技術の進展に伴い、実世界のシステムをサイバー空間上で再現しシステムの動作を分析、予測可能とするデジタルツインの構築が進んでいます。現在は、特定目的のためにつくられたデジタルツインの構築が先行していますが、近い将来にデジタルツインどうしが相互接続され、組織や業界の壁を越えたデータ共有やデータ分析が活発化すると考えられます。例えばスマートシティで期待される防災、防犯や魅力的な街づくりなどのさまざまなユースケースの実現には、公共のデータに加えて交通事業者や飲食店、娯楽施設等から得られるデータを相互に連携させて活用する必要があります。

私たちは、将来さまざまな個人や企業が生成した多種多様なデータが組織や業種の壁を越えて有効に活用される世界、誰もがデータを相互に持ち寄って分析し新たな目的を持つデータを連鎖的に生み出すことで、互いの持つ

データの価値を互いに見出し、社会全体で価値を最大化していく世界をめざして、「トラステッド・データスペース」の研究開発に取り組んでいます。

トラステッド・データスペース (図 1) は、データスペース^{*1}ごとに管理・共有されたさまざまなデータを相互に接続しデータスペースをまたいだデータ流通を実現する機能や、各々のデータ所有者によって管理されるデータを仮想的に統合する仮想セキュアデータレイク機能、データのカタログ化や信用評価等を通じてデータ所有者とデータ利用者とのマッチングを行いデータ流通による価値創造を支援する機能、データのアクセス権に加えて利用条件に関する合意を管理しその利用条件に基づいてデータ処理の方法を制限する機能等で構成されます。本稿では、最後のデータの処理方法を制限する技術について詳細を説明します。

データ処理方法に対する ガバナンス技術

トラステッド・データスペースで想

定する社会では、データは一極集中された事業者が管理するのではなく、各企業、組織や個人等が自らのデータをそれぞれの管理下に保っている状態を想定しています。このためには、データは所有者が望む場所（信頼できる機器やデータセンタ等）に配置でき、他者に対しては必要な範囲で必要なときだけ共有し、関係者の間で定められた条件下でのみ活用されることが理想です。トラステッド・データスペースの仮想セキュアデータレイク機能では、データ所有者の管理下に置かれたままのデータを仮想的に1つの巨大なデータレイクのように統合しデータを検索することが可能です。データ所有者は共有するデータの取り扱い方針（例えば利用期間、複製の許可、実行可能な処理等）を提示し、データ利用者はその方針に合意することで許された範囲

*1 データスペース：安全性の高いデータ共有の実現を目的としたシステムや仕組みを持つコミュニティ。詳細については本特集記事『IOWN時代のデータ流通を実現するデータガバナンス』を参照。

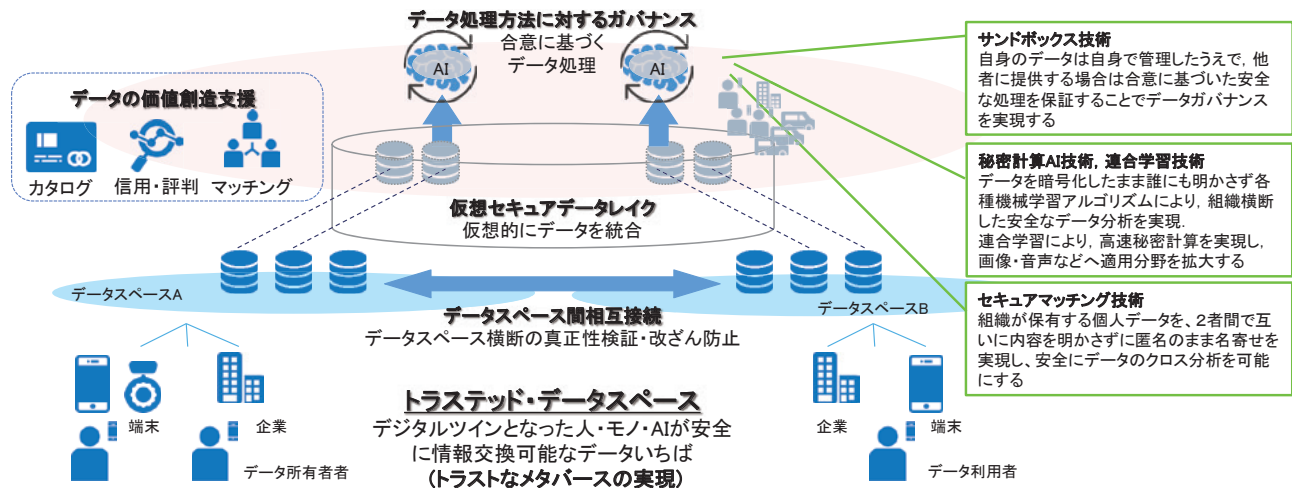


図1 トラステッド・データスペース

でデータを使用することができます。私たちはこのような仕組みを整えることによって、今までは他者に共有が難しかったような機密性の高いデータを活用しやすくし、またデータの二次的な利用を促進し、価値を連鎖的に生み出せる世界を実現できると考えています。

データガバナンスに関する機能のうち、暗号技術を用いてデータ処理方法に一定の制約を課す技術については、近年の発展が目覚ましい領域です。従来、暗号技術はデータの転送や保存の際に第三者から窃取を防ぐために主に用いられてきました。最近では、データの計算処理の過程にあるデータについても暗号化したまま処理可能な技術が発展し計算速度や実用性が高まってきたことにより、計算過程のデータが窃取され本来の目的外に利用されることも防止可能となってきています。さらに、個人のパーソナルデータや企業の営業秘密を用いる分析業務で、データを漏らさないだけでなく「データの中身を見ない」運用も可能になります。これにより、より安全なデータ処理はもちろんのこと、今まで他組織に

開示することが難しかったデータを持ち寄った、企業や業界の枠を越えた新しい統合分析が可能になります。

以降では、私たちが取り組んでいる技術についてそれぞれ説明します。

■データサンドボックス技術

前述のとおり、データの活用による連鎖的な価値創出には組織を越えたデータ連携が必要になりますが、実際のビジネスにおいては一度他者に共有されたデータが複製されることや目的外に利用されることに対する懸念は大きく、そのような活用は大きく広がっていません。私たちはこの懸念の解消をめざして、各企業・組織が管理するノウハウ（本稿ではデータやアルゴリズムといった組織が機密にしたい具体的な情報を指します）をお互いに秘匿しつつ、それらを組み合わせた価値を活用可能とする技術（データサンドボックス技術、図2）を開発してきました。この技術では、最近のCPUに備えられた特別なセキュア計算領域（TEE：Trusted Execution Environment）の中で処理を実行することで、共有されたノウハウの複製や悪用を防止することが可能です。

本技術では、プラットフォーム上にデータサンドボックス（DSB）というTEEで構成された隔離処理実行環境を作成し、その中でデータ処理を行います。①データ所有者とアルゴリズム所有者がお互いのノウハウの共有に合意しプラットフォームにポリシーを登録すると、DSBが生成されます。DSBは外部との通信ができないように制限され、メモリ・ディスクは暗号化されOSや運用者も中を見ることはできません。②データ所有者およびアルゴリズム所有者は、それぞれがDSBとの間で共通鍵の生成・共有を行い、それぞれ固有の共通鍵で暗号化したデータおよびアルゴリズムをDSBに配置します。このとき各所有者は、システムの提供するアステーションレポート*2を参照することで、DSBが事前に合意したポリシーどおりに作成されたかどうか、すなわち悪意のあるデータやアルゴリズムにすり替えられていないかどうか自ら検証可

*2 アステーションレポート：TEEの持つ機能であり、ハードウェアのセキュリティチップの信頼性の裏付けとしてTEE内のバイナリ等の状態を証明する機能。

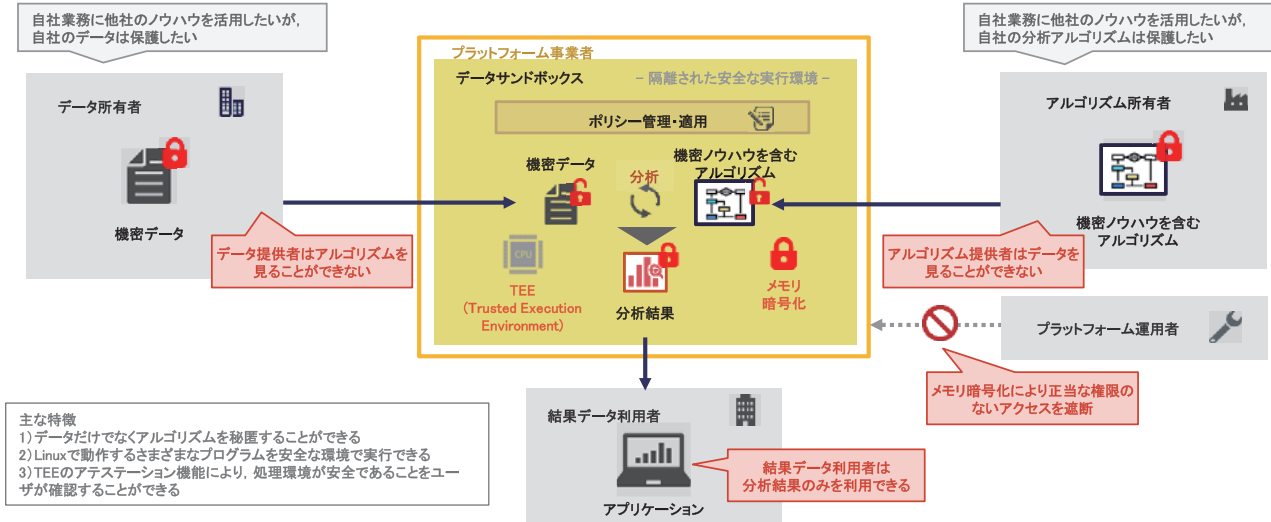


図2 データサンドボックス技術

能です。③DSBはデータ所有者およびアルゴリズム所有者との間の共通鍵を使ってデータおよびアルゴリズムを復号し、処理を実行します。④DSBは、処理結果をデータ利用者との間で作成・共有した共通鍵で暗号化して返却します。⑤処理の終了後は、データやアルゴリズムはDSBごと削除されます。このような仕組みによりデータサンドボックス技術では、入力されたデータやアルゴリズムだけでなく、処理過程や処理結果のデータに対しても誰もアクセスすることなく、データの活用が可能になります。

■秘密計算技術

秘密計算とは、データを終始一貫して、CPU内ですら暗号化したまま計算できる技術です。データの通信中・保存中の暗号化に加えて、秘密計算はさらにデータの計算過程でもデータを一度も復号することなく実行することができます。高いセキュリティを確保することができます。

NTTの秘密計算は、暗号化の仕組みとしてISO標準準拠の秘密分散を採用し、秘密分散をベースにしたマル

チパーティ計算を採用しています。マルチパーティ計算とは、複数のサーバがあらかじめ定められた手順に従って暗号化データの演算と交換を行うことで、暗号化したままのデータ処理を実現するものです。これらの手順を実行している間、データは常に秘密分散のシェアと呼ばれる断片として暗号化された状態で扱われるため「データの中身を見ずに」処理が実行されます。現在、秘密計算商用クラウドサービス「析秘(セキヒ)」としてNTTコミュニケーションズから提供され利用可能となっています。研究所では、本技術を高度化し複数のAI(人工知能)の学習、推論が高速に行える技術の研究開発に取り組んでいます。

■セキュアマッチング技術

トラステッド・データスペースで想定しているデータ活用の中でも、共通の対象に対して業界や組織を横断してデータを持ち寄り分析したいというニーズは特に重要で期待されています。しかし現在、機密保持や個人情報保護の観点から、組織内のデータをそのまま他者と自由に共有し統計分析す

ることはできません。セキュアマッチング技術は、組織が保有する個人情報・作業データを2者間で互いに内容を明かさずに匿名のまま名寄せし、安全にデータのクロス分析を可能にする技術です。前述のデータサンドボックス技術および秘密計算技術では任意のデータ処理が可能であるのに対して、本技術は2者間でのデータ交換、かつ集計処理に絞ることにより、お互いのデータ所有者がシンプルなシステムを自社に導入してデータ交換するだけで安全に統合分析ができるようになっています。

技術のポイントは2つあります。1つは、可換ハッシュ関数、準同型暗号などの高機能暗号を駆使し、暗号化したまま安全にデータを結合・集計するプロトコルです。もう1つは、集計結果からも元データが分からないようにプライバシーを保護するため、暗号化したまま高速にノイズを付与する差分プライバシー技術です。今後、NTTが開発した他のセキュアデータ流通技術と掛け合わせ、信頼できるデータ流通を実現するトラステッド・データス

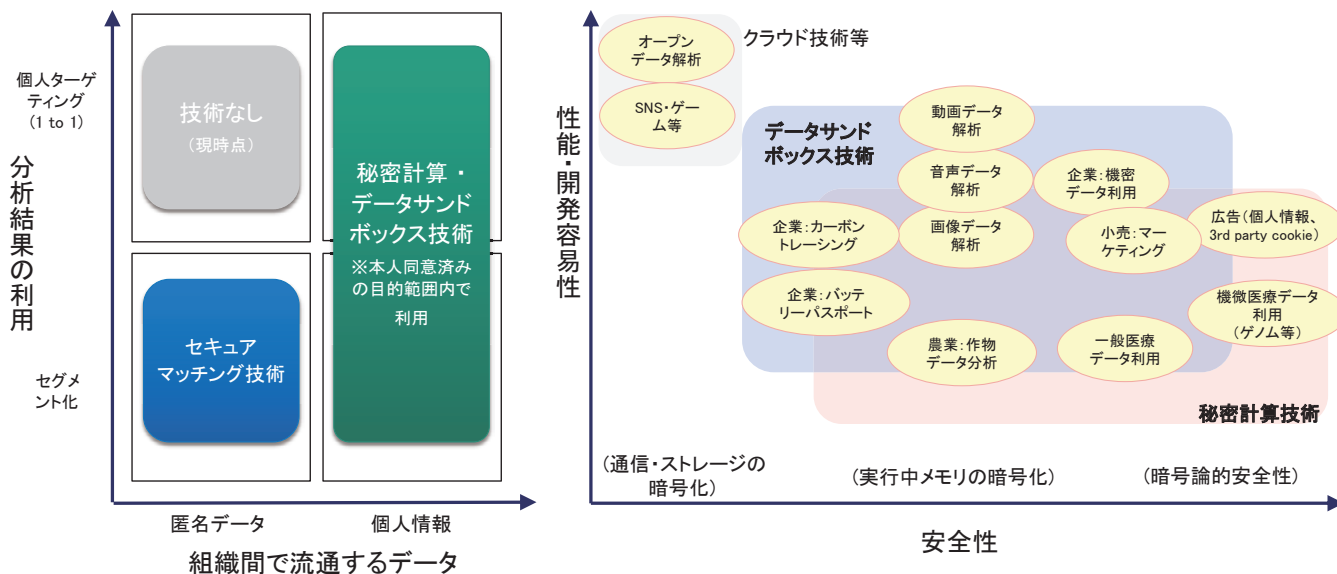


図3 各技術の適用領域

ペースを創出していきたいと考えています。本技術は、JAL、JALカード、NTTドコモでの顧客体験価値向上と社会課題の解決に向けたデータ活用の実証実験でも用いられています。

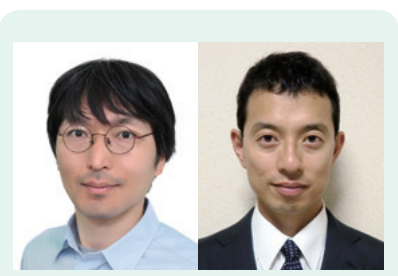
■安全なデータ活用のための技術選択

上記の技術が対象とするユースケースには多くの重なりがあります。究極的には、理論的に絶対安全な方法で機密データの処理を高速に行い、必要な結果だけを必要とする人に渡すような技術があればすべてのユースケースに対応可能ですが、現時点ではそのような技術はなく、対象とするデータの特性や関係者および法的な規制等の要請に応じて、最適な技術を適宜選択し適用する必要があります。図3は、私たちが考える技術の使い分けを示します。匿名データセキュアマッチング技術は、名寄せ可能なIDを持つデータの集合に対して、他組織のデータと組み合わせさせた統計分析を行いたいときに利用可能な技術です。個人情報の匿名性を保ったままマーケティング分析を

行う場合などに特に有効です。秘密計算は暗号理論的安全性に基づいた処理を行うため安全性は高くなりますが、サンドボックス技術はハードウェア機能を活用するため処理速度が速く、また既存のアルゴリズムをほぼそのまま実行可能であるという特徴があります。このため、ユースケースに要請される安全性と性能のバランスの中で処理方法を選択する必要があります。

今後の展開

新たな価値が連鎖的に生み出されるデータ流通をめざすトラステッド・データスペースの実現に向けては、本稿で紹介した技術だけでなく、信頼できるデータや分析者を検索しマッチングさせる技術、データフォーマットの標準化や既存データスペースとの相互接続の推進、AIによる価値創出の技術等、さまざまな領域での進展が必要です。私たちは幅広いパートナーの皆様との協力や技術検証を進め、これらの研究開発を推進していきます。



(左から) 井上 知洋 / 森田 哲之

データドリブンな社会の進展に伴い、データ利用にかかわる処理全般における信頼性の向上は今後ますます重要になります。特に暗号化した状態でのデータ活用については期待が大きく、NTTではこの分野の研究開発を加速させていきます。

◆問い合わせ先

NTT社会情報研究所
企画担当
E-mail solab@hco.ntt.co.jp

量子コンピュータ時代を見据えたセキュア光トランスポートネットワーク技術

NTT技術ジャーナル2021年11月号にて、量子コンピュータ時代でも安全に光トランスポートを行う技術として、セキュア光トランスポートネットワークを紹介しました。本稿では、今後既存の暗号技術から耐量子セキュリティを持った暗号技術へ移行する際に重要であり、量子コンピュータ時代にも考慮する必要がある、クリプトアジリティ、マルチファクタセキュリティといった考え方を解説し、これらの考え方をセキュア光トランスポートネットワークに取り入れるための取り組みについて紹介します。

背景

ネットワーク上を流れるデータは映像データや音声データなど大容量化しています。また、金融や遠隔医療などではこれまで以上に用いる通信の遅延が少ないことが求められています。また、サービスを持続するうえで消費電力を低減することも重要です。

NTTが研究開発を進めるIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) APN (オールフォトニクス・ネットワーク) は、低消費電力、大容量・高品質、低遅延の3点を訴求

するサービスをめざしています⁽¹⁾。これに加えて金融や遠隔医療では、システムが攻撃を受けた場合の経済的な損失の大きさや人命への影響から、高度なセキュリティも求められます。これらの特徴はデータ流通の観点からも重要です。

2030年代には実用化されるといわれている量子コンピュータにより、交通渋滞の解消・金融データのリスク分析・新薬開発等への導入が期待される一方で、RSA暗号や楕円曲線暗号などの既存暗号が解読されることが懸念されています。

NTT社会情報研究所とNTT未来ねっと研究所では、IOWN APNに安全性をプラスする取り組みとして、光伝送装置間で耐量子計算機暗号 (PQC: Post-Quantum Cryptography) や量子鍵配送 (QKD: Quantum Key Distribution) を用いて共通鍵を共有し、その鍵で通信を暗号化することで、量子コンピュータ時代でも安全なセキュア光トランスポートネットワーク技術 (セキュア光トランスポート) の研究開発を行ってきました⁽²⁾ (図1)。データ流通の観点から、伝送路や蓄積されたデータを暗号化するだけでなくエンド・ツー・エンドのセキュリティが求められますが、本技術は特に伝送路を対象としたものです。

現在は、量子コンピュータ時代のIOWNに求められる耐量子セキュリティ^{*1}のあるべき姿についてIOWN

*1 耐量子セキュリティ: 量子コンピュータによる攻撃への耐性を備えたセキュリティレベル。

むらかみ 村上 啓造 ^{†1}	けいぞう	たにくち 谷口 篤 ^{†2}	あつし
くどう 工藤 史堯 ^{†1}	ふみあき	ちから 知加良 盛 ^{†1}	さかえ
きよむら 清村 優太郎 ^{†1}	ゆうたろう	むかいやま 向山 明夫 ^{†1}	あきお
いいじま 飯島 悠介 ^{†1}	ゆうすけ	もちだ 持田 康弘 ^{†2}	やすひろ
さなり 佐成 晏之 ^{†2}	やすゆき	きむら 木村 直宏 ^{†2}	なおひろ

NTT社会情報研究所^{†1}
NTT未来ねっと研究所^{†2}

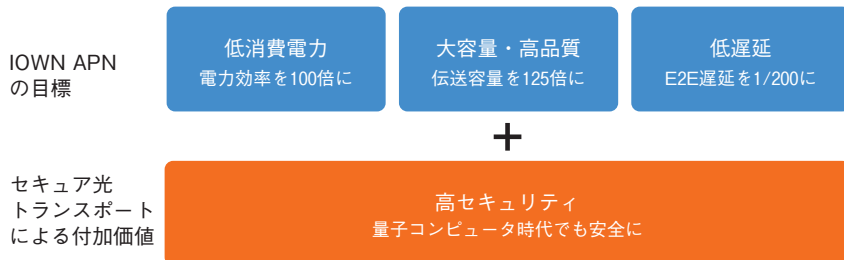


図1 セキュア光トランスポートの特徴

Global Forum (IOWN GF) にて検討を行っており、その実現方法の1つとしてセキュア光トランスポートの新規機能であるElastic Key Control技術および、暗号処理のディスアグリゲーション技術を提案しました。その活動と技術について紹介します。

課題

従来のセキュア光トランスポートの鍵共有⁽²⁾は、任意のPQCまたはQKDからいずれか1つを用途に応じて選択することで、量子コンピュータの発展により従来の公開鍵暗号方式が破られても安全な情報通信を保証するものでした。

PQCは量子コンピュータでも効率的に解くことができないとされている問題を安全性の根拠とした暗号方式です。PQCは既存暗号に比べて歴史が浅く、研究段階から実用化に向けて進みつつある段階です。現在、米国国立標準技術研究所(NIST)によりPQCによる鍵交換と署名方式の標準化が開始されており、今後社会実装され普及していくことが見込まれます。一方で、PQCの研究は進展段階であり、新たな攻撃手法が見つかり、ある日突然危殆化^{*2}する可能性もゼロではありません。実際に、NISTのPQCの選定コンペのRound4で標準化が検討されていた鍵共有方式 SIKEは、コンペ中の2022年7月現在のコンピュータでも1時間あまりで解読できる攻撃手法が見つかりました⁽³⁾。

そのため、量子コンピュータ時代を見据えると以下のようなことに対応する必要があります。

- 1つの暗号アルゴリズムが危殆化しても即座に通信が脅威にさらされないこと
- 危殆化した暗号アルゴリズムから他のアルゴリズムへの切り替え、または、新たな暗号アルゴリズム採用を柔軟に行えること

IOWN GFでは、このような要件への対応をIOWN Securityとして議論を行っています。本稿では、近年概念が提唱され始めている、マルチファクタセキュリティ、クリプトアジリティ、ハイブリッド方式などを対象にしています。

IOWN GFでの活動について

■ IOWN security (IOWNsec)

IOWN GFでは、IOWNを実現する新しい通信・計算基盤のアーキテクチャやユースケースの議論を行っています。IOWN GF 設立から2年以上経ち、IOWNを実現する技術や活用ユースケースが徐々に具現化し、最近ではIOWN時代のセキュリティに関する議論が始まっています。

IOWNsecでは、量子コンピュータ時代を見越して、IOWNユースケースのデータ通信をエンド・ツー・エンドで耐量子セキュリティを保つためのアーキテクチャを規定し、2023年1月に、技術文書として「Technology outlook of Information Security」文書(IOWNsec文書)をIOWN GFより公開しました。

■ マルチファクタセキュリティ

IOWNsecでは、エンド・ツー・エンドで耐量子セキュリティを持った通信を実現するため、Multi Factor

Security (MFS) というコンセプトを掲げています。MFSとは、単一の技術では獲得できないセキュリティレベルを複数の技術を組み合わせることで実現するコンセプトです。例えば、通信の暗号化のための鍵交換において、耐量子セキュリティを実現する技術としてPQCやQKD、Pre shared key (PSK) などが知られています。しかし、いずれの技術もメリットとデメリットがあり、単一の技術で完全なセキュリティを実現することはできません。例えば、QKDは情報理論的安全性^{*3}を有する鍵交換技術ですが、長距離の鍵配送には鍵リレーを行う第三者ネットワークが必要で、内部攻撃のリスクを回避できないといわれています⁽⁴⁾。またPQCを活用した鍵交換方式はソフトウェアで実現可能であるため、厳密にエンドポイント間で鍵交換が可能ですが、その安全性は計算量的安全性^{*4}であり、将来的に危殆化する可能性もあります。そこでIOWNsecではMFSによりPQCとQKDやその他のPSKなど複数のセキュリティ方式を組み合わせることで双方のデメリットを補完し、より広範な脅威に対応可能な選択肢をユーザに提供可能なアーキテクチャを規定しました(図2, 3)。またMFSをより幅

*2 危殆化：特に暗号の危殆化とは、暗号の安全性のレベルが低下した状況。アルゴリズム自体が原因の場合もあれば、実装上の問題が原因の場合もあります。

*3 情報理論的安全性：考え得るもっとも強力な攻撃者、すなわち無限の計算能力を持った攻撃者に対する安全性。

*4 計算量的安全性：暗号解読に必要な計算量が、利用できる計算機の能力に比較して膨大であり、現実的時間では実行不可能であるという仮定に依拠した安全性。

広いユースケースで活用してもらえよう、実装バリエーションとして、エンド・ツー・エンド通信を行うメインCPU上のアプリケーションとして実装する以外にネットワークインタフェースカードへの実装も検討しています。

関連する外部動向

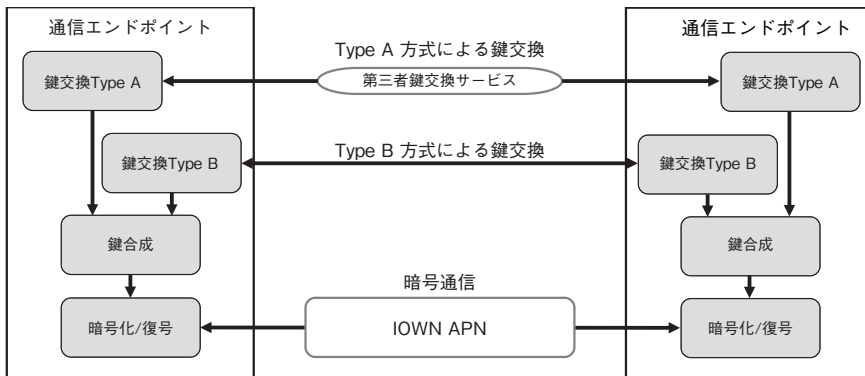
■クリプトアジリティ (Crypto Agility)

NISTにより提唱されている^{(5),(6)}考

え方で、直訳すると暗号の機敏性となります。ネットワークやシステムで利用されている暗号方式が危殆化した場合や新たな暗号アルゴリズムが登場した場合などに、利用する暗号方式を素早く切り替えていく概念です。この概念は、既存のネットワークやシステムへの影響を小さく切り替えられること、検証にかかる期間が短く済むことなどをねらいとしており、既存の暗号方式をPQCへ移行する際にも重要となると考えています。

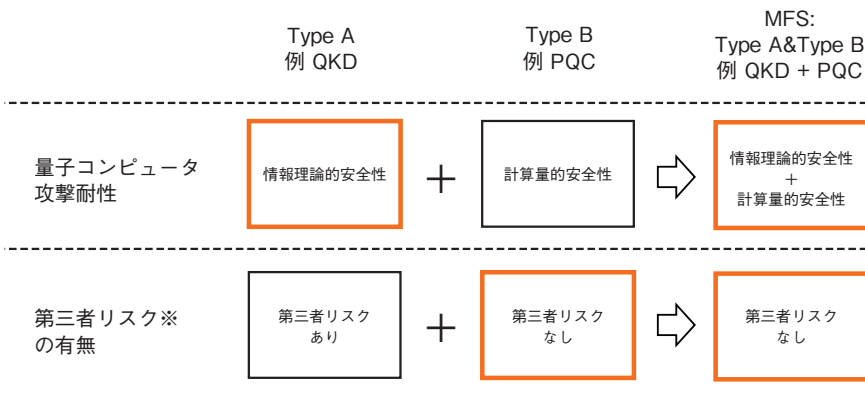
■ハイブリッド方式

暗号技術の文脈で「ハイブリッド」というと公開鍵暗号と共通鍵暗号を組み合わせて用いる「ハイブリッド暗号方式」のことを指すことが多いですが、本項目での「ハイブリッド方式」とは複数の公開鍵暗号方式で鍵交換や電子署名を実施し、その結果を合成して1つの秘密鍵や署名を生成する方式のことを指します。このハイブリッド方式は、近年、インターネット標準を規定しているフォーラムIETF (Internet Engineering Task Force) 等で提案されています⁽⁷⁾。ハイブリッド方式により、「RSA暗号や楕円曲線暗号といった従来の暗号方式（従来暗号）」「PQC」「QKDによる共有鍵をはじめとしたPSK」から複数の方式を選択し、生成結果を合成することで、どれか1つの方式が危殆化したとしても即座にシステム自体が危険にさらされなくなります。ハイブリッド方式を利用することで、PQCへの移行期においては従来暗号の安全性を担保しつつPQCの社会実装を進めることができます。また、PQC移行後も、急激な危殆化を避ける意味で複数PQCをハイブリッド化することは有効です。



TypeA方式・・・通信エンドポイントから見た第三者サービスを利用した鍵交換方式
TypeB方式・・・通信エンドポイントとなる2者間で実現可能な鍵交換方式

図2 Multi Factor Securityの具体例



※第三者リスク・・・第三者サービスが内包する、内部攻撃などのセキュリティリスク

図3 Multi Factor Securityの鍵交換における効果の例

提案技術

■Elastic Key Control技術

NTT社会情報研究所はIOWNsecのMFSの考え方の1つの実現方法として、ハイブリッド方式を取り入れたElastic Key Control技術を提案し、開発しました。

従来のセキュア光トランスポート技術は、鍵交換方式として任意のPQC

またはQKDからいずれか1つをシステム要件に応じて選択できる方式でした。それを発展させたものがElastic Key Control技術です。Elastic Key Control技術とは、ユーザニーズ・暗号アルゴリズムの利用状況などに応じて、柔軟に鍵交換に利用する暗号アルゴリズムを切り替えられる方式です(図4)。利用できるアルゴリズムは従来暗号、PQC、PSK単独だけでなく、任意の組み合わせのハイブリッド方式も選択可能です。また、鍵交換だけでなく各サーバの認証に用いる署名とその検証についても従来暗号とPQCのハイブリッドで動作することを確認しました。現時点では鍵交換方式としてECDHE、CRYSTALS Kyber、NTRUを、署名方式としてECDSA、CRYSTALS Dilithiumを実装しましたが、ライブラリとして実装されているものであれば選択肢に加えることが

可能です。

これにより、例えば、まず従来暗号とPQCを組み合わせで実用化し、PQCの社会的な利用実績を積んだうえで、量子コンピュータ時代を迎えることができます。その後、量子コンピュータ時代には複数のPQCの組み合わせに切り替えることで、双方危殆化しない限り安全な状況を保ちながら、将来登場する暗号アルゴリズムを素早く実装して利用することが可能になります。このようにElastic Key Control技術により、クリプトアジリティを高めることが可能です。

■暗号処理のディスアグリゲーション技術

従来、光伝送装置は、光モジュール等が一体型で提供されていました。近年、光伝送装置の各種機能を分離することで柔軟な構成変更が容易なディスアグリゲーション構成を適用したオー

プントランスポート光伝送装置が検討されています。しかし、暗号処理モジュール(ハードウェア)はいまだに光伝送装置と一体で提供されており、暗号処理モジュールを制御するライブラリ(ソフトウェア)は光伝送装置のNetwork Operation System(NOS)に依存していました。クリプトアジリティの観点からも新しい暗号アルゴリズムを迅速に適用できる構成が必要になります。また、光伝送の場合、共通鍵を交換する通信が途切れたとしても安定した暗号通信ができることが必要です。

そこで、今回、オープントランスポート光伝送装置上で、受け取った共通鍵の鍵情報共有等下位の暗号処理(MACsec、OTN暗号化等)に依存しない鍵管理を行う鍵管理部、光伝送装置間の通信のセッション鍵を管理するセッション鍵情報共有等下位の暗号

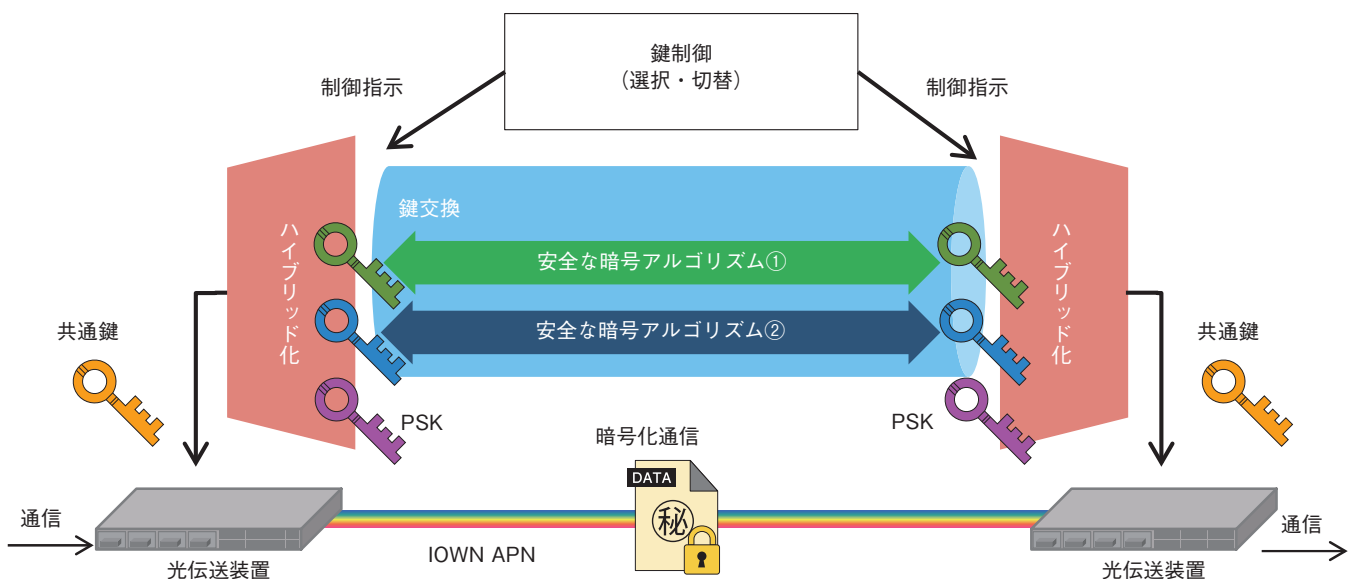


図4 Elastic Key Control 技術

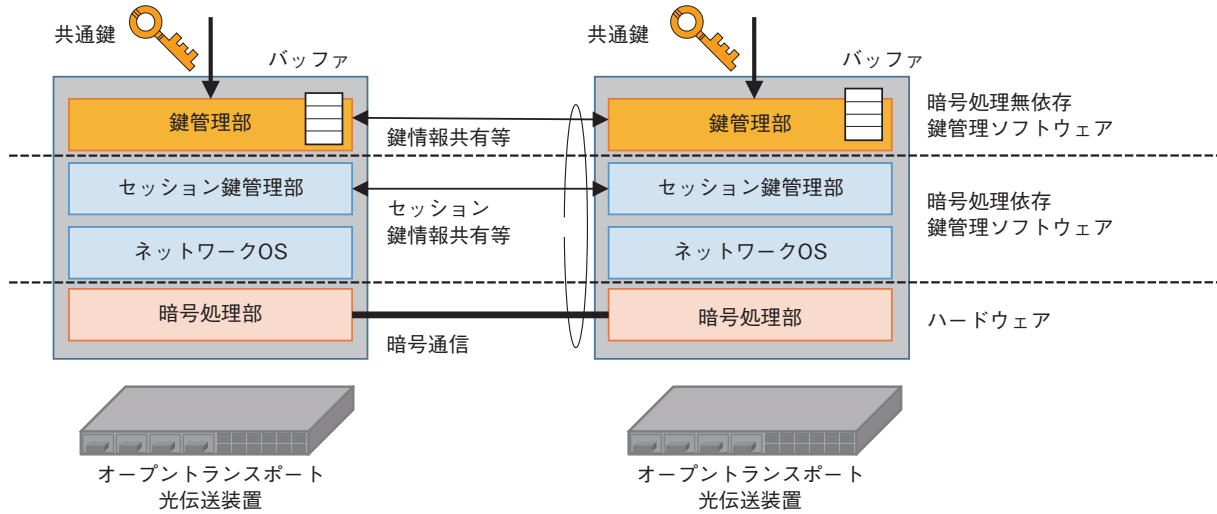


図5 暗号処理のディスアグリゲーション技術

処理に依存する管理を行うセッション鍵管理部、ハードウェアで暗号処理を行う暗号処理部に機能を分離して実装し、鍵管理部とセッション鍵管理部との間を疎結合にすることでNOSに依存しない暗号処理を実現しました(図5)。また、暗号処理は従来同様ハードウェアで処理するため高速に処理が可能です。インターフェースを共通化することで上位の暗号交換方式の違いや下位の暗号処理の違いを吸収し、同じ鍵供給方法でさまざまな装置で暗号処理することが期待できます。さらに、鍵交換通信で取得した共通鍵から複数の共通鍵を生成しバッファに保存することで冗長化する機能を開発し、通信障害や鍵枯渇により一部の鍵方式から共通鍵が取得できなくても暗号通信が継続できることを確認できました。

今後に向けて

本稿では、NTTのセキュア光トランスポート技術を発展させる取り組み

としてElastic Key Control技術と暗号処理のディスアグリゲーション技術について紹介しました。今後は本技術をNTT研究所のネットワークの一部で利用するトライアルの準備を進めています。将来的には一般向けサービスとして展開し、遠隔医療や金融といった大容量・低遅延・高セキュリティが求められる分野での活用を見込んでいます。

参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/iown/0002.html>
- (2) <https://journal.ntt.co.jp/article/16202>
- (3) W. Castryck and T. Decru: "An efficient key recovery attack on SIDH (preliminary version)," Cryptography ePrint Archive, 2022.
- (4) <https://www.nsa.gov/Cybersecurity/Quantum-Key-Distribution-QKD-and-Quantum-Cryptography-QC/>
- (5) <https://csrc.nist.gov/publications/detail/white-paper/2021/04/28/getting-ready-for-post-quantum-cryptography/final>
- (6) <https://csrc.nist.gov/publications/detail/white-paper/2021/08/04/migration-to-post-quantum-cryptography/final>
- (7) <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-tls-hybrid-design>



- (1段目左から) 村上 啓造/ 谷口 篤
持田 康弘
(2段目左から) 工藤 史堯/ 木村 直宏
佐成 晏之
(3段目左から) 知加良 盛/ 飯島 悠介
清村 優太郎
(4段目) 向山 明夫

NTT研究所では、大容量、低遅延、低消費電力かつ量子コンピュータ時代でも安心・安全な光トランスポートネットワークの実現に向けて研究開発を進めています。

◆問い合わせ先

NTT社会情報研究所
企画担当
E-mail solab@hco.ntt.co.jp

セキュリティトランスペアレンシー確保技術によるソフトウェア構成の分析・可視化

近年、機器・システム等の調達および保守・運用に関し、サプライチェーンを介して、製品・サービス・事業環境がセキュリティ侵害を受ける「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。本稿では、このような状況の中、NTT社会情報研究所が取り組んでいるセキュリティの透明性を確保する技術について紹介します。

うへはら たかゆき かねもと よう
上原 貴之 鐘本 楊
 のむら ひると
野村 啓仁

NTT社会情報研究所

はじめに

経済活動や社会の変化に伴って、機器やソフトウェアに対するリスクも様変わりしています。中でも顕著な変化はソフトウェアのサプライチェーンに対するセキュリティリスクの高まりです。米国ではこのリスクへの対応を目的とした大統領令が発令され、SBOM (Software Bill of Materials, ソフトウェア部品表) などを活用した機器やソフトウェアに関する構成の把握が求められています。本稿では、このようなサプライチェーンセキュリティリスクに関する動向と研究所の取り組みを紹介します。

ソフトウェアサプライチェーンのセキュリティリスクとは

令和4年版情報通信白書では、ICTが「社会・経済のインフラとして定着」している段階にあるとされています。それまでICTには生産性の向上や効率化などが期待されていましたが、「攻めのIT」のような言葉に代表される新たなビジネスを切り拓く原動力とし

での役割が期待され、ソフトウェアも長期的な計画を立ててリリースする開発スタイルから、継続的インテグレーションと呼ばれる矢継ぎ早に機能をリリースするスタイルへ変革しています。その開発スピードを支えるために、データベースやフレームワークだけでなく、ログ出力やWeb画面の描画まで多岐にわたりOSS (Open Source Software) によるライブラリが活用されています。また、機能をアップデー

トするために頻繁にファイルを更新、あるいは機能を追加するためにプラグインを組み合わせるなどのように、ソフトウェアの役割が細分化・複雑化しています(図1)。

このようなソフトウェアの作成・提供・利用・更新などの一連の流れをソフトウェアサプライチェーンと呼びます。そして、ソフトウェアサプライチェーンこそが新たなサイバー攻撃の標的になっています。一例を挙げる

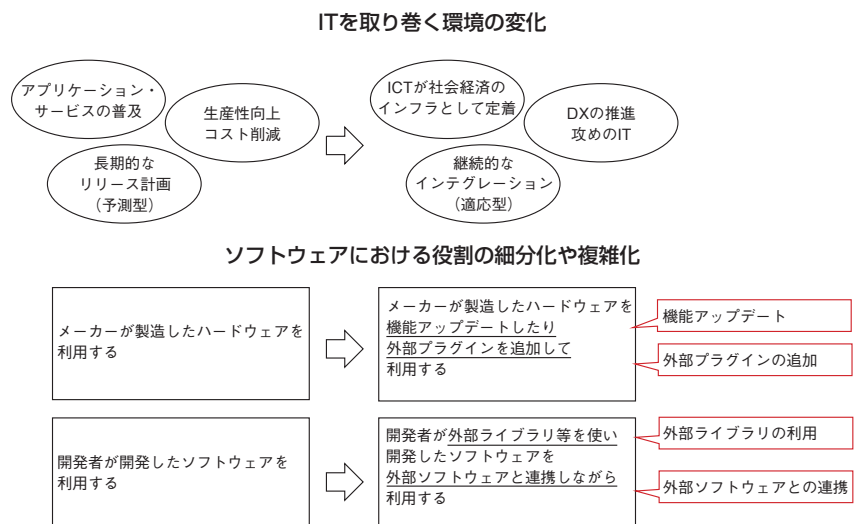


図1 ITを取り巻く環境の変化とソフトウェアにおける役割の細分化や複雑化

と、ソフトウェアに組み込まれたソフトウェア部品（ライブラリ）に脆弱性が発見され、この脆弱性をねらった攻撃によって情報漏洩が発生する事例、あるいはソフトウェア部品がファイル・アップデート機によってマルウェアに感染するといった事例などがあります。注目すべきことは、ソフトウェア本体を安全な状態に保つことをサポートするサプライチェーンが、逆に深刻なインシデントを発生させる脅威になる場合があるという点です。

米国では国家に対する幾度ものセキュリティインシデントを経て、2021年5月に「国家のサイバーセキュリティ改善に対する大統領令」が発令されました。これに基づき、米国NTIA（国家通信情報管理局）はSBOMをベンダが購入者に対して開示することを求めています。

透明性をキーコンセプトとする リスク対応策とその課題

SBOMは機器やシステムに含まれるソフトウェアを一覧化するためのデータであり、SPDX（Software Package Data Exchange）やCycloneDXなどのデータフォーマットが提案されています。どのようなフォーマットであるにせよ、ソフトウェアのモジュールやライブラリまで情報が網羅されていれば、ライブラリに脆弱性が発見された場合でも、素早く影響の有無を調べることができるようになります。また、機器の調達からユーザの利用までの各フェーズでSBOMを作成することによって、どこで不正なソフトウェアが混入したのかを調べることもできます。

このようにSBOMによる透明性の確保はリスク対応として大変有効ですが、その有効性をさらに高めるために解決すべき以下のような課題があります。

① ソフトウェアが他のソフトウェ

アを利用して動作する依存関係がある場合でも、漏れなくソフトウェアの構成を把握すること（ソフトウェア依存関係の把握）

② 商業上の理由などによってソフトウェア作成者が一部の構成情報を開示できない場合でも、リスク対応の効果を最大限得られること（構成情報の一部非開示への対応）

③ 構成情報やその関連情報（脆弱性情報など）が多様かつ膨大でも、効率的・効果的に管理・活用できるようにすること（多様かつ膨大な構成情報の管理・活用）

以降では、これらの課題に関するNTT研究所の取り組みを紹介します。

ソフトウェア依存関係の把握

SBOMによって機器やシステムに含まれるソフトウェアを一覧できても、多くの場合、実際に明らかにできるソフトウェアの構成は一部です。ソフトウェアの多くは、他のソフトウェアをさらに利用するかたち、すなわち依存関係がある構成をとります。ソフトウェアの依存関係はパッケージマネージャと呼ばれるシステムによって管理されています。そのため、ソフトウェアが他に何のソフトウェアを利用しているのかはパッケージマネージャの管理情報から把握することができます。例えばPythonにはPackage Installer for Python (PIP) という仕組みがあ

り、利用するパッケージ情報はPIPによって管理されています。開発者がPIPの管理情報を提供することによって、あるソフトウェアが依存しているソフトウェアの情報が明確になります。このように、管理情報によって示される明示的な依存関係がある一方で、暗黙的な依存関係も存在します（図2）。

もっとも有名な暗黙的な依存関係にコードクローンがあります。コードクローンとはソフトウェアのソースコードが一致あるいは類似していることを指します。同じような機能を実装するために他のソフトウェアのソースコードを参考にし、ソースコードをコピーすることによってコードクローンが生まれます。つまり、ソフトウェア利用者は知らぬ間に他のソフトウェアと同じコードを利用することになります。同様に、コードのQAサイトにも一部のコード例が示されており、これをそのまま利用しているソフトウェアも存在します。つまり、ソフトウェアのコードがQAサイトのコード例に依存していると考えられます。

それでは、仮に、あるソフトウェアが依存しているソフトウェアのコードに脆弱性（セキュリティの欠陥）が発見された場合、どうなるでしょうか。当該ソフトウェアと同様のコードを有するすべてのソフトウェアに脆弱性が存在する可能性があります。また、当該ソフトウェアが別のプログラムから

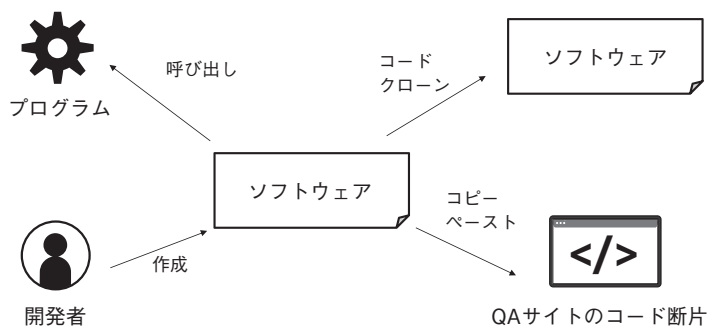


図2 ソフトウェアのさまざまな暗黙的な依存関係

起動される関係にある場合、その別のプログラムにも脆弱性による影響が波及し、当該ソフトウェアが動作するシステムの動作に影響を与える可能性があります。

また、ソフトウェアの開発者やその開発環境による依存関係がもたらすリスクも考えられます。OSSの場合、開発者が不特定多数になり、その中には悪意を持つ開発者、あるいは知らぬ間にセキュリティ侵害を受けた開発環境を利用している開発者が存在する可能性があります。そのため、十分な確認をせず、他の開発者が作成したソフトウェアを利用することはセキュリティリスクになり得ます。

このようにソフトウェアには、SBOMが可視化する明示的な依存関係には表現されていない暗黙的な依存関係があり得ます。私たちは、このような暗黙的な依存関係を把握することによって、ソフトウェアおよびソフトウェアを利用する機器の透明性をより高める技術の研究開発に取り組んでいます。

構成情報における一部非開示への対応

ソフトウェアの構成情報を開示すると攻撃者にヒントを与えるなどのデメリットが生じる可能性があります。そのため、開発者によっては構成情報の一部または全部を非開示にしたいと考えるかもしれません。このような場合でも、機器やシステムの透明性を確保するためにはどうすればよいでしょうか。

利用者が機器やシステムを購入する場合、まずカタログやマニュアルに書かれているとおりの動作をするのかを確認するでしょう。さらに、機器の利用を始めると、マニュアルに書かれていない通信を検知する場合もあるかもしれません。例えば、ネットワーク機器の中には最新バージョンのソフトウェ

アやデータを、インターネットを介して取得するものがあります。多くの場合、この通信についてはマニュアルには記載されていませんが、このような通信も機器の正当な動作仕様といえます。

そこで私たちは、このような動作仕様と、装置やシステムの外部から観測したデータを活用することによって、当該動作をもたらすソフトウェアの構成要素を推定できる可能性に着目した研究開発に取り組んでいます。例えば、通信ログや動作ログなどに記録・蓄積される情報を用いることによって、SBOMによって可視化される構成情報を補うことを可能にし、開発者が構成情報の一部を開示できない場合でも、利用者がセキュリティリスク対応の効果を最大限得られる状況をつくることをめざしています。

多様かつ膨大な構成情報の管理

ここまでは、サプライチェーンセキュリティリスク対応を目的として、ソフトウェアの構成情報に関する情報量を高める取り組みについて紹介してきました。情報の多様化や増大は、セキュリティ対策への活用の可能性を高める一方で、必要な情報を特定して的確に活用することを難しくする可能性もあります。また、構成情報から関連付くさまざまな情報（例えば脆弱性情報）も増え、管理・対応すべき情報は膨大になるでしょう。

私たちは、構成情報の充実化によってセキュリティの透明性を確保した先で想定される新たなセキュリティ対策業務（セキュリティオペレーション）のあり方とそれを実現するための技術についても研究に取り組んでいきます。

米国国立標準技術研究所（NIST）が規定するCyber Security Framework（CSF）では、セキュリティ対策を「特定」「防御」「検知」「対応」「復旧」の

5つの機能で大別しています。このうち、セキュリティの透明性を確保するために構成情報を充実化させることは「特定」を強化することにつながります。そこで、私たちは、この「特定」の強化によって、CSFにおける他の4つの機能の効果を効率的に高める可視化データの統合的な管理・活用技術に関する研究（構成情報を活用した効率的な脆弱性対応、高精度な異常検知・原因推定、自動対処など）にも取り組んでいきます。

今後の展開

本稿では、セキュリティの透明性をキーコンセプトとするサプライチェーンセキュリティリスク対応技術の研究開発について紹介しました。本技術は、NECとの資本業務提携により一緒に検討を進めており、多様なプレイヤーがオープンに共創を行うIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）や社会・経済の基幹インフラを支える技術となることをめざしていきます。



（左から）上原 貴之/ 鐘本 楊/
野村 啓仁

サプライチェーンをねらうサイバー攻撃は甚大な被害をもたらす得る脅威です。私たちは、この脅威に対抗する新技術の創出によって社会に貢献していきます。

◆問い合わせ先

NTT 社会情報研究所
企画担当
E-mail solab@hco.ntt.co.jp

IOWNプロダクトデザインセンタがめざす、IOWN技術の早期実装・普及

IOWNプロダクトデザインセンタでは、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 技術の早期実装および普及をめざしています。その活動の中で、複数のIOWN技術や市中技術を組み合わせた新たな価値創造の実現に向けて、さまざまな業界での実証実験を計画しています。本稿では、NTT研究所が取り組んでいるデータガバナンスを支える基盤技術を含む、IOWN技術の組み合わせによる実証の取り組みについて紹介します。

うたはら 歌原	たかし 崇	ふくひさ 福久	たくや 琢也
みどり 緑	ひであき 秀晃	たけうち 竹内	のりあき 規晃
わたなべ 渡辺	しんたろう 真太郎	いけじり 池尻	ゆういち 雄一

NTT IOWNプロダクトデザインセンタ

IOWN構想

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想では、これまでの情報通信システムを変革し、現状のICTの限界を超えた新たな情報通信基盤の実現をめざしています⁽¹⁾。IOWNを構成する主要な技術分野は3つあります。端末からネットワークまで、すべてにフォトニクス (光) ベースの技術により、エンド・ツー・エンドでの光波長パスを提供する「オールフォトニクス・ネットワーク (APN)」⁽²⁾、実世界とデジタル世界の掛け合わせによる未来予測等を実現する「デジタルツインコンピューティング」⁽³⁾、あらゆるものをつなぎ、その制御を実現する「コグニティブ・ファウンデーション」⁽⁴⁾です。APNは端末からネットワークまで電気変換することなく、光のまま伝送することで、現在のエレクトロニクス (電子) ベースの技術では困難な圧倒的な低消費電力、高品質・大容量、低遅延の伝送をエンド・ツー・エンドで実現します。デジタルツインコ

ンピューティングは現実の対象物をコンピュータ内にデジタルツインとして再現し、デジタルツインどうしや現実世界との掛け合わせによる未来予測や最適化を実現します。コグニティブ・ファウンデーションはあらゆるICTリソースを全体最適に調和させて、クラウドやエッジをはじめネットワークや端末まで含めてさまざまなICTリソースを最適に制御します。

これらの技術を用いて、さまざまな価値観を包含した多くの情報をリアルタイムかつ公平に流通・処理させることで人と人、人と社会の「つながり」の質を高め、より豊かな社会の実現をめざします。

■IOWNプロダクトデザインセンタの取り組み

IOWNプロダクトデザインセンタでは、IOWN技術の早期実装および普及をめざしています。そのために、市場ニーズや社会の要請からバックキャストしたIOWN技術の開発展開戦略の策定を行い、戦略に基づいた技術開発および実証などの活動を推進します⁽²⁾。

この活動の中でNTTグループ、IOWN Global Forum⁽³⁾の参画企業、官公庁、大学、通信機器メーカー、その他さまざまな企業の皆様との実証を通して市場の潜在的なニーズを抽出するとともに、IOWN技術の提供価値の実証を繰り返し実施し、技術を精練していくことをめざします。さらに、複数のIOWN技術や市中技術を組み合わせることで市場ニーズや社会の要請に対する提供価値を高め、それらIOWN技術の早期実装および普及を推進していきます。

以降では、NTT研究所が取り組んでいるデータガバナンスを支える基盤技術を活用し、現在のIOWN技術をさらに拡張していく実証計画や、そこで生まれる新たな提供価値の例を紹介します。

APNとセキュア光トランスポートネットワーク技術

■セキュアな光長距離伝送の実現

APNは前述のとおり、すべて光レイヤでダイレクトに通信するネット

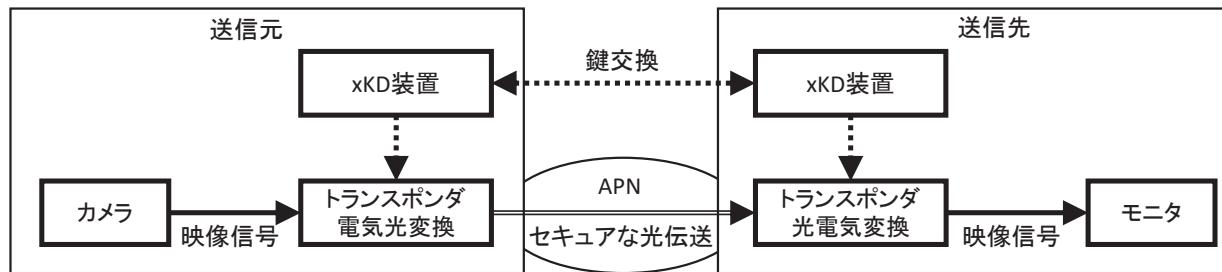


図1 セキュア光トランスポートネットワーク技術

ワークです。従来の伝送ネットワークにおいても装置間は光ファイバで接続しています。しかし、伝送距離に伴う光の減衰への対応や方路の切り替えのため、一定距離間隔や分岐する方路ごとに装置内でいったん電気に変換し、さらに光に戻して再送信することが多く行われています。

これに対し、NTT研究所で長年にわたり研究開発を進めているデジタルコヒーレント技術の進展により、光による高速で長距離の伝送、大容量化が可能になり、APNではこれらの技術を活用しエンド・ツー・エンドでの光化をめざしています⁽⁴⁾。

APNは、エンド・ツー・エンドで光化し、電気信号を光信号に、光信号を電気信号に変換する処理を大幅に減らすことで省電力化に貢献するとともに、低遅延で揺らぎの少ないネットワークを実現します。一方で光のまま処理を行う場合においても従来の電気での処理と同様にセキュリティリスクへの対策を行う必要があります。その1つの実現方法がセキュア光トランスポートネットワーク技術^{*1}です(図1)。

セキュア光トランスポートネットワーク技術では、量子コンピュータでも解読できない方法で鍵交換を行います。この鍵を利用し、暗号化を行うことで強固なセキュリティを保った通信を実現することができます。NTTで

は、すでに40 Gbit/sを超える8K60Pの非圧縮映像を超低遅延でセキュアに伝送できることを実証しています⁽⁵⁾。

■遠隔合奏やクラウドゲーミングへの適用想定例

APNによるエンド・ツー・エンドの光化およびセキュア光トランスポート技術を利用してさまざまな実証実験を進めています。

適用例の1つは、低遅延性を利用した非圧縮、双方向の映像通信による遠隔合奏です。この遠隔合奏では、遠隔地に離れた2つの会場間を低遅延で結び、演奏および観客の反応を双方向でリアルタイムに通信しながら両会場で同時に楽しむことを可能にします。また、もう1つの適用例としてクラウドゲーミングがあります。クラウドゲーミングでは、できるだけ遅延のない通信環境が重要な要素となり、加えて遠隔地に離れたプレイヤー間での遅延量の差が勝敗に影響を与えます。そのような条件下において低遅延かつ同じ遅延量にする技術を活用した環境を構築し、快適で公平なクラウドゲーミングを可能にする実証も進めています。さらにもう1つの適用例として、遠隔手術など医療への応用も期待されています。遠隔手術では、遠隔地にあるロボットアームに医師の操作を迅速かつ確実に伝える必要があります。そのために低遅延だけでなく揺らぎの少ない

通信環境が必要となり、加えて強固なセキュリティが求められることも想定されます。そのような環境をAPNの特性および前述のセキュアトランスポート技術も適用して実現する実証も始まっています。

■データセンタ間ネットワークへの適用想定例

APNによる高速広帯域・低遅延といった特性を活かしてデータセンタ間を接続する試みも進められています。そして将来的にはコンピューティングリソース自体が広域に分散していく想定⁽⁶⁾、そのデータプレーンとして長距離RDMA (Remote Direct Memory Access)^{*2}を利用することも検討を進めています。RDMA自体は、データセンタ内の10 mくらいまでの短距離をターゲットとして開発されましたが、長距離RDMAではAPNで接続することで遠距離のデータ転送を実現し、離れた複数のデータセンタをあたかも1つのデータセンタとしてそのコンピューティングリソースを活用することが可能になります。一方、これまでデータセンタ内に閉じていて

*1 セキュア光トランスポートネットワーク技術：光伝送装置間で耐量子計算機暗号や量子鍵配送を用いて共通鍵を共有し、その鍵で通信を暗号化する技術。

*2 RDMA：転送元サーバ上のメモリから転送先サーバ上のメモリへのデータコピーについて、CPUを介さずネットワークデバイス側で行うための技術。

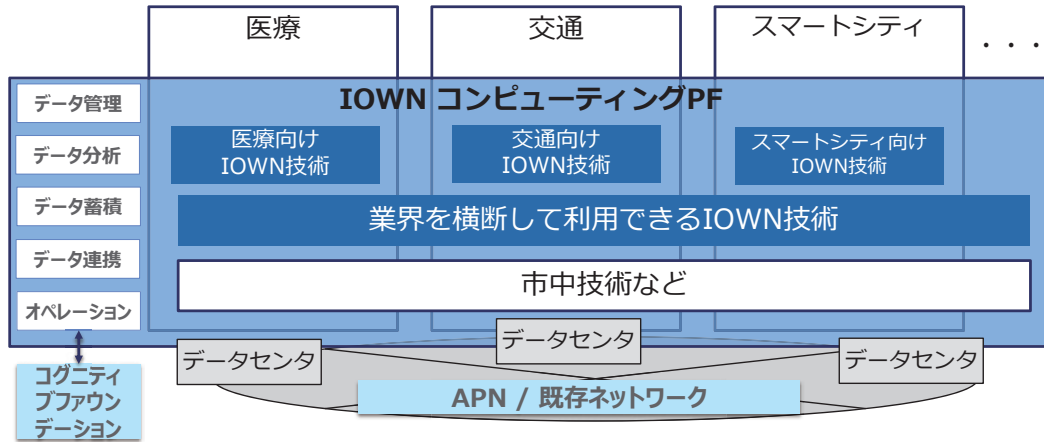


図2 IOWN コンピューティングPF

外部からのセキュリティ脅威から守られていたデータ通信が、長距離RDMAの適用により外部の経路を通過することになるため、セキュアにデータ通信することを実現しなければなりません。この課題解決にも前述したセキュア光トランスポート技術の適用していく計画で実証実験を進めています。

IOWN コンピューティングPFと トラステッド・データスペース

■デジタルツインコンピューティングを実現するIOWNコンピューティングPF

デジタルツインは現実世界（リアル）から収集したデータを使ってサイバー空間にあたかも同じ世界（ツイン）をつくる技術のことであり、IOWN構想ではこのデジタルツインをベースに、さまざまな業界におけるサイバー空間のモノやヒトのデータを自在に組み合わせさせてシミュレーションを可能にする「デジタルツインコンピューティング」を提唱しています。このデジタルツインコンピューティングではモノやヒトの高精度なデータを用いることで未来の予測もできるようになります。そのためにはデータを適切に処理し高度な

演算ができる環境が必要となり、それを実装していくプラットフォーム（PF）が「IOWNコンピューティングPF」です（図2）。

IOWNコンピューティングPFでは各IOWN技術を実装し、複数の業界を横断してデータを収集から分析まで行い、さまざまなビジネスでの新規価値創造に寄与できることをめざしています。そのデータの収集から分析までの扱い（データハンドリング）についての課題やIOWNコンピューティングPFを活用した新規価値創造の事例について以下に述べます。

■新規価値創造に向けたデータハンドリング

IOWNコンピューティングPFではさまざまな業界における大量のデータを扱うこととなります。その中には個人や企業固有のデータもあり、それらの秘匿性は担保されなければなりません。さらにデータは業界の垣根を越えてさまざまな拠点に偏在しており、それらを統合して効率的に扱えるようにすることも必要になります。IOWN構想では、データハンドリングにおけるそうした課題に対処できる技術の実現を進めています。

個人や企業固有のデータのハンドリングにおいては、データそのものについては秘匿した状態で分析することが求められます。それに対してIOWN技術である秘密計算技術^{*3(7)}、セキュアマッチング技術^{*4}、データサンドボックス技術^{*5}を統合してデータの秘匿性を担保できる「トラステッド・データスペース」⁽⁸⁾を開発しています。これをIOWNコンピューティングPFに実装して安心・安全なデータハンドリングを実現していきます。一方、さまざまな拠点に偏在したデータのハンドリングにおいては、大量のデータの送受信と偏在するデータを統合した分析をそれぞれ実現し、両立することが必要です。それらに対しては多拠点間で効率的なデータの送受信を可能にするデータブローカー技術^{*6}、複数拠点の

*3 秘密計算技術：データを暗号化したまま誰にも明かさず各種機械学習アルゴリズムにより、安全なデータ分析を実現する技術。

*4 セキュアマッチング技術：2者間でお互いにデータを見せずに名寄せを実現し、安全にデータのクロス分析を可能とする技術。

*5 データサンドボックス技術：自身のデータは自身で管理したうえで、他者に提供する場合にオンデマンドな合意に基づいた安全な処理を保証。正当な権利者以外の機密情報（データ・プログラム・実行結果）の参照を防止する技術。

データを仮想的に統合して効率的なデータ検索・取得を可能にする仮想データレイク*⁷といったIOWN技術を統合して「次世代データハブ」⁽⁹⁾を開発し、IOWNコンピューティングPFに実装していきます。

このようにデータハンドリングにおける種々の課題をIOWN技術に加え、必要に応じて市中技術も組み合わせることで解決を図り、高度なデータハンドリングをIOWNコンピューティングPF上で実現することによって新規価値創造に寄与していきます。

■医療業界への適用想定例

医療業界では、個人の診療データや行動データなどのハンドリングにより、健康リスクの予測や健康改善のための行動変容などの新規価値創造が期待されています。このような価値創造を実現するためには、予測や分析の精度を上げる必要があり、多くのサンプルデータを要します。しかし、機微なデータであることから利用許諾のハードルが高く、その結果、精度の高いデータ分析が困難です。また、そうしたデータは各データの所有者の管理環境ごとに遍在して蓄積されているため、包括的に分析することも課題となります。

IOWNコンピューティングPFでは、機微なデータを第三者に開示することなく、データ所有者の管理下での分析処理を実現することで諸々の課題解決を図ります。IOWN技術として、データを秘匿化した状態で分析を実施するトラステッド・データスペース技術、さらに、遍在するデータを統合して扱

*6 データブローカー技術：膨大な数のデバイスとの間の高頻度なデータ送受信を低遅延かつ高信頼に行うブローカー技術。

*7 仮想データレイク技術：遍在しているデータを、単一拠点に集約することなく仮想的に統合して一元的に扱えるようにする技術。

う仮想データレイクを利用します。それら技術により多くの機微なデータを扱うことが可能となり、予測や分析の精度が向上し、人々が健康で暮らせる豊かな社会の実現に貢献します。

■交通業界への適用想定例

交通業界では、車両のセンサデータや個人のGPSデータなどの時々刻々と変化する位置情報をデジタル空間上で再現、分析し、各個人の行動変容を促すことによって渋滞緩和の実現につなげるなど、多種多様なデータから新規価値を創造することが期待されています。そのような価値創造を実現するためには、各個人や複数社にまたがって管理される移動データをリアルタイムに再現、分析する必要があります。しかし時々刻々と発生する多種多様なデータを実用的な時間で処理することは一般的には困難です。また企業間を横断して、各社の競争力の源泉であるデータを共有することにも課題があります。

IOWNコンピューティングPFでは、複数社にまたがって管理されている競争力のあるデータを第三者に開示することなく、リアルタイムに多種多様なデータをハンドリングすることで課題解決を図ります。IOWN技術として、トラステッド・データスペース技術、仮想データレイク技術に加えて、多拠点のデータを効率的に送受信できるデータブローカー技術を利用します。これらの技術により、複数社間でのデータ共有と時々刻々と変化する遍在するデータの効率的なハンドリングが可能となり、渋滞緩和などの社会課題解決に貢献します。

今後の展望

IOWN構想の実現にあたっては、

NTTグループ、IOWN Global Forumの参画企業、官公庁、大学、通信機器メーカー、その他さまざまな企業の皆様と連携して、IOWN技術を活用した実証実験をとおり、業界の垣根を越えた新規価値創造を着実に進めることが第一歩となります。IOWNプロダクトデザインセンタでは、その活動の中でIOWN技術をより良く改善するための知見やフィードバックを得て、さらなる新規価値創造につなげられるよう各取り組みを進めていきます。

■参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/iown/0001.html>
- (2) <https://www.rd.ntt/idc/>
- (3) <https://iowngf.org/>
- (4) <https://journal.ntt.co.jp/article/18123>
- (5) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2021/11/05/211105b.html>
- (6) https://journal.ntt.co.jp/wp-content/uploads/2022/02/nttjnl5003_20220301.pdf
- (7) <https://www.rd.ntt/research/SI0014.html>
- (8) https://www.rd.ntt/research/JN202111_16223.html
- (9) <https://journal.ntt.co.jp/article/17186>



(左から) 渡辺 真太郎 / 緑 秀晃 / 歌原 崇 / 福久 琢也 / 池尻 雄一 / 竹内 規晃

IOWNプロダクトデザインセンタではIOWN技術の普及およびその適用による新規価値創造の実現をめざしており、さまざまな企業の皆様との連携が不可欠です。今回のIOWNの特集をとおり皆様の新規価値創造を進めるきっかけになれば幸いです。

◆問い合わせ先

NTT IOWN総合イノベーションセンタ
IOWNプロダクトデザインセンタ
E-mail hd-idc-all@ntt.com

主役登場

データを安全に流通させられる 仕組みをめざして

菊池 亮

NTT 社会情報研究所
主任研究員



一般に暗号を含むセキュリティの研究は、他の分野に比べて利用者がその効果を感じづらいと思っています。例えば、既存のサービスなどに対して攻撃方法を発見し、それに対策をする営みはセキュリティ分野では一般的ですが、この営みにより利用者から目に見える効果があるのは稀です。通常は、対策によりセキュリティインシデントは未然に防げるが、何かできることが増えたわけではないからです。

実際にはこれらの営みも非常に重要なのですが、大学で暗号分野に足を踏み入れて研究を進めるにつれ、個人の志向として「せっかく研究するのだったら、できることが増えることをやりたい」と思うようになりました。そのときの考えが、自分の専門とする暗号と「今まで外に出せなかったデータを流通できるようにする」という“できること”がリンクした現在の研究テーマにつながっていると思います。

今まで外に出せなかったデータ、例えば企業の機密情報などを出してもらうために、技術では何ができるでしょうか。外に出せないデータはそもそも他者に知られたくないものだと思うので、他人に見られてしまうことは避けたいと考えられます。これは一見、暗号化して流通させれば他人が見られなくなりそうですが、流通したデータは利用（分析）するためにどこかで一度復号する必要があり、結局そこで他人に見られてしまいます。言い換えると、データを「分析する」ために「見る」ことは必要条件になっており、切り離すことができません。しかし、このままでは他人に見られたくないデータを流通させる

ことは困難に思えます。

この仕組みの限界を突破するために、技術を使って「見る」と「分析する」ことを切り離すことはできないでしょうか。私が、今主に取り組んでいる秘密計算技術は、暗号化したまま分析を行う技術です。この技術では、分析結果を計算する際にもデータは暗号化されたままのため、誰も元のデータを見ることなく分析結果を得ることができます。言い換えると、「分析する」ことはできるが「見る」ことはできないという状況を、暗号技術を用いて実現しているととらえることができます。

当然、良いことばかりではなく分析速度の低下などのデメリットもあるのですが、諸先輩方の先見の明と継続的な研究開発のおかげで一定のレベルで動くシステムができており、NTTコミュニケーションズからも商用サービスが開始されています。

現在、この技術は学術・産業界で注目を集め、Googleをはじめ多数の会社や大学が参入してきているため、今はしっかり優位性を確保するための機能拡充や性能向上の研究開発を行っています。加えて、よりこの技術が広まって使われるようISO/IECで国際標準の策定をエディタとして主導することや、複数社での業界団体をつくり業界標準を提案していく活動も行っています。

今後は本技術やその他の技術も組み合わせ、AI（人工知能）時代のデータガバナンスを実現するためのトラステッド・データスペースの構築に貢献していきたいと考えています。

挑戦する 研究者たち CHALLENGERS



守谷健弘

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
フェロー



研究者は社会の進歩の源泉である。自らの研究テーマに自信を持って「その次の主役」をめざそう

コロナ禍をきっかけとして、リモートワークが定着してきましたが、そこではPCやスマートフォンを利用して画像や音声によるコミュニケーションが重要な役割を果たしています。約40年にわたり音声・音響信号符号化の研究に携わり、広い意味での通信や生活の質の革新的向上をめざすNTTコミュニケーション科学基礎研究所守谷健弘フェローに、音声・音響信号符号化領域の技術進展の変遷と研究者としての姿勢を伺いました。



音声・音響信号符号化を追究

40年あまり継続している研究と変遷を教えてください。

音声や音楽の信号をデジタル化し、それを効率良く、かつ再生時の再現性を高く情報圧縮する「音声・音響信号符号化」を追究してきました。例えば、私たちが携帯音楽プレーヤーやデジタル放送などで楽しんでいる音楽は、本来の信号を単純にデジタル化したものではなくデジタルデータ量を10分の1程度に圧縮したものです。

さて、電電公社では、電話の限られた帯域で伝送される、

品質を含むアナログ音声の研究に注力し、ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) の前身であるCCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) における国際標準化にも大きく貢献してきました。電話網・端末のデジタル化の研究の進展とともに、アナログ音声のデジタル化、圧縮に関する研究も進み、これがNTTにおける音声・音響信号符号化研究の源流となっています。中継網がデジタル化され、1984年に「INS ネット64」「INS ネット1500」がサービス開始しそれが普及してくると、音声・音響信号符号化技術

がますます重要なものとなってきました。1990年代になり、デジタル化された第2世代の携帯電話が登場しましたが、固定網と比較して伝送ビットレート等の制約が厳しい中で品質を確保するために音声・音響信号符号化技術への期待値が高まり、その重要性が増大してきました。こうした状況の中の研究成果として、低ビットレートで伝送符号誤りがあっても音質を担保できることなどの条件をクリアすることを可能とし、各方式によるコンテストの結果、第2世代携帯電話の日本標準方式として採用されました。その後、第3世代の携帯電話やIP電話においても私たちの成果が要素技術として採用され、世界中の携帯電話の音声品質の向上に貢献しています。

全世界に影響を与える研究成果を上げられたのですね。

全世界への影響という意味では、1990年代からNTTのチームはいくつかの国際標準化に貢献してきました。ITU-T規格ではIP電話用符号化標準、ISO/IEC MPEG規格では低ビット音楽符号化標準、歪みを許さないロスレス符号化標準などがあります。また2010年ごろ、移動通信システムの国際標準化団体である3GPP (3rd Generation Partnership Project) において音声符号化標準規格の制定が開始されました。世界統一の第4世代の移動通信システムにおける音声通信方式であるVoLTE(Voice over Long-Term Evolution)向けに新たな音声符号化技術の制定が強く望まれたからです。これに対し、NTTグループをはじめ、世界の多くの専門家による競争と協力によって、2015年に音声・音響信号統合符号化方式としてEVS(Enhanced Voice Services)が国際標準化されました。

それまでの携帯電話向け音声符号化方式は、人間の発声メカニズムにならったCELP(Code Excited Linear Prediction)という方式が用いられ、人間の声を低ビットレートで高品質に伝送してきました。EVSではCELPに加えて新たに開発された低遅延の音楽向け符号化方式を組み合わせることで、それまで実現できなかった背景雑音や背景音楽を含む音声あるいは音楽を高品質のまま低遅延で伝送できます。標準化の過程では、第三者機関によっ

てさまざまな条件・音源・言語での大規模な主観品質評価試験が行われ、従来方式よりも格段に高品質であることが確認されました。

これにより、EVS方式は世界の通信事業者、通信機器メーカー、チップメーカーに一齐に採用されました。これにより、現在世界中で利用されているスマートフォンの通話は、通信事業者、通信機器メーカーにかかわらず、広帯域で高品質になりました。これは、長きにわたって電話の音質を高めるためにNTTのチーム、世界中の有力な研究者やエンジニアと繰り返した試行錯誤の結果なのです。



IVAS 標準規格の制定に挑む

最近でもさらに音質の重要性が問われていると聞きました。

新型コロナウイルスの感染拡大の影響で、Web会議などが急激に増加したことはいうまでもありません。こうした現状についてNTTデータ経営研究所とShureが、オンライン会議で行き交うデジタル音声の音質の違いがもたらす生体ストレス反応への影響を検証する実証実験を実施したところ、85%の利用者がWeb会議の音質に不満を抱えていることが分かりました。具体的な不満内容は、音質が悪い会議では、内容が理解されないだけでなく参加者にストレスを与えるというのです。

3GPPにおける国際標準化等により、スマートフォンどうしの通話は高音質になったものの、Web会議などではPCを通じて会話がなされており、通信品質がベストエフォートなインターネットが利用されているため、遅延やパケットロス等によりいまだ音声品質は不安定です。また、PC等のWeb会議のアプリにおいても処理遅延やパケットロスへの対応が不十分で品質劣化は否めません。一方、社会ではメタバース等の新たなコミュニケーションの場も含め、あたかも同じ場で会議しているかのような臨場感に関する技術が求められるようになってきました。臨場感については、高精細な画像をイメージすることが多いと思いますが、実は音声・音響の品質等に依存するところが大きいのです。こうした背景から、EVSを拡張するIVAS (EVS



(EVS Extension for Immersive Voice and Audio Services)
*2023年中の仕様凍結めざし、オープン開発中

- 立体音場の収音、圧縮伝送、再生による**高臨場感双方向通信**
- * EVSはモノラル通信
- 複数ストリームと再生合成機能による**多地点双方向通信**
- * EVSは1対1の地点の通信
- 相互接続機能による**EVSとの符号変換なし双方向通信**
- * EVSは世界中に普及

図1 IVASの目標

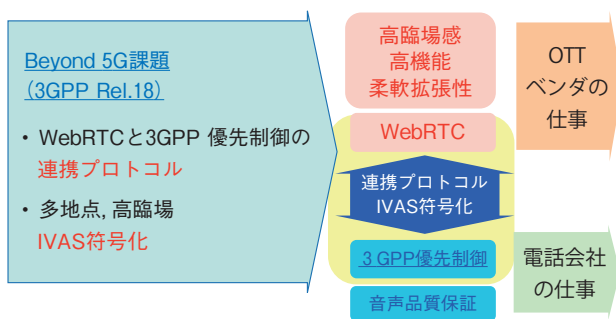


図2 音声品質を保証する高機能電話

extension for Immersive Voice and Audio Services) の標準規格制定に臨んでいます。IVASは3GPPにおける2023年中の仕様凍結をめぐりオープン開発中で、立体音場の収音、圧縮伝送、音声による高い臨場感と双方向通信、そして、複数のストリームと再生合成機能による多地点双方向通信、さらに相互接続機能によるEVSとの符号変換なしの双方向通信をめざしています(図1)。

3GPPではネットワークの専門家がこれまでに構築してくれた、ひかり電話(VoIP)網や移動通信(VoLTE)網のような音声通話に適した高信頼通信の利用を実現しつつ、多様な機能拡張が自由にできるWebRTCとの連携プロトコルの設計もめざしています。これにより現在のWeb会議より安定で高品質の音声通話が保証されつつ、逐次高機能化、高臨場化、さらにXR(Cross Reality)やメタバースなども含む多様な通信形態への進展が期待されます(図2)。

新しい技術が次々と生まれる中、臨場感に大きな影響がある音声技術の追究を続けていらっしゃるのですね。

NTTグループは携帯電話サービスも固定電話サービスも提供する企業として、音声関連の技術に責任を持って貢献していくことが大切です。私はその領域を追究してきました。特に電話の音声の研究について重厚な歴史を持つNTTの研究者として、ビジネスシーンに活かせるものをつくり上げたいと研究に臨んできたのです。

NTTグループが2024年の仕様確定、2030年の実現をめざして研究開発を進めているIOWN(Innovative Optical and Wireless Network)において、高速・大容量化技術や高精細画像技術等の華やかさと比較して、音声技術はやや地味に感じるかもしれませんが、私は、高臨場感に与える影響の大きい音声分野において、媒体に左右されない音質の良い通話を最優先に実現したいと考えます。高速・大容量だけでは音質は必ずしも良くなるからです。

現在は例えばAI(人工知能)の研究は大流行していて、多くの研究者がレッドオーシャンでしのぎを削っています。しかし、その中で頂点に立っているのはほんの一握りの研究者です。一方で、世の中には流行に左右されない大切な領域がたくさんあります。その中で興味を持って臨める研究を貫いていくのも、研究者としての1つのあり方だと思います。音声に関する研究は現在では決して華やかなテーマではありませんが、非常に重要なテーマであることは確かです。私は、そこに興味を持って研究を貫いていくことを選んでいるのです。解決すべき課題も多くあります。私の時代では解決できない課題は、先達から受け継いだ匠の技を後進につなげ、解決に導くための道筋をつけていきたいと思えます。

現在、約40年の歳月を経てAIが3度目のブームを迎えています。このように1つのテーマに関する流行はそう長くは続かず、必ず次の波がやってきます。その波を見据えて研究テーマを見つけるのもいいのではないのでしょうか。音声の分野においても1990年代の携帯電話のデジタル化に向けて、私が手掛けてきた音声のデジタル圧縮符号化技術はその重要性が再認識されました。自己満足はいけません

が、自らの研究テーマに自信を持って「その次の主役」をめざして頑張りたいものです。



音声や音質の追究は「命」をもつなく

自らの研究テーマに自信を持つのは大切なことなのです。

世の中に注目されるテーマ、流行に乗っているテーマである以上に、世の中に貢献することのできるテーマが大切だと思っています。その意味において、例えば、交通事故における死亡者数は1995年から格段に減少しているのですが、これには携帯電話の普及によって、事故が発生してもすぐに救急車を呼ぶなどの対応ができるようになったことが影響しているに違いありません。また、コロナ禍にあって、病院や養護施設へ見舞や面会に行くことが制限されています。こうした状況下において、面会や見舞を制限されている場所でも、携帯電話等を使ってコミュニケーションを図ることで遠隔から誰かを励ますことができるようになり、これにより救われた人も多いと思います。携帯電話の普及においては、先達をはじめ、私たちが取り組んできた音声や音質の追究が寄与している部分もあり、それにより単に社会を便利にただけではなく、「命」をもつないでいるのだと実感することができました。

通信の高速化・大容量化に伴い、音声のデジタル圧縮符号化技術の研究領域は先細りするともいわれていますが、必要のない研究ではありません。現に3GPPにおける国際標準化をはじめ、Beyond 5G、6Gを見据えて、研究や開発に取り組んでいる最中です。もちろん世の中への貢献をめざしていることはいうまでもありません。企業の研究者ですから会社のためになることをするのは当然のことですが、さらにその先の世の中への貢献により、自らの研究成果を使っている人の笑顔を思い浮かべて研究に勤しみたいですね。

社会にとって、研究者とはどのような存在だとお考えですか。

研究者は社会の進歩の源泉だと思っています。よく政治家と研究者を比較してお話しをするのですが、例えば、

100しかないものを200人が必要とした場合、政治家であれば、200人のうち真にそれを必要とする人に与えるか、あるいは半分にして全員に分け与えることを考えるかもしれませんが、一方で、研究者は100を200、あるいは1000にするような価値創造、クリエイションに挑みます。これはまさに私が携帯電話のデジタル化の波がやってきたときに電波を倍の効率で使うために、音声を圧縮して情報量を半分にしたのと同じ思考です。

さて、定年を過ぎた私が、フェローとして音声の研究を続けているということは、NTTが音声の研究を重要視していることの証だと思えます。だからこそ、これからは、後進の研究者の皆さんに向けて、いかに音声の研究が重要であるかと価値を説き、魅力を伝えることで音声をテーマとした研究を継続させていくことに努めていきたいと考えています。そのうえで、社会がその重要性をまだ認知していなかったとしても、これは重要であると信念を貫く研究活動はとても重要です。

研究者として、研究の流行に敏感でありながら流行に流されないこと。そして、深く追究することは重要であるけれども重箱の隅を楊枝でほじくるような研究をしないこと。論文を書くことは大切だけれども論文が書ければいいからと自己満足で研究を終わらせないこと、といった心掛けが大切だと考えます。後進の皆さんには、信念を貫けるテーマを掲げて時流を読みながら息の長い研究者となってください。

挑戦する 研究開発者たち CHALLENGERS



川崎敏行

NTT東日本
ネットワーク事業推進本部
高度化推進部 デジタル技術部門
AI技術担当 課長

技術者としての 引き出しを満ちし、 社会を変革する

AI（人工知能）技術を駆使して通信インフラ設備運用の安全性の向上と効率化に取り組むNTT東日本。地域のお客さまの課題のみならず、社会課題の本質とらえるスペシャルチームを率い、現場作業や点検作業の安全性の向上に取り組むNTT東日本 川崎敏行氏に研究開発の実際と研究開発者としての姿勢を伺いました。



AIの象徴的取り組みをめざすスペシャルチーム「AICON」

現在、手掛けている研究開発を教えてください。

NTT東日本は電柱やマンホールといった膨大なインフラ設備を有し、各現場の技術者がその点検・保守を行っています。これらの多くは人手による作業や書類による運用であり、設備の設置場所への移動を含め、多くの時間と労力を要しています。さらに、日本は人口減少や少子高齢化が急速に進行している中、こうした点検、保守に対応する熟練技術者も減少し、業務対応の稼働確保ばかりではなく、

熟練技術の継承が大きな課題となっており、デジタル化や、デジタルトランスフォーメーション（DX）による現場業務の変革が求められています。

このような背景を受け、私たちはAI（人工知能）やIoT（Internet of Things）などの最新技術を活用した効率的なオンサイト保守の仕組みづくりやアクセス・ネットワーク業務の融合によるオンサイト保守の実現をめざしています。また、建設・保全業務が中心だった設備部門についても収益拡大に貢献するためにビジネス分野へ活動の場を広げております。ネットワーク事業推進本部では、業務改革の実現をめざし、DXを支える技術に特化した多様なDX

チームを設立しています。これまで複数の組織に分かれていた各技術部隊を集約し、DXを実現するためのデータや技術、知識を一元的に蓄積することで、それぞれの技術を高めるとともに、設備系全体のDX人財育成にも取り組んでいます。

私はこのネットワーク事業推進本部に設立されたチームの中のAIチーム、AICON (AI Consulting to Operation NW事業本部) のプロジェクトマネージャー (PM)、SE、開発技術者として、AIを活用した設備運用関連システム、およびその応用システム (社外向け) の企画・開発

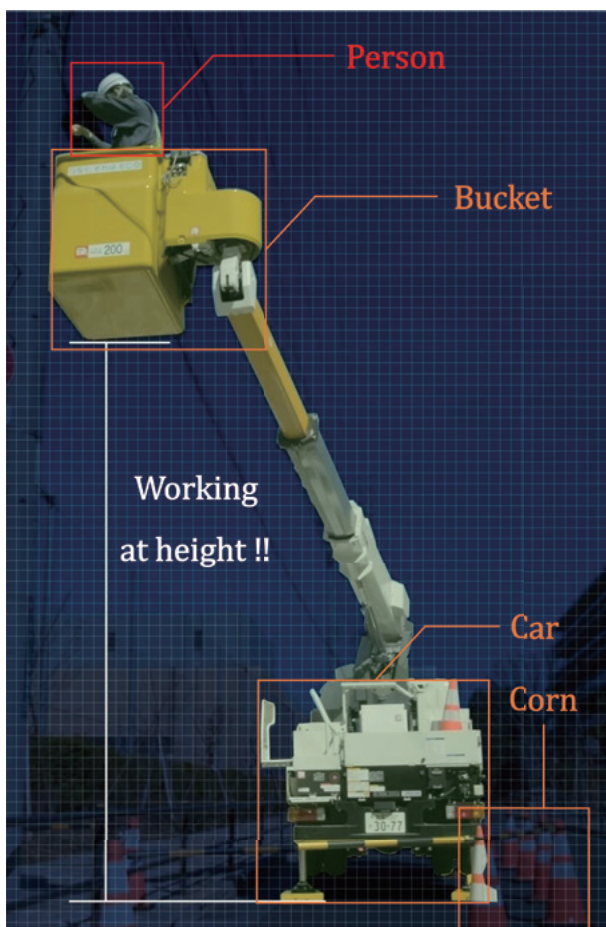


図1 危険作業検知システム

から導入・運用までを担当しています。

具体的にはどのような業務に貢献しているのですか。

AICONでは主として物体検知や異常検知の技術開発に取り組んでいます。

物体検知技術は危険作業検知システムに適用されていません (図1)。アクセス系を中心とした設備点検・保守は、電柱や鉄塔等の高所での作業も多く、作業従事者は危険と隣り合わせです。そのため、作業従事者だけでなく、後方支援をするメンバーも現場に同行し、一体となった安全管理が必要です。このため、現地に行く安全パトロール等では、安全管理のための担当者を増員しなければならず現場に負担がかかっていました。そこで取り組んだのが、ネットワークカメラとAIを活用した危険作業検知システムによる安全サポートの実現です。

まずネットワークカメラを導入して、高所作業車などによる作業の様子を遠隔からリアルタイムでの見守り・業務支援が可能となりました。そして、安全支援のタイミングを見逃さないために、高所作業車や作業員が乗り込むバケット部、梯子や作業範囲を確保するためのカラーコーン等の位置を物体検知AIにより特定し、それらの位置関係から、危険を伴う高所作業や作業範囲からはみ出す危険な状態を自動で検知して、現地事務所に通知します。検知対象となっているすべての物体に対し、90%以上の検知率を実現しました。現在、NTT東日本全域に配備された約5000台のネットワークカメラにて運用しています。

ネットワークカメラは、NTT東日本が販売しているギガらくカメラサービスを採用し、リアルタイム見守りとともに振り返りの動画確認も可能としています。AIはギガらくカメラとAPI (Application Programming Interface) 連携しているのですが、AIの推論は計算量が多く、サーバの運用コストが高くなる傾向があります。そこで、AIモデルの量子化とGPU (Graphics Processing Unit) による推論処理の最適化を検討しました。量子化



とは、より小さいビット数で表現することで、モデルの軽量化を図る手法です。また、NVIDIA TensorRTフレームワークを採用することで、GPUを効率的に利用しAI推論の高速化を実現しました。AIはAWS (Amazon Web Services) のクラウドで動作しており、カメラ台数に応じて稼働中のAIサーバ台数を自動調整するオートスケーリングによりコスト削減を図っています。

今後はさらなる利便性向上のため、現場からのフィードバックを基にAIの機能拡充やデータ収集、およびAIの再学習・評価による検出精度向上に引き続き取り組んでいきます。



作業者を孤独にせず、仲間の命も仲間が守る

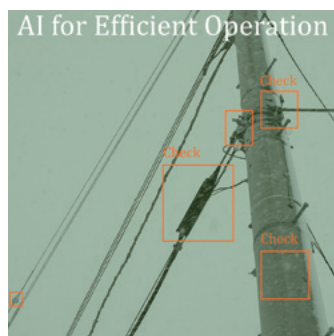
保守点検の稼働の省力化と安全管理を同時に担う仕組みなのです。

異常検知技術については、社会インフラの保守点検の稼働の省力化と安全管理を同時に担うAI活用技術として開発に取り組んでいます (図2)。

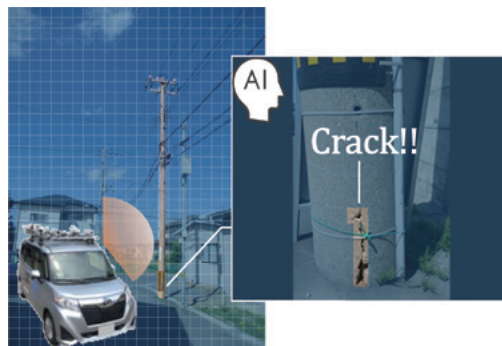
NTT東日本は東日本全域にわたって570万本の電柱や130万kmの通信ケーブルなどの膨大な設備を擁しています。安定した通信を支えるためには、これらの設備の点検や保全業務が重要となりますが、それには多くの時間と稼働が必要となります。一方で、こうした業務を担うには経験を基にした熟練スキルが必要であり、高齢化により減少



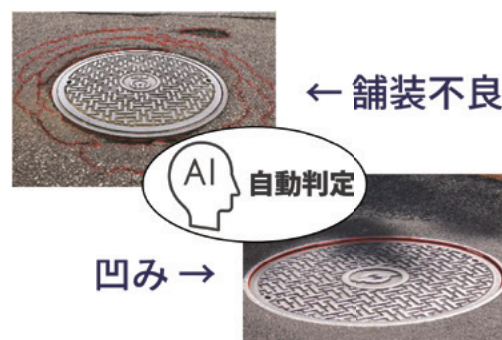
(a) Safety Operation



(b) Efficient Operation



(c) 電柱点検AIイメージ



(d) マンホール点検

図2 AI活用技術

傾向にある有スキル技術者の稼働確保やスキルの継承等の課題があります。また、社会インフラの多くは老朽化の進行という課題も顕在化しています。

これらの課題解決のため、設備の異常検知にAIを活用して、暗黙知であった熟練スキルをAI上で形式知とすることで、点検作業の効率化とスキル継承に関する課題解決を図っています。例えば、電柱の点検では、これまで1本1本目視で点検して異常の有無を確認していたものを、車両による道路周辺測量システム（MMS）等を用いて、あらゆる地点を走行しながら電柱画像を撮影し、AI画像認識によりまとめてひび割れなどの異常の特徴をチェックすることで、「異常あり」として検出します。人手では難しい大規模で効率的な点検作業を実現しました。

また、マンホールの不良検知はこれまで現場作業員が現地で撮影したマンホール内外の写真を、熟練技術者が見ることで不良箇所を判定していました。これを自動判定するAIを開発して導入し、マンホール点検の稼働と品質の最適化を実現しました。

これらの技術は大規模なインフラ設備の運用で培った知見や社内に蓄積したデータを、AIに学習させることで実現しています。

こうした技術開発にはどのような思いが込められているのですか。

NTTには、災害発生等の異常時においても「つなぐ」というDNAがありますが、それとともに建設・保守の現場においては、何事にも安全が優先する「安全第一」という安全文化があります。この安全文化は、作業中の作業者を支援し、事故の未然防止に向けたサポートを行い、「作業者を孤独にしない」「仲間の命も仲間が守る」という意識、行動の下に成り立っています。安全な作業環境をより確実なものとしていくために、クラウドやAIを活用し、作業員への安全支援の充実、危険作業の自動抽出・警告、バイタル情報による作業員の健康状態へのアラーム、安全パト

ロールの代替による危険への遭遇機会の削減等に取り組むことで、さらに安全な作業環境を構築していきたいです。

2021年度は、こうした技術を磨き上げ、社内のAIに対する期待を高めて活動の活性化を図り、日々の案件を通じて幅広い技術力向上を行い、チャレンジ風土を築き上げてきました。この成果を試す場として、チーム内の有志で社外のAIコンペにも挑戦しました。経済産業省主催のAI Questでは、チームメンバーの1人がAI課題の衣装とプレゼンテーションを行って、画像系テーマの参加者141人中総合で5位を獲得し、表彰されました。世界的にAI技術者不足が叫ばれる中、私たちのチームはこうした取り組みを通して技術力向上をしてきた結果、さまざまなAI技術を競うコンペで優秀な成績を収めるまで育ってきました。

この社内業務のDXをとおして磨き上げてきたAIを、今後は地域のお客さまの課題解決にも役立てていきたいと考えています。私たちの強みはこれまで蓄積してきた豊富なデータとそれを活用できる優れた技術者の存在です。私たちがこれまで個別の案件に対応しながら蓄積したデータや経験を基に、汎用モデルを築き上げれば、安価なソリューションを迅速に届けられます。今後はさらなる飛躍に向けて技術的チャレンジの拡大をめざします。



技術開発やAIの精度向上に正解はない

日々の業務において大切にしていることを教えていただけますでしょうか。

技術開発は、過去の経験の活用や新しい技術を取り入れることで行われますが、PMとして技術の方向性やその他判断を的確なものとしていくために、実際に手を動かすことで技術に触れ、模索することを励行しています。技術開発やAIの精度向上には正解はなく、その時々合った最適解を追求することになります。私も自らの手を動かして最新技術に触れ、少しでも良い状況判断ができるように日々



試行錯誤を続けています。

プロジェクトチームとして技術開発を行う以上、メンバーの技術育成も重要な課題となってきます。最適解を見出す努力をしてもらうと同時に、お客さまや社内から求められる施策のみが仕事ではなく、将来を見据えた自分自身の強みとなる技術を身に付けることも仕事であると位置付けて、技術育成しています。もちろんその過程においても、メンバー各自が自らの手で直接技術に触れることをとおして育成を行っています。

さて、今のポジションはスケジュール管理や技術の総合的なマネジメントに時間がかかりますし、チームメンバーの技術的な悩みを聞く時間も多くありますが、技術関連の悩みを共に解決する時間には新しい発見もあって楽しいです。とはいうものの技術開発はなかなか成果が出せずに苦しいときもあります。だからこそ情熱を胸に挑んでいればいつか成果は出ると自らに言い聞かせ、メンバーとともに悩みを共有しながら日々の業務に臨んでいきたいです。

研究開発者として貫いてこられたことはどんなことでしょうか。

入社して17年余りとなりましたが、自分で技術を見極める力を蓄えることに努めてきました。言い換えれば、技術者の引き出しを満たしていくことです。世の中はさまざまな技術であふれていますし、毎月のように優れたAIが世に送り出されています。その技術のすべてを身に付けることはできないと理解したうえで、実際に使ってみながらその技術を理解することに努めています。一例として、数値上もっとも精度の高いAIといわれていても、実際に自社のデータで使っても期待した精度が出てこないことがあります。実際に使ってみないと分からないことは多いので、書籍も鵜呑みにはせずに参考程度にして、実際に自社データを使って検証しています。

それから、前述のように、お客さまの抱えている課題の本質を把握することに重点を置き、ヒアリングする力とそれを基に試作し、お客さまと共有しながら、本質を模索す

ることを続けてきました。目の前の課題に直面しているお客さまに、課題の本質や解決の糸口を伺っても回答は出てきません。だからこそお客さまとコミュニケーションを取り、お客さまの業務を理解するとともに、お客さまにもAIを少しでも理解していただくことが重要です。お互いの意思疎通ができないまま、開発したモノが全く使われずに終わったという話も耳にします。こうした事態を招かないためにも、相互理解を深めるようお互いに学び合うことで、本質を聞き取るヒアリングの下地づくりをしています。そして、試作を基に議論を積み重ねていけるように環境を整えています。

最後に、研究開発者とは社会を変革する者であると考えています。例えば、先ほどの危険作業検知システムでは、屋外で使用するために影や光の加減等の自然環境が原因で発生する誤検知の課題を運用と技術開発のチームが協力して解決して、NTT東日本の5000班に配布・運用することで、現場業務の安全性を高めています。つまり、危険作業検知システムの開発・導入が、現場作業者の意識や行動を変えることにつながっているのです。努力が実ることはもちろん嬉しいですが、何より地域の未来を支え、変革することの嬉しさを実感しています。これからも私たちの技術アセットを社会に還元していきます。



芝原光樹 特別研究員

パラダイムシフトの中で実現する 新時代のペタビット級空間多重光伝送

光ファイバを基盤とした大容量光通信インフラは、これまで40年以上にわたりさまざまな技術革新によって、伝送可能な通信容量を増やしてきました。しかし既存の光ファイバでは、やがて伝送容量の物理限界が訪れることが見え始めています。今回は「空間多重光ファイバ」と呼ばれる新しい構造の光ファイバを利用して、従来のテラビット級容量からペタビット級容量へ飛躍的なスケーリングをもたらす次世代の「ペタビット級高密度空間多重光伝送技術」について、芝原光樹特別研究員にお話を聞きました。



◆PROFILE：2010年京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻にて修士号を取得。同年、日本電信電話株式会社に入社。2017年京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻博士課程修了。2022年よりNTT未来ねっと研究所特別研究員。次世代大容量光伝送技術基盤に関する研究開発に従事。2016年The Tingye Li Innovation Prize [Optica (旧：Optical Society of America)], 2017年電子情報通信学会学術奨励賞を受賞。

「ペタビット級高密度空間多重光伝送技術」で 未知なる光通信基盤をめざす

◆「ペタビット級高密度空間多重光伝送技術」とはどのようなものなのでしょうか。

「ペタビット級高密度空間多重光伝送技術」とは、空間多重光ファイバと呼ばれる新しい構造の光ファイバを利用し、従来と比較してはるかに大きな伝送容量を実現する技術です。現代社会において、例えばSNSを通じて自宅から地球の裏側と情報をリアルタイムに把握・発信できるのは、光ファイバを伝送媒体として構成されている光通信インフラのおかげです。これまで光通信インフラは、さまざまな技術革新によって伝送可能な通信容量を着実に増やしてきましたが、一方で既存の光ファイバではやがて伝送容量の物理限界が訪れると予想されています。その理由として、光ファイバはガラスからできているため、各波長チャネルの光パワーを増やしていった場合にガラスが溶けてしまうといった問題が生じます。またさらに光信号がガラスの物理的特性によって歪みを受けてしまうといった問題も発生します。このような問題により、長距離向けのネットワークでの伝送容量は1本のファイバ当たり、おおむね毎秒100テラビットが上限と見積もられています。

そこで「空間多重光ファイバ」と呼ばれる新しい構造の光ファイバを利用することで、現在のテラビット級通信容量からペタ

ビット級通信容量へ飛躍的なスケーリングをもたらす、次世代の「ペタビット級高密度空間多重光伝送技術」の実現に取り組んでいます。

◆「ペタビット級高密度空間多重光伝送技術」を実現するために、どのような研究を行っているのでしょうか。

これまでの光通信インフラの大容量化は、主に新しい「多重化軸」を開拓することにより実現されてきました。例えば「波長分割多重光伝送技術」では波長軸で多重化を行い、異なる情報をそれぞれ異なる光の色に載せた後に束ね、1本の光ファイバで伝送しています。同様に本研究の「空間分割多重光伝送技術」では、光ファイバの中の空間軸に「コア」や「モード」と呼ばれる光の通り道を複数用意して束ねることで、光ファイバ1本当りの通信容量拡大を実現しています。これによって例えばファイバの中に複数のコアを配置したマルチコアファイバは、各コアの中に光信号を束ねて入れることで、コアの本数を n 増やすと理論上の通信容量が n 倍になるといったように、コアの本数分だけ通信容量拡大が可能です(図1)。

しかしここでの大きな問題として、コアの中に通し方を変えた複数の光信号を通すことができるマルチモードファイバでは、伝送する際に「モード分散」と「モード依存損失」という現象が発生します。「モード分散」とは、マルチモードファイバで伝送をする際に時間的な遅れが発生し、出口側での到着時間が変わってくるという現象です。ファイバ内の光伝搬は全反射の現象とし

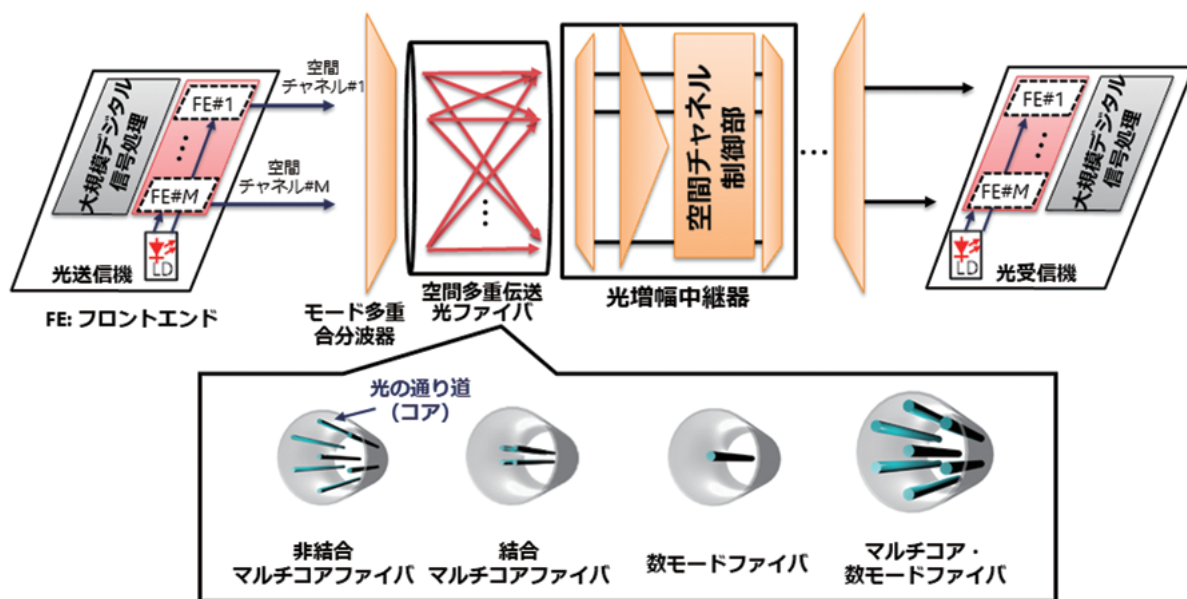


図1 「ペタビット級高密度空間多重光伝送技術」の研究概要

て例えられることが多く、従来のシングルモードでは反射角が非常に大きいものに対して、次数の高いモードの場合には反射角が小さくなり反射の回数が増えるため、到着時間が遅れてしまいます。そのため、モードに載せた信号の到着時間を補正する手間が発生し、伝送性能を制限してしまいます。また「モード依存損失」では、ファイバの中の各モードの強度分布がそれぞれ異なり、ファイバの接続点でズレが発生したかたちで接続されてしまうと損失が発生するという問題が生じます。

この「モード分散」と「モード依存損失」は距離によって累積していき、特に長距離陸上光ネットワークや海底光ネットワークのような1000 kmを超えるような伝送領域を「大容量」「高品質」に実現するためには、解決しなければならない大きな技術課題でした。

◆「大容量」「高品質」通信のための技術課題解決へ向けて、どのような研究をされているのでしょうか。

これらの現象の影響低減のため「巡回モード置換」や「干渉キャンセラ」といった基盤技術の提案を行っています。1000 km級の長距離伝送では、途中で光信号の増幅を行う光増幅中継器というものがあり、「巡回モード置換」では、この光増幅中継器でモードの入れ替えを行います。こうして1つのモードで長距離の伝送

を行うのではなく、各区間でモードの形態を変えながら伝送することによって「モード分散」や「モード依存損失」の影響を平均化して、大きな課題であった伝送における損失を低減することができます。また「干渉キャンセラ」では、光伝送において信号が互いに干渉して混ざり込んでしまうという現象（クロストーク）を信号処理で取り除き高品質な伝送を可能にしています。これは元々無線分野で広く知られた技術だったのですが、光伝送路のような変動の速い世界において検討し提案することで、クロストークを低減し「大容量」「高品質」な伝送基盤に貢献することができています。これらの、世界に先駆けて提案・実証してきた基盤伝送技術「巡回モード置換」「干渉キャンセラ」を用いて、さまざまな技術課題の解決策を提示していきたいと考えています。

◆実際にどのような研究成果を上げられているのでしょうか。

これまでに「マルチモードファイバやマルチコア・マルチモードファイバでの世界最長の光伝送記録樹立」をNTTとして達成しています。2018年には3モードファイバを使って6300 km、同じく2018年にはマルチコア・マルチモードファイバを使って3000 km、2020年に6モードファイバを使って3250 kmの報告をしており、いずれも世界最長の記録となっています。

これらの研究成果によって、マルチコアファイバを用いた長

距離光伝送だけでなく、マルチモードファイバを用いた伝送でも光信号が長距離伝送可能であることを示しました。空間多重光ファイバを実装したケーブルの問題として、空間多重構造・形態の差異により伝送性能以外にも製造コスト・耐久性・周辺デバイスとの接続親和性などの違いが出るという特性があります。そのため、将来の海底光ネットワークに対して実現形態の候補を増やすことで、将来のシステム実現へ向けた低コスト化へ寄与でき得ると思っています。

また長距離伝送システム構築するうえで、マルチモードファイバの「モード分散」や「モード依存損失」といった現象は距離に比例して累積するため、今後も長距離におけるモード多重伝送実験を続け、実際に伝送基盤として成立するのかを検証していくことが重要な研究ミッションだと考えています。

40年来のパラダイムシフトに 研究開発ができる喜び

◆今後の研究目標について教えてください。

現在では、通信を用いたアプリケーションやサービスが日々登場していますが、それを「縁の下」で支える光通信インフラも、増え続ける通信トラフィックを十分に収容可能な能力を有するかたちで進化を続けなければなりません。IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を実現する技術分野の1つであるオールフォトンクス・ネットワーク (APN: All-Photonics Network) では、大容量・高品質な光ネットワークの実現目標値として「伝送容量125倍」を掲げていますが、この数値目標を達成するために空間多重光伝送技術は必要不可欠な技術です。今後もIOWN構想実現へ向けた取り組みとして、高効率な光電融合デバイスを用いた光帯域の拡張技術や、信号空間の極限的な利用効率向上技術など進展の目覚ましい革新的技術と組み合わせることで伝送容量の拡大を実現していきます。

実際に空間多重技術の社会実装は2020年代半ばごろに進むと予想されていますが、その際には1本の光ファイバ当たり多くても10程度の光の通り道からスタートするのではないかと考えています。しかしそれによってサポート可能な伝送容量も、遠くない未来にすぐに不十分になるでしょう。そこで今後の具体的な研究目標としては、光の通り道をさらに増やした100程度の空間多重光ファイバを用いた長距離の光伝送基盤実現に取り組み、光通信インフラの持続可能な発展を支える研究開発を進めたいと考えています (図2)。

◆研究において大切にされている考え方はどのようなことでしょうか。

私は研究を進めるうえで、数100年後にも形跡が残るような仕事をしたいと思っています。私が研究している空間多重光伝送技術は、過去40年以上大きな変化がなかった光ファイバの構造を変える試みであり、光ファイバのみならず、光トランシーバ、光増幅器、光接続デバイス技術など周辺の関連技術分野にも大きな変化の潮流を生んでいます。そのため空間多重光伝送実験を行う際には、技術的・市場的に成熟していない光・電気デバイスの試作品を統合した検証実験系を組まなければならないという苦労がありますが、その一方で過去40年来の貴重なパラダイムシフトとして技術開発ができていているというのは、研究者としての大きな喜びです。例えばスポーツの記録樹立や偉大な建築物など、かたちは人によってさまざまだと思いますが、私自身は苦労して創出した研究結果が世界初・世界トップレベルのものとなり、それが国際学会や論文誌で採録されると「小さな一歩ながらも人類の科学史に貢献できた」と実感することができて大きなやりがいにつながっています。

◆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。

私が所属しているNTT未来ねっと研究所は、無線や光といった情報を送る手段にこだわらず、通信の可能性を極限まで突き詰めて切り拓く技術、そしてそれを高効率・高機能にハンドリングする技術を検討するという、NTTの中でも非常に広範な分野を取り扱う研究所だと思います。その特徴から、デバイス・システム・アプリケーションを扱うさまざまな他の研究所との交流・連携も盛んであり、社内外問わず通信の周辺分野との技術交流がしやすい点が強みだと思います。例えば光通信の分野では、社内だけでも光ファイバ、光増幅器、光変調器などのデバイスや、ネットワークといった光伝送システムにかかわる主要な技術の専門家が所属しており、相談がしやすい環境が整っています。

私は修士課程まで物理学の地球惑星科学を専攻していたため、NTTに入社するまで情報通信技術についてかかわることは全くありませんでした。しかし仕事として光通信技術に携わるようになって初めて、この技術分野の間口の広さや、さまざまな周辺技術分野を吸収する力に気づき、今現在も驚きを感じ続けています。

例えば基本的な通信方式や関連装置に関する電気電子工学や通信工学を中心に、光伝搬・制御の光学的な知識や、信号の解析・処理を行うための統計学、計算機科学、情報理論、信号処理理論についても知見は大いに役に立ちます。光学デバイスの面からは

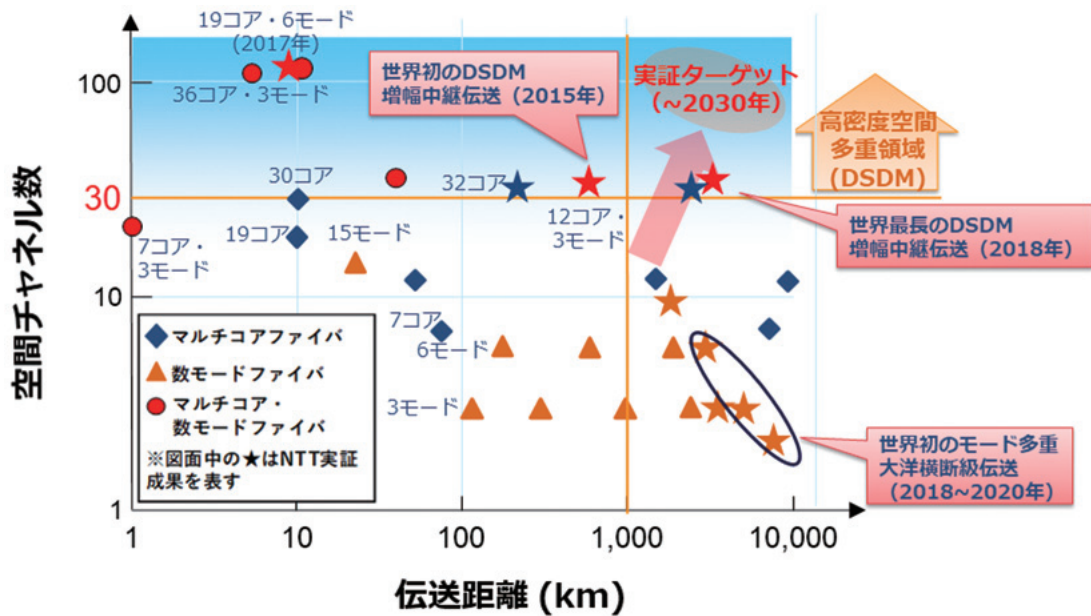


図2 光伝送記録の研究成果と今後の展望

材料・量子化学とも関連があり、アプリケーションの面では暗号理論、量子コンピュータ、AIの隆盛により流行りの機械学習や深層学習への応用検討も盛んです。

このように情報通信技術は、最先端の科学技術の粋を集めた分野であると同時に、どのようなバックグラウンドの方でも活躍のチャンスが用意されている、非常にチャレンジしがいのある分野だと感じています。また社外に出たときもこれまでの諸先輩方

の功績により醸成された産官学との強固なつながりや恩恵を感じる場面が多いように思います。NTT研究所には、世界トップレベルの成果を創出可能なヒト・モノを含めた十分な研究開発リソースや環境、そして挑戦しがいのある多くの研究課題が用意されているため、研究開発の営みを通じた社会貢献をめざす方にはぜひNTTに来ていただいて、一緒に新たな時代を切り拓く研究に取り組め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)

激変する社会課題の解決に向けた挑戦！ ワークスペース検索・予約サービス「droppin」

NTTコミュニケーションズでは、Afterコロナのフレキシブル・ハイブリットな働き方の浸透に合わせ、全国550カ所以上のワークスペースを利用できる「droppin」を提供しています。ここでは、激変する社会課題の解決に向けたdroppinの挑戦や、今後の展望について紹介します。

コロナ禍におけるリモートワークの課題

皆さんもご存じのとおり、新型コロナウイルス感染症拡大の影響で、リモートワークを導入する企業が増えました。リモートワークは従業員にとって、通勤や移動時間の削減による効率化やワークライフバランスの向上、育児や介護など、個々の事情がある方の働きやすさの向上といったメリットがあります。企業にとっても、交通費やオフィスのコスト削減、優秀な人材の確保など、企業の競争力を高めるうえでこれ以上ない働き方であるように思われるかもしれません。

しかし、実際に導入が進むにつれ、リモートワークにおける新しい課題が浮き彫りになってきました。これまで、オフィスというかたちで全員に平等に働く場所が提供されていましたが、リモートワークの環境は個々人の自宅の環境に依存するため、働くのに適した環境の人もいれば、そ

うでない人もいるのが現状です。例えば、家族もリモートワークでWeb会議がバッティングして集中できない、ON/OFFの切り替えがうまくいかずに長時間労働してしまうなど、生産性やエンゲージメントの低下につながりかねない課題が生まれています（図1）。

また、リモートワークを主流にしつつも、対面での商談や出張などの機会も徐々に増えてきており、出先でのWeb会議を実施する場所を探すのに苦労するケースも少なくありません。現に、NTTコミュニケーションズが実施した働き方に関する調査でも、ビジネスパーソンの半数以上が「社外では、機密情報の保持や周囲から生じる雑音の問題などにより適切なワークスペースの確保が難しい」と回答しています（図2）。リモートワークのシステムや仕組みは整っていても、実施できる場所の整備が追いついていないのが現状です。

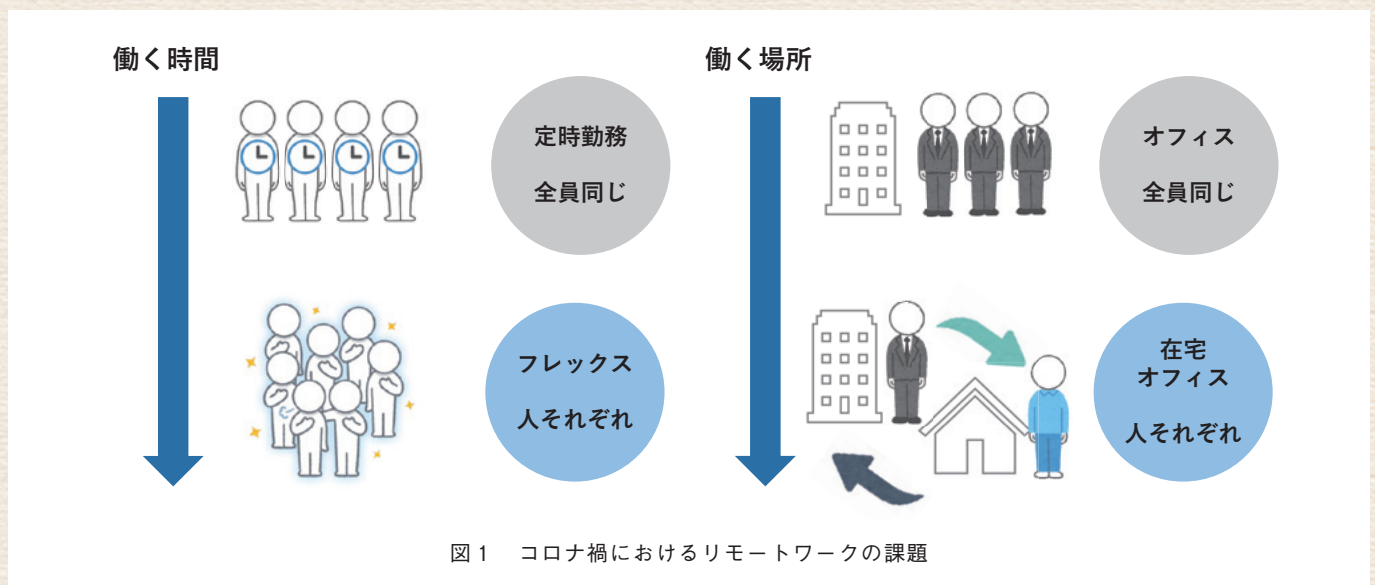


図1 コロナ禍におけるリモートワークの課題

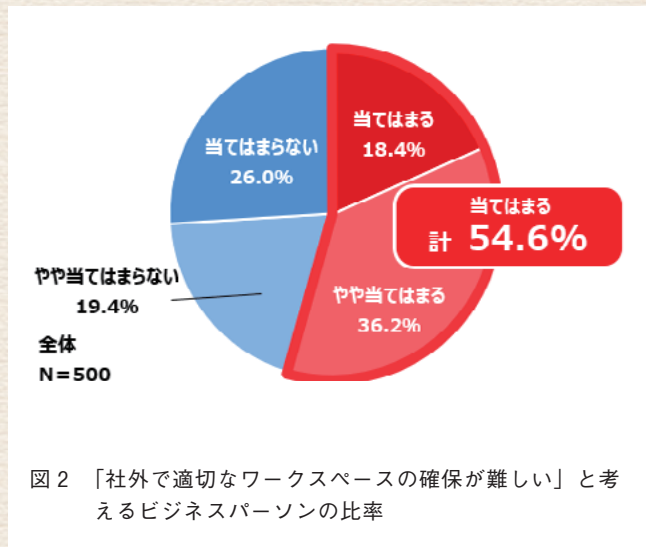


図2 「社外で適切なワークスペースの確保が難しい」と考えるビジネスパーソンの比率



図3 ワークスペース検索・予約サービス「droppin」の概要

リモートワークの課題を解決する droppin

前述の課題を解決するために提供を開始したサービスが、ワークスペース検索・予約サービス「droppin」です（図3）。利用者はスマートフォンのアプリから、ワークスペース検索・予約・入退出・支払いをワンストップで行うことができます。全国で550カ所以上（2022年12月現在）のワークスペースを利用できるので、自宅から便利な場所でワークライフバランスを保ちつつ業務に集中できますし、外出の多い営業担当者が出先で効率良く働くことも可能です。管理者からしても、droppinを利用することで、個別のワークスペースとの契約や管理、支払い業務などが不要になり、管理業務を効率化することが可能です。

これまでのリモートワークは、自宅かオフィスかという2択でしたが、「社外ワークスペース」という第3の選択肢を持つことで、働く場所の課題を解決し、業務効率化による企業の競争力の向上や、働く場所を支援することによる従業員エンゲージメント向上などを達成することができます。

また、リモートワークの課題解決だけでなく、ワーケーションや地方創生などの課題解決にも取り組んでいます。

2021年6月から9月まで実施した、「鎌倉市テレワーク推進事業実証実験」では、鎌倉市内でのリモートワーク推進や事業の活性化を目的に、droppinが市内のワークスペース事業者と提携して鎌倉市で働く人を増やすためのプロモーションなどを実施しました。実施後のアンケートやインタビューからは「家の近くで働くことで、仕事とプライ

ベートの両立ができる」「普段と違った環境で仕事できて、モチベーションや作業効率が上がった」など、好意的な意見が多く寄せられ、市内在住者のリモートワークの推進や、市内で働く人を増やすことに貢献しました⁽¹⁾。

沖縄県のワーケーション事業活性化のため2021年11月に行われた「Workcation Week Okinawa」では、ワーケーションでワークスペースを利用する際の公式アプリとして採択され⁽²⁾、沖縄県内でも多くの方にご利用いただきました。

今後浸透すると思われるワーケーションなどの新しい働き方の実現や、地方創生においてもdroppinの提供をおとして貢献していきます。

激変する社会課題解決のため、アジャイルによる素早い機能の提供

VUCA時代の激変する社会課題やニーズに対応するため、droppinではアジャイル開発を採用し、素早い機能の提供を行っています。週次でチーム全員参加のUX（User Experience）/UI（User Interface）検討の定例会議を実施し、ビジネスと開発が一体となったプロダクトの改善を実施しています。

新型コロナウイルス感染拡大の際には、個室の利用ニーズが高まったことを踏まえて、個室型のワークスペースである「テレキューブ」とのAPI（Application Programming Interface）連携を実施しました。ワークスペースの利用者だけでなく、運営者の稼働の省力化という観点から、無人のワークスペースの入退出に対応するためのスマートロック連携機能を開発し、ワークスペース運



営側の課題解決にも貢献しています。

また、リモートワークの浸透に伴い、多くの企業で課題となるのが、出社が減り使われなくなったオフィスの活用方法です。2022年10月には、オフィスの余剰スペースを特定のユーザが検索・予約・チェックイン・チェックアウトできる機能「自社スペース登録機能」の提供を開始しました⁽³⁾ (図4)。本機能を活用しオフィスの余剰スペースを特定のユーザに開放し、適切なワークスペースを提供することで、偶発的な出会いや雑談などのコラボレーションの機会創出に貢献します。

また、リモートワークが浸透したことで、グループ会社のオフィスやサテライトオフィス、コワーキングスペースなどさまざまな場所で働く機会が増え、場所ごとに利用者の予約方法が異なったり管理者の管理業務が生じたりして、業務が煩雑になっている現状があります。本機能を活用することで、企業のサテライトオフィスや会議室などの社内のワークスペースと、コワーキングスペースなどの社外ワークスペースを一元的に利用することが可能になり、働く場所の確保に関してのユーザビリティの向上も見込めます。

このように、激変する社会環境や顧客の課題を踏まえたうえで、チームが一丸となって議論を重ね、スピード感を持ってサービスの提供を行っています。

いつでも、どこでも、誰とでも働ける世界の実現に向けて

NTTグループの方針*でも掲げられているとおり、自宅を勤務地とするなどのリモートワークを主体とした働き方がさらに加速していきます⁽⁴⁾。その流れに伴い、自宅で働くことが難しい方や、出先でワークスペースを確保したい

* NTTグループは、「住む場所」の自由度を高め、ワークインライフ（健康経営）をより一層推進していく観点から、リモートワークを基本とする新たな働き方を可能とする制度（リモートスタンダード）を導入しています。



図5 いつ、どこでも、誰とでも働くことができる世界の実現

方が今後も全国で増えるため、従業員が自宅近くや出先で働ける場所をさらに増やしていく必要があります。

droppinでは利用可能なワークスペースを全国で増やしながら、企業ごとに最適なワークスペースを選択できる仕組みを提供し、リモートワークの課題解決に貢献していきます。加えて、働く場所が分散化することで、社員どうしがつながる機会の創出が難しくなるため、「自社のスペースでさまざまな社員がコミュニケーションをしている」「自社のグループ内や取引先の社員がどこで働いているか簡単に分かる」といった、偶発的な出会いを生み出す仕組みづくりにも力を入れていきます。

こうした社内外のコミュニケーションやコラボレーションを加速させるような機能の提供および、それらを活用した自身の働き方をショーケース化して展開していき、すべての働く人がいつ、どこでも、誰とでも働くことができるような世界の実現をめざします (図5)。

■参考文献

- (1) <https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/shoukou/tele-kyotei1.html>
- (2) <https://tele-okinawa.go.jp/ww2021/blog/blog-post-5/>
- (3) <https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2022/1011.html>
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/06/24/220624a.html>

◆問い合わせ先

NTT コミュニケーションズ
 プラットフォームサービス本部
 コミュニケーション&アプリケーションサービス部
 第二サービス部門 4G droppin担当
 TEL 050-3813-2554
 E-mail droppin-sws@ntt.com

NTT
docomo
gacco

デジタルテクノロジーによる学び体験で誰もが自信を持って自分の人生を選べる世界をめざす

ドコモgaccoは、デジタルテクノロジーを活用したリカレント学習包括プログラム「gllap (gacco lifelong learning & work action program)」をベースに、オンライン動画学習サービス「gacco®」や法人向けeラーニングサービス「gacco for Biz」などを展開している。「誰もが自信を持って自分の人生を選べる世界を」を会社のパーパスとしてかけ、学びをとおしてWell-beingを追求する思いを佐々木基弘社長に伺った。



ドコモgacco 佐々木基弘社長

リカレント学習包括プログラム「gllap (グラップ)」で多様な学び体験を

◆設立の背景と会社の概要について教えてください。

ドコモgaccoは、2009年9月に教育、特にeラーニング分野において、ブロードバンドを活用した新しい「学びの価値」を提供することをめざし、NTTのグループ会社「NTTナレッジ・スクウェア」として設立されました。2015年8月よりNTTドコモグループの会社として「ドコモgacco」に社名を変更し、米国発のオンラインで海外や遠方の教育機関の講義を受講できる大規模公開オンライン講座「MOOC」として日本初となる「gacco®」の提供をベースとして、事業基盤の強化と、さらなる学習サービス事業の推進をめざして、新たなスタートを切りました。

現在は、「誰もが自信を持って自分の人生を選べる世界を」を会社のパーパスとしてかけ、自分の人生を選べる世界にするための手段として、テクノロジーによる学び体験を提供しています。

◆どのような事業をしているのでしょうか。

まず創業以来提供しているのが、オンライン動画学習サービス「gacco」です。「gacco」では、本格的な大学レベルの教養講座からリスニングのためのビジネススキル講座まで、学びたい気持ちにこたえる幅広い講座をラインアップしています。さらに、講座によっては、動画等の視聴だけでなく、ディスカッションや課題提出、相互採点レポート、対面授業など、双方向でアウトプットしながらの学びも提供し、所定の基準を満たすと修了証も発行されます。

2022年12月現在で約100万人以上が登録しており、「MOOC」プラットフォームとしては日本最大となります。

創業当初は個人向けのMOOCサービスとしての「gacco」のみの提供でしたが、法人も含めた世の中のニーズに合わせて事業を拡張・変遷を重ね、2022年4月からは個人・法人向けに「gllap (gacco lifelong learning & work action program)」という包括学習プログラムをベーシックなプログラムとして展開しています(図)。

gllapは、利用者の「知的好奇心」、「入出力経験」、「自律性」の3つを学び続けるためのラーニングデザインとして、「テクノロジータッチポイントの拡張」「国内の地域エリアの拡張」「ステークホルダーの多様性の拡張」の3つの拡張アプローチにより展開する包括的な学習プログラムです。「gacco」以外にも、企業研修向けに受講状況の確認からリマインドまで簡単に実施できる学習管理機能やコンテンツ登録機能・確認テストやディスカッション等の受講機能等からなるLMS (Learning Management System) を提供する「gacco for Biz」、AIによる動画自動生成「gacco Ai movie」、VR技術を活用したチームビルディング研修、地方エリアで新しいことにチャレンジしたい方にデジタルテクノロジーによる学びで支援する「学びの地域協創アクション」など多岐にわたるプログラムで構成されています。これまで大企業から中小企業まで300社以上のお客さまにご利用いただいています。またB2B2Xの取り組みとしても、日本航空株式会社が「gacco」会員向けにJALの各職場で働く人々にスポットライトを当てた「航空業界で働く人々」講座を提供しまし



図 リカレント学習包括プログラム「gllap」

た。講座の反転学習の一環として、受講生限定のJAL工場見学を実施しました。本取り組みについてはJALグループの統合報告書「JAL REPORT2022」にも掲載いただきました。

これらの取り組みやその背後にあるコンセプトが評価されて、2022年11月に開催された日本e-Learning大賞において厚生労働大臣賞を受賞しました。

◆ リベラルアーツを充実させて 自分の人生を選べる選択肢を増やす ◆

◆ 事業を取り巻く環境はどのような状況でしょうか。

「リスキリング」という言葉を、新聞などのメディアで見ない日はないほど注目されています。政府も成長分野に移動するための学び直しへの支援策の整備や、年功制の職能給から、日本に合った職務給への移行など、企業間、産業間での労働移動円滑化に向けた指針を2023年に発表する予定です。特に、リスキリングに対する公的支援については、人への投資策を「五年間で一兆円」のパッケージに拡充するとされています。国を挙げて「学ぶ」ことへの支援を強化している状況です。ドコモgaccoとしても、創業以来テクノロジーによる学び体験の提供を行っていき中で、AIやVRといった最新の技術を取り入れながら進化し続けています。さて、2016年に文部科学省により実施された「社会人の大学等の学び直しの実態把握に関する調査研究」では、62.4%が大学等において「学び直し」を行いたくない、という結果が出ており、一方で神戸大学社会システムイノベーションセンターによる「年収と学歴と自己選択の3つと自分の幸せとの相関関係の強さ」の調査では、自己選択

が一番相関が強いという結果があり、研修・教育分野における私たちのパーパス「誰もが自信を持って自分の人生を選べる世界を」の世界観のベースとなっています。

ドコモgaccoは、もちろん社会の潮流を意識したビジネス展開を行っていますが、Well-beingを指向したパーパスに立脚した研修・教育の提供という点において、稀有な存在だと思います。そして、それを実現していくために、DXリスキリングに加えリベラルアーツに関する講座等、Well-beingと密接な関係のある講座も多く取りそえ、自己選択の幅を広げています。

◆ 今後の展望についてお聞かせください。

コロナ禍でオンラインで学習するということも当たり前のような環境になり、オンライン学習の市場も2021年で3000億円以上とわれています。また、政府や企業による人的資本の強化などが追い風となると考えられます。そして、さまざまなツールや学びの場が提供され、個人個人の学びに対して背中を押すような状況にあります。一方で、何から学ばばいいかわからない、どうすればいいかわからないという意見も多く、なかなか一歩を踏み出すことができないという現状にあります。

ドコモgaccoのパーパス「誰もが自信を持って自分の人生を選べる世界を」を、DXリスキリングとリベラルアーツを車の両輪として個人・法人向けコンテンツを充実させ、こうした人たちが一歩踏み出し、Well-beingの世界に向けて歩み続けることに、そっと手を差し伸べることで実践していきます。そして、その中で1つの目標としては、まずは「gacco」の会員を1000万人に増やしていきたいと考えています。

ステークホルダーとの共通言語でeラーニングに付加価値を

サービス事業部
佐野 隆貴 さん



◆担当されている業務について教えてください。

サービス事業部で、「gacco」「gacco for Biz」を中心にシステム・サービスの開発・保守を担当しています。開発はアジャイルの開発体制をとっているため、営業や運用チーム、お客さまからの要望に優先度をつけながら、新しい機能開発、メンテナンスをしながらより良いサービスを創出しています。

「gacco」にはお客さまだけではなく、社外のコンテンツホルダー、社内の営業部門、コンテンツ制作・運用部門等、多くのステークホルダーがかかわっています。サービスやシステムに対して、それぞれの立場でさまざまな要望が出てくるのですが、それに加えて使っている用語や要望の背景も異なることが多く、すべて共通に理解できるように話をまとめていく必要があります。とはいえ、全員が満足いくような解を出すことは不可能に近いので、最大限納得のいくところに帰着させることに苦労しますが、やりがいもあります。幸いにも当社でコンテンツ制作・運営に関する仕事をしてきたこともあり、そのときの経験も活かしています。

◆今後の展望について教えてください。

お客さまの要望をきちんとサービスに反映していくのは当然として、お客さまに対してデータに基づいてお薦めの講座をレコメンドする機能の追加、AIやVRとの連携等、eラーニングに付加価値を与えてより使いやすいものにしていくことで、お客さまを増やしていきたいと思っています。

ドコモgaccoならではのコンテンツで登録数を増やす

ビジネスプロデュース事業部
馬服 美季 さん



◆担当されている業務について教えてください。

ビジネスプロデュース事業部で、「gacco」の公開講座の提供元や、法人向けeラーニングサービス「gacco for Biz」の法人営業を担当しています。6名のチームなので、直接営業だけではなく、Webによるオンライン営業、代理店営業も行っています。

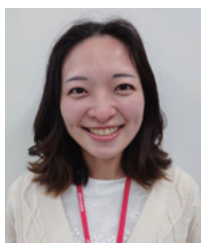
営業活動をするうえで、コンテンツは非常に重要なポイントになります。100講座以上の数量、バリエーションはもちろんですが、ただ集めるのではなく、他にはないコンテンツ、ドコモgaccoならではのコンテンツにより訴求していくことになります。そのうえで、こうしたコンテンツを組み合わせるパッケージ化していくことで、より付加価値の高い、便利で役に立つコンテンツに仕上げていることに注力しています。

◆今後の展望について教えてください。

教育をとおして人のWell-beingを追求するような壮大で息の長いテーマのビジネスですが、それを着実に進めていくためにも、サービスを磨き続けていきたいと思っています。おかげさまで「gacco」の会員数も100万人以上と順調に伸びてきておりますが、より多くの人に学ぶ楽しさを伝えていけるように私自身も努力していきます。

レコメンドに向けて質の高いデータを提供するために日々勉強

コンテンツ事業部
沼尻 菜梨 さん



◆担当されている業務について教えてください。

コンテンツ事業部で、法人向け講座に関する講座提供元からの動画を含む素材の編集、「gacco」「gacco for Biz」のプラットフォームに向けた変換や登録等を担当し

ています。お客さまのご要望に応じて、撮影から、コンテンツ制作・編集まで行うこともあります。

素材単位に役割分担しながら一連の業務を行っているのですが、入社配属されて1年目でもあり、まずは個々のプロセスを確実に遂行するとともに、各プロセスがスムーズに連携して業務が回せるように自身のスキルアップを優先課題として取り組んでいます。

◆今後の展望について教えてください。

「gacco」のプラットフォームでの、レコメンド機能の開発に取り組んでいきたいです。役に立つレコメンドにするためには、その基となるデータの質が大きく影響します。良いデータを提供していくためにも、お客さまと接する機会等を利用して、自らの知見を広め、高めていきたいと思っています。

ドコモgacco ア・ラ・カルト

■全員参加のオンライン社内研修

リモート環境下のコミュニケーションが課題といわれていますが、大学教授が制作したチームビルディングプログラムを、ドコモgaccoのスタッフ向け社内研修として、社員、派遣社員等約40名がオンライン参加で実施しました。研修では、音声のみのコミュニケーションで試してみる等、いくつかの試みがなされ、結果は大学教授の研究サンプルになったり、自社のサービス提供方法へのフィードバックにつながったりと、良い成果が出たそうです。もちろん研修そのものの成果もあり、コミュニケーションが活性化し、円滑になったことはいまでもありません。

■「ありがとう」を伝えるキックオフ

ドコモgaccoでは半年に一度キックオフを行い、佐々木社長よりその時の会社を取り巻く状況や今後の会社の戦略などを、契約形態にかかわらず全スタッフに向けて1時間かけて説明しています。

説明の中では、途中でクイズを入れたり、スタッフからはチャットでコメントをしたりするなど、双方向でのコミュニケーションも意識したドコモgaccoならではの全員参加型キックオフになっています。

そんな一体感のあるキックオフの中で最後に佐々木社長が必ずお伝えしている言葉があるそうです。それは、「ありがとう」の反対語は「当たり前」。事業は変遷する中でもスタッフへの感謝の気持ちを忘れない、スタッフ間でもお互いに感謝の気持ちを忘れないでほしいという熱い想いを表す言葉です。スタッフ間にもその気持ちは浸透していて、インタビューに応じてくれた人たちからも互いへの感謝の思いがひしひしと伝わってきました。

■組織横断プロジェクトチーム

四半期を周期に3項目程度のテーマで組織横断のプロジェクトチーム（ワーキンググループ）が立ち上がり、検討から実行まで行われるそうです。サービス開始から一度も変わっていない、一度も手を入れていない「gacco」のサービストップページをリニューアルするというテーマのチームに参加したメンバーは、一体感を感じながら通常業務とは異なる視点で取り組むことができ、新鮮で面白かったうえに、その経験が日々の業務にも活かせると目を輝かせながら話していました。