

NTT

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可
令和2年12月1日発行 毎月1回1日発行 第32巻第12号(通巻381号)

12

DECEMBER 2020
vol.32 No.12

技術ジャーナル

特集

将来の情報処理基盤実現に 向けた取り組み

トップインタビュー

菅原 英宗

NTTコミュニケーションズ 代表取締役副社長

グループ企業探訪

NTTコム オンライン・マーケティング・ソリューション

from NTT東日本

通信ビルエッジを活用したGPU・データレイクの技術開発

特別連載

ムーンショット・エフェクト

——NTT研究所の技術レガシー

4 トップインタビュー

菅原 英宗 NTTコミュニケーションズ 代表取締役副社長
自ら始める, 共に高める, 社会に応える



10 特集

将来の情報処理基盤実現に向けた取り組み

12 将来の情報処理基盤実現に向けた取り組み

16 IOWN時代のAIサービスを支える高効率イベント駆動型推論

23 高品質・高信頼なデータ流通でデータ中心社会を実現する
次世代データハブ技術

29 ディスアグリゲータッドコンピューティングの実現に向けて

35 テスト活動データを分析してバグを狙い撃つテスト自動化技術

40 主役登場 倉林 利行 (NTTソフトウェアイノベーションセンタ)



41 特別連載 ムーンショット・エフェクト ——NTT研究所の技術レガシー

第4回 スマホ通信でも活躍する光ファイバ

46 from ★NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル

5G通信に対応した移動端末の開発

NTT 技術ジャーナル

56

挑戦する研究者たち

五味 裕章

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員

多面的に考えて、自らが楽しくなるように発想転換。
自分だけでなく、社会を楽しませようと
することも



62

グループ企業探訪

NTTコム オンライン・マーケティング・
ソリューション株式会社

プロフェッショナル集団による
データ解析・応用ビジネスのトップランナー



66

from NTT東日本

通信ビルエッジを活用した
GPU・データレイクの技術開発

71

Event Reports

「5G Evolution & 6G Summit」開催報告

74

グローバルスタンダード最前線

IEEE 802.11作業班における
次世代無線LAN標準化の最新動向

Focus on the News

イベント 78

読者の声 87

1月号予定

編集後記

総目次 88

本誌掲載内容についての
ご意見、ご要望、お問い合わせ先

一般社団法人電気通信協会内

NTT技術誌事務局

TEL (03) 3288-0608

FAX (03) 3288-0615

E-mail jimukyoku2008@tta.or.jp

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 <http://www.ntt.co.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2020

●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。

NTT技術ジャーナルはWebで閲覧できます。

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

View from the Top



NTTコミュニケーションズ
代表取締役副社長

菅原 英宗

PROFILE :

1987年日本電信電話入社。2016年NTTコミュニケーションズ取締役、2018年NTTコムソリューションズ代表取締役社長、2019年NTTコミュニケーションズ代表取締役常務取締役を経て、2020年6月より現職。

自ら始める、

共に高める、

社会に伝える

新型コロナウイルス感染拡大により劇的に変化した社会において、デジタルトランスフォーメーション（DX）は一気に加速しています。創立20周年を迎えたNTTコミュニケーションズは組織を再編成し、国内外のお客さまに安心・安全なデータ活用の実現への貢献をめざします。「3S（Simple, Smart, Speedy）+S（Secure）」をコンセプトにデータ社会への貢献とデータ活用、IOWN構想の実現に資する技術開発、仕組みづくりに挑む、トップとしての意気込みや哲学を菅原英宗NTTコミュニケーションズ代表取締役副社長に伺いました。

深化と探索を社全体で実践できる企業へと成長

副社長としてどのようにビジネスに臨まれていますか。

社員も、お客さまも、パートナーもワクワクするような、そんな会社になりたいと考えています。私たちの技術を活かして価値創造し、ステークホルダすべてがワクワクする未来を生み出したいです。そして、深化と探索を社全体で実践できる企業へと成長し、社会貢献へつなげていきたいと考えています。

2019年7月、NTTコミュニケーションズの海外事業部門、Dimension Data、NTTセキュリティ等を統合し、NTT Ltd.が営業を開始、NTTコミュニケーションズはNTT Ltd.と国内外をシームレスに連携しながら日本のお客さまのグローバルビジネスにしっかりと応えていくこととなりました。

一方、国内ではデータ活用、デジタル化、データドリブンといったキーワードの下、お客さまの経営や事業が大きな変革期を迎え、デジタルトランスフォーメーション（DX）が注目されるようになりました。こうした動向に3S+Sで対応していくために、2020年4月、「業界別ソリューション提供体制」と「プラットフォームサービス提供体制」を軸とした組織の再編を実施しました。

私はこの新しい体制において、プラットフォームサービス、技術イノベーション、情報セキュリティ、DXを担当しています。

3S+Sとは何でしょうか。

「3S (Simple, Smart, Speedy) +S (Secure)」は、他社よりもシンプルでよりスマートなサービスやソリューションをお客さまのスピード感でさらにセキュアにお届けするというコンセプトで、Smart World実現に向けた取り組みを加速するために設定しました。このコンセプトの下、私たちはOne Teamとして次の4つの主要組織を軸にビジネスを展開しています。

ビジネスソリューション本部では、Smart Worldの実現と、お客さまのDXを支援するため、金融、公共、製造、流通、外資/ITサービス業界を中心とした業界別のコンサルティング型営業により、お客さまの事業、業界、社会のニーズにマッチした最適なソリューションを提供しています。ここにデータ利活用を軸に、お客さまやパートナーと一緒に新たな世界を想像するSmart World推進室を配置しました。教育や製造業等各領域のデータが有機的に利活用され、社会課題解決へつながるように取り組んでいます。2020年度は200人体制で本格的に活動を開始して順次新たな領域への拡大を予定しています。また、ビジネスソリューション本部はお客さまにもっとも近い距離にいる「真のパートナー」として、私たちのケイパ

ビリティを最大化し、B2B2X拡大に向けてもお客さまや他のNTTグループ企業との協業を推進しています。

プラットフォームサービス本部では、私たちのコアコンピタンスであるネットワークやデータセンタにさらなる価値を加え、デジタル社会に求められる安心・安全なサービスの開発と提供を担います。スマートデータプラットフォーム (SDPF) では、データの収集、接続、蓄積、分析といった機能の充実を図っていきますが、特にゼロトラスト型のSASE (Secure Access Service Edge) モデルの導入やローカル5Gなど、アクセス関連のサービスを開発しています。またオペレーションのサービス化とIT/OTセキュリティ強化を図り、これらをマネージドサービスとしてワンストップで提供していく考えです。UX (User Experience) の視点での開発を進めるためにも、Smart WorldとSDPFを両輪で回す仕組みとマーケットインの発想が大切です。

イノベーションセンターでは、技術をベースにこれまでの事業ドメインにとらわれない新たな価値や世界観を創出します。技術戦略、プロデュース、テクノロジー、デザインの4部門が5年、10年先の未来を見据えてオープンイノベーションで新規事業を創出・推進します。ここにはビジネスプランナー、デジタルエンジニア、デザイナー等200名が集い、CoE (Center of Excellence) として、先にお話したビジネスソリューション本部とプラットフォームサービス本部と連携を図りながらお客さまへの提案・提供をサポートします。また、この他パートナー



やお客さまと共にまだ見ぬワクワクする未来と一緒に考えつくるオープンイノベーションやC4BASEという共創コミュニティの場の提供なども進めています。

そして、デジタル改革推進部は自らのDXによる成功事例・データドリブン経営のノウハウ等を提供します。データ基盤の整備や、データサイエンティストのCoEとセキュリティのCoEによる、データドリブンマネジメントの実現やワークスタイル改革、業務効率化・生産性向上に臨みます。Smart Worldの実現にはDXを社会全体に推進しなくてはなりません。私たちのこうした取り組みを「ショーケース化」することは、DXを浸透させ、ひいては社会貢献につながると考えています。

新型コロナウイルスの感染拡大により社会は一変しましたが、私たちはニューノーマルな社会の期待に応えるべく、共に「頑張ろう」と皆で取り組んでいます。

社員が「頑張れる」場所を整える

「頑張ろう」という言葉の裏側には大きな責任が伴うと思います。
「頑張ろう」にはどんな思いが込められているのでしょうか。

難しい質問ですね。「頑張ろう」というのは確かに一言です。でも、私自身が頑張らないと、皆さんには頑張ってもらいだけません。また、社員の立場では解決が難しいことでも、私のようなマネジメントの立場なら解決できることもあります。そして大切なことは、マネジメントの立場が頑張ることで皆さんに貢献できることの1つは、社員が頑張れるように環境を整えていくことなのだと考えます。昨年、私たちは会社創立20周年を迎え、これを機に「自ら始める、共に高める、社会に応える」ことを信条として掲げました。立場に関係なく、頑張れる（チャレンジできる）こと、それぞれの立場で頑張る（チャレンジする）という組織としての文化を醸成していきたいです。

それから、自ら新しいチャレンジをしながらお客さまのチャレンジを支えていきたいと考えています。併せて、先駆的な取り組みも時代の流れを読むこともどちらも大切な視点ですから、お客さまのチャレンジを支えていくには、先駆的になりすぎてもいけないし、支える側に徹

してもいけません。非常に難しいことではありますが、バランスをとりながら進めていきたいと思います。私たちの組織なら実現できます。

先駆的な取り組みという意味では、研究所の新しい基礎的な研究・技術開発の取り組みがあります。研究所には先駆的な取り組みをしていただきながら、時代の流れを先読みするために第一線の現場の声を聞いていただきたいと思います。最先端の営業と最先端の研究者が連携したら向かうところ敵なしです。

私はNTTの中で衛星通信事業に携わっていたこともあり、NTTの研究所とは古くから付き合いがあり、一緒に人工衛星開発・打ち上げを手掛けていたこともあります。それから、NTTレゾナントの創業にも携わりました。創業当時は研究所から出向してきた約200人とともに働いていました。こうした経験もあって、事業において研究所のリソースを活用できることがいかに恵まれているかはよく理解しています。これまで研究所にすべてお任せだった部分も役割分担して、研究者の皆さんも頑張れるように、私たちがお客さまに研究成果を責任もって届けたいと考えています。しっかりと自らの才能を活かし、新しい何かを生み出していただきたいと思います。また、先ほどご紹介したイノベーションセンターに配属した社員が皆さんの生み出した成果を見極め、活用できるような体制を整えて伴走します。





研究開発部門に大きな期待を寄せていらっしゃるんですね。

世界の最先端を行く基礎研究からその応用・実用化に至るまで兼ね備えたNTTの研究所はありがたい存在です。その成果を活用してサービス等に昇華させることで、世の中に貢献していくことが、その恩恵に応えることだと思います。その先を行く話として、お客さまと研究レベルでの協業というのも考えていく必要があります。そのためにも、積極的に研究所とディスカッションしていきたいと思います。最近気になるキーワードとしては5Gのクラウド化、量子暗号化などです。また、研究所技術ではデータ利活用時に必要となるセキュリティ技術、特にゼロトラスト化などにも興味があり、イノベーションセンターでも取り組んでいます。

こうした流れの中のトピックとして、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想実現に向けて研究所と連携していくIOWN推進PTをイノベーションセンター内につくりました。プロジェクトでは、IOWN構想の中でオールフォトニックネットワークとオーバーレイソリューションを早期に実現することを意識して、まずデータセンタ内のネットワークへの適用を見込んでいます。そして、この実現に向けた活動の中で、研究所と連携して、武蔵野データセンタにもIOWN技術を使ったショーケースもつくりたいです。

その他のトピックとしては、将来到来するであろう宇

宙の時代に向け、NTT宇宙環境エネルギー研究所とも連携して、宇宙ビジネスを模索していきたいです。

IOWN構想のコグニティブファウンデーションを実現していくためには、NTTグループ内における技術の共通化、アーキテクチャの共有化は重要で、これによりお客さまにワンストップでサービス提供できる基盤を整えることができます。逆に共通化に向けてIOWNがいいターゲットであり、研究所と連携してこれを推進していきたいと考えています。

一歩前へ、一歩先へ、一歩外へ

最後に副社長が仕事をするうえで大切にされてきたことを教えてください。

「一歩前へ、一歩先へ、一歩外へ」という言葉を大切にしています。個人でも組織でも同じことで、一歩前、先、外へ行くと見える世界は違います。その違いを経験すると、違う発想、違う行動が生まれてきます。しかし、その一歩が出ないことも、出られないこともたくさんあります。だからこそ、私はあえてこの言葉を大切にしています。

これまで、判断ミスや失敗をして、一歩出ておけばよ

かったと後悔したこともあります。さらに、その失敗が後まで響き、他の人に迷惑をかけてしまい、申し訳なかったと思うこともあります。覚悟が足りなかったと思うこともあります。こうした中には、世界的な大きな事件や出来事、自分の判断の及ばない物事の影響があることもあります。一方で、社会の流れや時代の潮目を読むことは大事ですが、十分に備えていても良い結果が得られないときもあります。だからこそ、自分を信じて一歩出ることが大切になると考えているのです。

失敗してもそこには必ず学びがあります。経験を教訓として、次につなげていくことを考えることが大事なのです。先般、不正アクセスを受け、お客さまをはじめとして皆様にご迷惑をお掛けした件については、万全を期

していた「つもり」が招いた事象だったと反省していますが、この原因究明から対処等において、社員の活躍に助けられた点が多く、また社員のスキルの高さも再認識しました。そして多くの反省と共に教訓を得ることができました。このときの教訓を活かし、当社の財産でもある社員のスキル、パワーにより、お客さまに貢献していき、そして、お客さまやパートナーがワクワクするような会社で成長していきたいと考えています。そのためにも、まずは社員がワクワクしながら活躍する、魅力を持った会社でありたいです。

(インタビュー：外川智恵/撮影：大野真也)

※インタビューはマスク着用のうえ、ソーシャルディスタンスを保って行われました。

インタビューを終えて

「こうして改めて質問されると自分を再認識するものですね」インタビューを一通り終えて、写真撮影の準備が整うまで菅原副社長とお話していたときのことです。すでに、十分なほど私たちの質問にはお答えくださったのですが、副社長は改めて失敗談についてお話をくださいました。しかし、そこに悲壮感はありません。失敗から何を学んでどうつなげていきたいと考えているか、そして、私たちを励ますかのように「自分の力の及ばないことで失敗することもある」とおっしゃるのです。福島県出身の菅原副社長は、連続テレビ小説という番組で放映中の「エール」というドラマにも大いに共感されることもあるとか。こんなふうにさりげなく私たちにもエールを送ってくださり、非常に温かな方という前評判と呼応するように、温かくインタビューを締めくくってくださいました。そんな菅原副社長のご趣味はゴルフ。写真撮影をする際、「重心を足の裏においてください」というスタッフの声に反応し、スイングして和ませてくださり、愛犬のお話では「(愛犬にとって)ご主人様は妻で、私とごん(愛犬の名前)は同列なんですよ」と笑わせてくださいました。ご趣味をさらに伺うと、日課の散歩に週末のラーメンの食べ歩きと、とても和やかに日々を送る様子をお話くださる一方で、技術や研究開発のイベントにはすべて参加して、熱心に関係者とお話をしていると言います。穏やかな語り笑顔の下に隠された熱い思いと、目の前に起こるすべてのことを巧みに使って最高の今をつくり上げる技を見せていただいたひとときでした。



将来の情報処理基盤実現に向けた取り組み

データ流通



IOWN



データガバナンス

ポストムーア



ソフトウェアテスト

実世界のデータからさまざまな価値を生み出す「データ中心社会」が到来しようとしている。また情報化社会の進展に伴い、システム基盤やソフトウェア開発手法への要求はより一層高まっていくと考えられる。本特集では、データ中心社会を支え、社会・技術の進化に対応できる将来の情報処理基盤の実現に向けた取り組みについて紹介する。

Information Pr Infrastructure

将来の情報処理基盤実現に向けた取り組み

データ中心社会を支え、社会・技術の進化に対応できる将来の情報処理基盤の実現に向けたさまざまな技術課題と、NTT研究所の取り組みについて紹介する。

12

IOWN時代のAIサービスを支える高効率イベント駆動型推論

データ中心社会を支えるデータ分析・価値化技術の1つとして、イベント駆動アプローチによるAI推論について紹介する。

16

高品質・高信頼なデータ流通でデータ中心社会を実現する次世代データハブ技術

データ流通における課題とそれらを解決するデータハブの概要、およびデータハブの主要機能であるデータガバナンスを構成する技術について紹介する。

23

ディスアグリゲータッドコンピューティングの実現に向けて

不揮発性メモリや高速インターコネクトのような特定用途に特化したハードウェアを活用する技術と、多数のコアを持つCPUを並列処理で性能を引き出す技術を紹介する。

29

テスト活動データを分析してバグを狙い撃つテスト自動化技術

NTTソフトウェアイノベーションセンタが取り組んでいるテストを飛躍的に効率化する技術について解説するとともに、将来展望についても紹介する。

35

主役登場

倉林 利行（NTTソフトウェアイノベーションセンタ）
人とAIが協働してプログラムをつくる未来世界の実現に向けて

40

rocessing

将来の情報処理基盤実現に向けた取り組み

実世界のデータからさまざまな価値を生み出す「データ中心社会」が到来しようとしています。また情報化社会の進展に伴い、システム基盤やソフトウェア開発手法への要求はより一層高まっていくと考えられます。本稿では、データ中心社会を支え、社会・技術の進化に対応できる将来の情報処理基盤の実現に向けたさまざまな技術課題と、NTT研究所の取り組みについて紹介します。

きはら 木原 誠司^{†1} たなか ひろゆき 田中 裕之^{†2}
あらかわ ゆたか 荒川 豊^{†2}

NTTソフトウェアイノベーションセンタ 所長^{†1}
NTTソフトウェアイノベーションセンタ^{†2}

情報処理基盤を取り巻く環境

実世界の問題を、実世界のさまざまなデータを用いて解決していくプロセスはますます重要となりつつあります。製造業においては工場稼働データに基づく予実管理や設備の故障予測、小売業においては気象データに基づく需給予測や顧客行動データに基づくマーケティングや動線設計など、そのようなプロセスの事例は枚挙に暇がありません。データから価値を生み出すという意味で、このようなプロセスを私たちは「データ価値化」と呼んでいます。企業間競争の激化や環境問題・社会問題の深刻化に加え、新型コロナウイルス感染症の流行により加速されたリモート型社会への移行等により、社会全体にデジタルトランスフォーメーションが求められ、データ価値化への期待は高まる一方です。このような背景から、私たちは、意思決定や最適化、未来予測など、あらゆる場面でデータに基づき価値を生み出す「データ中心社会」が到来すると考えています。データ中心社会におい

ては、多種大量のデータの流通や分析の礎となる情報処理基盤の役割がより重要になると考えられます。

一方、これまでの技術的歴史を振り返ると、情報処理基盤は弛まぬ進化を遂げてきました。システム基盤の観点では、まずプロセッサの性能向上が、微細化によるシングルコアCPUの高速化、そしてマルチコア化により実現されてきました。またサーバ単体によるプロセッシングから、分散・並列化による高速化・スケール化へと進化したように、システム全体の高速化・高度化も進められてきました。ソフトウェア開発手法の観点では、基幹システム等の大規模・高品質なソフトウェアが求められる場合に適したウォーターフォール型開発が旧来より用いられてきましたが、近年ではユーザビリティや開発の迅速性が求められるWebアプリケーション等の開発に適したアジャイル型開発も広く取り入れられるようになってきました。情報化社会の進展に伴い、このような技術の進化は今後も求められ、継続していくと考えられます。

このような背景から、NTTソフトウェアイノベーションセンタ（SIC）では、将来の情報処理基盤の実現に向けて、データ中心社会を支える研究開発と社会・技術の進化に対応できるシステム基盤・ソフトウェア開発手法の研究開発について、ハードウェアやセキュリティなど関連する技術を専門とする各NTT研究所とも連携して取り組んでいます。

データ中心社会を支える研究開発

データ中心社会におけるデータ価値化の大まかな流れを図に示します。まず実世界の各所において、センシングデータやログデータ等として実世界のモノやコトに関するデータが生成・収集され、蓄積されます。次に、このデータを分析・変換し、これに基づき問題を解決すべく実世界へ働きかける活動を行います。多くの場合、この活動により変化した実世界について、またデータ収集していく、という循環を繰り返すことで、漸次的に改善したり、実世界の変化に継続的に追従したりします。データをエビデンスとして、実世界

へフィードバックをかけていくこのようなプロセスにより、堅実に実世界を良い方向へ動かし、さまざまなドメインの顧客に価値を提供していくことが可能となります。

このようなデータ中心社会のバリューチェーンを支えるべく、以下のような情報処理基盤技術の研究開発に取り組んでいます。

(1) データ分析・価値化技術

データ価値化の適用範囲は幅広いと考えられますが、それだけに画一的なやり方でうまくいくものではありません。どのようなデータを、どのように用いて、どのような価値を創出するのか。真に役に立つデータ価値化の方法を見つけるには、各ドメインにおいて具体的な問題と向き合い、入手できる多様なデータと多様な分析方法から、適切な組み合わせを見つけるための試行錯誤を行う必要があると私たちは考えています。さまざまなシーンでデータ価値化を実現していくためには、そうした試行錯誤の効率化や高度化が必要不可欠となるでしょう。私たちは、試行錯誤の効率化や高度化、そしてそれらの自動化まで

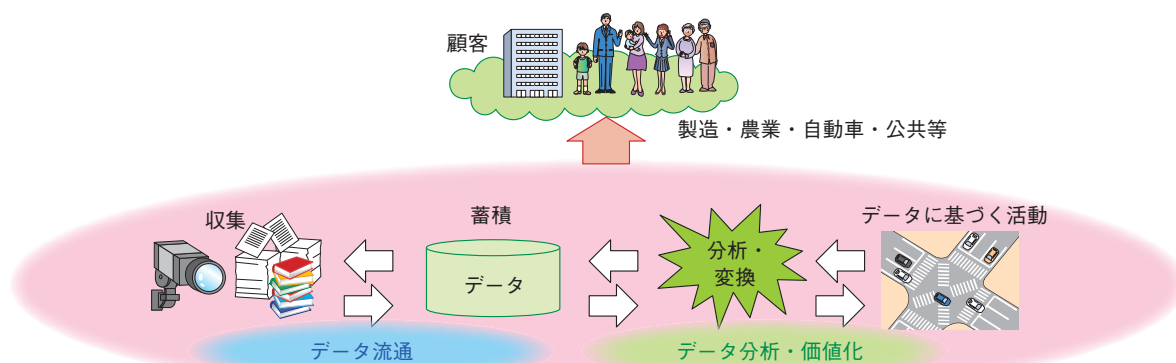


図 データ中心社会のバリューチェーン

をめざし、研究開発に取り組んでいます。

また、データ価値化の方法を見つけたとしても、必要となるデータの処理量が膨大で、期待される時間内に価値を創出できなかったり、創出する価値よりも大きなコストが発生したりするようでは、現実的な問題の解法とはなり得ません。例えばデータ解析手法として期待が高まるAI（人工知能）技術は、高度化により適用範囲が広がる一方で、処理量の増大が問題となっています。本特集記事『IOWN時代のAIサービスを支える高効率イベント駆動型推論』では、IOWN時代の「ヒトの能力を超える」AIサービスの実現に向け、大量の映像データに対するAI推論処理を効率化する技術について紹介します。

(2) データ流通技術

分析対象となるデータを効率良く収集できる技術も必要です。実世界のデータは容易に入手できるものばかりではありません。センサの故障や計測タイミング等の影響で必要なデータすべてが得られない場合もあれば、プライバシーやビジネス上の理由からデータを入手できない場合もあります。また、データが実世界のあちこちで発生しないし蓄積していて、データ収集・複製によるネットワークやストレージの性能・容量圧迫や、複製データに対してデータ所有者の権限やライフサイクル管理が及ばなくなるなどの問題も発生します。このような問題に対する取り組みの1つとして、本特集記事『高品質・高信頼なデータ流通でデータ中心社会を実現する次世代データハブ技術』では、NTTセキュアプラットフォーム研究所などと取り組む次世代データハブ技

術について紹介します。本技術により、世界中で生み出される膨大なデータが、企業などの閉ざされた組織内で利用されるだけにとどまらず流通し、従来は出会うことのなかったデータやノウハウを掛け合わせることで新たな価値を生み出せるデータ中心社会の実現をめざしています。

社会・技術の進化に対応できる システム基盤・ソフトウェア開発手法

情報化社会の進展に伴い、データの流通量・分析量は爆発的に増大し、データ流通・分析を担うシステム基盤にはより一層の性能向上が求められると考えられます。また、多種多様なデータを活用した新たなサービスが出現するとともに、その個別化・カスタマイズ化が加速し、より効率的・高速なソフトウェア開発手法が求められるようになるでしょう。

このような進化に応じ、システム基盤やソフトウェア開発手法の進化を継続・加速させるため、以下のような研究開発に取り組んでいます。

(1) システム基盤技術

「ムーアの法則」は限界にきている、あるいは終焉した、と言われていますが、これはCPUの処理性能だけに依存して発展した時代の終わりを意味します。このような時代を迎えた今、GPU（Graphics Processing Unit）やFPGA（Field Programmable Gate Array）に代表される特定用途に特化したハードウェアの効果的な活用は、高速・高効率なデータ処理を実現するための大きな技術課題であると考えられます。このような

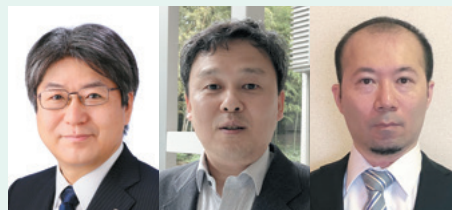
課題の解決に向け、市中ハードウェアを活用するだけでなく、各種演算資源を高速接続する光インターコネクト技術の研究開発に取り組むNTT先端集積デバイス研究所や、光を用いて問題を高速に解くイジング型計算機の研究開発に取り組むNTT物性科学基礎研究所とも連携しつつ、研究開発を進めています。本特集記事『ディスアグリゲートドコンピューティングの実現に向けて』では、ムーア則の限界を超えた高速高効率データ処理を可能とするシステム基盤の実現に向けた、特定用途に特化したハードウェアを活用した処理の分業化や、多数のコアを持つCPUの並列処理によって性能を引き出す取り組みについて紹介します。

(2) ソフトウェア開発技術

多様化・曖昧化するビジネスの要件とビジネスの進化スピードに対応するため、ソフトウェア開発における人の作業の一部をAIが代替・超越する技術の研究開発に取り組んでいます。これにより、AIと人が協働できる新たな高速開発手法の実現をめざしています。こうしたAI開発技術の1つとして、本特集記事『テスト活動データを分析してバグを狙い撃つテスト自動化技術』では、ソフトウェア開発のテスト工程において、実際のテスト活動データを逐次収集・分析することにより、品質の疑わしい個所を的確かつ集中的にテストすることでテスト工程を大幅に効率化するとともに、確実な品質確保を行うテスト自動化技術について紹介します。

今後の展開

データ中心社会を支え、社会・技術の進化に対応できる将来の情報処理基盤の実現に向けては、本稿で述べたようにさまざまな課題を解決していく必要があります。さまざまな産業分野のパートナーの方々、学術分野・技術分野の専門家の方々とのコラボレーションを通じて、各技術の早期確立をめざしていきます。



(左から) 木原 誠司 / 田中 裕之 /
荒川 豊

ソフトウェアに関するエンジニアの力と研究者の力、SICが持つこれら2つの力に加え、各NTT研究所の力、そしてOSS（オープンソースソフトウェア）活動を含む世界中のさまざまな方とのコラボレーションにより、将来の情報処理基盤の実現をめざしていきます。

◆問い合わせ先

NTTソフトウェアイノベーションセンタ
企画担当
TEL 0422-59-2207
FAX 0422-59-2072
E-mail sic@hco.ntt.co.jp

IOWN時代のAIサービスを支える 高効率イベント駆動型推論

IOWN時代におけるAI（人工知能）は、ヒトをも超える能力を有するだけでなく、エネルギー効率に優れる持続可能な技術であるべきです。本稿では、そのようなAIとして、イベント駆動アプローチによるAI推論について紹介します。本技術では、地理的に分散した計算リソースを活用し、定常的な入力データを適切にイベント化し、必要なときに必要なだけの推論を実施していくことで、計算・ネットワークコストを削減し、消費電力を大幅に削減します。

えだ 江田	たけはる 毅晴	くればやし 榎林	りょうすけ 亮介
えのもと 榎本	しょうへい 昇平	し 史	きょく 旭
いいだ 飯田	こうじ 浩二	はむろ 羽室	だいすけ 大介

NTTソフトウェアイノベーションセンター

ヒトを超えるAIの実現をめざして

深層学習に代表されるAI（人工知能）技術は、今日、数多くの商用サービスに利用され、ビジネスを変革する技術として着実に発展してきています⁽¹⁾。NTTが進めるIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想においても、データ中心社会におけるデータ分析・価値化に向け、AIをさらに進化させた、より高度な認知・自律・予測システムの実現をめざしています。すなわち、ヒトでは見えないものを知覚し、ヒトでは扱いきれない規模の事象をとらえ、ヒトを超える速度で分析・判断できるAIシステムの実現です。そして、それらのAIシステムを用いてデータを価値化し、より安全で、誰にでも利用でき、持続可能で、より快適なサービスを創造し、さまざまな社会課題を解決していきます。

IOWNによるAIサービスの広がり

図1は、NTTが構想しているAIサービス

プラットフォームの概略図を示しています。本プラットフォームでは、さまざまな場所に設置された無数のデバイス（監視カメラ、車、スマートフォン、ウェアラブル端末など）から、実世界に関するデータを取得します。またプラットフォーム上には多様なAIアプリケーションが提供されます。プラットフォームの利用者は、目的に合ったAIアプリケーションを選択し、取得したデータを分析することで知見を見出し、その結果を実世界の活動に反映していきます。

AIサービスプラットフォーム上で想定されているAIアプリケーションの一例を図2に示します。図2では、IOWN Global Forumのホワイトペーパー⁽²⁾に示されるAIアプリケーションの2つの側面に注目しています。

1つは、認知能力であり、AIアプリケーションが実空間をどれだけ精緻に認知する必要があるかを示しています。もう1つは、反応速度であり、実空間で事象が発生してから、AIアプリケーションがその事象に対する判断を完了させなければならない時間を示していま

す。図2中の右上、黄色で示した領域は、特に高度な認知能力と反応速度が必要となるアプリケーションです。その中には、ヒト

の能力を超える、120 FPS (Frame Per Second) 以上の時間解像度、高精細・高精度な空間・位置の認知、10ミリ秒内の反応速

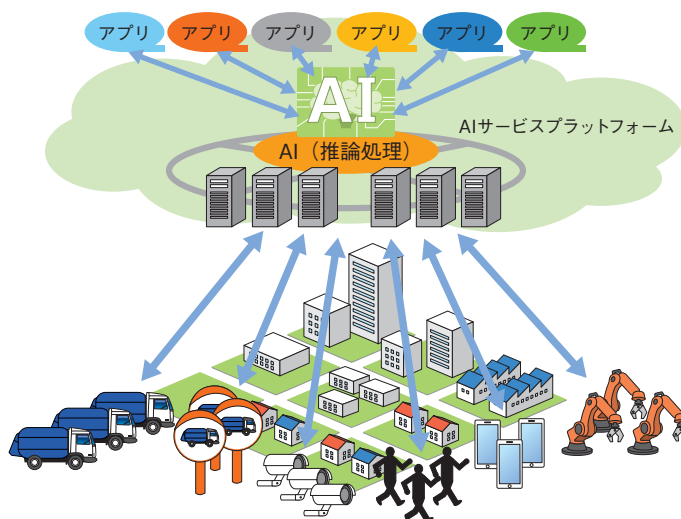


図1 AIサービスプラットフォームの概観

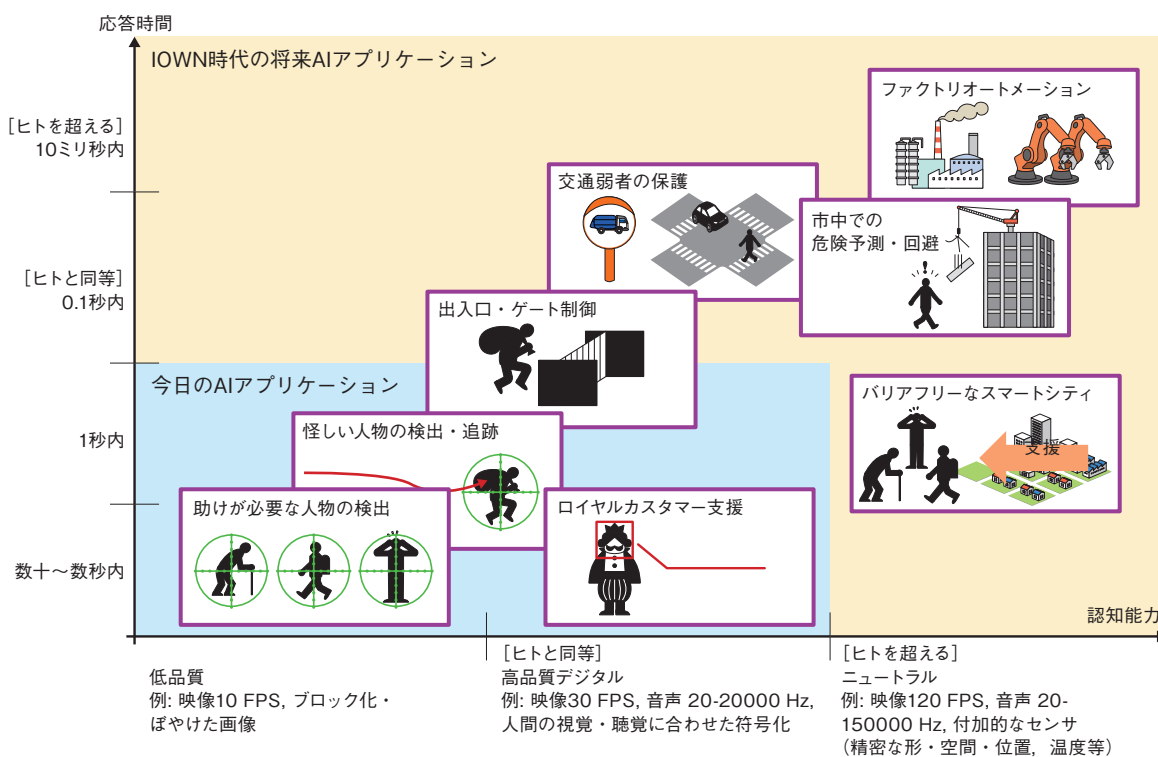


図2 AIアプリケーションの例

度等を必要とするアプリケーションもあります。IOWN構想では、ネットワーク、コンピューティング基盤の双方を変革していくことで、このようなヒトの能力を超えるアプリケーションの実現をめざします。

持続可能な社会におけるAI技術とは

「ヒトを超える能力」の獲得に向けて、単純にAIの高速化・大規模化を進めていけば良いのでしょうか。残念ながら、AIがもたらす利便性への期待が高まる一方で、AIによる電力消費の問題が注目され始めています⁽³⁾。事実、AIの認知能力・反応速度を高めようとすればするほど、より多くの電力を消費する結果となります。このため、NTTでは、AIの能力向上と合わせて、その消費電力を飛躍的に低減させるための研究開発にも取り組んでいます。

一般的なAIにおいて、能力向上が消費電力に与える影響を図3に例示します。図3のグラフは、カメラからの映像をAIによって分析する場合の反応速度とその消費電力の関係を表しています。このグラフは、OSS（オー

ブジェクト認識AIツールであるyolo v3⁽⁴⁾を、市中のアクセラレータを搭載したサーバ上で実行して評価した結果に基づいています。また、PUE（Power Usage Effectiveness）として2.0を仮定し、議論を単純化するため、AI推論処理のみ注目し、ネットワークのデータ転送時間を0としています。通常、カメラの映像は、連続する静止画（フレーム）として表現されます。そして、映像に対してAIを適用する場合も、個々のフレームに対して（または複数のフレームをまとめて）、推論処理を適用していきます。このため、AIの反応速度は、フレームに対する推論処理に要する時間だけでなく、フレームレートにも影響を受けます。すなわち、フレームレートを小さくすると、フレーム間の時間間隔が広がり、反応速度も遅くなります。逆にフレームレートを大きくすると反応速度が速くなります（図3左）。一方で、フレームレートが大きくなるほど、単位時間当りに実行しなければならない推論処理回数が多くなり、結果として、1カメラ当りの消費電力が高まります（図3

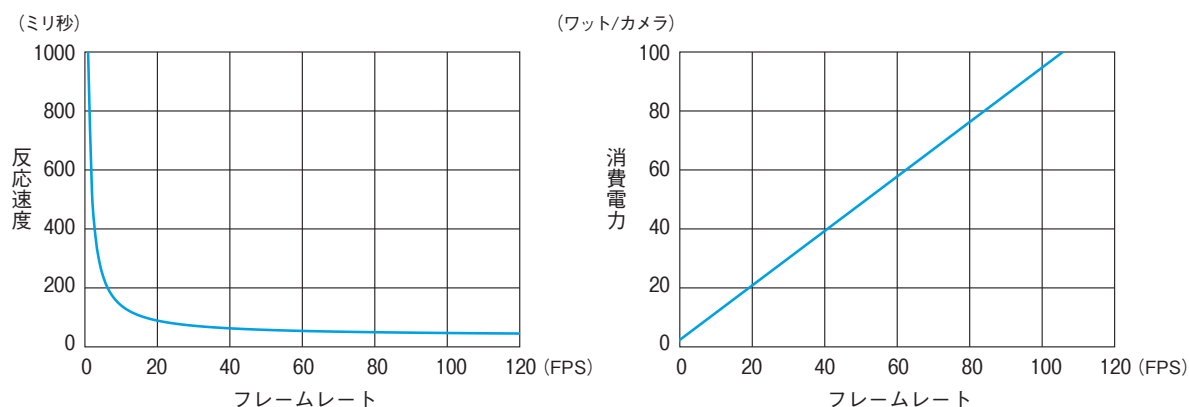


図3 AIの反応速度の向上が消費電力に与える影響例

右)。この結果、例えば、系全体としてヒトと同等の反応速度100ミリ秒を目標とし、推論処理の反応速度を50ミリ秒に抑えようとする場合、1カメラ当り45 Wの電力を要します。これは、白熱電球の電力消費に相当します。さらに、ヒトを超える反応速度を実現しようとする場合、さらなるフレームレートの向上が必要であり、消費電力はさらに高まります。また、認知能力の向上のため高精度な映像を推論に用いる場合も同様であり、モデルの規模拡大に伴い、消費電力の増加につながります。これらのことから、IOWNがめざすヒトを超える能力を持つAIの実現と持続可能な社会の両立には、新たな技術的なブレークスルーが不可欠であるといえます。

イベント駆動アプローチによるAI推論

■固定的なフレームレートに基づく推論処理の課題

今日の防犯や車載システムで使われる映像を用いた分析では、FPSが一定値である固定フレームレートで撮影および解析を行うこ

とが一般的です。例として車のトラッキングを行うことを考えます（図4）。固定フレームレートでは、カメラは常時映像を取得し、トラッキングに必要な検知や分類をフレームごとに計算し続ける必要があります。ネットワークやアクセラレータのリソースを消費し続け、結果として電力消費が増加することになります。一方、車やヒトが写った等のイベントが起きたときのみ処理を行うイベント駆動アプローチを採用すると、必要のないフレームは送らず計算もしないことでネットワーク利用量を削減し消費電力も下げることが期待できます。

イベント駆動を実現するには、何らかの方法でイベントを検知する必要があります。単純には、フレーム間の差分を計算して映像の変化を検知する方法がありますが、動いていたり変化の多い環境に置かれたカメラでは、差分が発生し過ぎて逆に処理コストが上がってしまいます。

■イベント駆動型推論

イベントが起きたときのみ推論を駆動

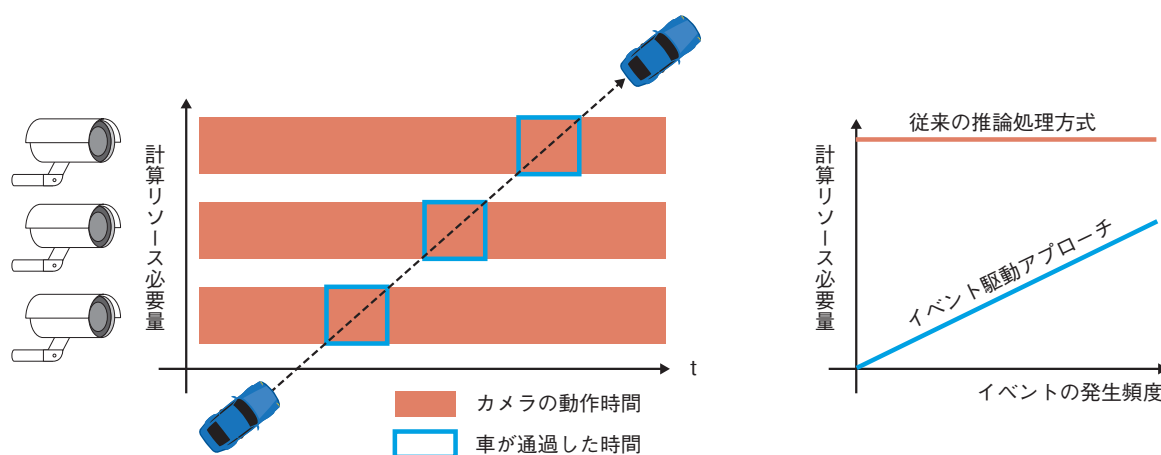


図4 イベント駆動アプローチの概観

する技術の1つとして、私たちは多層推論技術に着目しています。多層推論（Model Cascade, Early Exit）とは、計算量が高いAIモデルの推論処理を分割し、環境に応じて役割分担を行うことで、精度低下なく計算量およびデータ転送量を削減することのできる技術です。2層のケースを図5に示します。

昨今、AI推論を処理可能なアクセラレータのコストおよび消費電力は低下しており、カメラやホームゲートウェイなどでイベント処理を行い、残りの処理をクラウドで行うような役割分担が考えられます。カメラ側でもAIモデルを使うことで高精度なイベントの検知が可能になり、データ転送量を削減し計算コストを下げることで、系全体で省電力化と高収容化につながることが期待できます。

■効率的な前さばきモデル学習手法

多層推論における前さばきモデルはイベントを検知する役割を果たします。カメラやホームゲートウェイは計算リソースが限られるので、クラウドと同じ推論処理を実行することはできません。できるだけ精度が高く軽量な前さばきモデルをつくり、さらにそのモデルでは正しく推論できない画像のみをクラウドに問い合わせるようにします。あらかじめ前さばきモデルが間違えることが分かっている

たら、その画像をクラウドに送れば良いことが分かりますが、現実には成否は分かりません。正解しているのに自信がなくてクラウドに送ってしまったら、無駄に転送量を増やしてしまいます。つまり、前さばきモデルが正解するかどうかを正しく判定できることが無駄な転送と計算を回避するカギとなります。一般にAIモデルには推論の自信度合いを表す確信度というスコアがありますが、近年の深層学習モデルは自信過剰であるという報告があり、実際に自信過剰なAIモデルが多層推論で効率を悪化し精度を低下させることを確認しました。そこで、私たちは前さばきモデルの学習時に確信度を適切に補正（calibration）する技術を構築しています⁽⁵⁾。提案手法では、正しい確信度を学習するのに加え、後段のAIモデルも誤りそうな場合には送らないことで無駄な転送を省くことができます（図6）。実際に既存手法に比べて最大で36%の計算コストと41%の通信コストを削減することを確認しています。

■早期終了（Early Exit）によるさらなる転送量の削減

通常の前さばきモデルを用いた多層推論では、クラウドのAIモデルは入力としてカメラと同じ画像が必要になります。不要なフ

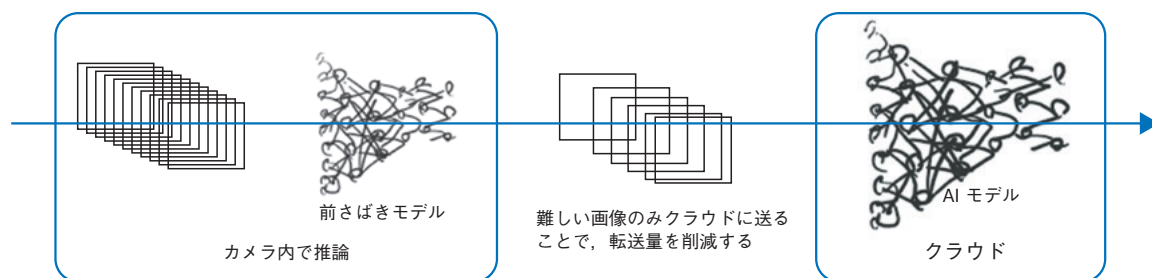


図5 カメラ・クラウドでの2層推論

フレームを送らないことでデータ転送量を削減したものの、イベントが起きるたびに静止画を送るのは、無視できないコストがかかりま

す。そこで私たちは、図7に示すように、前さばきモデルと後段のAIモデルの構造を一部共有化し、クラウドには前さばきモデルの

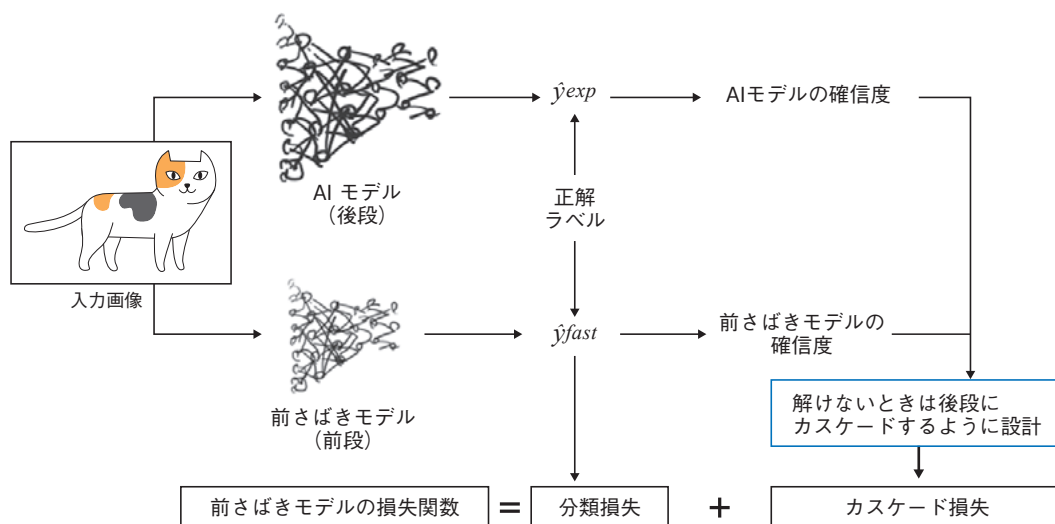


図6 前さばきモデル学習手法の仕組み

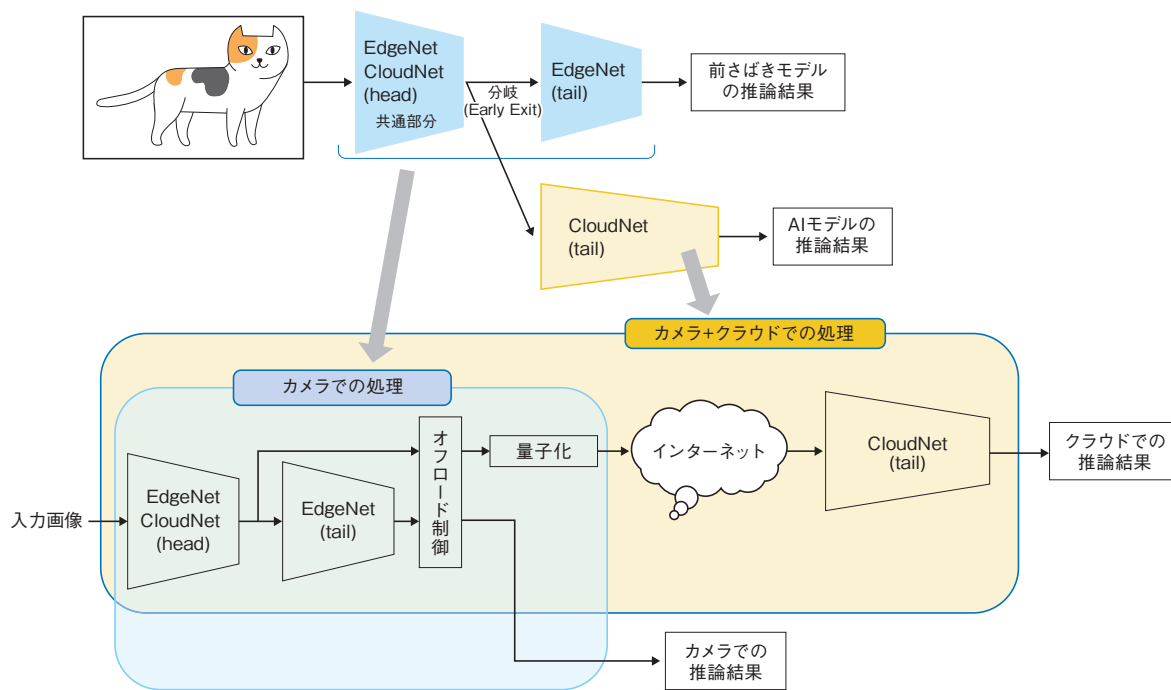


図7 早期終了（Early Exit）の仕組み

途中結果を量子化（圧縮）したかたちで送ることで、さらに計算コストとデータ転送量を削減する技術を構築しています⁽⁶⁾。提案手法により、精度低下なく転送データを75%削減できることを確認しています。

今後の展望

本稿では、データ中心社会を支えるデータ分析・価値化技術の1つとして、イベント駆動アプローチによるAI推論について紹介しました。AIを用いた多層推論を利用することで、計算・ネットワークコストを削減し大幅な消費電力削減につながることを期待できます。さらに、IOWN に向けた1つひとつの要素技術を積み重ねることで、ヒトを超える速度で分析・判断できるAIシステムを実現します。そして、より安全で、誰にでも利用でき、持続可能で、より快適なサービスを創造し、さまざまな社会課題を解決していきます。

参考文献

- (1) 羽室・飯田・宇佐美・由良・江田・坂本・外山・三上・井上・中山・榎本・佐々木・史・廣川・稲家：“深層学習の推論処理を大幅に効率化する「ひかりディープラーニング®推論基盤」——企業活動での競争力の源泉に資するR&D技術を,” NTT技術ジャーナル, Vol. 31, No. 11, pp. 14-17, 2019.
- (2) IOWN Global Forum: “Innovative Optical and Wireless Network Global Forum Vision 2030 and Technical Directions,” 2020.
- (3) <https://wired.jp/2020/03/07/ai-great-things-burn-planet/>
- (4) <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>
- (5) 榎本・江田：“モデルカスケードによる深層学習推論の高速化,” コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, Vol.221, No. 42, pp.1-6, 2020.
- (6) L. Hu, T. Wang, H. Watanabe, S. Enomoto, X. Shi, A. Sakamoto, and T. Eda: “ECNet: A Fast, Accurate, and Lightweight Edge-Cloud Network System Based on Cascading Structure,” IEEE GCCE, 2020.



(上段左から) 江田 毅晴 / 榎本 亮介 /
榎本 昇平

(下段左から) 史 旭 / 飯田 浩二 /
羽室 大介

私たちは、現状のデータセンタやクラウドでも動くソフトウェアを開発すると同時に、IOWN を見据えて情報処理基盤に必要な要素技術を創出しています。

◆問い合わせ先

NTTソフトウェアイノベーションセンタ
第二推進プロジェクト
TEL 0422-59-7825
E-mail takeharu.eda.bx@hco.ntt.co.jp

高品質・高信頼なデータ流通でデータ中心社会を実現する次世代データハブ技術

NTTソフトウェアイノベーションセンタでは、IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想の一環として、高頻度かつ大容量なデータトラフィックに対応し、高度なデータ保護により機密データを含むさまざまなデータを安全に流通させる「次世代データハブ」の研究開発に取り組んでいます。本稿では、データ流通における課題とそれらを解決するデータハブの概要、およびデータハブの主要機能であるデータガバナンスを構成する技術について紹介します。

もちだ

持田

せいいちろう

誠一郎

ながた

長田

たかひこ

孝彦

みはら

三原

あつり

淳慎

NTTソフトウェアイノベーションセンタ

NTTがめざすデータ中心社会

近年、センシング技術の向上によるIoT（Internet of Things）デバイスの普及や5Gの普及による広帯域のコンネクティビティを持ったデータソースの増加、それらのデータを人間の認知・処理能力をはるかに凌ぐ速度で処理可能とするAI（人工知能）技術の進展により、世界中で生み出されるデータ量は増加の一途をたどっており、今後もその傾向は加速しながら継続していくと予想されます。

NTTではこれらの膨大なデータが、企業などの閉ざされた組織内で利用されるだけにとどまらず、AIにより自律的に動作するシステム間で超高速に、業界や分野の枠を超えて幅広く流通され、従来は出会うことのなかったデータやノウハウを掛け合わせて新たな価値を生み出したり、社会課題を解決したりすることを可能とするデータ中心社会の実現をめざしています。

データ中心社会の実現に向けての課題

しかし、このようなデータ中心社会を実現するためには、大きく分けて次の2つの課題があります。

■現在のデータ処理アーキテクチャの限界

現在のデータ処理は目的・処理方法ごとにサイロ化された個別のシステムで行われるため、その間で大量にデータのコピーが生成されています。現状をはるかに凌ぐ量のデータを、現状よりはるかに多い主体（データを流通する人間・システム・デバイス等）間で超高速にやり取りするデータ中心社会においてはこの状況がますます加速されるため、現在のデータ処理アーキテクチャのままでは以下の問題が発生します。

- ・ストレージやネットワークの性能・容量を圧迫する
- ・管理しなければならないデータ処理フローの数が増大し管理が困難になる
- ・取り扱うデータの数・種類が増大し、生成元・変更履歴の管理が困難になる

- ・元データの提供者による権限やライフサイクル管理がおよばない複製・派生データが増加する

■機密情報やノウハウを他社と共有することに対する抵抗感

現在は企業などの組織を超えて機密情報やノウハウを共有する場合、機密保持契約によって共有内容の二次流通や合意した目的以外での利用を制限するのが一般的です。一方で、二次流通や目的外利用を防止するために有効な技術的な仕組みが存在せず、契約履行の強制力には限界があります。これが原因で将来的にも業界や分野の枠を超えたデータ流通が活性化しない可能性があります。

課題解決に向けた取り組み

NTTソフトウェアイノベーションセンタでは、NTTセキュアプラットフォーム研究所をはじめとしたさまざまな研究所と連携して、次のような特徴を持つ次世代データハブ（図1）を開発することによりこれらの課題を解決し、データ中心社会を実現することをめざしています。

■Data Omnipresence

- ・データ提供者がデータハブ上にフォルダもしくはキューを作成して、そこにデータを投入した瞬間から、権限のある利用

者が世界中どこからでも利用可能となる。

- ・データ利用者はデータハブ上のデータに対し、さまざまなワークロードの処理や長期保存をデータの移動を意識することなくリーズナブルなコストで実施可能となる。
- ・データ利用者はデータハブ上のデータを処理するために、データハブにネットワーク接続可能なさまざまなコンピューティングリソースをデータの移動・複製を意識することなく利用可能となる。
- ・データ利用者はデータハブへのアクセスにメジャーなストレージ系、メッセージブローカー系の製品やサービスのAPIを利用可能となる。

■データガバナンス

- ・データ提供者はデータハブに投入したデータおよびその複製・派生データに対し、アクセス制御や確実な削除などの管理権限（ガバナンス）を維持し続けることが可能となる。
- ・データ提供者が合意した目的以外でのデータの利用を防止することが可能となる。
- ・データ提供者が提供したデータが誰に何の目的でどのくらい利用されたかの確認が可能となる。

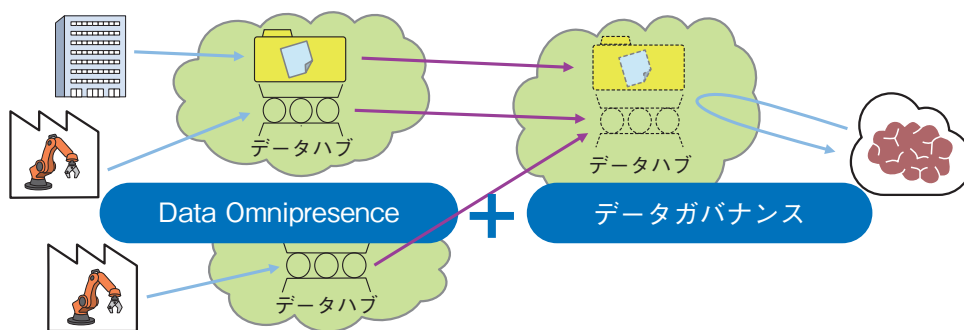


図1 次世代データハブ

次章では、現在開発中の次世代データハブが備える「Data Omnipresence」「データガバナンス」の2つの主要機能のうち、開発が先行しているデータガバナンスを構成する技術について主に説明します。

データガバナンスを構成する技術

データガバナンスを構成する主要な技術のうち、本章ではNTTソフトウェアイノベーションセンタとNTTセキュアプラットフォーム研究所が共同で開発している「データサンドボックス技術」について主に説明し、NTTセキュアプラットフォーム研究所が開発している「相互認証・鍵共有技術」「秘密計算AI技術」については概要を後半で説明します。

■「データサンドボックス技術」

企業などの組織の枠を超えてデータやノウハウ（データを価値化するための処理アルゴリズム）を流通し、それらをかけ合わせて新たな価値を得る、というデータ中心社会を実現するにあたり、データやノウハウを流通し合う当事者には、以下のような心理が働くことが想像できます。

- ・ 他人のデータやノウハウは活用したいが、

自分のデータやノウハウは共有したくない。

- ・ きちんとマネタイズできるのであれば自分のデータやノウハウを共有したいが、共有したデータやノウハウを約束した目的（どの種類・範囲のデータをどのアルゴリズムで処理するか）以外に利用したり、第三者に横流ししたりされたくない。

こうした懸念に対し、これまでは個社間で時間をかけて機密保持契約を締結し、相手を信頼するしか対策がなく、それが組織を超えたデータ流通を阻害する大きな要因になっていたと想定されます（図2）。

こうした懸念に対して、契約や相手に対する信頼による防御ではなく、システムの・技術的な防御手段を提供するのが、NTTソフトウェアイノベーションセンタが開発したデータサンドボックス技術です。

データサンドボックス技術の動作概要は以下のとおりです。

- ① データ流通の当事者ではないクラウド事業者などの第三者プラットフォーム上に、データサンドボックスという隔離処理実行環境を作成します。データサンドボックスでは外部との通信が適切に制限され、メモリ・ディ

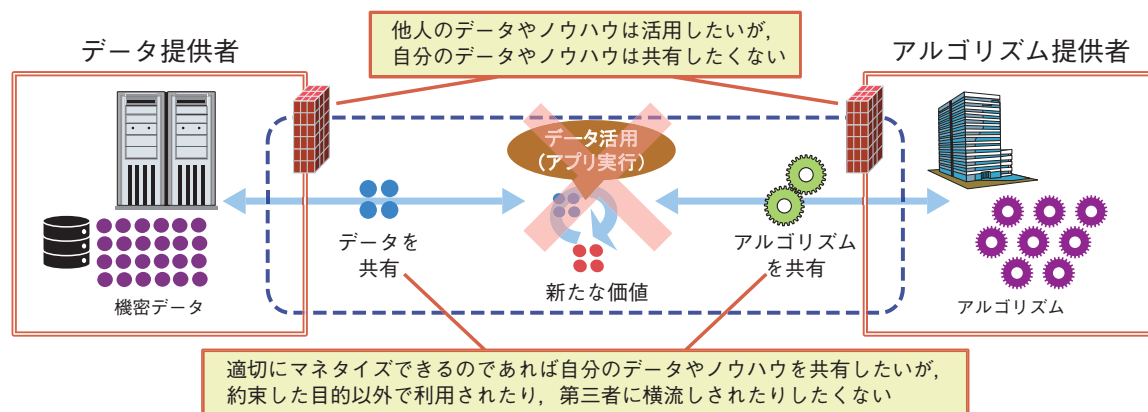


図2 企業間データ流通の課題

スクが暗号化されています。この暗号化はプラットフォーム事業者さえも解除できません(図3)。

② 他社のアルゴリズムを用いて分析したいデータを有するデータ提供者、および他社に提供してマネタイズしたいアルゴリズムを有するアルゴリズム提供者は、それぞれがデータサンドボックスとの間で共通鍵の生成を行い、それらの共通鍵で暗号化したデータおよびアルゴリズムをデータサンドボックスに配置します。データ提供者とアルゴリズム提供者の共通鍵は異なるため、互いのデータやアルゴリズムを見ることはできません。また、データサンドボックスは外部との通信が制限されているため、データ提供者およびアルゴリズム提供者はデータおよびアルゴリズムを配置できるだけで、データサンドボックスの中を見ることはできません(図3)。

③ データサンドボックスはデータ提供者およびアルゴリズム提供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ま

す。ただし、データサンドボックスのメモリ・ディスクは暗号化されているため、データおよびアルゴリズムをプラットフォーム事業者が見ることはできません(図4)。

④ データサンドボックスはデータおよびアルゴリズムを用いて処理を実行します。この際メモリ・ディスク内のデータおよびアルゴリズムはCPU内に限り復号されて平文で処理されるため、高速な処理が可能です。処理結果がCPU外に出る場合は再びメモリ・ディスク上で暗号化されます(図4)。

⑤ データサンドボックスは、処理結果のみをデータ提供者に返却します。データサンドボックスは外部との通信が適切に制限されているため、アルゴリズム提供者の故意・過失により不正なアルゴリズムが配置されたとしても、アルゴリズム提供者が元データや分析結果を入手することはできません(図5)。

⑥ データサンドボックスは処理終了後にデータやアルゴリズムごと削除されます(図5)。

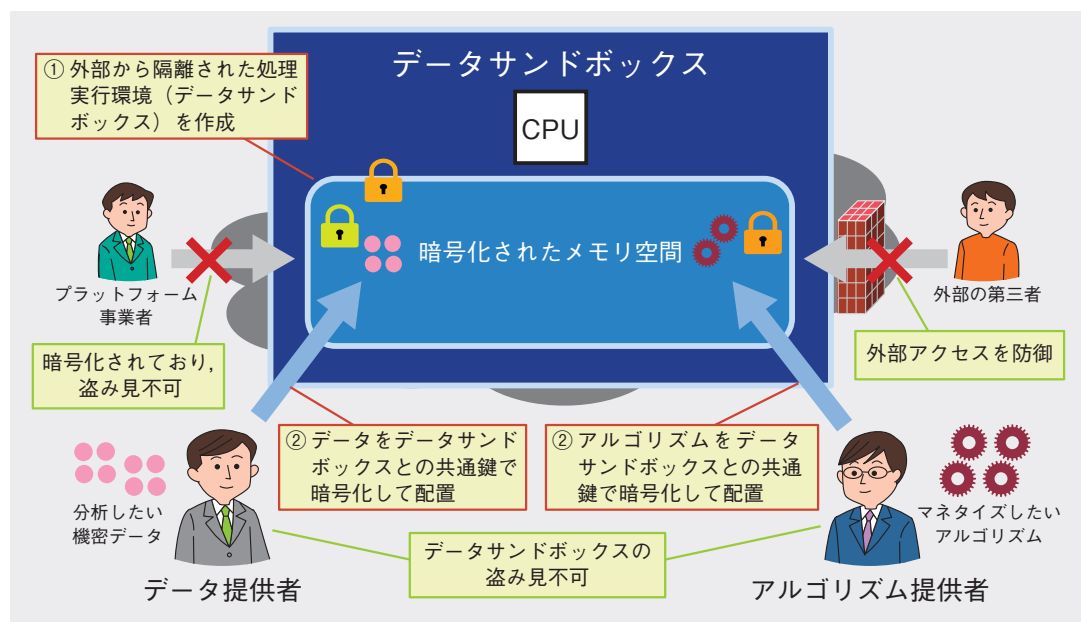


図3 データサンドボックス（動作概要①）

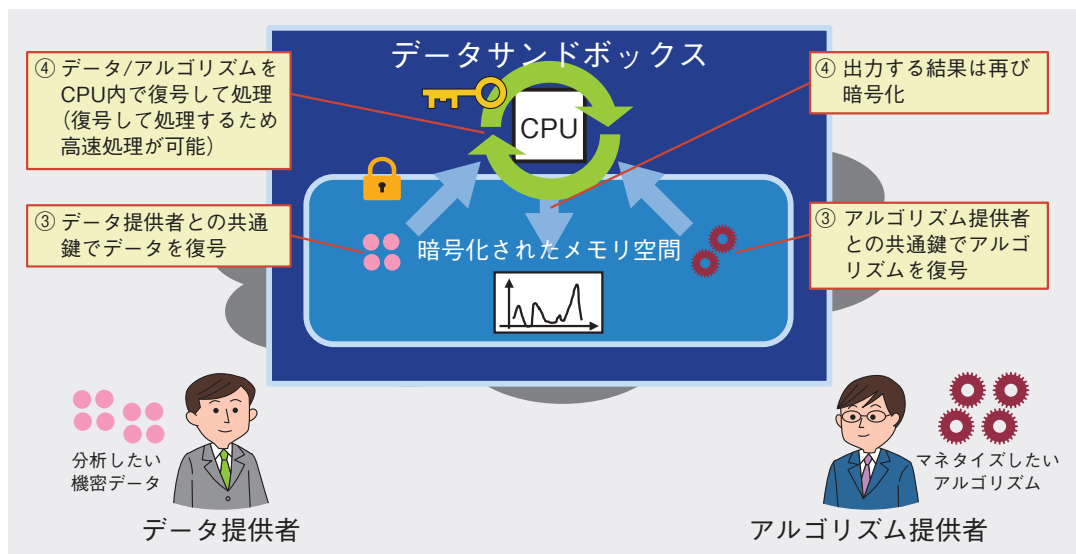


図4 データサンドボックス（動作概要②）

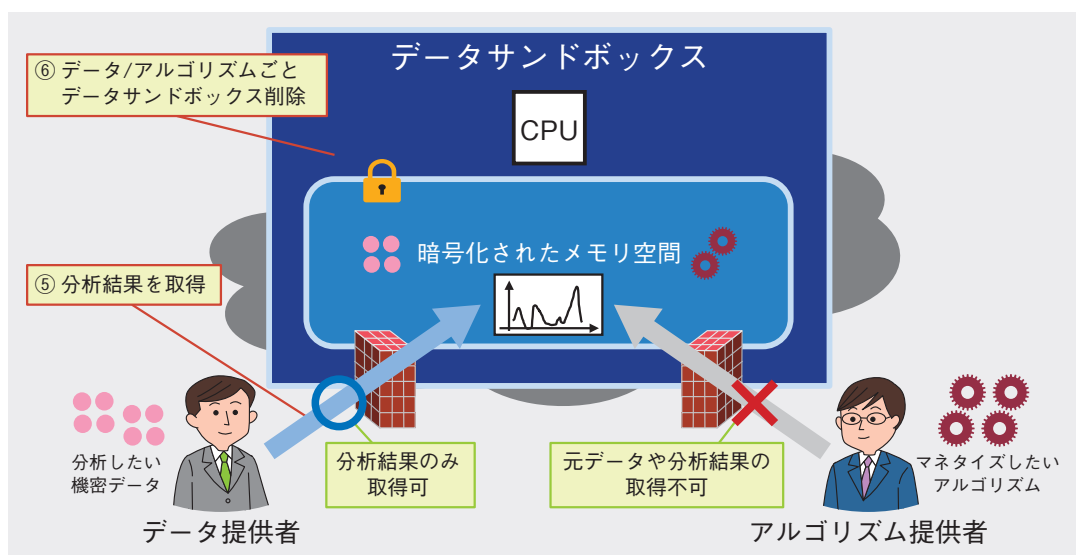


図5 データサンドボックス（動作概要③）

このような動作をするデータサンドボックスを利用することにより、データ流通の当事者は以下のような効能を得ることができます。

- ・自分のデータやノウハウを相手に共有することなく、相手のデータやノウハウを活用し、新たな価値を得ることができる。
- ・自分のデータやノウハウをあらかじめ合意した目的以外に利用されたり、第三者

に横流しされたりすることをシステム的・技術的に防止しながら、マネタイズすることができる。

■「相互認証・鍵共有技術」

次世代データハブにより世界中のデータの即時共有が可能になる一方、データ提供者が認めたデータ利用者のみがその内容を参照できるように暗号化して授受する必要が出てきま

す。相互認証・鍵共有技術は、データ提供者とデータ利用者との間でお互いの識別子や属性を確認したうえで、授受するデータの暗号化や復号に用いる鍵を他者に見られずに共有する技術であり、所望の相手のみとの安全なデータ共有を実現します。

次世代データハブにはこれまでより極めて多くのIoTデバイスが接続し、大量の実世界データを供給するようになると考えられます。そのため、これまでより必要な計算リソースや通信帯域が少ない相互認証・鍵共有技術を開発しています。また、次世代データハブにつながる多数の者の間で互いにデータを提供・利用し合うことが想定されます。そのため、一対一ではなく、大人数の間での相互認証と鍵共有を効率的に行え、また、データを提供・利用し合う者の増減に応じた鍵の更新が柔軟に行える相互認証・鍵共有技術を開発しています。

■「秘密計算AI技術」

たとえ安全な実行環境下であったとしても、データが復号されることに不安を感じるデータ提供者や法的制約などにより復号することが許されないデータが少なからず存在します。秘密計算AI技術は、暗号化したデータを一切復号することなく、機械学習における学習と予測を可能とする技術です。データの登録・保管から、学習・予測までの一連の流れを、データの中身を誰にも明かすことなく実行できるため、企業の秘密情報やプライバシーに関する情報の安全な流通と利活用が可能となります。また、複数の提供者からのデータや異なる種類のデータを暗号化したまま結合して利用することができるため、元のデータの安全性を向上させるだけでなく、分析対象となるデータの種類や量の増加による新

たな価値の引き出しが可能になると期待されます。

今後に向けて

本稿では私たちが開発を進めている次世代データハブについてデータガバナンス機能を中心に紹介しました。今後は次世代データハブのもう1つの主要機能であるData Omnipresenceの開発やData Omnipresenceとデータガバナンスのシームレスな連携、All Photonics Networkとの連携による大容量・低遅延化の実現など、次世代データハブの実用化に向けた開発を加速していきます。



(左から) 持田 誠一郎 / 長田 孝彦 /
三原 淳慎

NTTソフトウェアイノベーションセンタでは、次世代データハブの実現を通して、データ中心社会の実現に貢献していきます。

◆問い合わせ先

NTTソフトウェアイノベーションセンタ
第三推進プロジェクト
TEL 0422-59-7724
FAX 0422-59-2699
E-mail info-datahabu-p-ml@hco.ntt.co.jp

ディスタグリゲータッド コンピューティングの実現に向けて

NTTソフトウェアイノベーションセンタでは、社会・技術の進化に対応するため、そのシステム基盤を支えるディスタグリゲータッドコンピューティングの実現に向けた技術開発を行っています。本稿では、不揮発性メモリや高速インターコネクトのような特定用途に特化したハードウェアを活用する技術と、多数のコアを持つCPUを並列処理で性能を引き出す技術を取り上げ、ハードウェアの進化だけでなくソフトウェアの革新も重要であることを紹介します。

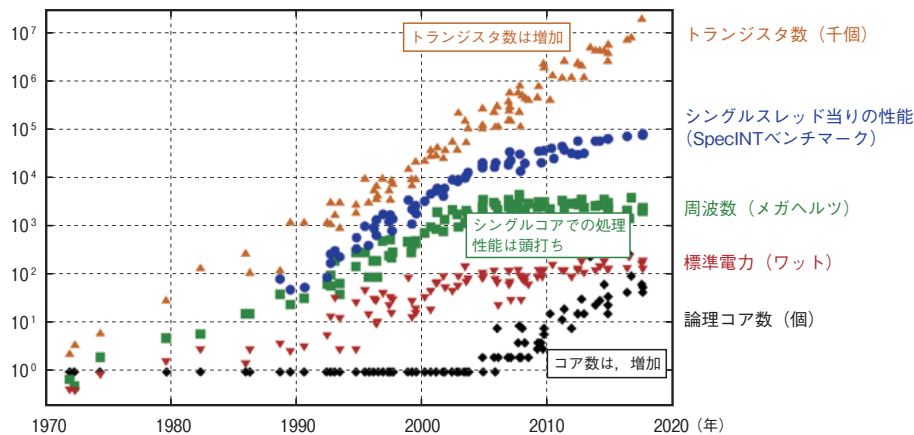
いしざき 石崎	てるあき 晃朗	なかその 中園	しょう 翔
うちやま 内山	ひろゆき 寛之	こみや 小宮	てるゆき 輝之

NTTソフトウェアイノベーションセンタ

ポストムーア時代の コンピューティング技術

半導体の集積率が18カ月で2倍になるという「ムーアの法則」が限界に達し、CPUシ

ングルスレッドの性能は頭打ちになっています（図1）。ポストムーア時代を迎えてGPUやFPGAなどのハードウェアが進化して次世代のコンピュータのあり方が模索されています。一方で、CPUを中心に発展してきた



Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten
New plot and data collected for 2010-2017 by K. Rupp
This chart is provided under the permissive 'Creative Commons Attribution 4.0 International Public License'
Adjusting points are adding comments and translating the subject and the legends.
2010年までのデータとその図示は、M.Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K.Olukotun, L.Hammond, and C. Battenによって実施された。
2010-2017年のデータとその図示は、K. Ruppによって実施された。この図は、クリエイティブコモンズライセンス4.0に基づき、提供されている。
オリジナルの図に対して、翻訳とコメントを付加した。
出典：https://github.com/karlrupp/microprocessor-trend-dataを基に作成。

図1 マイクロプロセッサのトレンドデータ（42年間）

従来のソフトウェアでは、特定用途に特化したハードウェア向けに最適化されていないため性能を十分に発揮できないこともあります。そのため、私たちはさまざまなサービスやアプリケーションを支えるコンピューティングシステムを実現するためにはハードウェアの進化だけでは不十分であり、これらの先進的なハードウェアの能力を引き出すソフトウェアの革新との両輪によって実現することが必要と考えています。具体例として、NTT 物性科学基礎研究所と取り組む光を用いたイジング型計算機という新しいハードウェア⁽¹⁾、および、NTT 先端集積デバイス研究所と取り組む光インターコネクト技術⁽²⁾と、それらの技術を効率的に活用するソフトウェアとの両輪により、これまで計算困難だった組合せ最適化問題の解決や情報処理システムのさらなる性能向上をめざす研究開発を実施しています。

NTT が 掲 げ る IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想では、超大容量・超低遅延・超低消費電力を特徴としたネットワークと情報処理基盤の実現をめざしていますが⁽³⁾、ネットワークの高速化だけではなく、データ処理にかかる処理遅延の低減化や処理の高効率も解決すべき大きな課題となっています。これらの課題を解決するためには、高速化や省電力化に限界のある従来のコンピューティングアーキテクチャを抜本的に見直し、用途に応じて多様なハードウェアをソフトウェアで柔軟に組み合わせで活用することで高速・高効率なデータ処理

を行うディスアグリゲートドコンピューティングの実現が必要となっています。この新しいコンピューティングアーキテクチャでは、リアルワールドの多種多様なデータを安全に結び付けて、価値を創出するサービスを高速・高効率に実現できるだけでなく、電力効率を最大化させることで持続可能社会へ新たな価値を創出することも可能となります。

NTTソフトウェアイノベーションセンタ(SIC)では、ソフトウェアの変革を通じたディスアグリゲートドコンピューティングの実現に向けて、①CPUだけに依存せず特定用途に特化したハードウェアをソフトウェアで柔軟かつ効率的に活用してデータ処理を行う技術、②多数のコアを持つCPUをソフトウェアにより並列処理で性能を引き出す技術の開発を行っています。本稿では、①の取り組みの1つであるメモリスентリックコンピューティング技術から重要な要素技術として「不揮発性メモリを活用したストレージI/O性能向上」と「高速インターコネクトを活用したネットワークI/O性能向上」を、②の取り組みの1つである高速トランザクション処理技術から「トランザクショナルストレージライブラリLinearDBのOSS（オープンソースソフトウェア）化」について紹介します。

不揮発性メモリに関する取り組み

近年、次世代高速ストレージであるSCM (Storage Class Memory) といわれる、DRAM (Dynamic Random Access Memory) に近い遅延時間でアクセス可能

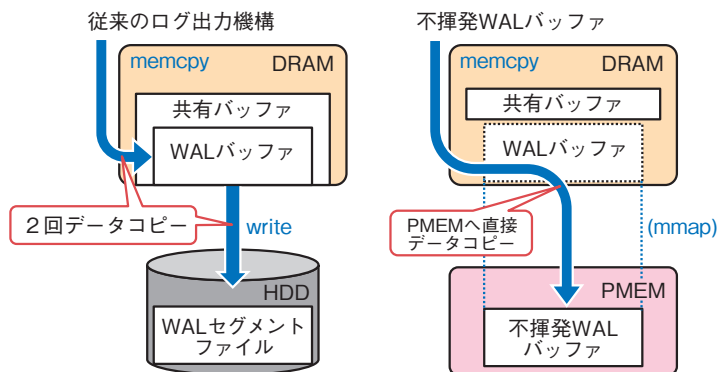


図2 PostgreSQLのログ出力機能への不揮発WALバッファの適用例

でかつ、NAND Flash SSDと同程度の大容量化が可能な、不揮発性のストレージとして利用可能なメモリデバイスが注目されています。SCMの中でもDIMMスロットへ直接挿すタイプの製品として、Intel Optane PMEM（Persistent Memory）が2019年に販売開始されています。

デバイスそのものが非常に高速なため、既存のソフトウェアを単純にPMEM上で動作させることでも「それなり」の性能が得られますが、これだけではデバイス性能を十分に引き出すことができません。その理由は、ソフトウェアが新たな特性を持つデバイスへ適応できていないためです。

従来型のHDDやNAND Flash SSDなどのストレージは、低速*かつランダムアクセスに弱いデバイス特性のため、書き込み対象のデータをDRAM上へバッファリングし、その後まとめ書きを行うようなスループット重視のソフトウェア実装が一般的です。こ

の、DRAM上へのバッファリング・書き込み処理には主にCPUリソースが利用されています。

このソフトウェア実装モデルは、DRAMのアクセス速度とストレージデバイスとの性能差が大きいときには有利ですが、SCMは数100 nsオーダーという低い遅延時間でアクセス可能であるため、従来のソフトウェア実装モデルのままPMEM環境で実施すると、逆に遅延時間が大きくなってしまいます。

この問題に対して、リレーショナルデータベースのOSS製品であるPostgreSQLのログ出力（WAL: Write Ahead Logging）機能を対象として、DRAMと低速ストレージの2層構成となっている従来のソフトウェア構造を見直し、PMEMの特性に適応したソフトウェア実装モデルの検討を進めています。

図2は、PostgreSQLのログ出力機能について示しています。従来のPostgreSQLではDRAM上の独自バッファ機構（共有バッファ内のWALバッファ領域）へログデータ

* アクセス速度は、HDDは約10 ms、NAND Flash SSDは約数100 μ s、DRAMは数10 ns。

がバッファリングされ、その後ログデータはストレージ領域へ書き出されます。この2層構造のログ機構を見直し、DRAMへのバッファリングをせずPMEM上へ直接データ書き込みを行うのが、提案している不揮発WALバッファです。

この方式のメリットは、2層構造で発生していた「ログデータのストレージ書き出しに伴うWALバッファ領域のロック待ち時間削減」と「データコピー回数削減によるCPU・メモリリソース削減」であり、PostgreSQLのinsert処理について約20%の性能改善を達成しています⁽⁴⁾。この検討は、将来的にはストレージとメモリの統合によるCPU処理削減に向けたソフトウェア実装検討と位置付けており、現在も継続的に検討を進めています⁽⁵⁾。

高速インターコネクトに関する取り組み

不揮発性メモリに関する取り組みにより、ソフトウェア処理のストレージI/O性能のボトルネック解消が見込めますが、次のボトルネック要因としてはネットワークI/Oが考えられます。

特に、データ交換を複数ノード間で行う分散データ処理ソフトウェアでは、ネットワークI/Oの遅延時間が致命的となりますが、HPC (High Performance Computing) の領域では、高速インターコネクトであるInfinibandとインメモリ処理を前提としてメモリの低遅延転送技術であるRDMA (Remote Direct Memory Access) を用

いて、この問題へ対応しています。RDMAは、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です(図3)。CPUが介在しないことで処理受け渡しの遅延時間削減や、TCP/IPのプロトコル処理などもないため、低遅延での転送処理が可能なのが特徴です。私たちは、主にHPC領域で用いられてきたこの低遅延転送技術について、エンタープライズ向けソフトウェアへの適応をめざしており、RDMAの基礎評価や分散学習フレームワークであるMXNet等を対象としてソフトウェア実装モデルの検討を進めています⁽⁶⁾。RDMAによる低遅延転送処理はFPGAやGPUなどのハードウェア上のメモリにおいても、実行可能となりつつあり、この検討は、将来的にはネットワーク処理に関するCPU処理の削減に重要な技術と位置付け、継続的に検討を進めています。

LinearDB: 高速トランザクショナルストレージライブラリのOSS化

ディスクアグリゲータッドコンピューティングにおいて多数のコアを持つCPUを並列処理で性能を引き出す技術として、144コアを持つCPUにおいて処理性能がスケールするメニーコア向けトランザクション処理技術に取り組んできました⁽⁷⁾。本技術をベースとした、トランザクショナルストレージライブラリとしてLinearDBを開発し、2020年4月にOSSとして公開しました⁽⁸⁾。近年、CPU

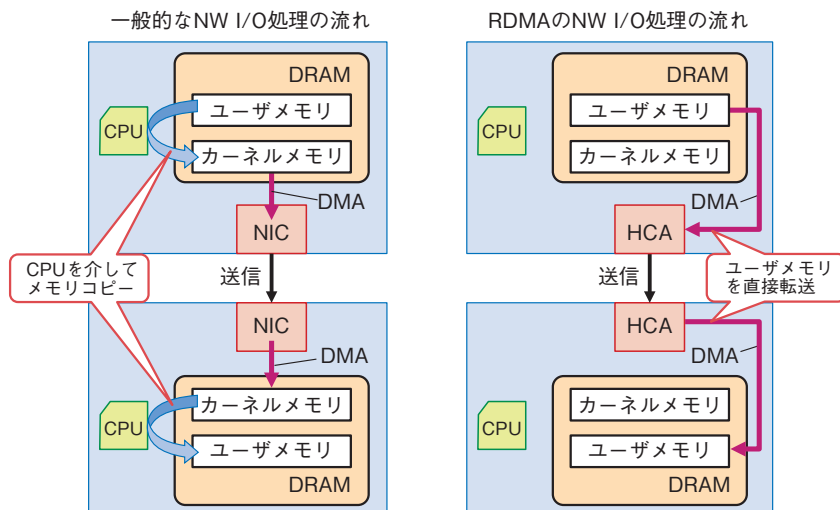


図3 一般的なネットワーク処理とRDMAを活用したネットワーク処理

上のトランジスタ数は増加していますが、それらはCPUのコア数を増加させることで実現されています（図1）。1980年代に基本的な技術群が完成した既存のデータベース管理システムの多くは、多数のコアを持つCPUを想定していないアーキテクチャに基づいています。そのため、コア数に対して処理をスケールすることができず、コア数を増やすと処理スループットが減少することが知られています⁽⁹⁾。昨今の研究により、読み込みに対してこの問題を解決する手法が提案されてきましたが、書き込みに対しては優れた解決手法がなく既存技術を利用せざるを得ませんでした。LineairDBでは、コア数が増加した場合でも書き込みの処理性能をスケールすることができる高速トランザクション処理技術を搭載しており、メニーコアCPUの能力を最大限引き出すことが可能です。具体的には、144個のコアを持つCPUを搭載したマ

シン上において、キーバリュースタ対するベンチマークとして有名なYCSB (Yahoo! Cloud System Benchmark) -A [Read50%, Write50%] に対して、既存技術の約3倍となる1秒間に1000万トランザクションの処理を実現しました⁽⁸⁾。

LineairDBはキーバリュースタとしてお使いいただけるインターフェースを用意しており、さまざまなシーンでご利用いただけます。また、ライセンスは、Apache License, version 2.0を採用しており、さまざまなライセンスとの親和性も高く利用しやすいため、是非一度お試しください。LineairDBコミュニティには、slackを通じたコミュニケーションも用意しています。疑問や要望などありましたら、お気軽にご相談ください。また、開発者として参画いただける方も大歓迎です。今後は、より利用しやすいインターフェースの整備やレンジクエリへの

対応を図り、さまざまなユースケースで利用いただける機能拡張を行っていきます。

今後の展開

私たちはソフトウェアの革新を強みとして、高速・不揮発な共有メモリを介して多様なハードウェアが直接データ交換するメモリセントリックコンピューティング技術や、メモリーコアCPUの能力を最大限引き出すことが可能な高速トランザクション処理技術の確立により、社会・技術の進化に対応できるシステム基盤を支えるディスアグリゲートドコンピューティングを実現します。

参考文献

- (1) 新井・八木・内山・富田・宮原・巴・堀川：“イジング型計算機による組合せ最適化のためのハイブリッド計算基盤,” NTT技術ジャーナル, Vol. 31, No. 11, pp. 27-31, 2019.
- (2) Focus on the News：“光通信で培った技術に応用し、情報処理システムの性能向上を実現する「光インターコネクト技術」を開発,” NTT技術ジャーナル, Vol. 31, No. 11, pp. 65-66, 2019.
- (3) 特集：“IOWN構想特集—オールフォトリクス・ネットワーク実現に向けた光電融合技術—,” NTT技術ジャーナル, Vol. 32, No. 8, pp. 6-28, 2020.
- (4) <https://www.slideshare.net/ntt-sic/wal-234538063>
- (5) [https://www.postgresql.org/message-id/002f01d5d28d\\$23c01430\\$6b403c90\\$hco.ntt.co.jp_1](https://www.postgresql.org/message-id/002f01d5d28d$23c01430$6b403c90$hco.ntt.co.jp_1)
- (6) <https://www.slideshare.net/ntt-sic/rdma-programming-design-and-case-studies-for-better-performance-distributed-applications>
- (7) 中園・内山：“メモリーコア向け高速トランザクション処理技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 31, No. 11, pp. 32-35, 2019.
- (8) <https://github.com/LineairDB/LineairDB>
- (9) X. Yu, G. Bezerra, A. Pavlo, S. Devadas, and M. Stonebraker: “Staring into the Abyss: An Evaluation of Concurrency Control with One Thousand Cores,” Proc. of VLDB Endowment, Vol. 8, No. 3, pp. 209-220, 2014.



(上段左から) 小宮 輝之 / 石崎 晃朗

(下段左から) 中園 翔 / 内山 寛之

ハードウェアの進化とソフトウェアの革新の両輪によって既存のコンピューティングアーキテクチャのパラダイム変化を起こし、これまで困難であった大規模高速データ処理を高効率かつ省電力化することで、IOWN構想社会の実現をめざしていきます。

◆問い合わせ先

NTTソフトウェアイノベーションセンタ
企画担当
TEL 0422-59-2207
FAX 0422-59-2072
E-mail sic@hco.ntt.co.jp

テスト活動データを分析して バグを狙い撃つテスト自動化技術

コストを抑えながらソフトウェアを早期にリリースすることへの要求が増えています。そのため、開発全体のコストに占める割合が大きく、ソフトウェアの一定の品質を確保するために必要となるソフトウェアテストは、開発におけるQCD（Quality, Cost, Delivery）の要といえます。本稿では、NTTソフトウェアイノベーションセンターが取り組んでいるテストを飛躍的に効率化する技術について解説するとともに、将来展望についても紹介します。

たんの はると
丹野 治門

あだち ゆう
安達 悠

むらもと たつや
村本 達也

きりぬき ひろゆき
切貫 弘之

おいぬま もりひで
生沼 守英

NTT ソフトウェアイノベーションセンター

ソフトウェアテストの重要性

ソフトウェア開発は図1のように行われます。テストで摘出できなかったソフトウェアの不具合はそのままユーザの元へリリースされてしまうため、ソフトウェアの品質確保においてテストは欠くことのできない大事な工程です。しかし、これらを手動ですべて行おうとすると大きなコストがかかってしまいます。また、近年ではユーザのニーズの変化や、動作環境となるソフトウェア、ハードウェアの進化のスピードが早いため、必要に応じて素早くソフトウェアを改良し短期で繰り返しリリースすることも求められています。しかし、一定の品質を確保しながらソフトウェアのリリースを繰り返し行うためには、小規模な改良であっても、新規部分のテストに加

えて、新規機能追加や新たな動作環境への対応などの影響による既存機能の劣化が引き起こされていないかを確認するためのテスト（回帰テスト）を、リリースのたびに既存機能全体に対しても行う必要があります。これにも大きなコストがかかります。NTTソフトウェアイノベーションセンターでは、ソフトウェア開発におけるQCD（Quality, Cost, Delivery）の要となっているテストを変革し、ソフトウェア開発の生産性を飛躍的に向上させることをめざしています。

ソフトウェアテストの現状

ソフトウェアテストの目的は、ソフトウェアが正常に振る舞うことを確認したり、ソフトウェアの不具合数を減らしたりすることです。テスト工程は図2に示すように、大まかにテスト計画、テスト設計、テスト実施、テスト管理、テスト報告という5つのタスクで構成されています。テスト計画では開発全体の計画に基づき、テストを行う期間やリソース配分の策定を行います。テスト設計では、

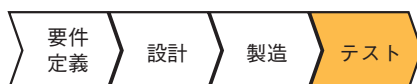


図1 ソフトウェア開発プロセス

行うべきテストのバリエーションの洗い出しを行い、テストケースを網羅的に設計し、各テストケースそれぞれについて具体的にテスト実施可能な手順への詳細化や、自動実施用のスクリプト作成を行います。そしてテスト実施では、テストケースごとに、入力データを与え、ソフトウェアを動作させ、それぞれのテストケースでソフトウェアの振る舞いが期待どおりであるかを確認します。テスト管理では、テストの実施状況等の管理を随時行い、必要であれば計画の見直しなどを行います。すべてのテストの実施が完了すると、その結果をまとめ、テスト報告を行い、完了となります。この中で、「テスト設計」「テスト実施」がテスト工程における主要なタスクとなります。

1 番目の課題は、従来の網羅的なテストでは設計にも実施にも大きなコストがかかるという点です。品質向上をめざして網羅性を追求すると膨大な時間がかかり、リリースまでの期間も長くなってしまいます。さらにいえば、網羅性を評価すること自体がそもそも難しく、例えば、仕様に基づいた網羅性の基準は仕様書の質に大きく依存しますし、コード網羅率でテストの内容自体を評価することはできません。そして、指標値をクリアしても品質向上の度合いはよく分からないということもあります。

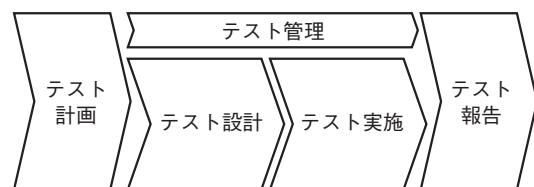


図2 テスト工程

2 番目の課題は、短期で繰り返しリリースを行うために必要となる回帰テストの自動化にコストがかかる点です。JUnit, Seleniumなど、テストを自動実行するための既存のフレームワークやライブラリは多く存在しますが、自動実行のためにはスクリプト作成が必要となり、スクリプト作成に大きな手間がかかります。そのうえ、スクリプトは一度作成したら終わりではなく、テスト対象ソフトウェアの修正に合わせてスクリプトを修正という保守作業にも大きな手間がかかります。

めざす世界

NTTソフトウェアイノベーションセンタでは、多様化・曖昧化するビジネスの要件とビジネスの進化スピードに対応した超高速開発の実現のため、人の作業の一部を代替・超越するAI（人工知能）開発技術を確立し、AIと人が協働して開発を行うというアプローチをとっています。超高速開発におけるテストについては図3に示すような世界をめざしています。私たちのアプローチでは闇雲に網羅性を追求せず、テストすべき個所を選択し、そこに集中します。そして、どこへ選択・集中するかについては、テスト実施状況・結果のデータを収集、分析して逐次判断します。これにより、従来の網羅的なテストの課題を解決し、テストの飛躍的な効率化を実現します。加えて、蓄積されたテスト活動データを活用し、保守しやすいテストスクリプトの自動生成も行うことで、回帰テストの自動化を容易に行えるようにし、ソフトウェアを改良した後に迅速なリリースを可能にします。

今回、本稿では、NTTグループ内でも多く開発されている、Webアプリケーション

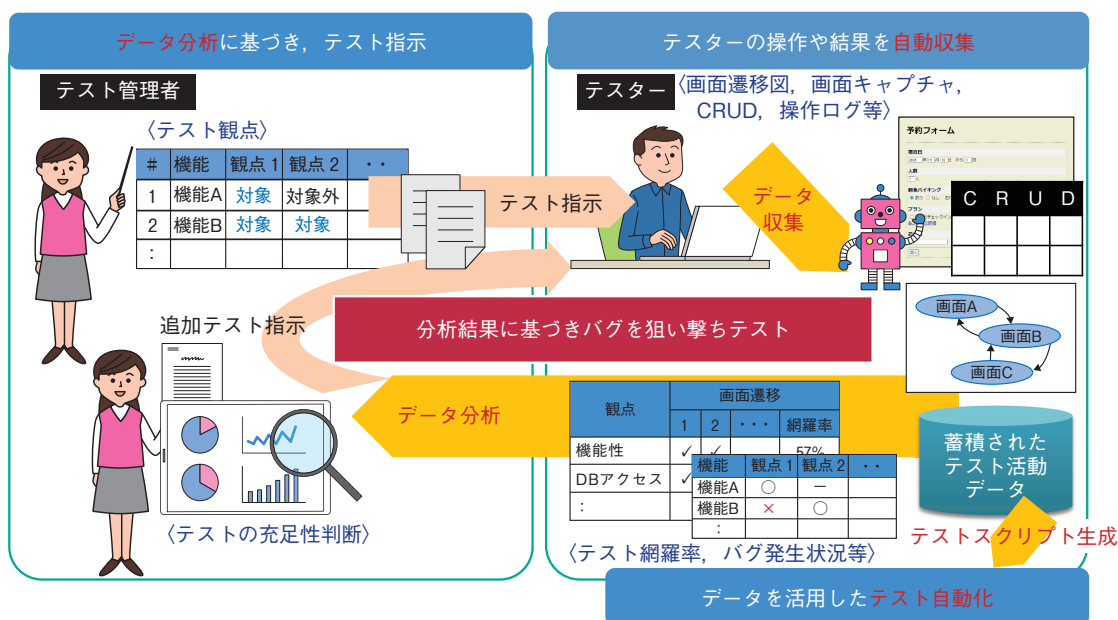


図3 めざす世界

をフロントエンドとして持つ業務アプリケーションにおける、効率化のニーズが高い結合テストを対象とした技術LatteArtの説明をします。

テスト活動データを分析してバグを狙い撃つ技術LatteArt

業務アプリケーションは、多くのユースケースシナリオ、機能、画面があり、各画面における入力のパターンも多くの組合せが存在し、従来の網羅的なテストには大きなコストがかかります。何らかのモデル（例えば、ソフトウェアの設計モデル）から網羅的なテストを自動設計することでテスト設計を支援するツールも存在しますが、すべてのテストを実施するには手間がかかるため、テスト全体の効率化に限界がありました。また、Webアプリケーションのテストを自動化するためには、画面の操作を自動で行うテストスクリプ

トの作成が必要となります。このようなテストスクリプトを手で作成することはコストがかかるうえ、Webアプリケーションの改修に伴ってテストスクリプトの修正も必要になるため、保守にも大きなコストがかかります。既存のキャプチャ&リプレイツール（例：SeleniumIDE）を使うことで、高いスキルがなくてもスクリプトを作成することはできますが、スクリプト作成の手間はかかりますし、キャプチャ&リプレイツールで記録したテストスクリプトはモジュール化されていないため、保守性が低いという課題もあります。

このような課題を解決するため、私たちはテスト活動データを分析してバグを狙い撃つ技術LatteArtの開発を進めてきました。LatteArtには以下のような特徴があります。

(1) テスト活動データの収集

テスターのWebアプリケーション画面上の操作ログ、スクリーンショットおよび、テ

スターがテスト実施中に入力したテスト目的、バグ、気付きなどをテスト活動データとして自動で収集します。

(2) テスト活動データの分析

細かいレベルでテストをつくらず、「テスト観点×テスト対象機能」というおおまかなレベルでテスト管理者がテスト内容を指示^{(1), (2)}し、その指示に基づきテスターがテストを行います。そして、自動で収集されたテスト活動データを分析し、さまざまなデータモデルで可視化することで、テスト管理者が充足性を判定したり、追加のテストを指示したりすることを可能にします。例えば、図 4, 5 に示すようなシーケンス図、画面遷移図といったモデルで可視化することが可能です。図 6 に示すように画面遷移図で特定の画面遷移に着目し、着目した画面遷移時の入力パターンの一覧を確認することもできます。これにより、テストすべき箇所を選択し、そこに集中することで、効率良くバグを狙い撃つテストを可能とします。

(3) テスト活動データの活用

テスト活動データから、ページオブジェク

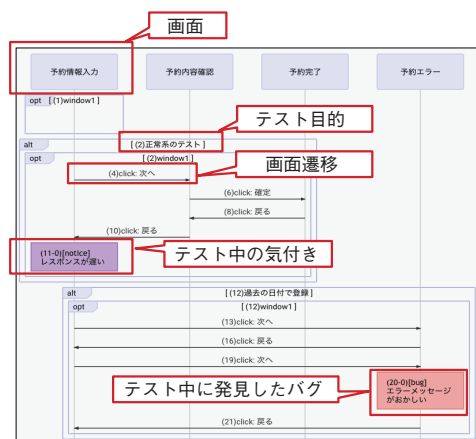


図 4 シーケンス図

トパターンの考え方に基づき、画面要素のロケータをモジュール化したテストスクリプトを自動生成⁽³⁾します。これにより、アプリケーションに修正があった場合でもテストスクリプトの保守が容易になり、手間をかけずに回帰テストを自動化することを可能とします。

到達点と今後の展望

私たちは、テスト活動データの分析に基づくテスト技術の第一人者となり、SI業界における旧来のテストを変えていきたいと考えています。現在、事業会社との共同実験でLatteArtの適用評価を行っており、開発現場からは好感触を得ています。また、LatteArtの技術については国内の学会における発表でも高い評価を受け、複数の賞をいただくことができました。本稿で紹介したテ

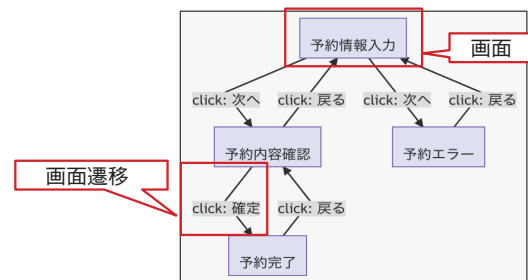


図 5 画面遷移図



図 6 画面遷移時の入力パターン

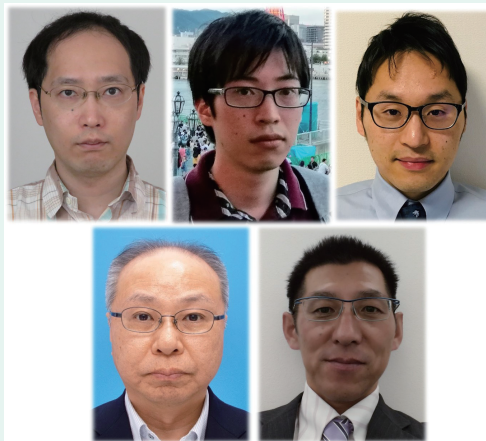
スト活動の分析と可視化、テストスクリプト自動生成のほかにも、以下に例をあげるように、LatteArtにより自動収集して蓄積したテスト活動データを活用することで、さまざまな研究の方向性が考えられます⁽⁴⁾。

- テスト推薦：過去のテスターがどのようなテストを行ったときにバグを発見できたかを分析することで、バグを発見できる可能性の高いテストを自動推薦できるようにする。
- テスト教育：テスト上級者のテスト活動データを教材として活用する。また、複数のテスターのテスト活動データを分析、比較することで、テストスキルの測定を行えるようにする。
- テスト以外の領域への応用：テスト活動データから、テスト対象ソフトウェアの仕様を復元したり、マニュアルの自動生成をしたりする。

私たちは、このような研究を、NTTグループに閉じず、NTTグループ外の企業、大学とも連携しながら、産学のさまざまな知見を持ち寄り進めていくことで、LatteArtを中心としたテスト変革、ソフトウェア開発変革のエコシステムを育てていきたいと思っています。そのために、LatteArtについてはオープン化なども検討し、広く技術の普及を行っていきたくと考えています。開発現場からのフィードバックによって技術を磨きながら、究極的なゴールとしては、収集した大量のテスト活動データを用いることで、AIが自動でテストを行うような世界をめざし、一步一步着実に研究開発を進めていきたいと考えています。

参考文献

- (1) 熊川・峯尾・丹野・切貫・倉林：“SONAR Testing 効率と客観性を両立した新たなテスト手法,” 日本科学技術連盟 ソフトウェア品質シンポジウム2019, 2019.
- (2) H. Kirinuki, T. Kurabayashi, H. Tanno, I. Kumagawa: “Poster: SONAR testing – novel testing approach based on operation recording and visualization,” ICST 2020, pp. 410-413, Porto, Portugal, 2020.
- (3) 切貫・丹野：“手動テストのログを用いた有用なEnd-to-Endテストスクリプトの自動生成,” ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2020論文集, pp. 106-114, 2020.
- (4) 峯尾・切貫：“SONAR Testing ～新しいテスト手法の今後の展望～,” 日本科学技術連盟 ソフトウェア品質シンポジウム2020, 2020.



(上段左から) 丹野 治門 / 切貫 弘之 / 安達 悠

(下段左から) 生沼 守英 / 村本 達也

私たちはテストを飛躍的に効率化することをめざし、テスト活動データを分析してバグを狙い撃つテスト自動化技術の研究開発を進めています。今後も、開発現場のフィードバックを得ながら技術を磨いていきます。

◆問い合わせ先

NTT ソフトウェアイノベーションセンター
ソフトウェア開発技術プロジェクト
TEL 03-6712-9638
FAX 03-6712-8372
E-mail iso-tool-support-p-ml@hco.ntt.co.jp



主役登場

人とAIが協働してプログラムをつくる未来世界の実現に向けて

倉林 利行

NTTソフトウェアイノベーションセンタ
研究員

私は入社以来、ソフトウェア開発効率化の研究に取り組んでいますが、少しのアイデアの検証でも大量のプログラムを書いたり、デバッグに多大な時間を費やしたりとプログラミングに関する苦労は尽きません。本職のプログラマーともなれば、大量のプログラムを書くだけでなく品質や納期も求められるためさらに多くの苦労があります。もしプログラムを自動生成できれば、ソフトウェア開発に抜本的な変革が起きるでしょう。そこで私は、人とAI（人工知能）が協働してプログラムをつくる世界を実現したいと思っています。具体的には開発チームの中に実際にAIが入り、人の開発方法を見て学習することで、プログラムが次々と書けるようになるという師匠と弟子の関係性のようなイメージです。このような世界はまだSFにすぎませんが、近年のAIの急速な進化を考えると近い将来必ず現実になると考えており、私が先立って実現したいと思っています。

その実現に向けて、現在はプログラミングコンテストのAIによる自動解答に挑戦しています。プログラミングコンテストは問題文に書かれた要求を満たすプログラムを作成することが目的で、世界中の優秀なプログラマーがその腕を競い合っています。もしコンテストの上位に入賞できれば、AIがトッププログラマー並みの能力を持つと示すことができます。

しかし、これまでにない挑戦だったため、初めは全く成功しませんでした。そこで私は、人のプログラム作成過程を真似ることにしました。人がプログラムを書くとき、ま

ずは書籍や他の人が書いたプログラムを読んで勉強し、そこで得た知識に基づいてプログラムをつくり、それを改良しながら所望のプログラムを完成させます。本研究でも、過去問を学習させた深層学習モデルに基づいてつくられたプログラムを、遺伝的アルゴリズムを用いて改良していくことで正解プログラムが得られると考えました。日々実験を繰り返して手法に改善を重ねた結果、最終的に実際に出題された約100問のコンテスト問題の26%を自動で解くことができました。この成果は実用化にはまだおおよびませんが基礎研究としては画期的であり、IEEEの若手研究賞や、国内最大のソフトウェア工学の学会の最優秀論文賞などの評価をいただいています。

今後は引き続き世界中の優秀なプログラマーを超えるAIの開発に挑戦しつつ、本技術を実用化して世界中のソフトウェア開発を抜本的に変革したいと思っています。このような変革を起こすためには、一緒に活動してくださる仲間が必要です。そのため学术界だけでなく産業界も含めたコミュニティをつくり、私自身はその第一人者となり、牽引していきたいと思っています。直近では本分野のワークショップを開催し、産学問わず多くの方にお集まりいただきました。議論を通じて有意義な知見が多数得られたため、今後もこの活動を広げていきたいと思っています。人とAIが協働してプログラムをつくる未来世界の実現に向けて、引き続き邁進していきます。

特 別 連 載

ムーンショット・エフェクト
——NTT 研究所の技術レガシー——第4回 スマホ通信でも活躍する
光ファイバ

ノンフィクション作家の野地秩嘉（のじつねよし）氏より「ムーンショット・エフェクト——NTT研究所の技術レガシー」と題するNTT研究所の技術をテーマとした原稿をいただきました。連載第4回目は「スマホ通信でも活躍する光ファイバ」です。本連載に掲載された記事は、中学生向けに新書として出版予定です（NTT技術ジャーナル事務局）。

■光ファイバの進歩

NTT未来ねっと研究所の宮本は前回、光ファイバと中継地にある送受信機を合わせた光ファイバ通信システムの発展を教えてくれた。

要約すると次のようになる。

陸上にある長距離系の光ファイバは1980年代から1990年代にかけて引いた線を既設の光ファイバケーブルとして今も使っていることが多い。送受信機の性能は逐次、既設の光ファイバの潜在能力を引き出すために向上している。そのため、光ファイバ通信システム全体は低消費電力、大容量、高速化、低遅延化が進んでいる。

では、光ファイバの線自体はまったく進歩していないかといえばそんなことはない。

光ファイバの線自体の研究は宮本ではなく、筑波にあるNTTアクセスサービスシステム研究所が行っている。詳しくは次回、述べる。けれども、宮本もむろん知悉している。

今回、宮本には、現状使っている光ファイバの線そのものについての話を聞いた。加えて、光と電気の速さの違い、そして、光の技術ができることと、できないことについて語ってもらった。

■シングルモード光ファイバ

光ファイバにはシングルモードとマルチモードの2種類がある。シングルモード光ファイバは光ファイバ内の光信号の伝わる経路が唯一（シングルモード）になるように設計されたものだ。一方、マルチモード光ファイバは光信号の伝わる経路が複数（マルチモード）ある光ファイバである。

シングルモード光ファイバは、光の波形ひずみが小さいことなどから長距離伝送に向いている。陸上通信はもちろん10000キロ以上の大洋横断級の海底ケーブル光通信まで可能だ。

一方、マルチモード光ファイバは、光信号の伝わり方として複数の経路があるため、経路間の遅延時間差等（モード分散）による光の波形ひずみが大きく、主に数キロ以下の短距離伝送用途〔LAN（Local Area Network）など〕に使われてきた。

宮本は語る。

「1980年代から現在まで大容量光通信で使われている主流は、シングルモード光ファイバです。これは、石英ガラス（水晶と同じ成分）でできていて、光の進む速度が違うコアとクラッドと呼ばれる二階層の部分からできています。外側のクラッドの直径は125 μm （1 μm は0.001ミリメートル）。なかに直径10 μm 程度のコアという部分があり、コアとその周りのクラッドの境目で、光信号が全反射されます。そのため光信号はコア内に閉じ込められ、直進しながら長距離伝送されます。

一方、マルチモード光ファイバは、クラッドの直径は同じですが、コアの直径は50 μm くらいです。シングルモードよりも光を閉じ込めるコアが太いのが特徴です。

光ファイバの直径、125 μm は国際標準で決まっています。そして、光ファイバは曲がるとコアに光を閉じ込めることが難しくなりますが、ある程度曲げられる柔軟性を持っています。そして、曲がった状態であっても、光を一定量コアに閉じ込めて、伝送特性を維持できるように設計されています。また、光ファイバ同士をつなげ

る、光コネクタの形状も、10 μ mのコア同士がズレずにつながるように、そして光ファイバの直径に合わせて所定の光の特性が維持できるよう標準化されています。

では、たとえば光ファイバで通信幹線を作る場合はどうするかと言えば、何本もの光ファイバを束ねて、1本のケーブルにするわけです。たとえば、地下に埋設するケーブルでは1本あたり、200心（光ファイバの本数の単位）程度の光ファイバが入っています」

つまり、日本の通信幹線で使われている光ケーブルは髪の毛が200本くらい詰まった管のようなものだ。光ファイバは電線に比べれば細く、軽く、電気も食わないし、耐久性もある。そして、重要なのは電線に比べると信号を送る容量がはるかに大きいことだ。

■光と電気の速さの違い

光ファイバと電線を比べると「光の方が通信速度は速い」。

では、他に光ファイバの方が電線よりも優れている点はあるのか。

宮本の説明は次の通りだ。

「はい、何よりも光が優れているのは、高速な信号に対するロス（伝送損失）が少ないこと。

同軸ケーブル（電線）に50メガヘルツくらいの信号を通すとしますと、信号の強さは約1キロで100分の1になってしまいます。一方、光ファイバの場合は100キロで100分の1になる、つまりロスだけで100倍は違うのです。

また、伝送媒体としての帯域（周波数の幅）の広さです。長距離伝送用の同軸ケーブルでは50メガヘルツ（メガ：10の6乗）を伝えるのが限界ですが、光ファイバは10テラヘルツ（テラ：10の12乗）は伝送できます。6桁くらい違います。つまり、光ファイバの方がロスが少ないし、容量が大きい」

では、次に電線ではなく、光ファイバと無線の速度を比べてみる。

たとえば、光ファイバを使った伝送と5G（第5世代移動通信システム）で使われている無線ではどちらが速いのか。

もっとも、この問いは実用的にはそれほど意味は認められないかもしれない。両者は競合するものではない。無線通信は光ファイバ網が行きついた先の無線中継器か

らスマホのようなデバイスまで使用される技術だから、両者は補完関係にある。

それに、いくら光ファイバの通信が速いからといって、スマホに光ファイバのケーブルを付けて使う人はいない。

あくまでも、光ファイバの速さと特性を知るための質問である。

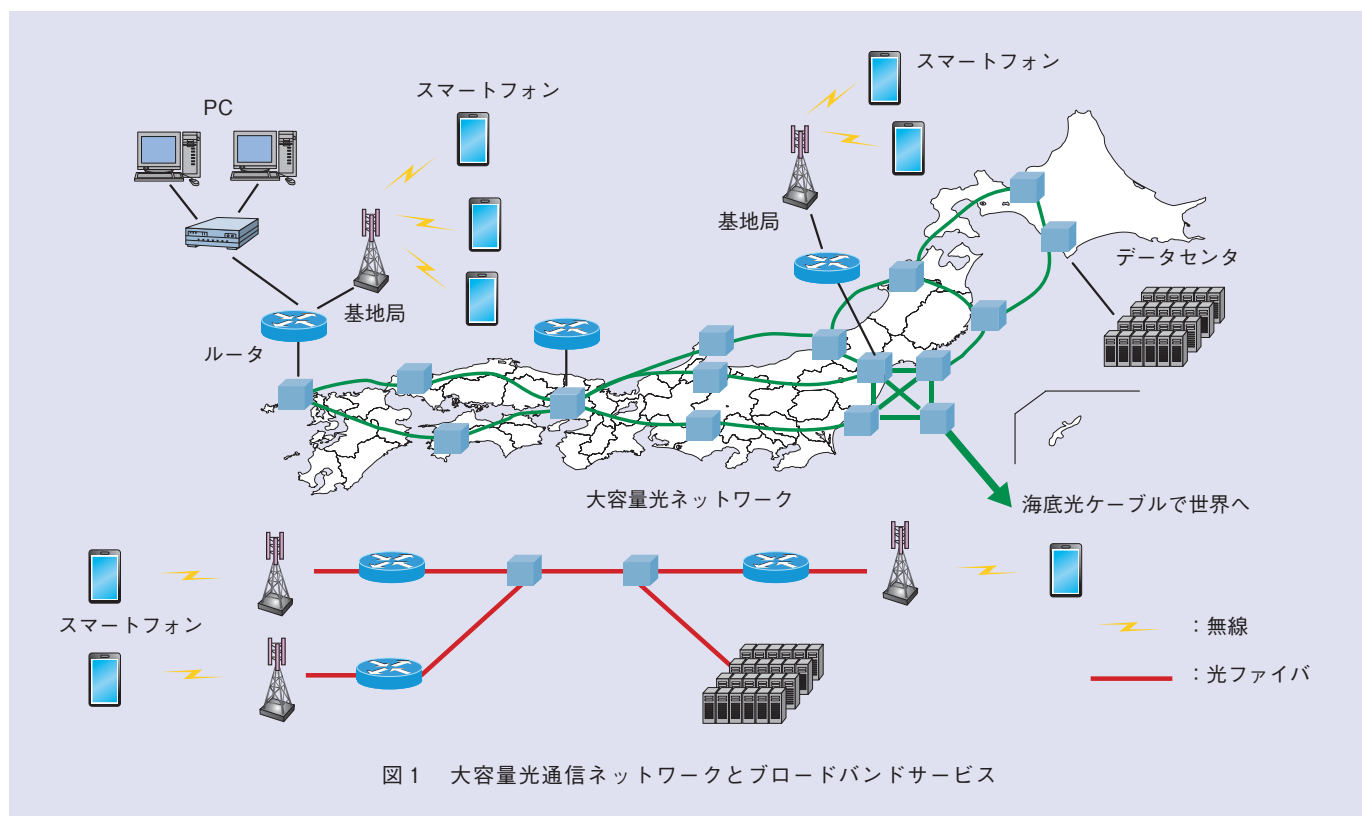
「むろん、光ファイバの方が使える帯域が広いので、本質的な通信速度は速いです。しかし、スマホは日々の生活で人々が手軽に持ち運びでき、携帯電話では、電話会社の基地局がカバーできる2~3キロ程度の領域が、全国に敷き詰められているので、いつも皆さんの身近にある通信端末として、スマホなどの無線端末の方がなじみがあると思います。モバイル環境が整っているエリアならば光に匹敵するというか、追従できるくらいの非常に高速な通信ができるでしょう。

ただし、5Gやその先のモバイル通信でも、利用可能な信号帯域は、光ファイバの方が圧倒的に広いのです。信号を並べられる帯域が圧倒的に違うので、光ファイバをつなげられる通信環境では、光ファイバ通信の方が絶対的に大容量の信号を送れます。

スマホやパソコンを例に、光ファイバと無線技術の関係について話します。普通の人の感覚では自分のスマホからアメリカにいる友人のスマホまで信号が、電波に乗ってずっと、空中を飛んでいくと感ずるかもしれませんが、それが普通の感覚だと思います。しかし、実際には、皆さんがスマホを使うときは、図1のように、意識せずに光ファイバ通信を使っているのです。たとえば、スマホを使って通話したり、テレビ電話を楽しんだりするときは、まず、スマホから至近の無線の基地局まで信号が電波に乗って飛びます。その後、基地局であつめられた多くのお客様からの電気信号は、行先別に大容量電気信号として束ねられ、さらに大容量光信号に変換された後、光ファイバを通してアメリカまで行き、先方の無線の基地局から友人のスマホまで届くという風になります。スマホで動画を見る場合も、同じように、光ファイバ通信を使って、目的の動画があるデータセンタまでつながっています」

■光と電気の融合から光の時間反転技術へ

宮本の研究チームは光の技術と周辺技術を研究してい



る。何が何でも電気をやめて光ファイバに変えようとしているのではなく、光と電気を融合させて上手に使う方法をちゃんと考えている。

宮本はこう説明する。

「信号を光で飛ばしていますね。すると、長距離になると信号のひずみがたまってしまふ。光ファイバであっても500キロも送ると雑音が乗りますし、光ファイバ固有の波形ひずみも大きくなります。そのため、光送受信装置でひずみを取らないと長距離伝送は実現できません。

今では、光信号のひずみを電気信号に写し取り、複雑なデジタル信号処理を瞬時に行うことで完全にひずみを取り去ることができます（デジタルコヒーレント光通信技術）。この技術により、経済的で信頼できる大容量化が実現されるのです。現在、スマホ等を用いたモバイルブロードバンド時代を支えているわけです。しかしながら、今後に向けて、さらに光ファイバ通信能力を進歩させようとしているのが光の信号処理を使ったパラメトリック光増幅技術や、空間多重光ファイバ通信といった

新技術です。

パラメトリック光増幅とは、ひずみの向きを、光の信号で反転させる技術です。

図2に示す通り、光ファイバでのひずみの方向は一定です。パラメトリック光増幅を用いると、ひずみの向きを、途中の中継装置で反転させることができます。最初の区間と、ひずみ向きが逆になるので、中継装置で反転後に同じ距離の区間を伝送すると、光受信回路に到達するところではひずみが相殺されて0になります。あたかも途中の中継装置の前後で、時間が巻き戻されてひずみが消えていくような振る舞いをするので、時間反転と呼んでいます。

従来、このような処理は、波長ごとに受信器において光信号を電気信号に変換して、波形ひずみをデジタル信号処理回路で取り除いていました。

一方、光の時間反転技術の前に説明したデジタルコヒーレント技術は、無線通信分野の技術を積極的に光通信システムに取り入れられないと実現できないものでした。研究開発を始めた当初は、そうした無線技術者が得意と

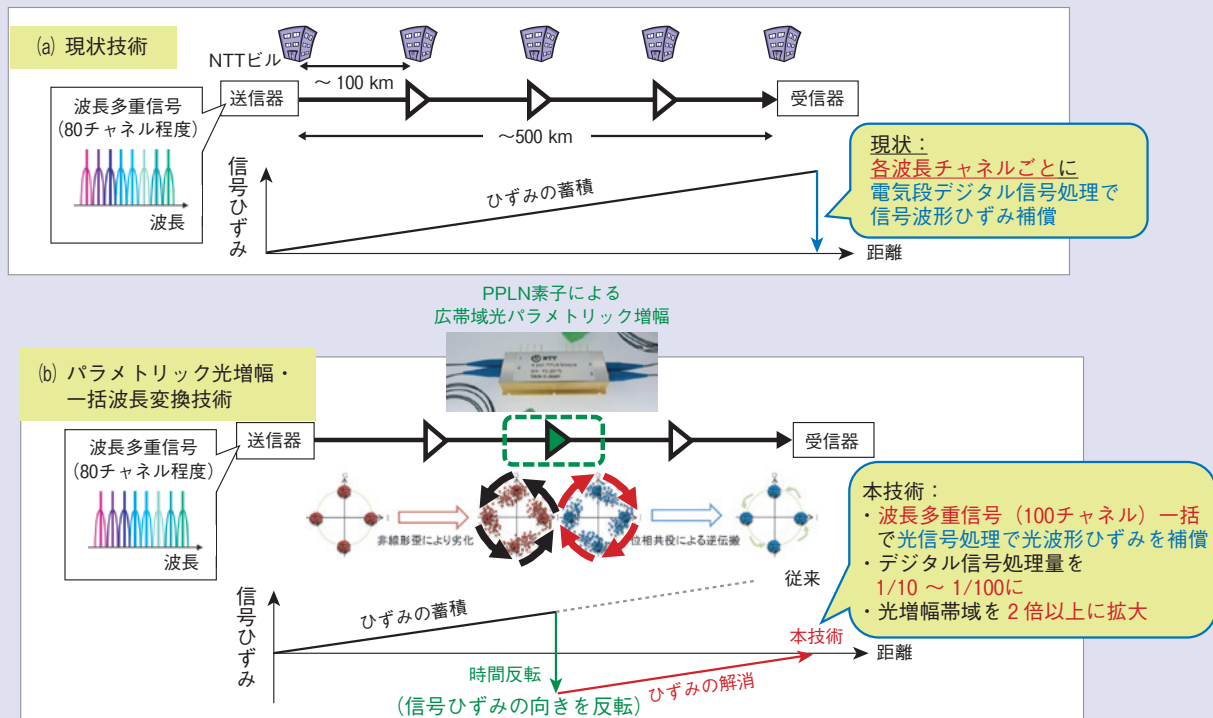


図2 パラメトリック一括光信号処理による低電力化・デジタル信号処理削減の実現

するものは、私を含めた光の技術者にとっては縁遠いものであったのです。

幸いなことにNTTの未来ねっと研究所には、無線の技術者と光の技術者が一緒にいたのです。そこで、無線通信と光ファイバ通信の知見を融合して光ファイバ通信固有の課題に対応することができました。ですから、研究においては異分野の人とタイムリーに連携することが、これからも重要だと思っています」

■光にできないこと

こうして話を聞いていくと、通信の世界では光ファイバ、光の技術は万能のように思えてしまうが、現在のところ、まだ解決しない課題が残っている。

「はい、それはそうです。光でもできないことはあります。現在のコンピュータが行っている複雑な信号処理をすべて置き換えるのは、すぐには難しいでしょう。光送受信装置も、多くの信号を一括してまとめ、大容量電気信号にする多重化装置等があります。これはほとんど電気信号処理です。

さまざまな場所からユーザの信号が入ってきます。それを高速の信号として、個々の信号をまとめてデジタル処理するには、いまのところ電気にしかできません。光は大規模で大容量の信号を遠くまで送るという使い方をしています。つまり、電気信号は複雑な処理に向いている。一方、光は広帯域な大容量信号を遠くまで伝えるのに向いている。

光が複雑な処理に向いていない理由のひとつが光のメモリがないことが挙げられます。トランジスタ集積回路 (LSI) などで信号を処理するには、信号をメモリに蓄積して、他の処理をしながら、また信号を呼び出すといったことをやるわけです。ところが、電気と違って、光のメモリはないため、ためておくことができません」

ここで、わたしは訊ねた。

「電気はためられる、電池があります。光はどうしてためられないんですか？ そういえば、『光池』はありません」

宮本は「うむ、難しいですね」と答えた。

続けて、こうも言った。

「電子は粒を局在してためることができるんですけど、光というのは、フォトン（光子）という粒子のようなものですが、それをためるような実用的なデバイスはまだないんです」

一では、どうでしょう？ 宮本さんが「光の電池」を開発すればいいのでは、と水を向けたら、彼は首を振った。

「NTT物性科学基礎研究所では、納富雅也（光の誕生の章で既出）さんが、光をためる機能等も実現可能な未来の技術に取り組んでいると思います。また、他にも、光の新しい技術で電子のコンピューティングができないような難しい計算をあっという間にやってしまうような量子コンピューティングにつながる研究をしていますよ」

■光にもキャパシティ・クランチは来るのか。

宮本から光の技術と通信について、さまざまな話を聞いた。光と電気の関係、光の優位性、光にできないこと…。

最期にもうひとつ訊ねたのは光の通信にもキャパシティ・クランチは来るのかということだ。その場合、彼らは電気でも光でもない、また新たな媒体を見つけてくるのだろうか。

以下は彼の答えである。

「現在の光ファイバ通信における研究開発の分野では、キャパシティ・クランチの到来は、既に予想されていてさまざまな取り組みが進んでいます。先ほど、光パラメトリック増幅技術の他に、言及した空間多重光ファイバ通信技術は、キャパシティ・クランチを克服するための重要技術と考えています。中島さんを始め光ファイバ部門の研究者とも密接に連携しつつ研究開発を進めています。光にはまだまだ無限の可能性があります。電気が果たしてきた役割を光が代替したり、新たな機能を生み出す可能性があります。」

NTT研究所では、さまざまなデータセンタのサーバや伝送装置に入っているLSIのなかの入出力電気配線を、より高速で小型の光配線に、代替したり新たな光処理をとりいれることで、装置のコンピューティング性能を飛躍的に高性能化する研究開発を進めています。

今後は、5Gやそれ以降に対応したデバイスがますます

普及、性能アップして、今後、さらなる高速、大容量の通信環境が要求されると考えられます。私たちはその時代に合ったサービスやインフラを考えなくてはなりません。ニワトリと卵の関係ではありませんけれど、新しいデバイスの出現があればまた光の通信環境を速くしないといけない。逆もまた真です。

私自身は、そのような研究開発にたずさわれることに、生きがいを感じています。光の技術がインターネットサービスの爆発的普及を支えたり、スマホに代表されるモバイルインターネットを支えたりして、その様子を自分自身が体感してきたわけです。光の技術は生活をドラスティックに変えました。また、コロナ禍でテレワークになり、光の通信環境のおかげで高速に世界の人とつながることができています。新しいライフスタイルに直接的に貢献している仕事ですから、やっていて、やりがいを感じています」

スマホの5Gもコロナ禍のテレワークも支えているのは光ファイバのネットワークである。私たちはそれが当たり前だと思っている。そして、宮本たちは支えることを当たり前だと思っている。当たりの状況の裏にはとてつもない時間と研究の積み重ねがある。

今回は光ファイバの開発の歴史進歩について、である。

野地秩嘉（のじつねよし）

1957年東京都生まれ。早稲田大学商学部卒業後、出版社勤務を経てノンフィクション作家に。日本文藝家協会会員。人物ルポルタージュをはじめ、食や美術、海外文化などの分野で活躍中。著書は



『高倉健インタビューズ』『キャンティ物語』『サービスの達人たち』『ニューヨーク美術案内』など多数。『トヨタ物語』『トヨタに学ぶカイゼンのヒント』がベストセラーに。『TOKYOオリンピック物語』でミズノスポーツライター賞優秀賞受賞。近著は『日本人とインド人』（翻訳 プレジデント社）。

挑 戦 す る 研 究 者 た ち CHALLENGERS



五味裕章

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
上席特別研究員

多面的に考えて、
自らが楽しくなるよ
うに発想転換。
自分だけでなく、
社会を楽しませよ
うとすることも

アスリートのスーパープレーや私たちの何気ない日常の動作等、人間の身体動作は神経反射に代表される無意識の感覚－運動プロセスに支えられています。その1つである伸張反射の調整に視覚による身体情報が関与していることをNTTコミュニケーション科学基礎研究所が世界で初めて明らかにしました。研究成果と研究者としての姿勢について五味裕章NTTコミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員に伺いました。



世界初。伸張反射の調整に、視覚による身体情報が関与していることを発見

現在手掛けていらっしゃる研究について教えてください。

私たちは、視覚等の感覚情報によって無意識に行われる運動における情報処理のプロセス等を、運動学的・心理物理学的手法、電気生理学的手法、計算論的モデリングなどを組み合わせて明らかにし、脳の情報処理に関する基礎知見を深めるための研究を行っています。

人間の運動には意識を介して行われる随意的運動と、意

識に上らないけれど動いてしまうという潜在的運動の2つがあります。潜在的運動として分かりやすいのが、検査等で「膝の皿」の下を叩くと勝手に足が動いてしまう、膝蓋腱反射といわれる現象です。これは意識には上っていませんが、神経反射によって自分が動かしているのです。潜在的運動には、運動するために必要なさまざまな身体機構を調整する能力である運動制御を伴っており、これにより、例えばスポーツにおいて相手の動きに対応した瞬間的な反応を可能にすると考えられています。スポーツに限らず、“歩く”“立ち上がる”“物に手を伸ばす”といった、日常生

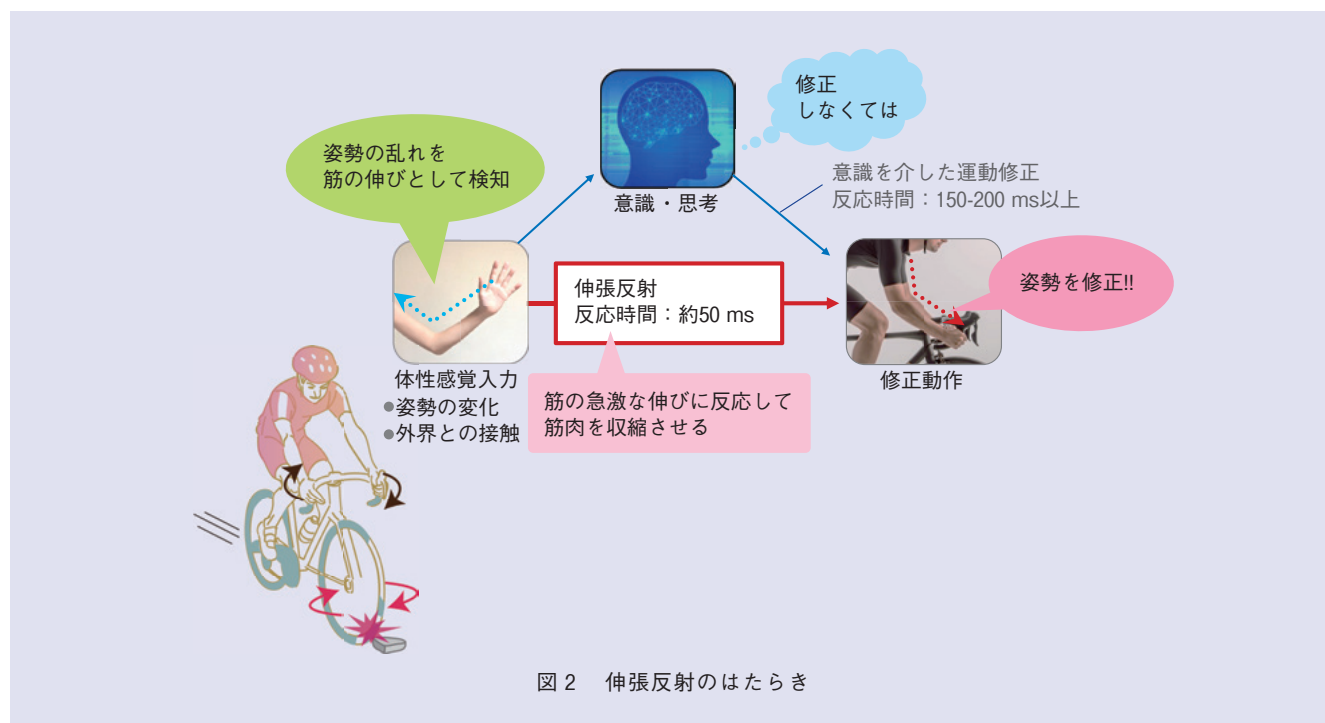
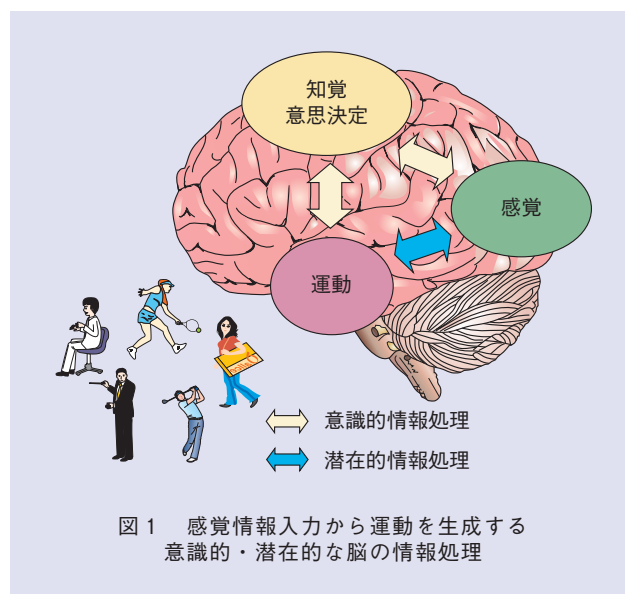
活の何気ない動作も、神経反射と運動制御による姿勢の制御に支えられた潜在的運動なのです（図1）。

これらのメカニズムを解き明かすことで、脳の情報処理全体の研究につなげていきたいと考えています。

日常の何気ない動作の解明と聞くと、研究内容がぐっと身近に感じられます。注力されている研究をさらに詳しく教えてください。

皮膚や筋、腱、関節などの受容器（センサ）からの入力によって生じる感覚である、体性感覚の情報によって引き起こされる神経反射の1つ「伸張反射」について、その情報処理に関する研究を進めています。

伸張反射は筋の受動的な伸び縮みによって生じる反射で、主に姿勢を安定に保つうえで重要な役割を果たすと考えられています（図2）。伸張反射の応答は、画一的に生





成されるわけではなく、運動中に刻一刻変化する身体状態に合わせ調整されることがさまざまな研究で明らかになってきました。一方で、その調整計算のために脳内でどのような情報処理が行われているかについては、詳細には分かっていません。伸張反射の調整が体性感覚情報のみに基づくのか、あるいは視覚情報も統合した身体表象（脳内でイメージされている身体）を利用して行われているのかはその一例で、これまで未解明だったのです。

私たちは、この伸張反射が視覚による身体情報に依存して調整されることを世界で初めて明らかにしました。実験によって、視覚目標へ到達する運動中の伸張反射が「身体運動の視覚フィードバックと実際の運動の不一致」「身体運動の視覚フィードバックの消去」という条件下で通常時より小さくなることを確認したのです。

今後は得られた知見を基に、反射系調節のために行われている脳内情報処理のさらなる解明をめざします。将来的には、アスリートの能力の解析など、人間の身体動作をより深く理解していくことにつなげていきたいと考えています。

また、伸張反射の調整には体性感覚情報だけでなく「視覚情報も統合した身体表象」が利用されていると示した点について、現在、世界的に議論がなされています。私たちの仮説を支えるエビデンスを次々に示しているのですが、ほかの研究者が納得するような成果を出したいと考えています。

このほか、体性感覚の実際の応用例として、非常に重要な働きをする触覚を刺激することによって、「引っ張られている感覚」を実感させてナビゲートする小型機器「ぶるなび」を開発しました（図3）。以前のバージョンは同僚だった人たちが開発したのですが、皮膚触覚系の特性を考慮することにより小型化・多自由度化・効率性向上に成功し、握っているだけで、外部になにも物理的にはつながってい

ないのにさまざまな方向に手が引っ張られている感覚を生じさせることができるようになりました。目の不自由な方の誘導に使えるほか、この原理を利用して、映像に合わせて刺激を与えて、例えばモトクロスバイクに乗って森の中を駆け抜けていくといった没入感を高めるようなことも可能です。このように人間の情報処理とガジェットの開発をしていきたいと考えています。



面白さと重要性を見極める

世界的な議論を巻き起こしているとのことですが、ご自身の研究成果をどう発表するなど心掛けていることはありますか。

研究の評価方法にはさまざまな視点があると思いますが、論文でいえば、世の中に知られていない結果を発表し、その結果がPeer Reviewで認められて出版されるわけですから、常に何らかの点で一番であることになりすし、それをめざしています。また、その成果の重要性の大小も問われ、重要であればインパクトが大きい成果として影響力のある論文誌に掲載されることになります。ちなみに、私



図3 ぶるなび

たちが手掛けている脳に関する研究は生理学、心理学等のさまざまな分野があり、現代では専門分野における1つの観点ではなく、こうしたさまざまな側面からの知見を合わせた複合的な視点に立った研究がトレンドです。私たちの研究でいえば、運動や感覚などの物理現象や心理学的な視点と脳の部位などの神経科学的なデータを組み合わせて示していくことで、説得力やインパクトのある成果になっていきます。

このようなトレンドを踏まえて研究に臨み、その成果がいかに重要であり新しいかを論文の中で説明し、影響力の大きい専門誌に掲載することは、日々の目標のうちの1つです。体性感覚反射の成果は、ジャーナルのプレスリリースにも掲載されたことで世界的に注目されました。

研究者自身の発信も大切だと思います。NTTも研究者の発信は重要視しており、毎年、NTTコミュニケーション科学基礎研究所がオープンハウスを実施して研究成果を広く一般の方々に報告しています。いうまでもありませんが、伝える際には分かりやすさが重要です。実は、オープンハウスで一般の方に分かりやすく説明するのに試行錯誤していることが、大学での講義にも役立っています。このように日々の仕事でも伝え方を養うことができていると実感するのですが、このほかにもプロジェクトを進める際の説明が意外と役立っています。NTTは組織が大きく関係する部署も多いので、説明資料を持って諮る機会が多くなります。同じ研究成果や計画でも各部署や部門によってニーズ、視点や認知度等が違いますから、対象に合わせて分かりやすく説明することが重要です。実際の日常生活での必要性・重要性まで、一般的に、説明することを通じて他部署やマネジメント側に諮るというのは、研究とは直接関係ない雑用的なものと思われがちですが、このプロセスをどう活用するかを別の角度から眺めてみるとポジティブな面が見えてきます。

確かに視点を変えるだけでポジティブな行為に思えますね。

私は、このように見方を工夫することで、何でも面白い、役に立つと思えるようにしていくことが非常に重要だと考えています。研究活動というのは本当に地道で失敗の多いもので、サクセスストーリーは決してありません。「未知の何かを切り拓いて、失敗して、立ち直って、また頑張る」の繰り返しなのです。このプロセスを面白くないと思ったら、おそらく前には進めないでしょう。ただ、そう心掛けていても実際には面白くないこともあります。私は何が重要で、何が重要でないかを見極めることを並行して進めています。いくら見方を工夫してみても、重要でないと思ったことは面白くないのです。こうしたことを繰り返す中で、物事の神髄を見極めることは本当に面白いし、神髄が何かを理解できる自分であることや自らが担えるようになることに注力していく大切さを実感しています。

逆に、面白くないけれど重要なこともありますから、何とかして面白くしていく努力も必要でしょうね。例えば、昔私は英語があまり得意ではなく、高校生くらいまでは英語の勉強が嫌で、理数系の勉強ばかりやっていました。しかし、「英語を話すことができれば、さまざまな人とのコミュニケーションを図れるようになる。そのための手段を獲得する」と思った瞬間に、得意ではない勉強への意識が変化しました。勉強の方法が面白くないのであれば、その方法を面白くすれば良いと考えます。英語で何とか意思疎通を図ろうと試行錯誤を繰り返して、下手ながらもコミュニケーションが図れるようになっていくような、こうした努力が必要なのだと感じています。

先日、文部科学省新学術プロジェクトの国際会議がオンラインでありました。OIST（沖縄科学技術総合大学）の銅谷賢治先生が取りまとめていらっしゃる会議で、人工知能関連の世界的な研究者に日本に来ていただく予定だった



のですが、残念ながらコロナ禍によって、オンラインの開催になってしまいました。その会議でセッションチェア（座長）を担うことになっていたのですが、まさかオンライン会議になるとは思ってませんでした。日本語でもオンラインの会議はちょっとやりにくいと思っていたのですが、英語でオンライン会議のディスカッションチェアになるのは想定外でした。脳の計算論、今はやりのディープラーニング、生理学の研究者まで多彩なトピックでビデオ講演いただいた研究者のディスカッションをオンラインでまとめるのはちょっと荷が重かったです。座長を務めるということは講演されるすべての方の内容を把握していないといけません。きちんと役割を果たさなくてはと思い、事前に講演ビデオを必死で視聴しました。座長担当以外の講演内容も併せて30～40分26件のビデオを必死で視聴して分からないところを繰り返し見直すということをして、まるで受験勉強のようでした。これはディスカッションを面白いと思ってもらえるように、あるいは白けないようにしなくてはと思って必死になれたのですが、面白くしよう、面白く思ってもらえるように、と考えなければこんなに懸命になれなかったと思います。面白くしようとするのが根底にありますね。



ワクワクと不思議だなと思う感覚を大切に研究に臨む

猛勉強された達成感が伝わってきます。こうした熱意を保つ工夫はなさっていますか。

実験は地味で大変な作業です。まったく面白くないこともあります。視野の動きに合わせて人の手が動くというお話をさせていただきましたが、この実験を1日中、延々と自分たちでやり続けることもあります。実験パラダイムができて、被験者さんをお願いして、実験を繰り返す。この

作業そのものはまったく面白いと思えなくても、この実験によって分かったことが何につながっているのか、いったい何が分かるのだと、「ワクワク」を心に設定するのです。目の前にある大変なことだけを見てはつまらなくなるだけですが、その先にある成果を考えればきっと楽しくなるはずです。

また、研究者は自分がオーソリティだと思ってしまったら、その瞬間に研究者ではなくなるとさえ思います。研究分野には常に未知のことがたくさんあるから研究するのであり、そこに面白さがあるのです。そのためにも、分からないことに常に真摯に向き合うことが重要だと思います。興味の対象を明らかにしていきたいという熱意があるうちは頑張っていけると思います。

この熱意を保つために、私は内発的動機付け、興味を持つことをとても大切にしています。それから、隣接する領域の研究者の方と頻繁にディスカッションしています。面白いと思う感覚や事象、トレンド等、話すたびに、コミュニケーションを図ることの重要性を実感しています。そして、不思議だなと思う感覚も大切にしています。脳の情報処理を研究していると、日常のふとした瞬間に面白いなと思うことがあるのです。例えば、前回のインタビューで体験していただいたエスカレータの実験です。停止しているエスカレータに乗った瞬間に違和感を覚えたときに不思議だと感じ、これにはどういう脳の情報処理がかかわっているのだろうと考えを発展させていく、妄想することがとても重要なのです。

また、「ぶるなび」の引っ張られている感覚についても、これはどういう脳の情報処理でこの感覚が生じるか、どんな刺激を与えると良いのかと深掘をしていくことで、適切な問題設定に結びついていき、それが研究成果に発展していくのです。私たちの研究の対象は日常に近いところがあるので、こうした疑問を持ちやすいのかもしれませんが、こ

れが宇宙等、別の研究テーマだったら今の私には難しいかもしれませんが、きっとそれを専門にしている人は、それが面白くできるのだと思います。

後進に向けて一言お願いいたします。

「仕事」というと、ネガティブなイメージを持つ人がいますが、「やらされる感」で動いていては何もうまく回らなくなってしまうのでは、と思います。もしそんな気持ちになったら、私は仕事の面白さや熱意など、気持ちがポジティブな方向に向くように発想転換する努力をしてほしいと願っています。ポジティブな気持ちになることで、皆さんが手掛けている研究が、「寝食を忘れて夢中になる」「ガムシャラに、無理をしてでもやりたい」と思えるようなものであってほしいと願っています。先ほどお話しした「面白いものにしていこう」ということは、研究対象に夢中になることにつながっていきます。

むしろ実際には、無理しすぎたら身体を壊しますし、頑張りすぎると追いつめられてしまうこともよくある話なので、こうした部分には気を使っていくことは重要です。しかし、特に若いときは、がむしゃらに頑張る期間もあっていいと思います。ただしずっとオンでは参ってしまいますので、オフもちゃんととるようにしてほしいです。あと、研究という職で難しいと思うことは、自分の勉強と仕事との切り分けです。切り分けがうまくできる人もいますが、私は下手なほうかもしれません。つい没頭してしまうんです。ただ、研究では常に新しいことを学んでいかないとはいけません。こういうことを言うとプロ失格と怒られてしまうかもしれませんが、仕事のしすぎだよと言われても、いや面白いから勉強しているんだ、と心から思えるようになってほしいです。無論、馬力をかける一瞬はきついこともあります。自己研鑽と思って頑張してほしいですね。

もう1点、研究者を取り巻く環境変化についても触れておきたいと思います。インターネット等、便利なツールが増えたことで研究のスピードが上がっていることを実感しています。かつては、図書館で探したり数週間かかって取り寄せたりした論文も、今ではインターネットを介して即座に読めるし、自分の知りたいことをすぐにネットで調べられるようになりました。ですが私は早さよりも、本質的な問題を考えることを心掛けて研究を進めたいと考えています。私は不器用なので、論文を出すスピードは海外の研究者と比べて遅いかもしれませんが、拙速に問題を解決しようとしていて本質的な問題解決に至らない例を見ることも多く、私自身は問題の本質は何かを見極めるのに時間をかけるようにしています。オリジナリティのある面白い研究に時間を取らせてもらえる環境がNTTの基礎研究所にはあります。私は素晴らしい同僚の存在も含めてとても恵まれていると感じます。素晴らしい同僚や国内外の共同研究者、またより広く社会に「面白い」と思ってもらえる研究をしたいと思っています。

私は、夏目漱石が使った「則天去私」という言葉がとても好きです、というか心掛けたいと思っています。これは、小さな自分にとらわれず、身を天地自然にゆだねて生きていくという意味です。私も含め人は弱いもので、どうしても自分中心の視点にとらわれてしまいます。他人の視点で、社会の視点で、天からの視点で、いろいろな視点を移して考えることで、ものごとのさまざまな側面がみえてきて、面白さ、楽しさを見つけられるようになると思います。研究はうまくいかなくて悶々とすることも少なくないですが、楽しく、そしてプレッシャーを感じすぎないように取り組んでほしいと思います。



NTTコム オンライン

プロフェッショナル集団による データ解析・応用ビジネスの トップランナー

NTTコム オンライン・マーケティング・ソリューションは、ビッグデータ時代のデジタルマーケティング会社として設立された会社だ。多くのプロフェッショナル人材を擁し、成長市場を見つけてそこに身を置くという戦略で、トップランナーとして走り続けてきた同社の塚本良江社長に話を伺った。



NTTコム オンライン・マーケティング・ソリューション 塚本良江社長

成長市場のグローバル企業との 戦略的提携で事業拡大

◆設立の背景と目的について教えてください。

NTTコム オンライン・マーケティング・ソリューションは、NTTナビスペース（データベースマーケティング会社）、デジタルフォレスト（データ解析会社）、NTTコミュニケーションズのソーシャルマーケティング事業、NTTレゾナントのリサーチ事業を統合し、ビッグデータ時代のデジタルマーケティング会社として、2012年10月1日に設立されました。

これまでの8年間、デジタルマーケティング（デジマ）事業を展開する中で、デジマの領域を超えて拡大したのが、データアナリティクス事業とメッセージサービス事業です。第2、第3の事業の柱となっています。

データアナリティクス事業は、当初は顧客データの分析が主でしたが、最近では、製造業などでのセンサデータや、品質管理のためのデータ分析なども行うようになりました。

メッセージサービス事業は、デジマでさまざまな顧客接点の構築・運用をさせていただく中でも、NTT（電話会社）だったからか、企業向けのスマホのショートメッセージ（SMS）送信が特に大きく伸び、第3の事業の柱となったものです。

こうしたビジネス領域の拡大に伴い、事業規模は会社設立当時の約3倍になりました。3本の事業の柱を持つ「NTTコム オンライン」として、この秋から、新コーポレートブランディングを展開しています。

◆具体的にどのようなサービスを提供しているのでしょうか。

デジタルマーケティング事業においては、「顧客データの統合・管理」、「データの分析と活用コンサル/支援」、マーケティング・オートメーション等を活用した「カスタマーエクスペリエンスの向上支援」、Web、ソーシャルメディア、SMSといった「顧客接点構築・運営」の各ソリューションをお客さまのご要望に合わせワンストップで提供しています。提供にあたっては、SAP、Google Analytics、Salesforce、NPX Pro、Oracle、HeartCoreなどのマーケティングテクノロジーの導入が必要となるので、そのインプリおよび運用の伴走も行っています。

データ&アナリティクス事業では、会社創設以来で提供しているマーケティング・アナリティクスの領域（パネル調査・分析、NPS[®]調査・分析、ソーシャルメディア分析等）に加え、昨年度から、データ解析とデータ統合のグローバルリーダーであるTIBCO社との提携を開始しました。あらゆるデータの収集・統合・管理から解析・可視化/共有・予知/検知までをワンプラットフォームで提供しています。製造、エネルギー、金融、航空/交通、医療などのミッションクリティカルな領域で、グローバルビジネスを展開する大手企業で多く活用いただいています。

ビジネスメッセージ・サービス事業では、企業向けのSMS送信サービス「空電ブッシュ」が、5年連続で国内市場トップシェアとなりました。金融機関での二要素認証での活用などを中心に使われています。昨年からは開始した

「ビデオトーク」は、SMSに送られたURLをクリックするだけで、企業とそのお客さまがすぐにビデオ通話を始められるサービスです。リモートワークの急速な普及により多くの問合せをいただいています。

こうした事業は、自社での内製開発によるプラットフォーム構築・運用に加え、グローバルで最先端のテクノロジーやメソッドを持つ企業と提携することで推進してきました。米国TIBCO社との独占業務提携や、米国Gigya社との「GIGYA」(現SAP-CDC)との独占業務提携、米国サトメトリックス社とのNPS®での独占業務提携などです。

自社の開発力を強化するために、各種の認定資格者を積極的に増やしています。AWSではAPNアドバンスト コンサルティングパートナーの認定もいただきました。

◆ プロフェッショナル集団として、 信頼の伴奏者となり企業の進化を支える

◆ 輝かしい実績ですね。何かポジティブな循環があるように思えますが、

戦略的提携という点において、最初はグローバル市場の中でもこれから大きくなりそうだとテクノロジーに、早い段階から目をつけて対応してきました。いくつもの提携を行い、実績を上げることで、人脈の広がりや評判により、相手から提携に関するオファーをいただくケースも増えました。

一方で、こうした戦略も社員なくしては実績にはつながりません。社員の大半がデジタルマーケター、データサイエンティスト、ディベロッパー、データエンジニアといったプロフェッショナルな人材・スペシャリストです。「SAP

Partner最優秀個人賞」を受賞する社員などもおり、こうした社員が、サービス、ソリューション、プロダクトをお客さまに最適なかたちで届けてくれるのです。また私たちは、カスタマーサクセスが重要だと思っています。テクノロジーやサービスを導入するだけでなく、それらを活用して、お客さまがビジネス課題を解決し、成功する(=カスタマーサクセス)まで伴走する。地道なご支援(=カスタマーサクセス活動)が信頼関係につながると信じています。これからも徹底的に現場に寄り添うプロフェッショナル集団として、信頼の伴奏者となり企業の進化を支えていきたいです。

働き方改革やテレワークといった言葉を頻繁に見かけるようになりましたが、当社では新型コロナウイルス対策以前からテレワークを推進しています。そして、多様な才能を持った社員が最大限のパフォーマンスで活躍できるよう、好きな時間に好きな場所で働くことができる、裁量労働制を導入しており、ほとんどの社員がその対象となっています。また、プロフェッショナルなスキルに関する育成にも力を入れています。こうしたかたちで、人の才能が最大限に開花するような仕組み、制度、文化、環境をつくることですが、信頼の伴奏者となるための重要な役割を果たしているのです。

◆ 今後の事業展開や抱負についてお聞かせください。

当社は会社設立以来、成長市場を見つけてそこに身を置くという戦略のもと、3本の事業でビジネス展開することができたまでになりました。この領域はまだ成長分野です。市場と一緒に成長していきたいと思っています。

SMSで必ずつながる、スマホのオンライン顧客対応、オンライン営業 ビデオコミュニケーションサービス 「ビデオトーク」

ビジネスメッセージ・サービス部
テクニカルプロダクトマネージャー
岩水 堅治 さん

◆担当されている業務について教えてください。

「ビデオトーク powered by 空電」(以下、「ビデオトーク」という1対1の顧客対応時のビデオコミュニケーションを可能とするサービスの企画・開発から普及・啓蒙、営業支援活動を担当しています。

当部門の主力商材であるSMS一斉配信サービス「空電(からでん)プッシュ」というサービスがあります。SMSの到達率・開封率が高いという特徴を利用したプッシュ型のメッセージングサービスであり、ビジネスメッセージサービス・プラットフォームとして位置付けています。「ビデオトーク」は、この「空電プッシュ」とNTTコミュニケーションズが提供するWebRTCサービス基盤「SkyWay」を活用して、企業とその企業の顧客との1対1対応時に有効なビデオコミュニケーションを提供するサービスで、2019年2月にサービスを開始しました。

企業のオペレーターがビデオコミュニケーションを必要とする顧客にビデオ通話専用のURLが記載されたSMSメッセージを送ります。SMSメッセージを受け取った顧客は、SMSに記載されたURLをクリックするだけで、オペレーターと即時にビデオコミュニケーションが開始されます。顧客側はスマートフォンにビデオ通話専用のアプリケーションをインストールする必要もなく、また、事前にユーザ登録やアカウント交換などの手間が発生しません。そのため、オペレーターは初見の顧客でもあって「いま・すぐビデオ通話」が可能となるサービスとなっています。スマートフォンで撮った写真をオペレーター側に即時に送ることや、テキストチャット、画面共有、通話状況の録画もでき、1対1のリアルタイムコミュニケーションが実現可能です。

◆手軽に使えるそうですね。どのような利用シーンがありますか。

当初はコンタクトセンターにおける利用を想定していま



岩水堅治さん

した。

例えば、自動車保険会社の場合、コンタクトセンターでは事故現場の状況確認において電話では難しかったヒアリングがビデオコミュニケーションにより視覚的に確認できるようになり、迅速・正確な対応が可能になります。IT機器や家電の場合、設置場所の状況が映像にて把握できれば装置の動作状況の確認や操作説明を的確に行うことが可能となります。また、不動産関連では、賃貸物件の紹介・内覧、退去時の物件確認などにも活用できます。

具体的な事例として、顧客の高級家具を保管するための運搬・倉庫業を営んでいる、プレミアムストレージサービス株式会社様の事例があります。作業手順の確認や見積り作成のため顧客宅(現地)への訪問が必要でした。また、現地訪問ができない遠隔地の場合は、事前の確認のために顧客が撮影した写真を送付いただいていたのですが、情報が不足することが多いため、何度も写真撮影・送付をお願いしたり、場合によってはご依頼をお断りせざるを得ないケースが少なくなかったそうです。このような課題を解決するために「ビデオトーク」を採用いただきました。アプリのインストールや事前のユーザ登録などの手間もなく簡単な操作でビデオ通話が可能なため顧客にはおおむね好評で、企業側も手軽にテレビ電話で遠隔見積もりが可能となったため受注率が約2割向上したそうです。

また、ある消防署では、救急車が到着するまでの間の、心臓マッサージやAED使用等の応急処置の遠隔指示に使用することにより生存率の向上を図るという期待を込めて「ビデオトーク」を採用され、救急以外にも利用拡大を検討されているそうです。最近では、リモート接客、リモート営業用途で採用いただくことが多くなっております。

◆ご苦労された点を伺えますか。

「ビデオトーク」は、企業対顧客(B2C)における1対1の対面での顧客対応をリモートで実施することを想定して開発したのですが、「ビデオ通話」=「Web会議」と想定されることが多々ありました。「ビデオトーク」のメリットを説明するにも、「Web会議」を想定されると効果やサービスの強みがうまく伝わらないことがありました。また、世の中に企業対顧客(B2C)のビデオ通話利用の事例がほとんどないため、導入の意思決定までに至ることが困難でした。利用シーンのメインターゲットであるコンタクトセンターにおいては、次世代コンタクトセンター構想の中でビデオソリューションの活用を挙げておられる企業も多く、ビデオ通話の利用は理解してくれるのですが、効果を数値で示すことが難しいという点に業務フローの変更を伴うこともあり、採用に至るケースは多くありませんでした。

ところが、2020年に入り、半年間で前年の6倍ほどの新規のお客さまにご採用いただいております。これは、NTTコミュニケーションズグループの法人営業からお客さま紹介等の支援をいただいたところも大きいのですが、

新型コロナウイルス対策により、企業のセールスパーソンが顧客と対面接触できなかつたり、限定的になっているケースで「ビデオトーク」に着目された結果です。特に個人顧客を多く抱える生損保系の営業では接触手段にお困りのところ、「ビデオトーク」をご採用され、ビデオ通話を利用した顧客接点活動を実践されている事例が多くなっております。

◆今後の展望について教えてください。

機能的・技術的な面では、多言語対応や自動音声認識、さらに自動翻訳機能などを追加していきたいと思います。今後、訪日・在日外国人が増えることを想定し、こうした方々をターゲットとしたビジネスが数多く登場してくると思っています。AIと連携した画像解析などにもチャレンジしたいです。

一方、新型コロナウイルス対策がきっかけとなり、Web会議をはじめとするビデオ通話の利便性を多くの人が実感したと思います。今後、デジタルトランスフォーメーション（DX）の浸透が加速していくに従い、ビデオコミュニケーションが当たり前のように使われるようになると思います。こうした動きの中、私たちが想定していない利用シーンも登場していきます。新たな利用シーンを想定した機能実装を考えるばかりではなく、世の中の動きをいち早くキャッチし、業務課題を解決できるようお客さまに寄り添ったサービスとして展開していき、「ビデオトーク」のさらなる普及に努めていきたいと思っています。

NTTコム オンライン・マーケティング・ソリューション ア・ラ・カルト

■帰宅訓練

東日本大震災の際、個人で単独帰宅しようとしてリタイアした人が多いことが分かりました。一緒に行動できる「帰宅方面グループ」をつくり、顔見知りになるためにも実際に一緒に帰宅する訓練をしようというのが始まったきっかけです（写真1）。

オフィスに「スタート地点」を設け、チームごとに地図と水を受け取り「チェックイン」を済ませて、社長から激励を受けながらゴールに向けて出発です。毎年の定例行事なのですが、新型コロナウイルス対策で、2020年は「帰宅方面グループ」編成を継続し、帰宅訓練は見合わせています。

転入者など初めての参加者からは、「本当に歩くのか？」という反応だったようですが、実際に参加すると、組織横断のコミュニケーションで盛り上がり、ゴール後は自然発生的にオフ会が開催されたとのこと。中には、スタート直後に道に迷い、ゴールまでの道順はさておき、オフィス付近の地理に相当詳しくなったグループもあるようです。

■All Hands

各専門分野で活躍している約200名の社員全員が一堂に会して、事業の方向性合わせと一体感醸成を目的に恒例ミーティング「All Hands」を四半期ごとに行っています（写真2）。社員が楽しく参加できるよう、懇親会のフード・ドリンクにも趣向を凝らし、チームごとに分かれた謎解き合戦やクイズ大会等、お祭り気分で盛り上げる企画となっているようです。

2020年度は、新型コロナウイルス対策によりフルリモートで実施しています。単なるWebミーティングではなく、あえてプレゼンターとモニタ画面をカメラ撮影してライブ感を出すなどの工夫をされています。懇親会ができない寂しさもある一方で、オンラインミーティングという場に社員全員が参加していることの新鮮さとともに、リアルとはまた違った「つながり感」を持った社員も多くいるようです。



写真1

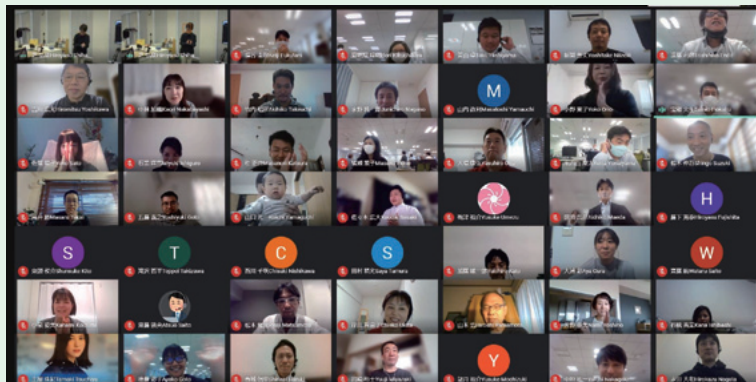


写真2

通信ビルエッジを活用した GPU・データレイクの技術開発

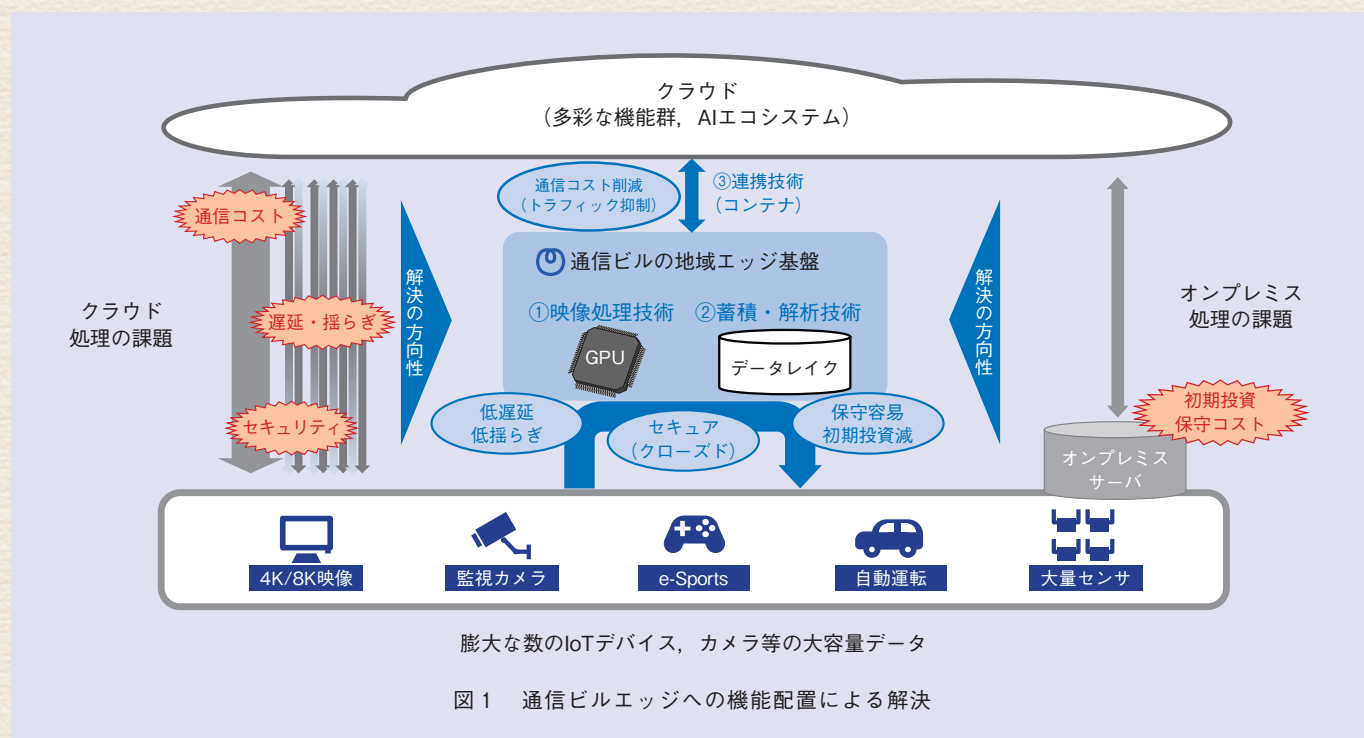
NTT東日本デジタル革新本部デジタルデザイン部では、ネットワーク事業推進本部高度化推進部と連携し、当社が保有する通信ビルの特徴を活かしたサービスの実現に向けて、映像AI（人工知能）解析技術、データレイク技術の確立に取り組んでいます。映像AI解析では、AI推論のコアとなるGPU（Graphics Processing Unit）を複数のユーザでシェアし、低コストに利用可能とする技術、およびAIアプリケーションの開発、試験から商用サービスへの適用を確実にスピーディに実現するコンテナベースの運用手法を確立するとともに、多種多様なAIサービスをプラットフォーム上で提供するためのサービス向けAPI（Application Programming Interface）の開発に取り組んでいます。また、データレイクでは、カメラ映像や医療系情報等の地域に蓄積されたさまざまなデータをセキュアに蓄積し、利用者が目的に応じて必要な情報を取り出し、AI等を用いて解析することができる技術の確立をめざしています。

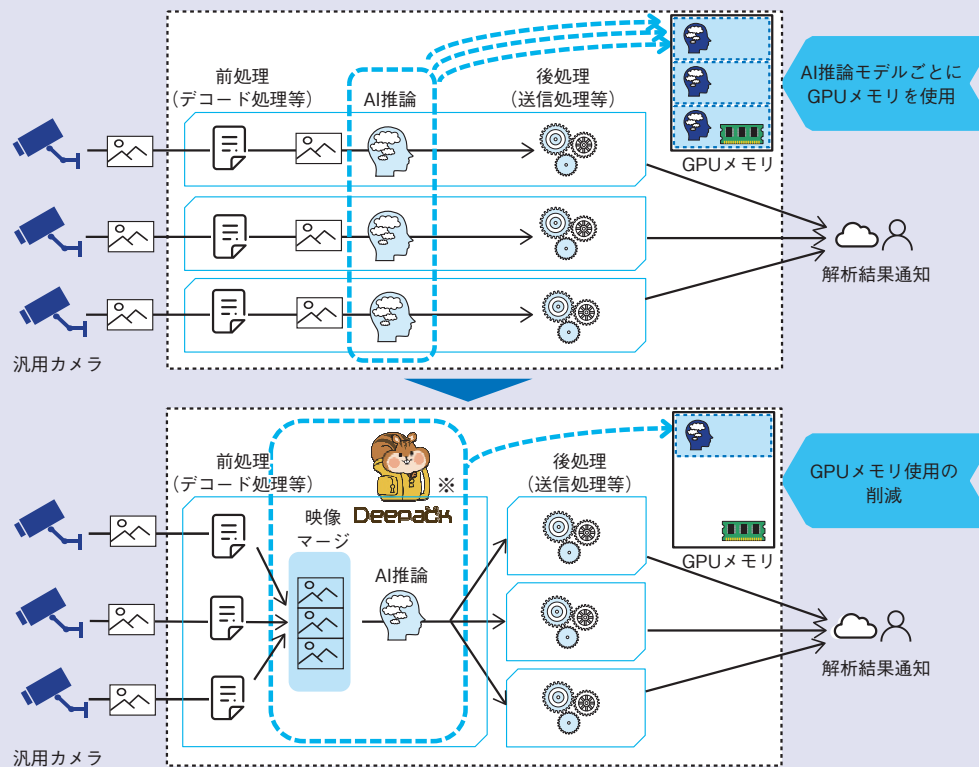
技術開発の背景

近年、膨大な数のIoT（Internet of Things）デバイスやカメラ等の大容量データをAI（人工知能）技術を活用して解析することにより、さまざまな価値を生み出す利用形態が広がっています。これらの利用において、データをクラウド上で処理する場合、クラウドまでの通信コスト、遅延、セキュリティ・安心感の課題が想定されます。また、データを端末やオンプレミスなどのユーザ拠点で処理する

場合、初期投資や保守の課題があります。そこで、データの処理や蓄積の機能をクラウドとユーザ拠点の間に位置する「通信ビルエッジ」に配置することにより、これらの課題の解決が期待できます（図1）。

一方で、国内の地域を見渡すと、人手不足の解決やニューノーマルの模索などのさまざまな社会課題があります。そこで通信ビルエッジを活用し、地域のさまざまな課題の解決をめざす「REIWAプロジェクト」*¹において、PoC（Proof of Concept）を通じた技術の確立とユースケースの開拓





※ Deepack®：NTTソフトウェアイノベーションセンタが開発した、リアルタイム映像解析技術

図2 GPU高収容化

を進めています。具体的には、GPU (Graphics Processing Unit)^{*2}を用いた映像のAI解析技術、大容量の映像や地域に散在するデータをセキュアに蓄積し使いたいときに利用可能なデータレイク技術[※]を確立し、その有効性の検証を進めています。

映像 AI 解析技術

(1) GPU 高収容化技術

高度な映像AI解析を実現するためには、AI推論^{*3}を行うGPUが必要となります。しかし、これまでの映像AI解析サービスでは、GPUを搭載するコンピュータをカメラと一体で提供する形態が主流でした。この形態では、カメラごとに高価なGPUを占有して使用するため、高コストとなることが課題でした。そこで、通信ビルエッジに設置

したGPUサーバをネットワーク経由で複数カメラ、複数ユーザで共有利用することで、GPUを低コストに利用可能とすることをめざし、GPU高収容化技術の確立に取り組んできました（図2）。

GPU高収容化技術は、NTTソフトウェアイノベーションセンタが開発したリアルタイム映像解析技術「Deepack®」を導入し、複数の映像ストリームを束ねてリアルタイムにAI推論を行う方式により実現しました。これはAI推論を一括で行うことでGPUメモリの使用を低

*1 REIWAプロジェクト：Regional Edge Interconnected Wide-Area Networkの略。NTTのアセットを活用し、地域課題を解決、地域貢献する弊社のプロジェクトの総称。

*2 GPU：3Dグラフィックスなどの画像描写処理を行う半導体チップ。ディープラーニングを使ったAI学習やAI推論においても活用されています。

*3 AI推論：AI学習で作成されたAI推論モデルに、画像等のデータを入力し、解析結果を得ること。

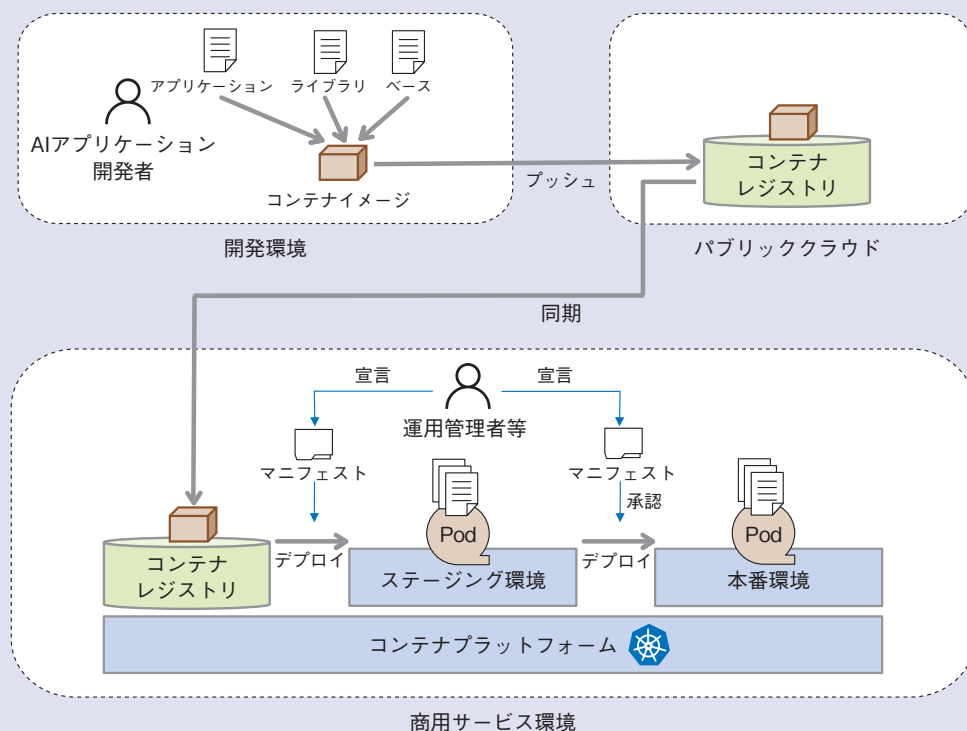


図3 コンテナベースの運用

減し、同時にAI推論を可能とする映像ストリーム数を増加させるものです。さらに、このAI推論処理、およびAI推論の前後処理をハードウェア (GPU、CPU)、ミドルウェア、OS、アプリケーションをレイヤ横断的に最適化することにより、GPUへの映像ストリームの収容数を世界的に類を見ないレベルに高めています。

(2) コンテナベースの運用

開発したアプリケーションを商用サービスの環境に適用するには、開発環境で手順書を作成し、その後、商用サービスの環境で手順書に従って構築する手法が一般的でした。しかし、この手法では人的ミスやソフトウェアバージョンの不一致などによる構築時のトラブルのリスクがあります。加えて、AIアプリケーションではGPUやさまざまな推論モデルを利用するため構成が複雑化しており、手順書による構築に代わる構築手法の確立が必要となります。これらの課題を解決するため、開発環境と商用サービス環境の間のポータビリティを実現するコンテナ^{*4}技術を採用

しました。また、コンテナの管理には宣言型のコンテナオーケストレーションを採用することにより運用の自動化を実現し、さらにアプリケーションデプロイの自動化にも取り組んできました (図3)。

まずAIアプリケーションの開発者はクラウドなどの開発環境で作成したコンテナイメージをコンテナレジストリに置きます。次にコンテナオーケストレーションによるアプリケーションのマニフェスト (宣言) の変更をトリガとして自動的にコンテナイメージをステージング環境にデプロイを行います。検証後、運用管理者の承認により商用サービスの本番環境へのデプロイを行います。これによりAIアプリケーションのような更新頻度の高いアプリケーションをスピーディに商用サービス環境へ配備できる仕組みを

^{*4} コンテナ：アプリケーションが動作するのに必要な実行ファイル・ライブラリ一式をパッケージ化することによりアプリケーションをさまざまな環境上で動作可能とする仮想化技術。近年急速に普及し世界の主流になりつつあります。

実現します。

(3) AIサービサー向けのAPI

映像AI解析の商用サービスでは、AIアプリケーションを開発する多くのサービサーにNTT東日本がAI推論の基盤を提供することにより、エンドユーザに多種多様な映像AI解析サービスを提供することをめざしています。そのためには、AI推論の基盤が安価に利用できるだけでなく、AIサービサーにとって便利に利用できることが重要となります。そこで、AI推論の基盤をAIサービサーに提供するAPI (Application Programming Interface) の開発に取り組んでいます(図4)。このAPIの開発では、国内外のAI関連イベント、コミュニティなどのオープンな場で情報発信を行い、AIサービサーの方々のご意見、ご要望をいただきながら技術開発を進めていく予定です。

データレイク技術

(1) リアルタイム処理と蓄積処理

AI解析サービスでは、データをリアルタイムに解析するだけでなく、蓄積されたデータを利用してAI解析を行うサービスが考えられます。例えば、店舗に設置されたカメラの映像解析では、不審者の検出などの防犯目的の利用はリアルタイムでのAI解析が求められますが、顧客の動

線分析などのマーケティング目的の利用では、蓄積された映像を後日引き出してAI解析を行うことが考えられます。このような利用では、大量のデータを低コストかつセキュアに蓄積し、必要に応じて速やかに利用できる仕組みが必要となります。そこで通信ビルエッジを活用したデータレイク技術の確立に取り組んでいます。

(2) データレイクのアーキテクチャと要素技術

データレイクは、カメラ映像や地域の各種データベースから収集したデータを構造化・非構造化などのデータ種別やセキュリティなどの条件に基づいて、コストや性能が最適なストレージに蓄積するストレージサービス(図5①)、蓄積されたデータを利用するときに目的に応じてデータを変換、抽出するデータレイクコンポーネントサービス(図5②)、およびユーザ管理やオペレーションなどの非サービス系機能(図5③)を具備します。さらにサービスAPIを介してクラウド上などの各種データ解析サービス(図5④)や映像AI解析のプラットフォーム(GPU高収容化)と連携します。

OSSコミュニティ、ベンダ製品、NTTグループサービス、NTT研究所から優れた技術を取り入れ、REIWAプロジェクトのユースケースへの技術展開、フィードバックを通じて技術を磨き、データレイクサービスの実用化に向けて取り組みます。

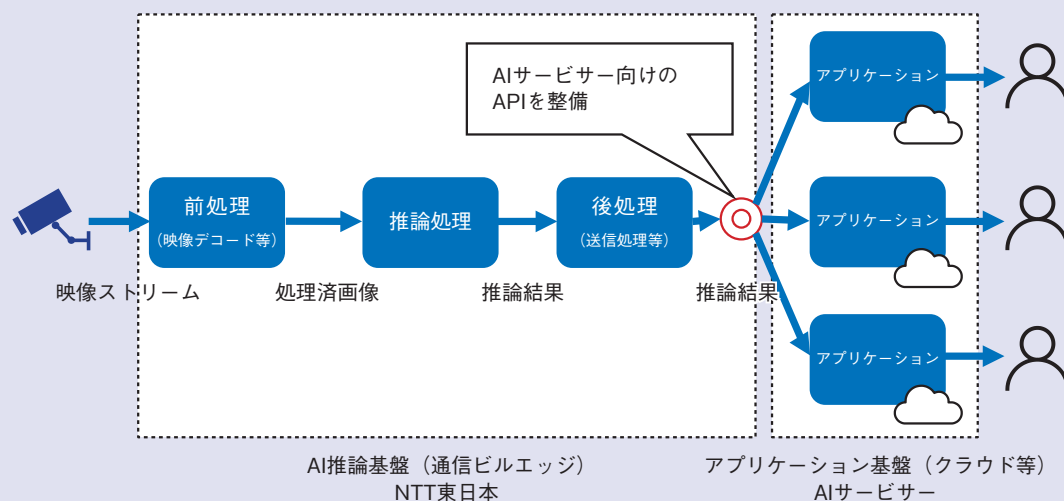
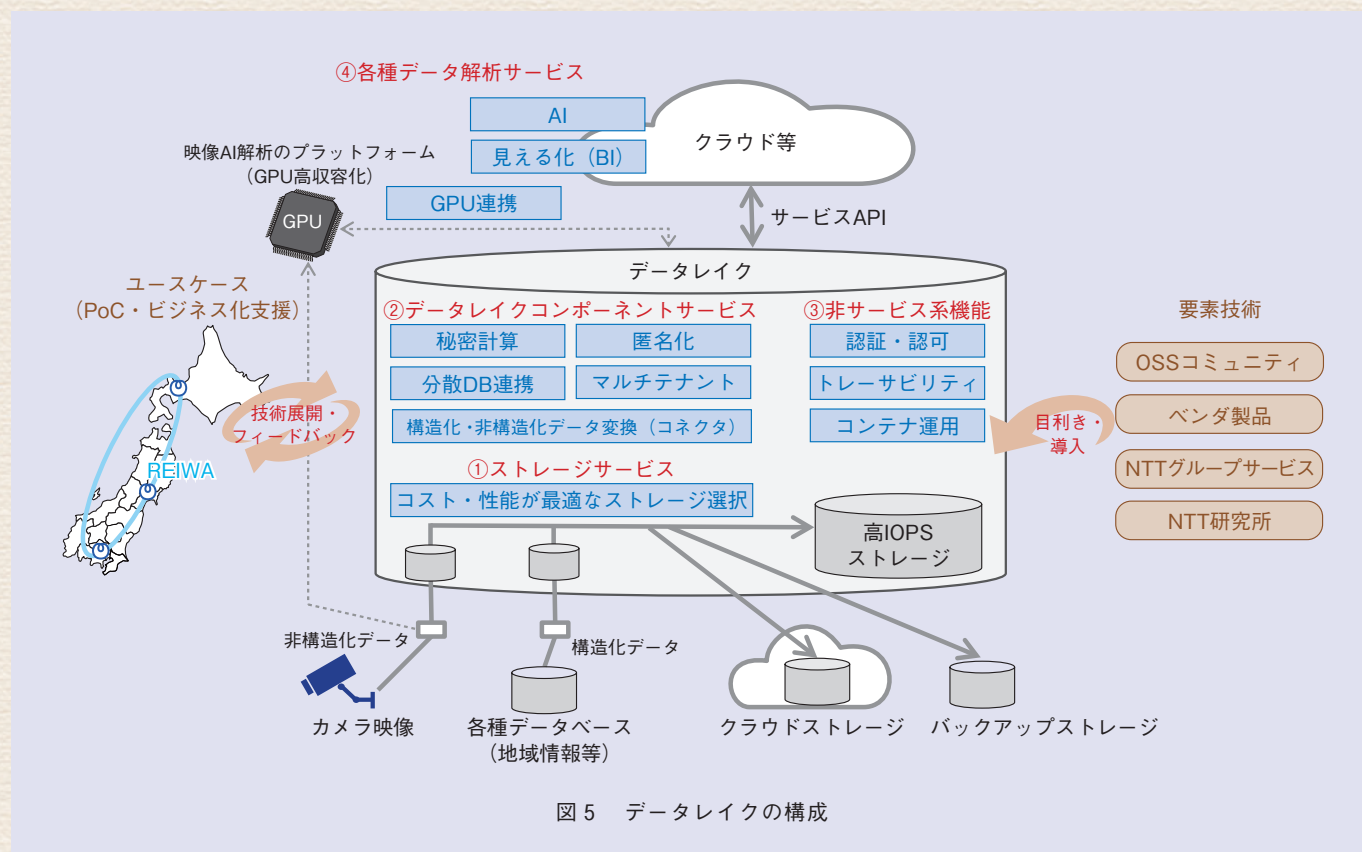


図4 AIサービサー向けAPIのイメージ



まとめ

映像AI解析技術、データレイク技術の開発では、ハードウェア、ソフトウェアのレイヤ横断的な知見、ノウハウを必要とし、方式策定、PoCから商用展開までをスピーディに進めることが求められます。そこでビジネス開発本部、ネットワーク事業推進本部、デジタル革新本部による組織横断的な“One Team”により開発を進めています。さらにNTTグループ企業やNTT研究所、先端技術を有するグローバル企業やベンチャー企業、地域の産官学のパートナーとオープンに連携し、社会課題の解決に資するプラットフォームの実現に取り組んでいきます。



◆問い合わせ先

NTT東日本

デジタル革新本部 デジタルデザイン部 プラットフォーム開発部門

TEL 03-5359-4185

E-mail dd-pfd-arc@east.ntt.co.jp

5G Evolution

6G

オンラインイベント

「5G Evolution & 6G Summit」 開催報告

もりひろ よしふみ せ お しゅんすけ
森広 芳文 / 清尾 俊輔
NTT ドコモ

NTT ドコモでは、第5世代移動通信システム（5G）のさらなる高度化と第6世代移動通信システム（6G）を多くの方々に知っていただくイベントとして、「5G Evolution & 6G Summit」を特設Webサイトで2020年7月29日（水）～30日（木）（第1弾）、および8月27日（木）～28日（金）（第2弾）に開催しました。ここではその模様を報告します。

はじめに

第5世代移動通信システム（5G）のさらなる高度化と第6世代移動通信システム（6G）の研究開発促進を目的に、「5G Evolution & 6G Summit」（本サミット）を特設Webサイトで2020年7月29日（水）～30日（木）（第1弾）、および8月27日（木）～28日（金）（第2弾）に開催し、多くの企業、大学、ほか皆様にご視聴いただきました（図1、写真1、2）。

2020年3月より商用サービスを開始した5Gはさまざまな分野でサービスの創出や社会課題の解決が期待されており、各分野によって異なる幅広い要求条件に柔軟に対応するため、さらなる高度化が求められてい

ます。また、2030年頃のサービス提供開始をめざす6Gについても国内外で議論が始まっており、さらなる高速・大容量通信、カバレッジ拡張、低消費電力・低コスト、低遅延、高信頼、多接続・センシングと、6Gならではの新たなユースケース創出に向けた検討が進められています。

講演・パネルディスカッション

本サミットでは5Gのさらなる高度化と6Gに関する研究開発をグロー

バルに促進させるため、NTT ドコモの検討状況を展示するとともに、無線技術や今後の5G・6Gのユースケースに詳しい外部有識者を招き、パネルディスカッションを実施しました（表1）。第1弾では2日間で5件の講演と5件のパネルディスカッションが行われました。初日の講演では本サミットに先立ち、2020年7月17日に公開した6G ホワイト



図1 第1弾サイト案内

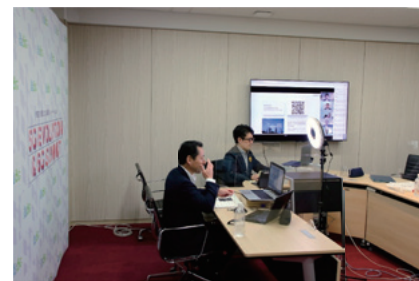


写真1 第1弾バックヤード（講演側）

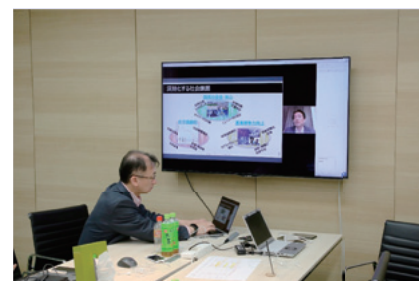


写真2 第1弾バックヤード（事務局側）

表1 パネルディスカッション

テーマ	登壇者
人間拡張/VR	パナソニック株式会社 安藤 健 氏 東京大学 稲見 昌彦 氏 株式会社gumi 國光 宏尚 氏 Enhance Experience Inc. 水口 哲也 氏
ブレインテクノロジー	H2L 株式会社 岩崎 健一郎 氏 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 小川 剛史 氏 産業技術総合研究所 長谷川 良平 氏 株式会社neumo 若林 龍成 氏
地方創生	株式会社New Stories 太田 直樹 氏 NPO 法人ミラック 西村 勇哉 氏 僧侶・未来の住職塾 松本 紹圭 氏
無線・NW技術	NEC 大神 正史 氏 NTT 鬼沢 武 氏 富士通 伊達木 隆 氏
宇宙	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 岩本 裕之 氏 一般社団法人SPACETIDE 青木 英剛 氏 スカパーJSAT株式会社 中里 真一 氏 株式会社アクセルスペース 中村 友哉 氏



図2 第2弾サイトトップ

ペーパーの更新内容も含めて、『5G Evolution & 6G 進化の方向性』『5G Evolution & 6G 要求条件とユースケース』『5G Evolution & 6G 技術発展と検討領域』というテーマで講演しました。

2日目では、谷直樹NTT ドコモ



図3 テキストチャットシステム画面

常務執行役員による講演「5Gのさらなる高度化と6Gに向けたドコモR&D」を行い、続いて、6G時代を見据えたユースケースである「人間拡張/VR」「ブレインテクノロジー」「地方創生」「無線・ネットワーク技術」「宇宙」の各テーマに関してパネルディスカッションが行われ、それぞれのテーマと6Gへの期待について熱い議論が交わされました。また、その様子は多くの視聴者にオンラインにてご視聴いただき、チャットシステムを用いて多くのご質問・ご意見をいただき、議論が大いに盛り上がりました。

展示・デモンストレーション

第2弾の展示・デモンストレーションでは、NTTドコモがパートナーとともに進めている5G Evolution & 6Gに関するネットワーク技術、およびユースケース開拓に関する約40件の展示を行いました(図2)。

オンラインならではの説明動画や、メッセージのやり取りにてQ&Aを行うテキストチャットシステム、オフライン展示会のような説明者との受け答えをするためのボイスチャットシステムなどを視聴者にご利用いただき、技術展示の理解を深めていただきました(図3, 表2, 写真3, 4)。また、マウスにより操作可能なWebコンテンツなどで、より直感的にユースケースをご理解

表2 第2弾展示物

Network技術		ユースケース
5G Evolution & 6G全体像	Coverage 拡張：反射板	Mobile SCOT 遠隔医療体験
HAPS	Coverage 拡張：リピータ	建設機械の遠隔制御
94 GHz 帯送信用パワーアンプ	海中超音波高速無線伝送技術	8K 映像を用いた高品質臨場感の伝送
150 GHz 伝送システム	超カバレッジ拡張の実現に向けた衛星通信の活用	可変レート映像伝送
ミリ波高速移動国プロ	超分散アンテナを実現する Analog RoF-Mobile Front Haul	車内インフォテインメント体験
曲げてアンテナ	300 GHz 帯の無線伝送を実現する超高速 IC 技術	気配通信のコンセプト体験
AI for RAN (AI ベースの無線ネットワーク)	OAM-MIMO 無線多重伝送技術	人間拡張に関する有識者のご活動紹介と対談の動画 (3 件)
NOPHY (Non orthogonal PHY)	マルチ無線プロアクティブ制御技術：Cradio	ブレイクテクノロジーに関する有識者のご活動紹介と対談の動画 (2 件)
スマートファクトリー：社会実装	仮想大規模 MIMO (VM-MIMO) 技術	
スマートファクトリー：高精度シミュレーション	宇宙産業に関わる有識者のご活動紹介と対談の動画 (2 件)	
スマートファクトリー：伝送技術の高度化		



写真3 第2弾バックヤード（社内外からの質問に対応中）



写真4 第2弾バックヤード（事務局側）

いただけるコンテンツや、第1弾の講演・パネルディスカッションの動画アーカイブ、7つの「テーマ」に関する有識者へのインタビュー形式の紹介動画などを展示し、多くの皆様にご視聴いただきました。

おわりに

コロナ禍の中、リアルな展示会の開催が困難な時期においても、NTTドコモでは本サミットの開催や今後の活動を通して、さまざまなパートナーと連携し、より活発に議

論を進め、さらなる移動通信の進化に向け、研究開発を推進してまいります。

■参考文献

- (1) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_200717_02.pdf



(左から) 森広 芳文 / 清尾 俊輔

今後とも、ドコモの5Gのさらなる高度化と6Gにご注目ください。

◆問い合わせ先

NTTドコモ

R&D戦略部

E-mail dtj@nttdocomo.com

URL https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/rd/technical_journal/



IEEE 802.11作業班における 次世代無線LAN標準化の最新動向

いのうえ やすひこ き し だ あきら

井上 保彦 / 岸田 朗

NTTアクセスサービスシステム研究所

無線LANのマーケットは、PCやスマートフォンのみならず、家電や自動車、IoT機器などさまざまな分野に広がっていますが、このような中で、無線LANの標準化を行うIEEE 802.11作業班では新たな規格の策定を続けています。ここでは、IEEE 802.11作業班における、無線LAN標準化の最新動向を紹介するとともに、今後数年間の主流となるIEEE 802.11ax規格とその次の世代の無線LANであるIEEE 802.11beのポイントを紹介します。また、IEEE 802.11無線LAN機器の相互接続認証試験やマーケティング活動を行っているWi-Fiアライアンスの状況についても解説します。

IEEE 802.11作業班による 無線LANの標準化

IEEE 802.11作業班 (WG: Working Group) ⁽¹⁾ は、さまざまな標準規格を策定しているIEEE Standards Association (IEEE-SA) の中でLAN (Local Area Network) やMAN (Metropolitan Area Network) などのネットワーキング技術に関する標準化を行っているIEEE 802 LAN/MAN Standards Committee ⁽²⁾ (LAN/MAN標準化委員会) の中の作業班の1つであり、無線LANの物理層とMAC層ならびに関連するマネジメント機能の標準化を行っています。

IEEE 802.11作業班内部のサブグループ

IEEE 802.11作業班の内部には、実際の標準規格の策定を行うタスク・グループ (TG)、TGを立ち上げるための活動を行うスタディー・グループ (SG)、特定のテーマに関して標準化の可能性を検討するためのトピック・インタレスト・グループ (TIG)、その他いくつかの常設委員会 (Standing Committee) や標準化活動に関連する課題の検討を行うアドホック・グループが存在します。表に、2020年10月時点でのIEEE 802.11作業班内部のサブグループと各グループの検討課題をまとめます。

IEEE 802.11axの標準化

最近、家電量販店に行くと、「Wi-Fi 6」という無線LAN機器を見かけるようになりましたが、これらの機器が準拠している無線LANの規格がIEEE 802.11axです。802.11ax規格では、最大で9.6 Gbit/sの伝送速度までが規定されていますが、現在製品化されているものは2～5 Gbit/s程度のものが多くようです。IEEE 802.11axの標準化はまもなく完了する見込みですが、技術的な仕様はすでにほぼ完成しています。Wi-Fiアライアンスはドラフト版の標準規格を基に相互接続試験プランを策定し、2019年9月から認証サービスを開始しています。

表 IEEE 802.11作業班内部のサブグループと検討課題

サブグループ	検討課題
TGax	次世代高効率無線LAN
TGay	次世代60 GHz帯無線LAN
TGaz	無線LANによる高精度ポジショニング
TGba	Wake Up Radio
TGbb	光を媒体とした無線LAN
TGbc	無線LANブロードキャスト機能拡張
TGbe	超高スループット無線LAN
TGbf	無線LANによるセンシング技術
TGbh	MACアドレスランダム化
TGbi	データプライバシー機能拡張
TGme	IEEE 802.11標準規格の改定
AANI SC	5Gとの連携機能
COEX SC	無線LANと同じ周波数を使用する3GPP系システムとの共存
WNG SC	将来の無線LAN標準化



■IEEE 802.11axの新技术

IEEE 802.11axでは、周波数資源を効率的に使うことができるよう、マルチユーザ伝送技術が強化されています。802.11axで採用されているマルチユーザ伝送技術には、LTEやWiMAXなどのシステムで実績があるOFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) があります。802.11axでは、無線LANの基本的なチャンネル幅である20 MHzの中に、最大9ユーザを収容して同時に送受信することが可能になっています。これによりTCP ACKなどの短いパケットを効率良く伝送することができますようになりました。また802.11axでは、既存のIEEE 802.11ac規格が規定した下り方向のマルチユーザMIMO伝送が、上下方向でできるように拡張されました。これにより、複数のユーザがチャンネルを共有しながらデータの送受信を行うことができますようになりました。802.11axでは、上り方向のマルチユーザ伝送を実現するための仕組みとして、トリガーフレームを使ったプロトコルシーケンスが規定されています(図1)。トリガー

フレームにより端末装置がデータを送信するタイミングや送信電力等を調整することで、上りのマルチユーザ伝送が実現されています。さらに、空間的な周波数の再利用を促進するためのSpatial Reuseと呼ばれる技術も採用されています。

■6 GHz帯の利用

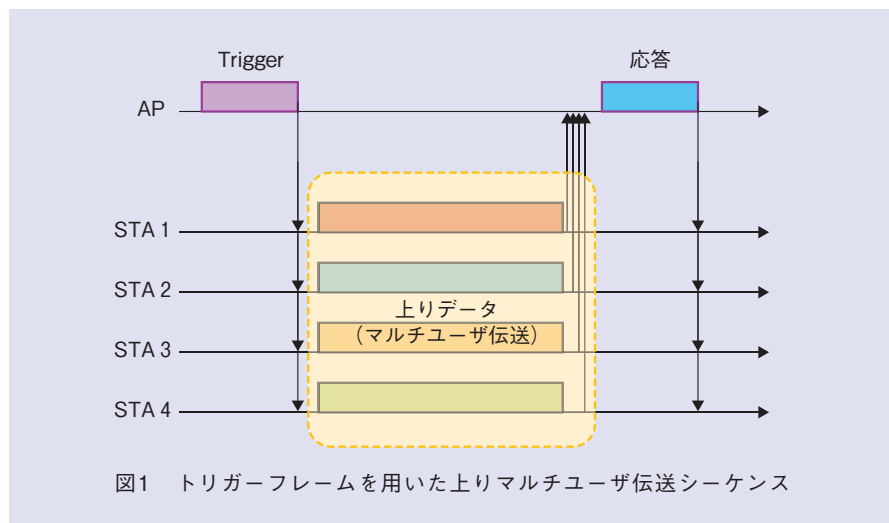
2020年の春、米国では6 GHz帯(5.925~7.125 GHz)が免許不要の周波数帯として無線LAN等の機器に対して開放されました(図2)。これにより、これまで5 GHz帯で割り当てられていた周波数帯域の倍近くの周波数帯域が6 GHz帯で利用可能になるため、これまで干渉により性能が十分に発揮できなかったような環境でも快適に無線LANを使うことができるようになる、あるいは、より広い帯域を必要とするAR (Augmented Reality) やVR (Virtual Reality) といった用途に無線LANが使えるようになるということが期待されます。しかし、6 GHz帯にも既存の無線システムは存在しますので、新たにこの周波数を使う無線LAN等には満足すべき技術条件が存在します。米国の例では、

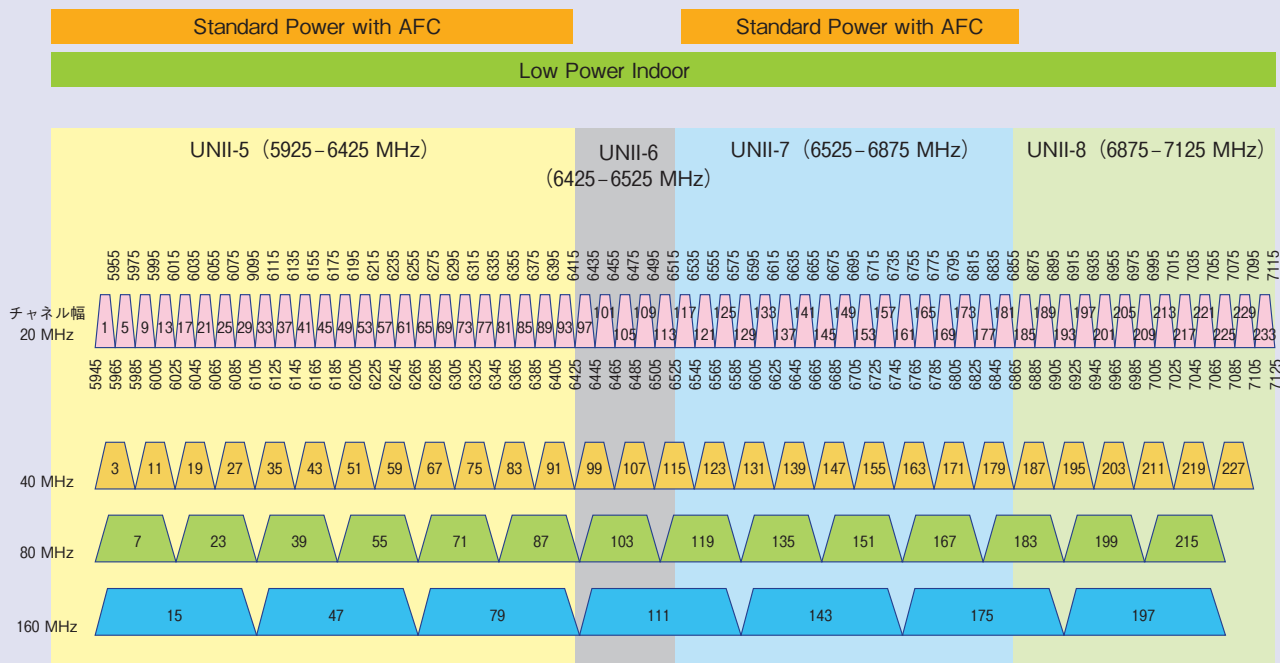
6 GHz帯を4つの周波数帯(サブバンド)に分割し、サブバンドごとに技術条件が決められています。また、装置の種別とし、屋内で使用する低出力機器(Low Power Indoor)という条件を満足する機器については、これまでの無線LANと同様の使い方ができます。一方で、高出力(Standard Power)機器については、AFC (Automatic Frequency Coordination) という周波数(チャンネル)利用の可否を調整する機能と連携して、既存のシステムやサービスを保護することが必要とされており、また利用可能なサブバンドも決められています。さらに、利用場所の制限を受けない超低出力(Very Low Power)という種別も、現在検討されています。日本における6 GHz帯のアンライセンス機器への開放に関する議論はこれからですが、産業界からの要望と世界的な状況をかんがみ、近い将来議論が開始されることが予想されます。

次世代超高速スループット 無線LAN IEEE 802.11be

2019年5月に発足したタスク・グループBE (TGbe) では、IEEE 802.11axの次のメインストリーム規格として、MAC SAP (Service Access Point) *1における30 Gbit/s以上の最高スループットの実現、低遅延・低ジッタ通信の実現をターゲットとするIEEE 802.11beの標準規格化を2024年5月の完了をめざして活動しています。TGbeにおいては2020年10月現在、個別の技術議論に加え、規格仕様の概要となるSpecification

*1 MAC SAP : MAC層が上位層との間でデータの受け渡しを行うインタフェース。





* UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) : 免許不要の周波数帯。UNII-1からUNII-4は5 GHz帯で定義されています。

図2 IEEE 802.11axで想定されている6 GHz帯チャンネル配置

Framework Document (SFD) の作成と規格仕様の骨格となるドラフト0.1版の策定が主な議論トピックとなっており、2021年5月に規格仕様の初版となるドラフト1.0版の成立をめざしています。TGbeで現在議論されている主な技術は以下のとおりです。

■周波数利用効率向上・広帯域化技術

TGbeでは最大1024QAM (Quadrature Amplitude Modulation) であった信号変調多値数を4096QAMに拡張、Multiple Input Multiple Output (MIMO) の最大ストリーム多重数を8から16へ拡張する検討がされています。これにより、これまでのIEEE 802.11axよりさらなる高速化を見込むことが可能です。同時にLong

Term Evolution (LTE) 等で利用されている、再送時に破損したデータのみを送信するHybrid Automatic Repeat Request (HARQ) 機能を採用し、データ再送の効率化も図っています。また、最大利用帯域幅を従来の160 MHzから320 MHzに拡張することも検討されています。

■マルチリンク伝送技術

TGbeではこれまではなかった新しい機構としてマルチリンク伝送を規定予定です。従来のIEEE 802.11無線LAN規格では、単一のアクセスポイント (AP^{*2}) または端末 (STA^{*3}) はそれぞれが独立して動作を行っていましたが、マルチリンク伝送ではマルチリンクデバイス (MLD) と呼ばれる1つの筐体の実装された複数の無

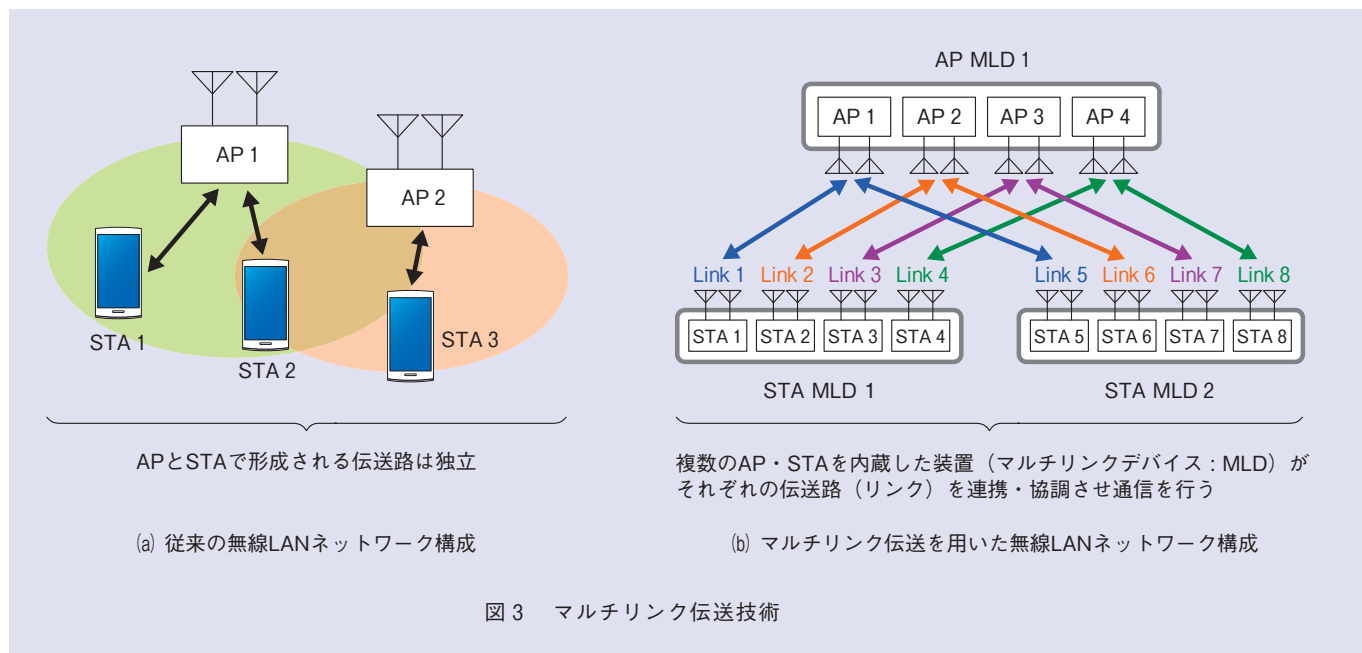
線機能を連携・協調させ、MLD間 (複数のAPを搭載するAP MLDと複数のSTAを搭載するSTA MLD間) で伝送路 (リンク) を複数確立し利用することで、高速・高信頼な伝送を可能にします (図3)。マルチリンク伝送では異なるデータを並列伝送し伝送速度を向上させる、同一のデータを並列伝送しデータ受信の信頼性を向上させる、制御情報や高優先データを送信する際、もっとも品質の良いリンクを選択する等の伝送形態が考えられます。

■マルチAP協調・連携技術

TGbeでは複数のAPが協調し、複

* 2 AP (Access Point) : 無線LAN端末を収容する基地局装置。

* 3 STA (station) : スマートフォンなどの端末に実装される無線LANの装置 (子機)。



数の端末と同時送受信を行うマルチAP協調・連携技術を規定予定です。マルチAP協調・連携技術として、複数のAPが協調し、各APの送信電力等のパラメータを最適化する Coordinated Spatial Reuse (Co-SR)、各APが同一の時間、周波数で送信対象となるそれぞれのSTAに干渉が生じないように同時送信を行う Coordinated Beamforming (Co-BF)、送信対象のSTAが複数のAPから送信されるデータを合成受信可能となるような協調伝送を行う Joint Transmission (JT)、複数のAP間で OFDMA のリソース割当を柔軟に行う Coordinated Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Co-OFDMA) 等が議論されています。

■低遅延・低ジッタ化技術

TGbeでは競合する端末数が多い場合やシステム内外の干渉が多い場合においても低遅延・低ジッタ通信が可能となるような技術を規定予定です。具体的には、各リンクの遅延特

性を通知可能な機能や、低遅延を要するトラフィックの送信機会を定期的に確保する技術、IEEE 802.11イーサネット規格の低遅延化機能である Time Sensitive Network (TSN) の IEEE 802.11 との連結技術が議論されています。

■その他の機能

ほかにも、緊急通報を実現する機構〔National Security and Emergency Preparedness (NS/EP)〕や、APがSTA間の直接通信をサポートする機能等が議論されています。



Wi-Fiアライアンス⁽³⁾は、IEEE 802.11作業班が策定した標準規格に基づいてつくられた機器に対する相互接続試験サービスを提供しつつ、無線LAN機器のマーケティング活動を行う団体です。先ほども述べましたが、IEEE 802.11ax規格に基づいてつくられた機器は、Wi-Fiアライアンスの試験を

通ると「Wi-Fi 6」に対応した製品ということで販売することができるようになります。現在のWi-Fi 6認証は、IEEE 802.11axのドラフト版を基に策定されたテストプランにより試験が行われており、Wi-Fi 6 R1（リリース1）と呼ばれています。2020年内には、Wi-Fi 6 R1認証に、6 GHz帯対応機能が追加されたWi-Fi 6E認証が始まる予定です。またこれと並行して、IEEE 802.11axの正式な標準規格に対応したWi-Fi 6 R2（リリース2）認証のテストプラン作成も進められています。

■参考文献

- (1) <https://www.ieee802.org/11/>
- (2) <https://www.ieee802.org/>
- (3) <https://www.wi-fi.org/>

エッジコンピューティング環境を想定した非同期分散型深層学習の実現

NTTは、エッジコンピューティング上の機械学習を想定した非同期分散型深層学習技術 (Edge-consensus Learning) を実現しました。

現在の機械学習、特に深層学習では、1カ所（クラウド）にデータを集約し、画像・音声認識等のモデルを学習することが一般的です。しかし、あらゆるモノがネットワークに接続するIoT時代において、膨大なデータをクラウドに集約することは困難です。またプライバシー保護の観点で、データをローカルにあるサーバ・機器にとどめたいという需要も増加しています。関連して、EUの一般データ保護規則（GDPR）のようなプライバシー保護のための法的規則も強化されつつあります。こうした時代において、データを蓄積・分析・処理するサーバを分散化し、上位システム（クラウド）や通信網の処理負荷を低減させ、応答速度やプライバシー保護の観点でユーザの利便性を高めるエッジコンピューティングへの期待が高まっています。

本研究の目的は、エッジコンピューティングのように分散配置されたサーバ群に分散してデータが蓄積されていく環境でも、あたかも1カ所にデータを集約して学習したかのようなグローバルモデルを得るための学習アル

ゴリズムを開発することです。今回開発した技術は、①統計的に非均一なデータがサーバ群に蓄積されていて、かつ②サーバ群がモデルに関連する変数を非同期に通信・交換していても、全部のデータを1カ所に集めて学習したのと同等のモデルを得られることを確認したという点で、学術性・実用性が共に高い学習アルゴリズムだといえます。

本成果は、2020年8月23日から開催されたアメリカ計算機学会(ACM)主催の国際会議KDD 2020(Knowledge Discovery and Data Mining, 採択率16.9%)にて発表されました。また本成果についての多角的な検証を目的に、関連したコードをGithubにて公開しました(<https://github.com/nttcs-lab/edge-consensus-learning>)。

■研究の背景

現在の機械学習、特に深層学習では、1カ所にデータを集約し、1カ所でモデルを学習するのが一般的です。しかし、データ量の激増やプライバシー保護の観点から、近い将来データは分散蓄積されるようになります。例えば、エッジコンピューティング構想では、データ蓄積や

- ・ リング状ネットワーク (V=8)
- ・ 統計的に非均一なデータ (各ノード: 10クラス中5クラス)
- ・ 非同期通信 (ランダムなタイミングで変数を交換)

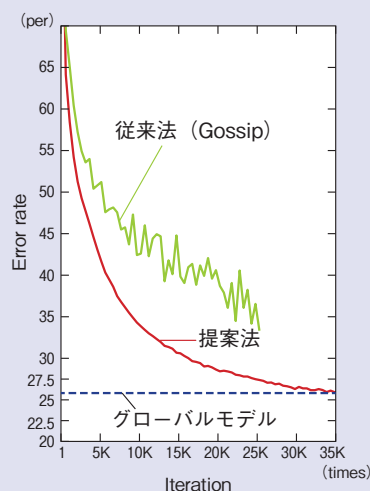
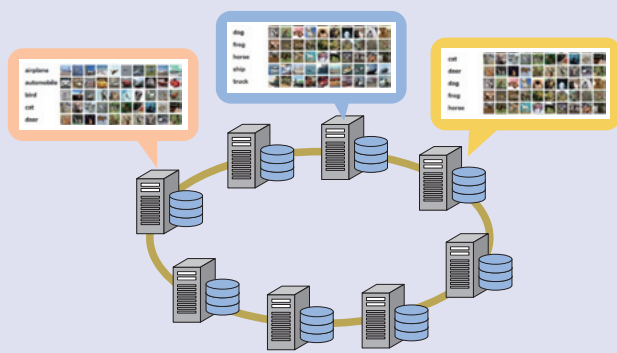


図 実験結果 (抜粋)

処理の負荷分散が提唱されていますし、GDPRでは、国をまたぐデータの移送に制限をかけていたり、最小限のデータ収集を要請する条項も存在します。

このような状況では、データプライバシー保護と機械学習によって得られる恩恵をトレードオフとみなすのではなく、むしろデータプライバシーを保護しつつ機械学習の恩恵を受けられる世界がより望ましいといえます。そのためには、性能を犠牲にすることなくデータ収集やモデルの学習を分散化することが、技術的な課題の1つでした。

■技術のポイント・特徴

今回開発した学習アルゴリズムは、複数のサーバに異なるデータが分散して蓄積される状況でも、サーバ間で合意形成されたモデルを得ることができます。データの代わりに、モデルに関連する変数をサーバ間で非同期に通信・交換することで、合意形成されたモデルを得ます。

このアルゴリズムの有効性を検証するために行ったシミュレーション実験の結果を、以下で簡単に紹介します(図)。8台のサーバがリング状に接続されたネットワークを想定します。テスト用の画像データセットとして、一般的に用いられる物体画像認識用のデータセット(CIFAR-10)を用いました。これは、計10個のクラス(航空機、自動車、鳥、猫など)に分類可能な大量の画像で構成されています。一方本実験では、各サーバ上に統計

的に非均一となるように画像を与えます。具体的には、各サーバにはそれぞれ10クラスのうち、ある5クラス分のデータのみを与えます(ただし、8台合わせるとすべてのクラスがほぼ均等に存在するデータセットとなります)。サーバ群が非同期に通信する状況をシミュレートした結果、提案法を用いると、あたかも1カ所にデータを集約して学習したかのようなモデル(グローバルモデル)が得られることを確認しました。

■今後の展開

エッジコンピューティングを活用した大規模なAI応用が期待される分野での実用化をめざして、パートナーと連携しながら研究開発や実証実験を今後も継続していきます。コード公開を通じて、本技術のさらなる発展、アプリケーションに関するコラボレーションを促進していきます。

◆問い合わせ先

NTT先端技術総合研究所

広報担当

TEL 046-240-5157

E-mail science_coretech-pr-ml@hco.ntt.co.jp

URL <https://www.ntt.co.jp/news2020/2008/200824a.html>

エッジ端末/IoT機器が相互に通信し、自律的に知識を創発するシステムの実現に向けて

研究者紹介

丹羽 健太

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

協創情報研究部 知能創発環境研究グループ 主任研究員

電話といえば、遠隔地にいる人と人のコミュニケーションをとるための手段です。しかし、これからの時代、エッジ端末/IoT機器といった自分の身の回りにあるモノたちが自律的に通信を介して高度な知識を学習したり、マスターとなるユーザに有用な情報を提供したりする高度AIoT(モノの人工知能)時代が訪れようとしています。私の研究は、そうしたモノたちが、自律的にモデルを学習するためのアルゴリズム数理を拘置することとそのソフトウェア実装です。

2020年8月に発表させていただいた「非同期分散型深層学習技術」は、基本的な機能の1つとして、分散したノードたちが合意形成をしながら、高品位なモデル(例えば画像認識モデル)を学習するアルゴリズムです。あたかもすべてのノードの中にあるデータを1カ所に集約したかのような深層学習モデルが得られます。人が互いに協調しながら成長を促し、最後には自分1人で成し得なかったような高度な知識を得ることに似ています。

本プロジェクトのソフトウェア実装には、何名かのエンジニアに携わっていただいています。今ではチームとして成熟しつつあります。最初のほうは、分かり合えないことや、つまずくことも多かったです。しかし、現在では、私が具体的な指示をすることなく、チームが自律的に機能し、仕事がスムーズに進んでいます。こうした協調・成長・自律といったことが現在の機械学習ではまだまだ表現されていません。自分の研究目標は、エッジ端末/IoT機器が相互に通信し、自律的に知識を創発するシステムを実現することです。



世界で初めてエキゾチックな準粒子の量子的電気伝導を観測

NTTは、 SrRuO_3 [Sr（ストロンチウム）、Ru（ルテニウム）、O（酸素）からなる化合物]の極めて高品質な単結晶薄膜を作製し、東京大学（東大）の研究グループと共同で、その低温、磁場下での電気伝導を測定することにより、「磁性ワイル半金属状態」と呼ばれるエキゾチックな状態に特有の量子的な電気伝導特性を世界で初めて観測しました。実験に加えて、東京工業大学（東工大）の研究グループと共同の理論計算によっても、当該物質中に「磁性ワイル半金属状態」が実現することを実証しました。酸化物中に「磁性ワイル半金属状態」が存在することを理論・実験の両面で示した初めての研究成果です。

SrRuO_3 は、マイナス120℃程度以下まで冷やすと強磁性を示す金属です。一定サイズ（数mm角）以上のバルク単結晶の作製は困難なことが知られていますが、素子作製などに必要とされる比較的面積の大きい単結晶薄膜は、酸化物エレクトロニクスの分野で広く用いられています。今回作製した SrRuO_3 薄膜は、NTTが独自に培った高品質な酸化物薄膜作製技術と、機械学習を援用した作製条件の最適化（プロセスインフォマティクス）との組み合わせによって得られたもので、金属薄膜の品質の指標となる残留抵抗比の記録を20年ぶりに塗り替える高品質なものです。

本研究により、物質中に「磁性ワイル半金属状態」が実在することがより強固に示されるとともに、そのようなエキゾチックな状態が示す特異で量子的な電気伝導特性やその発現機構に関する基礎科学的な知見が得られました。物質中に「磁性ワイル半金属状態」が存在し得ることの最初の実験的検証からわずか3年が経過したばかりの現在、研究は黎明期にあり、成果の応用に関しては、素子の動作原理等に新たな可能性が加えられたという段階ですが、素子用の酸化物材料の研究に新機軸をもたらすとともに、将来的に新原理で動作する量子素子（デバイス）の設計等に資するものと期待されます。

本成果は、英国科学雑誌「Nature Communications」10月9日号に掲載されました。

■研究の背景

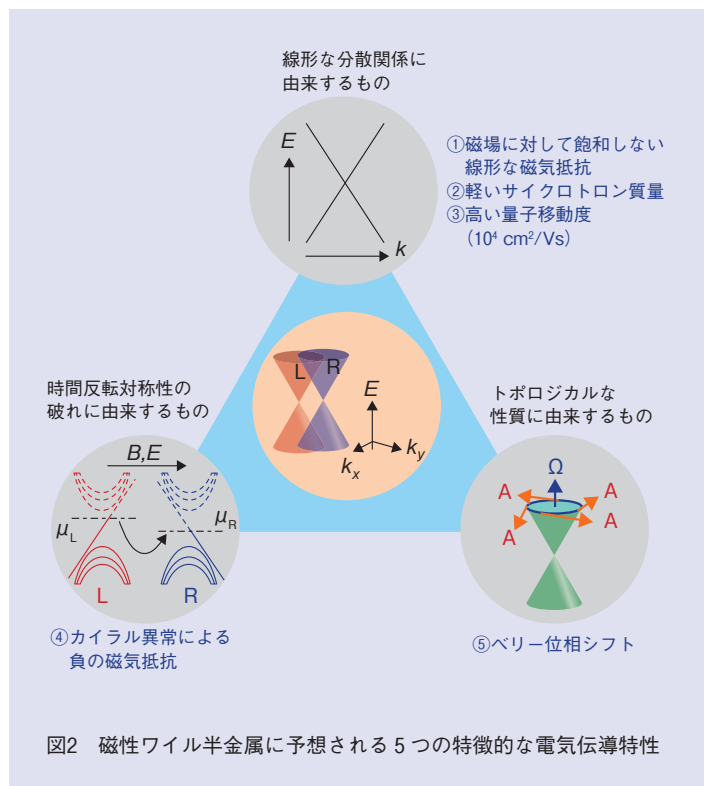
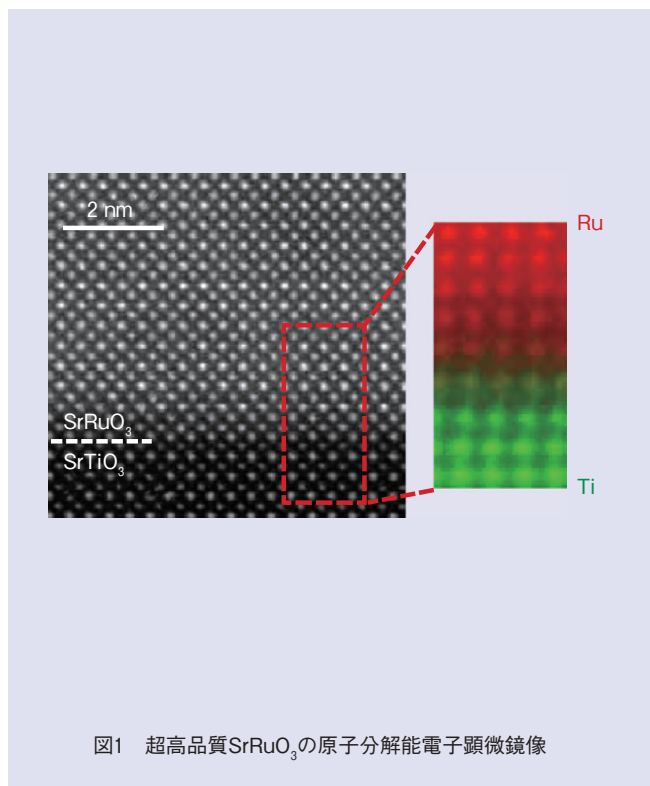
近年、物質の量子的な状態の記述にトポロジ（位相幾何学）の概念が本質的な役割を果たすことが判明し、物質が示す性質がトポロジによって理解されるトポロジカル物質と、その中で発現する特異な状態に関する研究が盛んです。しかし、そのような特異な状態のうち、「磁性ワイル半金属状態」というエキゾチックな状態が示す物性は、理論的予測が大半で、実験的には未解明な点が多く残っていました。「磁性ワイル半金属状態」の観測に関するこれまでの代表的な報告には、2017年の Mn_3Sn 、2019年の Co_2MnGa 、 Co_3SnS_2 等がありましたが、この状態に特有の量子的な電気伝導特性、中でも量子振動現象の観測は報告されていませんでした。また将来的な素子応用を視野に入れたとき、単結晶薄膜の作製が容易な汎用性の高い物質で「磁性ワイル半金属状態」を内包する物質の発見と、その探索指針の構築が待たれていました。

■研究の成果

NTT物性科学基礎研究所とNTTコミュニケーション科学基礎研究所は、長年にわたり開発・蓄積してきた独自の酸化物合成技術と、機械学習を援用した作製条件の最適化（プロセスインフォマティクス）との組み合わせによって、最高の残留抵抗比を持つ極めて高品質な SrRuO_3 薄膜の作製に成功しました。残留抵抗比は84を超え、これは SrRuO_3 薄膜における残留抵抗比の記録を20年ぶりに塗り替えるものです。

東大と共同で、このような高品質な薄膜試料を用いて、低温、磁場下での電気伝導特性を測定することにより、「磁性ワイル半金属状態」に特徴的な量子的な電気伝導特性を世界で初めて実証しました。この状態に特徴的な伝導特性は、高い残留抵抗比を持つ試料でのみ観測されたことから、試料の品質が本質的に重要であることが分かります。

一般に、物質中に「磁性ワイル半金属状態」が存在した場合、その状態が持つ、「線形な分散関係」「時間反転対称性の破れ」「トポロジカルな性質」に由来して、5つの特徴的な電気伝導特性が観測されると予想されていました（図1, 2）。本研究では、この5つの特性すべての観



測に世界で初めて成功しました。中でも、試料中での電子の散乱が抑制される超高品質試料でのみ発現する量子振動を観測できたことは特筆に値します。この量子振動の観測から、磁性ワイル状態を形成する準粒子（ワイル粒子）が、図に示した5つの特徴的な電気伝導のうち、②軽いサイクロトロン質量と③高い量子移動度を持つこと、また⑤ベリー位相シフトを示すことが実証されました。

■今後の展開

放射光施設などの利用で可能となる先進的な分光手法を用いて、SrRuO₃中で実現した「磁性ワイル半金属状態」に関するさらに詳細な知見を得ることで、学理の構築への貢献をめざします。また素子化へ向けた検討の一環として、トランジスタの駆動方法の1つであるゲート構造を用いて、ワイル粒子の伝導特性の電氣的制御の実証に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTT先端技術総合研究所

広報担当

TEL 046-240-5157

E-mail science_coretech-pr-ml@hco.ntt.co.jp

URL <https://www.ntt.co.jp/news2020/2010/201009a.html>

NTT Comと三井不動産が、公園整備運営事業において「安心・安全な街づくり」の実現に向けた検証を開始

NTTコミュニケーションズ（NTT Com）と三井不動産は、都市における課題の解決や経済的な発展をICTによって可能とする「安心・安全な街づくり」の実現に向けた検証を、2020年9月18日より開始しました。

本検証は、現在、Park-PFI制度を活用した事業としては全国で最大規模の再整備が行われている、愛知県名古屋市の久屋大通公園の北エリア・テレビ塔エリア（全長約900 m、面積約5万4500 m²、Hisaya-odori Park）における公園整備運営事業の一環として実施します。

公園内地下広場（旧もちの木広場）の防犯カメラ映像をNTT ComのAIを用いて解析し、防犯や事故防止に活用するほか、匿名化・統計化されたスマートフォンの位置情報データを用いて来園者の行動を解析し、施設運営やマーケティングに活用する実験を行います。

■背景

NTTグループは、ICTを活用して社会的課題を解決す

る「Smart World」の実現に向けて、さまざまな領域での取り組みを行い、その中で、都市における社会的課題の解決と経済発展の両立をめざしています。

これまでNTTグループは、北海道札幌市、千葉県千葉市などで、データの利活用やMaaSなどをテーマにした取り組みを行ってきました。また海外では、米国ネバダ州ラスベガス市にて、街中のカメラ映像や各種センサなどから収集したビッグデータを活用し、事故の防止や防犯に貢献しています。

三井不動産は、Hisaya-odori Parkの指定管理者として公園の維持管理を担い、安心・安全で居心地の良い公園の運営をめざします。今回NTT Comと連携した検証を通じて、より効率的で安全性の高い公園管理の取り組みを実現し、事故の防止や防犯に努め、地域の方にも安心いただける街づくりに貢献していきます（図）。

今回の検証はNTT Comが、Hisaya-odori Parkの指定管理者として公園運営に携わる三井不動産と共同し取

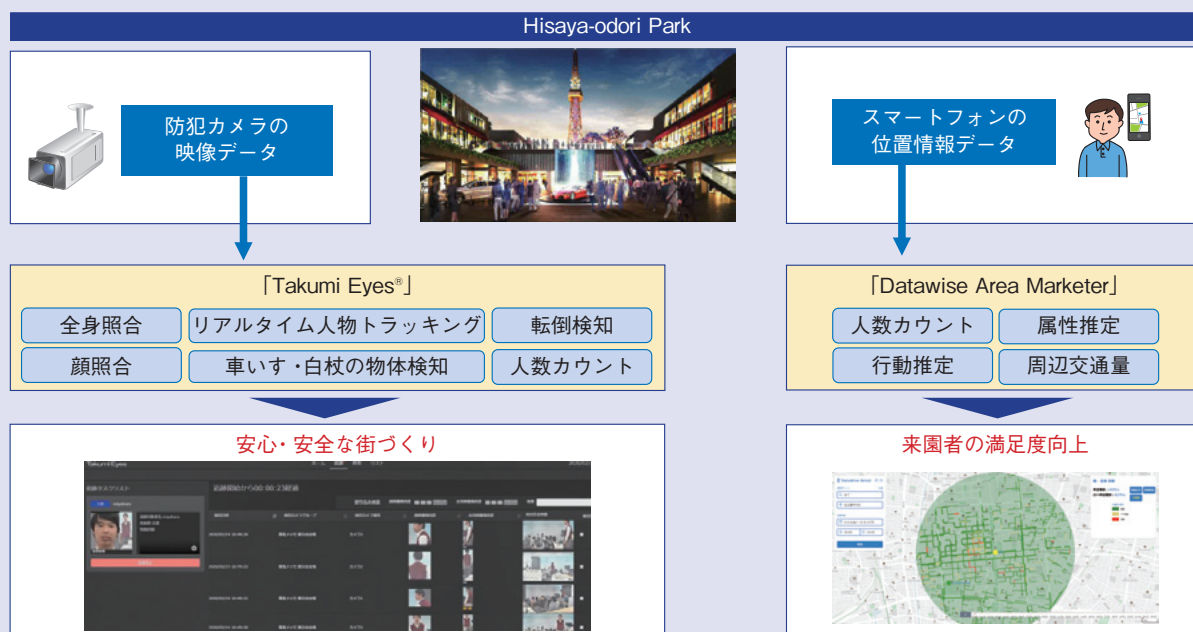


図 本検証のイメージ

り組むものです。両社が共同で、ICTを活用した公園運営の効率化に向けた連携を行うのは初めてとなります。公園整備運営事業の高度化に向けて、蓄積された両社のノウハウを活用しながら、迷子の搜索や施設運営への応用など、Hisaya-odori Parkという場所の特性に合わせた最適化を行い、その有効性を検証します。

■本検証の内容

映像データや位置情報データを、閉域でセキュアなICT基盤に収集・蓄積し、AI技術などを用いて解析することで、安心・安全な街づくりに向けたデータ利活用を推進します。

(1) AIによる映像解析データの安心・安全な街づくりへの利活用

公園内地下広場に設置した防犯カメラ映像を、NTT ComのAIである「COTOHA[®]」の映像解析エンジン「Takumi Eyes[®]」によってリアルタイムに解析します。「Takumi Eyes[®]」の「全身照合」「顔照合」機能により、顔がはっきりと映っていない状況でも瞬時に人物を認識し、さらに「リアルタイム人物トラッキング」機能などを活用することで、不審者の追跡や、迷子の搜索などに迅速に対応可能な警備体制の実現をめざします。

加えて、「車いす・白杖の物体検知」機能によるサポートが必要な方の検知や、「転倒検知」機能による転倒・うずくまり動作の検知を行うとともに、「人数カウント」機能による混雑状況の把握などを行い、安心・安全な公園運営実現に貢献します。

(2) 来園者の匿名・統計位置情報データのマーケティングへの利活用

データワイズとの協業により、統計化されたスマートフォンの位置情報データを用いて、来園者の散策状況などについて、来園者満足度向上につなげる情報としての活用をめざします。

データワイズは公園運営を受託する三井不動産に、公園および周辺の混雑状況や来園者の訪問頻度などの位置情報解析技術を、SaaS型ジオデモグラフィックダッシュボード「Datawise Area Marketer」を通じて提供します。これにより、公園内の各施設における来園者層の違いやその行動パターンの違いなどを踏まえた、よりきめ

細やかなサービス提供や施設運営が可能となります。

■本検証の期間

2020年9月18日～2021年2月末（予定）

■今後について

本検証結果を活かし両社は、より多くのお客さまが自らの嗜好にあった店舗で飲食・ショッピングなどを安心・安全に楽しめる、にぎわいと魅力にあふれた空間形成をめざします。

またNTT Comが提供する「Smart Data Platform」を基盤とし、より多くのパートナーと連携・協業していくことで、対象店舗や施設を2021年春以降順次拡大し、安心・安全な街づくりに貢献していきます。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーションズ

経営企画部 広報室

TEL 03-6700-4010

URL <https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2020/0914.html>

5年、10年後の「世界観」を想定し社内外との共創により新規事業を創出 ——JCBとNTT Com, 多機能モバイルウォレット「JCB Mobile Wallet (仮称)」 の実証実験を開始

NTTコミュニケーションズ(NTT Com)イノベーションセンター プロデュース部門では「5年、10年先の未来を見据えた世界観を想定し、社内外と共創しながら新たな価値を創造することで社会に貢献し、“お客さまから信頼されるNTT Com”でありたい」という思いから、さまざまな業種業態のお客さまとの共創によるxTechビジネスを推進しています。同部門では以前より社内システムで使用してきた「API Gateway」の構築・運用ノウハウを活用し、2014年よりお客さま向けに同サービスの提供を行っております。さらに、「API Gateway as a Service (API-GWaaS)」を軸とした「API Mashup」によるパートナー機能も含めた、市場変化が激しいお客さまビジネスに対するさまざまな「新たな価値創造」をスピーディかつ容易に創り上げる技術力とノウハウを持っています。またNTT Comは、通信キャリアとして、長年データの利活用を目指したさまざまな「データ」の「流通」「交換」を生業としています。データの1つとしての「通貨」に着目し、そのデータの「価値交換」により「新しい常識」を創出するこの「FinTech」は、NTT Comの本業を徹底的に活かした「デジタル事業」です。「FinTech = OOPayの電子マネー」が取り上げられることが多い中、NTT Comは「Center B (LOB) ビジネス」のDXに貢献し、より多くのお客さまにご活用いただける「FinTech」サービスを提供しています。今回のジェーシービー(JCB)様との世界初の外貨為替レート保証付き 多機能モバイルウォレット「JCB Mobile Wallet (仮称)」の共同開発は、その一例です。

JCBとNTT Comは、世界初の外貨為替レート保証付きモバイルウォレット「JCB Mobile Wallet (仮称)」の実証実験を10月から開始しました。

■「JCB Mobile Wallet (仮称)」の特長

「JCB Mobile Wallet (仮称)」は、JCBブランドのバーチャルプリペイドカードをアプリ上で即時発行でき、キャッシュレス決済やモバイル上での送金、アカウントの利用可否設定、優待店のマップ検索等、モバイルなら

ではのさまざまなサービスをご利用いただける多機能ウォレットです(図)。

また留学生、ビジネスパーソン、在留外国人の方々の日常の決済から外貨管理まで、以下3つの「Multi」でサポートします。

(1) Multi Currency

22の通貨に24時間いつでも両替可能で、「期間保証」と「リアルタイム」の2つから両替レートを選択できます。「期間保証レート」は、14日以内であれば、使わなかつ



※画像はイメージです。

図 「JCB Mobile Wallet (仮称)」のイメージ画面

た外貨を元の為替レートで自国通貨に戻すことができるサービスです。

(2) Multi Account

家族や法人で複数のアカウントが利用可能です。例えば、留学中のお子さまのサブアカウントに、家族が24時間いつでもチャージすることができます。また法人アカウントにおいて、海外出張者のサブアカウントごとに残高管理をすることも可能です。

(3) Multi Service

レストラン予約やタクシー配車などのさまざまなサービスを、シームレスにご提供します。

■実証実験の概要

「JCB Mobile Wallet（仮称）」のUI/UXの検証や搭載機能/サービスのニーズ調査、商用化に向けたフィードバックの収集を行います。

- ① 実施期間：2020年10月～11月
- ② 対象者：JCB・NTT Com関係者
- ③ 実証実験における両社の役割

- ・JCB：「JCB Mobile Wallet（仮称）」のサービス企画・開発
- ・NTT Com：「JCB Mobile Wallet（仮称）」のサービス企画・開発、レート保証型外国為替情報ならびに、取引情報のデータ流通サービス「Home Currency Anywhere[®]」と、他サービスとのAPI接続を一元的に管理しスピーディかつ容易に実現する「API Gateway as a Service」を活用したシステム企画・運営

■今後の展開

各国の決済環境に応じて、モバイルでのタッチ決済（NFC）、QRコード決済取引や連携するカードでの決済等を幅広くサポートし、さらには、各国のモバイルマネーのオンライン接続や残高交換を実現するNTT Comの「Wallet Exchange[®]」とも連携し、利用シーンの拡大を図る予定です。

今後両社は、「JCB Mobile Wallet（仮称）」を安全・安心にご利用いただけるようセキュリティ対策を講じたうえで、実証実験での結果を基に、2021年中の日本およびアジア圏での商用化をめざして、サービス開発を進めていきます。

Home Currency Anywhere[®]（HCA）は、外国為替レートおよびリファンドレートを一定期間保証するオンライン外国為替情報と取引情報のデータ流通サービスです。前述のCenter Bビジネスに対して「自国通貨表示/決済」というクロスボーダービジネスでの新たな顧客体験価値を付け加えることで、ビジネスを大きく成長させることをめざします。同時に旅行者やビジネスパーソン・海外居住者などのエンドユーザには、為替変動リス

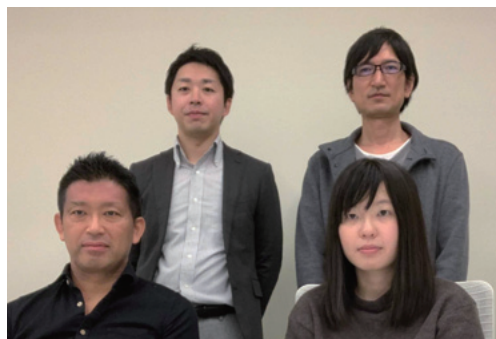
クの考慮が不要になります。

現在、沖電気工業株式会社様との共創も開始しており、同社が提供する「SDBC（スマートデバイスビジネスコネクタ）」や「CounterSmart（カウンタースマート）」にHCAを組み合わせたセルフ端末向け新サービスの共同開発を行っています。今後NTT Comは、With/Afterコロナの非対面接客・店舗運営効率化を進めると同時に、特にアジア各国の電子マネー事業者をオンラインで連携し、外貨両替に加えて残高の相互チャージを実現する「Wallet Exchange[®]」を提供する予定です。

NTT Comは、DX Enabler[®]としてお客さまビジネスのDXを推進し、「Center B（LOB）ビジネスを新たなステージ」へ誘えるよう貢献していきます。また、NTTグループ企業と連携を強化し、FinTech含むxTechを強みとした「ビジネスの新たな可能性を創造」し、それを実現します。



イノベーションセンター
プロデュース部門長 東出 治久



（後列左から）社員 沼 健太郎 / 主査 友田 光哉
（前列左から）担当課長 加藤 恭英 / 社員 今田 晴菜

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーションズ

イノベーションセンター プロデュース部門

E-mail xtech@ntt.com

URL <https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2020/1008.html>