

NTT

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可
令和2年9月1日発行 毎月1回1日発行 第32巻第9号(通巻378号)

9

SEPTEMBER 2020
vol.32 No.9

技術ジャーナル

特集

AIと脳科学で あなたをもっと知る

—人に迫り人を究める
コミュニケーション科学

特集

5G特集

社会課題解決・社会変革実現に向けた
ドコモの挑戦

トップインタビュー

岸本 照之
NTT西日本 常務取締役

グループ企業探訪
ハレックス

from NTTデータ
2025年の崖を乗り越えるためのレガシーデジタルインテグレーション

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

CONTENTS

2020年9月号

4

トップインタビュー

岸本 照之 NTT西日本 常務取締役

同じ釜の飯を食い、「暗黙知」を受け継ぐ
——ソーシャルICTパイオニアとして地域のビタミンとなる



10

特集

AIと脳科学であなたをもっと知る ——人に迫り人を究めるコミュニケーション科学

12

あなたを・もっと・知りたくて——AIで人に迫り脳科学で人を究める

18

知覚心理学で探る触覚の仕組み

23

巧みで素早い運動を支える脳内情報処理
——視覚的な身体情報による伸張反射の調整

29

あなたの声はどんな声?どんな声でしゃべりたい?

34

量子情報処理における量子的間接制御の可能性

39

言葉の難しさを測る——テキストの難易度と人の語彙数の推定

45

主役登場

藤田 早苗 NTTコミュニケーション科学基礎研究所



50

特集

5G特集 ——社会課題解決・社会変革実現に向けたドコモの挑戦

52

これまでの取り組み

59

5G標準仕様策定における貢献

67

5Gネットワーク

NTT 技術ジャーナル

46 | **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1回 オールフォトンクスというムーンショット

79 | **from ★NTT DOCOMO**
テクニカル・ジャーナル
リソースアシュアランスシステムの導入による
保守業務効率化の実現

85 | **挑戦する研究者たち**
河邊 隆寛
NTT コミュニケーション科学基礎研究所
上席特別研究員
やりたいことを誰にも負けないように頑張る



90 | **グループ企業探訪**
株式会社ハレックス
お客さまに付加価値を提供する専門家集団



94 | **from NTTデータ**
2025年の崖を乗り越えるための
レガシーデジタルインテグレーション

98 | **R&Dホットコーナー**
10G-EPON ONUのソフトエラー対策技術

103 | **Event Reports**
「NTTコミュニケーション科学基礎研究所
オープンハウス2020」開催報告

107 | **グローバルスタンダード最前線**
3GPPにおけるIP相互接続仕様の標準化動向

Focus on the News _____ 112

イベント _____ 117

読者の声 _____ 118

10月号予定

編集後記

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西日本 常務取締役

岸本 照之

PROFILE :

1986年NTTに入社。2014年NTTフィールドテクノ代表取締役社長、2017年NTT西日本取締役 関西事業本部長 大阪支店長を経て、2019年6月より現職。設備本部長、設備本部ネットワーク部長。

同じ釜の飯を食い、

「暗黙知」を受け継ぐ

——ソーシャルICTパイオニアとして

地域のビタミンとなる

新型コロナウイルスのパンデミック下において実施された東京商工会議所の調査によると、67.3%の企業がリモートワークを実施しています。一方で、リモートワーク、テレワーク実施を検討するにあたって、現在テレワークを実施していない企業では、社内体制の整備やセキュリティ確保が課題として挙げられ、テレワーク導入環境整備の支援（要件緩和、対象費用の拡大等）や導入モデルの紹介などが行政に求められています。指定公共機関としてこのニーズにどうこたえるのか、昨年20年の節目を迎えたNTT西日本の展望と姿勢について、同社の岸本照之常務取締役にお話を伺いました。

20年の節目に発足以来の最高益を達成

まずは経営環境について、西日本グループの現状を教えてください。

NTT西日本は2019年7月に創立20年の節目を迎え、2019年度の決算として会社発足以来の最高益、1322億円を達成することができました。発足当時の赤字から黒字化をめざして苦楽を共にしてきたメンバーと21年目を迎えられることは非常に感慨深いです。

2019年度は、G20が日本で開催され、九州を中心に集中豪雨や台風といった災害が相次ぎました。こうした中、

固定電話を中心に減収の傾向にありますが、減収幅は少なくなってきており、念願の増収が射程範囲に入ってきました。また、光サービスは年間目標としていた純増20万を超え、22万を達成し、ビジネス営業・新分野事業は全収入に占める比率が初めて半分を超え、デジタルトランスフォーメーション（DX）による徹底した効率化により費用削減を図ることができました。こうした全社一丸となった取り組みの結果として最高益を上げることができたのだと実感しています。

しかし、ご存じのとおり、新型コロナウイルスの感染拡大によって、社会全体が停滞している今、2020年度の決算着地を案ずる方も多いと思います。災害の場合、災害が収まりその後復興していくという先が見えることに

対して、パンデミックの場合はウイルスとの戦いがどれくらい続くのか等、先の見えない点において不安の元は異なります。

確かに社会には不安が蔓延しています。指定公共機関としてNTT西日本はどう対応されますか。

こうした中であっても、私たちは先頭に立ってICTの力で社会課題の解決をしていく「ソーシャルICTパイオニア」をめざし、地域から愛され、信頼される企業として変革し続けるとともに、地域を元気にしていく「ビタミン」のような役割を担います。

私たちはこうした不安に対して3つのキーワードを掲げて対応しています。まず、事業の継続と安全への対応です。私たちは指定公共機関として、こうした状況下においても自治体・企業・医療などへアクセスするための通信環境整備のご要望におこたえする使命があります。そして、社員の健康や不安を十分に配慮して、使命を果たすというバランスが非常に重要です。これに関しては数年前に新型インフルエンザ拡大が騒がれたときに、その対策として整えた体制があり、それを今回初めて発動し、全社を挙げたテレワーク・時差出勤等を導入して事業の継続と社員の安全・健康の維持に努めています。

次は混乱からの回復です。この段階においては、社会活動再開の声におこたえし、「リモート」「オンライン」をキーワードに展開し、グループの商材を結集してお客さまのご要望を想定しつつ、千差万別の課題解決に臨みます。また、これはNTT西日本のみでの展開ではなくNTTグループ全体の力をお借りする、言い方を変えればグループの全体最適化を図ることにもつながると考えています。

私は入社当時、現場の最前線にいました。現場を担当する者はやはり災害やトラブルなどの困ったときに必要とされることが多く、現場の社員はお客さまと直接コミュニケーションを図るNTTの顔だと感じました。しかも、NTTの3文字にお客さまが寄せる期待値は高いのです。こうした経験から、災害時などにいかに最善を尽くすことができるか、指定公共機関としての使命を果たせるかが重要だと考えます。さらに、すべての部署が前線の社員と同様にお客さまの声を聴き、ご要望におこたえる姿勢を持つことなのです。

最後は成長です。アフターコロナ、ウィズコロナといわれるニューノーマルを見据えたリモート型社会、働き方の改革が起きています。リモートワークが進むことに

より、現在の東京一極集中型のビジネスも分散されるようになるでしょう。このような時代の変革期において、ICTのインフラは血管であり、空気や水のような存在になると考えられます。従来のネットワークサービスやソリューションを提供するだけではなく、サイバーセキュリティやユーザサポート等を通して、サービスを安心かつストレスフリーで提供できるように努めていきます。

対応策の一例を申し上げますと、「時間・場所」にとらわれない効率的な働き方を実現するセキュアなビジネスコミュニケーション環境を提供するELGANAIは、さまざまなワークスタイルを快適にするサービスです。2020年6月末現在、すでに5万IDを超えています。リモート社会の定着に向けた、安心・安全、かつ多岐にわたるお客さまのご要望におこたえできるサービスを充実させていこうと考えています。新型コロナウイルスの感染拡大防止はピンチととらえず、私たちにとっては追い風であると前向きにとらえ、先を見据えて臨みます。

日進月歩ならぬ、秒進分歩の社会でNTTファンを獲得する方法とは

未曾有の事態を前向きにとらえてのビジネス展開、頼もしいですね。新中期経営計画はやはり新型コロナウイルスのパンデミックの影響を受けていますか。

確かに、新型コロナウイルスの感染拡大防止をかんが



みて歩いていくことになるでしょう。新年の社内プレゼンテーションでは、2020年の動向をアイスホッケーのスティックに例え、スティックのシャフト（柄の部分）とブレード（パックを打つ部分）の接点を2020年当初の状態、そこをターニングポイントに上昇基調にもっていくとの説明とともに2020年の幕を開けました。新型コロナウイルスの感染拡大という未曾有の事態ですが、着実に増収に向けて一丸となって歩んでいると確信しています。

新しい中期経営計画では2025年に売上1.5兆円、営業利益率10%、光1000万を目標に掲げています。その中で2020年は非常に重要な1年です。まず、ソーシャルICTパイオニアとして、「地域のお客さまに選ばれ続ける「いい会社」をめざします。カスタマサクセス、つまり、お客さまのご要望、課題に寄り添って、お客さまの事業目標を達成することに重点を置き、地域社会のスマート化への貢献に努めます。

また、昨今はよりスピード感を求められ、日進月歩ならぬ、秒進分歩で進んでおり、私たち自らが働き方を改革して効率化を図り、それをお客さまに提供するというスパンも短くなっています。このニーズにこたえることができれば結果として数字はついてくると考えています。私はICTに特化したソリューションを提供するのは当たり前、そこにどれだけ付加価値をつけられるか、従来のインフラを利活用できるかが重要だと考えています。加



えて、通信設備の故障等については、理論上、10年に1度あるかないかのできごとです。しかし、昨今では自然災害などが相次いでおり、被災地では通信の途絶も発生しています。こうした、お客さまが非常にお困りになることに真摯に取り組まなければ、たちまちアンチNTTとなってしまいます。逆に、誠実に取り組み改善できればファンとなり、リピータとなってくださいます。そして、修理や故障対応の仕事は非常にお客さまに喜んでいただける重要なカスタマサクセスの1つです。いかなる状況にあっても誠実に対応しファンを獲得することにつながっていきたくです。

決断と実行という重要な任務

充実した取り組みがなされているのですね。こうした未曾有の事態において、トップとして大切にされていることを教えていただけますでしょうか。

社員もお客さまも皆不安を抱えていらっしゃると思います。その不安材料はさまざまですが、それらを払拭することに努めることが大切だと思います。そして、現状は緊急対応をしている時期であるけれど、私たちはその先の未来へ向かって進んでいると示すことだと考えます。設備部門は物事を長期的な視点でとらえてグランドデザインを考えます。例えばIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想は2030年の実現をめざしていますが、通過点である2025年には大阪万博が開催されます。つまり、IOWN構想実現を見据えて大阪万博をテストベッドととらえていかに成功に導いていくか、未来を思い描き構想を打ち立てていくのです。一方で設備部門には夢だけではなく、徹底した効率化も求められます。大量にある設備をスリム化、シンプル化し、新しいサービスに転換していくことも求められるでしょう。こうした現実感を踏まえつつも夢を語れる、希望を持って仕事に臨める環境を整えていくことがトップには求められていると考えています。

これを現実のものとするため、私たちトップには「決断」「実行」という2つの大切な任務があります。一気に100点は取れないかもしれないし、最短距離ではなく、遠回りするかもしれない。それでも、着実に決断し、実行することが求められていると感じます。私に限らず、社員



の皆さん、それぞれの役職で悩みを抱え課題を解決する毎日を送っていると思います。例えば、現在一丸となって取り組んでいる新中期経営計画も方向感は間違っていないなくても、判断や決断に迷うことがあるかもしれません。そんなときに決断して背中を押すことが私の仕事だと考えています。また、先ほどお話ししたとおり、スピードは加速していますから、100点の検討を待つよりも50、60点でスタートして微調整しながら一丸となって臨んでいきたいです。

トップが責任を取ってくれるというのは大きな安心を与えてくれます。絆はどのように築かれているのでしょうか。

新型コロナウイルス対応のために電話会議を毎日、そして少なくとも週に一度はミーティングを開いています。部門長クラスは何が起きているかを把握して共有することが大切です。実はこの朝のミーティングは2011年ごろ私の上司が行っていたものになっています。このほかにも九州・沖縄サミットのプロジェクト等の経験も活かしているのですが、過去を共有した仲間が「現在」を引っ張り、「現在」の仲間がそれを受け継いでくれているということが嬉しいです。そのためにも、先輩や仲間が相互に良い刺激を与えあえる存在でありたいと思います。同じ釜の飯を食うという言葉がありますが、まさにその言葉どおりです。先輩方が高度成長期に電話局のビルを建て、ケーブルを引っ張った。それが今更改時期を迎えて

います。当時の考え方と今の考え方には時代や価値観の変化からかい離があるのは当然です。しかし、マイグレーションにおいては、その当時の思想や背景を理解して、今後を見据えたグランドデザインを描くのです。物品や工法、DX・ツール等も変化していますが大切なことは変わりません。

実は、10年ほど前からNTT西日本にはゴールドマイスター制度を設けて匠の技の伝承を保ち続けています。なぜなら、先輩方はお客さまの業態や現場の状況に合わせた「暗黙知」「匠ノウハウ」をお持ちです。しかし、言葉にはしませんし、文章にもしていただけません。そこで、若手社員を先輩に付かせてたくさん質問をさせ、その「暗黙知」を人から人へと継承しているのです。刻々と変化する技術やサービスへの対応はスポンジのような吸収力を持つ若い社員のほうが長けていますから、経験や性質等の特徴をお互いがうまく活かし合っていると感じています。

アンテナは常に高くして社会の動向を知る

社内外の技術者の皆さんに求めることを教えてください。

井の中の蛙大海を知らずと言われたいために外へ出ることです。固定電話の時代から技術は大きく変化し、昨

今では小学生もアプリを製作する時代になりました。技術開発がオープンに行われる時代において、通信事業者以外の企業や人がどのようなビジネス開発に取り組んでいるかを知り、アンテナを高くすることが求められています。

その中で、NTTグループの基礎研究は私たちの大きなバックボーンです。お客さまからも「すごい」という声を多く伺います。私たち自身も、研究所の取り組みがあるからこそ、ビジネスの最前線での取り組みを安心して展開できると実感しています。NTT西日本では2020年度、技術戦略の5つの柱を立てました。①地域ビジネスの更なる推進、②DX・データ活用ビジネスの推進、③キャリアアズキャリア・ビジネスの推進、④IOWN時代を見据えた取り組み、⑤PSTNマイグレーションに向けた取り組みです。

私たちはオペレーション会社ですから、モノを売っておしまいではなく、ちゃんと使え、故障しにくいことはもちろん、故障したとしても遠隔からのサポートで修理時間を極力短い時間に収めることが大切です。私たちの

肝であるオペレーション&メンテナンスを支える技術開発、トラブルシューティングを支える研究に挑んでいただきたいですね。そして、NTTグループの研究者にはグローバルで展開される研究開発競争に打ち勝つ取り組みをしていただきたいと考えています。これらが有機的につながった取り組みになってビジネスに展開できたら良いと思います。

研究のフィールドも通信のフィールドもどんどん広がっていますから、私たち技術者はどれだけ外界と接して、動向を知り、誰とアライアンスを組んで何をするのか、ロードマップを作成して取り組んでいきたいです。目標を定めて走っていくことで確実にNTTへの信頼につながり、研究開発と有機的につながることになるのだと考えます。(インタビュー：外川智恵/撮影：大野真也)

※インタビューは社会的距離確保のうえ、マスク着用で行いました。

インタビューを終えて

意外な一面を知りたくてトップの皆様にはご趣味を伺います。岸本常務は「応援」について語られました。野球、陸上競技、駅伝、マラソン等、あらゆる応援に精を出され、日本全国を駆け回っているそうです。実業団チーム、そして役職柄という一面もあってとお話しされつつ、「文化もスポーツもある意味いらぬという人もいるけれど、私は必要だと思うし、生きるうえでゆとりや豊かさだと思うのです」と熱く語る岸本常務。新型コロナウイルス感染拡大防止の自粛期間の選手の皆さんの様子も語ってくださるお姿に、単なる応援という行為だけではなく、選手がどのような苦勞をし、その心情を理解して支えるという深い愛情を感じずにはいられませんでした。インタビュー終了後も撮影機材の撤収が終るまで、会議室の正面にある大阪城を眺めながら、トライアスロン大会のルートやトリビアをお聞かせくださいました。その一瞬を切り取ると、単にお話が好きだからと思われるかもしれませんが、そこには隅々まで心配りを行き届かせ、そこにいるスタッフを誰1人として退屈させない、そして、これまでかわられた方々のことも、この先にかかわるだろう方々のことも考えるという岸本常務の生き方がありました。言葉では表現しがたい匠ノウハウを教えていただいたひとときでした。



特集

AIと脳科学で あなたをもっと知る ——人に迫り人を究める コミュニケーション科学

人工知能



触覚



深層学習

量子コンピュータ



語彙テスト

NTTコミュニケーション科学基礎研究所（CS研）は、「ここまで伝わる」コミュニケーションの実現をめざし、「メディア処理」「データ・機械学習」など、「人間の能力に迫り凌駕する」ための革新技术の創出と、「人間科学」「多様脳科学」など、「人間を深く理解する」ことにつながる基本原理の発見に力を入れている。本特集ではCS研のさまざまな取り組みについて紹介する。

Communicat

あなたを・もっと・知りたくて——AIで人に迫り脳科学で人を究める

CS研の「あなたを・もっと・知りたくて」を究める基礎研究について、その取り組みの一部を紹介する。

12

知覚心理学で探る触覚の仕組み

人間の触覚系が安定した知覚を生み出すために情報を取捨選択する仕組みを、「錯覚」に注目して解明した最近の研究成果を紹介する。

18

巧みで素早い運動を支える脳内情報処理——視覚的な身体情報による伸張反射の調整

人間の身体動作を支える無意識の感覚・運動プロセスの1つ「伸張反射」の概要と、その脳内での情報処理に関する最近の研究成果を紹介する。

23

あなたの声はどんな声？どんな声でしゃべりたい？

近年著しく発展し続ける深層学習を活用して音声を変換する際の従来技術の課題と、それを解決する研究所での取り組みを紹介する。

29

量子情報処理における量子的間接制御の可能性

量子情報処理を実現する手段として量子的間接制御が有用な性質を持っていることを明らかにした最近の研究成果を紹介する。

34

言葉の難しさを測る——テキストの難易度と人の語彙数の推定

テキストの難しさを自動的に推定するための難易度の推定方法と、読み手側がもつ知識量（語彙数）の推定方法についての取り組みを紹介する。

39

主役登場

藤田 早苗（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）
私が欲しいと思うものは他の人も欲しいはず

45

ion Science

あなたを・もっと・知りたくて —— AIで人に迫り脳科学で人を究める

NTTコミュニケーション科学基礎研究所（CS研）は、「ここまで伝わる」コミュニケーションの実現をめざし、「メディア処理」「データ・機械学習」など、「人間の能力に迫り凌駕する」ための革新技術の創出と、「人間科学」「多様脳科学」など、「人間を深く理解する」ことにつながる基本原理の発見に力を入れています。基礎研究の立場から、成果を世の中に具体的に届けることも試行しています。本稿では、このような取り組みのいくつかを紹介します。

やまだ たけし
山田 武士

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 所長

はじめに

今からちょうど35年前、日本電信電話公社（電電公社）が民営化され、NTTが発足した1985年当時、電話は当時の流行歌の歌詞*にあるように、親しい人が「いま何してるの」とか「いま何処にいるの」などを知るためのコミュニケーションツールの主役でした。現在はスマートフォンが普及し、ソーシャルメディアが新たな主役として発達した結果、あまり親しくない人であっても、それがある程度分かってしまいます。そもそも、個人が日々利用するスマートフォンは、これらの情報をすべて把握しており、むしろ使用者本人よりも詳しいかもしれません。一方、電電公社時代の黒電話には不思議な存在感やぬくもりがあったと記憶しています。今後さらに技術が発達すると、コミュニケーションはどう変化

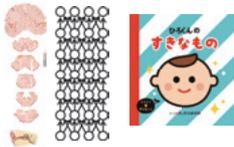
するのでしょうか。人と人との物理的な距離が遠くならざるを得ない時代だからこそ、コミュニケーションの本質が何かを究めることはなおさら重要です。

NTTコミュニケーション科学基礎研究所（CS研）は今から約30年前、1991年の設立当初から、コミュニケーションの本質は、「情報を正確かつ効率良く伝達すること」のみならず、「お互いに理解を深め、感動を共有し、心のふれあいを実現すること」であるとの理念のもと、時代を先取りした基礎研究に取り組んできました。当初は人と人とのコミュニケーションが主題でしたが、現在は、人とのみならず、人とコンピュータとの間の「ここまで伝わる」コミュニケーションの実現をめざし、「メディア処理」「データ・機械学習」など、「人間の能力に迫り凌駕する」ための革新技術の創出と、「人間科学」「多様脳科学」など、「人間を深く理解する」ことにつながる基本原理の発見に力を入れています⁽¹⁾。

*「あなたを・もっと・知りたくて」は、1985年、NTT民営化直後の「TALK ON THE PHONE」イメージソング。

人間科学

五感や知覚、運動にかかわる、人間の脳や身体の情報処理機構の解明と斬新な知覚体験の提供



メディア処理

クロスモーダルなメディア情報処理に基づく柔軟な状況理解や、感覚に訴える高度なメディア表現の実現



「あなたを・もっと・知りたくて」を究める基礎研究



多様脳科学

トップアスリートなどの優れた認知機能を支える脳機能の多様性解明を通じた、人間の「心・技・体」の関係の本質的理解



データと機械学習

世の中に溢れる大量の言語情報と刻々と変化する実世界情報とを結び付けた広汎な知能処理の実現



- 銀行担当
- …
- 親疎
- 改鑄

図 CS研の研究領域

まさに「あなたを・もっと・知りたくて」を究める基礎研究です(図)。また、それらのための地道な基礎理論の構築にも継続して取り組んでいます。後者の例については本特集記事『量子情報処理における量子的間接制御の可能性』で詳しく説明します⁽²⁾。そして、成果を世の中に具体的に届けることにも、基礎研究の立場からパートナーの皆様とのコラボレーションを通じることで工夫して取り組んでいます。本稿ではそのような取り組みの一部を紹介します。

人間の能力に迫り凌駕する

コミュニケーションの基本はまず話し言葉

を認識することです。CS研が運営する「錯覚」解説サイト「イリュージョンフォーラム」で紹介されている「錯聴」の1つに、「モザイク音声(劣化雑音音声)」があります⁽³⁾。これは、雑音のない通常の話言葉の音声を加工しスペクトルの細かい特徴を破壊した、いわば粗いモザイクをかけた映像のような音声のことです。実際聴いてみると、歪みの大きい不自然で聞き取りにくい音声ですが、何と言っているのかなんとか分かります。このように人間は非常に粗い情報だけでも、ある程度声の内容を聞き取ることができます。また、興味深いことに、仮に最初は分からなくても、いったん加工前の音声を聞いた後でま

た聞くなどすると聞き取ることができて、いったん聞き取れると、もはやそのようにしか聞こえません。まさに人間の聴覚機能、音を認識する機能の奥深さを体験できます。

人間を含む動物（哺乳類）は、その長い進化の過程でこのような音を認識するための脳の機能を獲得してきたと考えられます。一般に哺乳類の脳では、耳にある末端の内耳により空気振動としての音信号が神経活動に変換され、聴神経に伝達されます。そこから多数の脳部位を経て階層的に処理され、中枢の大脳皮質にある聴覚皮質に伝達されます。その際、処理できる音の上限周波数や最適変調周波数が末端から中枢へと階層を経るに従って徐々に低下する傾向があります。CS研では、音を直接入力として、自然音の分類課題を行うように深層ニューラルネットワーク（DNN: Deep Neural Network）を学習させると、獲得したDNNの階層構造が全体にわたって脳の階層構造と類似することを発見しました⁽⁴⁾。この類似性はDNNの訓練が進む過程で徐々に獲得され、音の認識精度が高いDNNほど類似性が高くなります。この結果は、動物の脳が持つ性質が進化の過程で音認識に適応した結果、獲得されたものである可能性を示すものといえます。

一方人間は、複数人が同時に話す状況でも、聞きたい人の声に集中し、その声を聞き取ることができます。CS研では、独自に考案したDNNに基づくSpeakerBeamという技術を考案し、人間が持つこの選択的聴取と呼ばれる能力を、コンピュータ上で実現す

ることに成功しました⁽⁵⁾。SpeakerBeamを用いると、システムに目的話者の声の特徴を教えるだけで、複数人の会話音声から、目的話者の音声を取り出すことができます。しかし、音声情報のみでは声の性質が似た話者どうしの音声が含まれる場合など、取り出すことが困難です。そこで声の特徴に加え、唇の動きを手掛かりとすることで、似通った声の人でも聞き分けることにも取り組んでいます。また、DNNを駆使した音声変換技術によって、人が話した音声の内容は保持したまま、声質や抑揚などの特徴を自由に変えることにも取り組んでいます。こちらについては本特集記事『あなたの声はどんな声？どんな声でしゃべりたい？』で詳しく説明します⁽⁶⁾。これらの技術をさらに発展させると、発声・聴覚機能の障がいや加齢による衰えを克服した自然なコミュニケーションや、不慣れな外国語での会話サポートなどが実現できます。

幼児の言語獲得過程の解明も進めています。人間の幼児は親とのコミュニケーションを通じて言語を習得します。人類は長い時間をかけて言語とそれを用いたコミュニケーションを進化させてきました。しかし、人類が文字を使うようになったのは比較的最近のことで、「読む」能力はもともと脳に備わった機能ではありません。「視覚」「聴覚」「言語」「認知」など脳の基本機能を柔軟に組み合わせて実現しています⁽⁷⁾。CS研では、言語獲得の仕組みを理解するために、子どもがいつどんな語を理解し、発話できるかを大規模調査し、モデル化した「幼児語彙発達データベース」

を構築しています。CS研の語彙研究については本特集記事『言葉の難しさを測る ― テキストの難易度と人の語彙数の推定』で詳しく説明します⁽⁸⁾。このデータベースは、子どもの「読む」能力の育成にも役立つと考えています。そこでNTT印刷を通じてサービス化されたのが、お子さん1人ひとりの言葉の成長に合わせて内容をカスタマイズする、「パーソナル知育絵本」です。CS研とNTT印刷は、沖縄県恩納村や徳島市との協力のもと、お子さんに「パーソナル知育絵本」を配布し、成長の早い段階から絵本を読むことに興味を持ってもらい、それを習慣化させる取り組みを始めています⁽⁹⁾、⁽¹⁰⁾。

さらに人間の持つ優れた言語処理、知識処理に迫る取り組みとして、CS研では数年前から国立情報学研究所の人工知能プロジェクト「ロボットは東大に入れるか」(東ロボ)に参画し、人間が実際に解く問題をAI(人工知能)がどこまで解けるのかを明らかにする研究を進めています。特にCS研は英語を担当し、大学入試センター試験の英語筆記科目に挑戦してきました。その結果、最新のDNN技術に基づき、CS研を中心とした東ロボ英語チームの独自技術を適用することで、2019年センター試験の英語筆記本試験において、185点(偏差値64.1)という極めて高い成績を達成しました⁽¹¹⁾。英語問題は、自然言語処理、知識処理の統合的な問題を多く含んでいます。NTTでは得られた知見を、人間との雑談(雑談対話)や、受付や案内での情報提供など(タスク対話)を行う対話型

AIの研究に活かしています。

対話型AI研究の一例として、NTTでは「なりきりAI」と呼ばれるキャラクタ型の雑談対話技術に取り組んでいます。なりきりAIとは、さまざまなユーザに、あるキャラクタ(有名人や小説、ゲームのキャラクタなど)に「なりきって」質問やその回答を入力してもらい、蓄積した対話データに基づき、そのキャラクタの振る舞いを再現した対話型AIを構築するものです。これまでもNTTドコモ、株式会社ドワンゴとの連携を通じて、複数のキャラクタを対象としてなりきりAIを構築してきました。このたびCS研の所在地である京都府相楽郡精華町との連携による「なりきりAI京町セイカ」プロジェクトが始まりました⁽¹²⁾。「京町セイカ」は精華町の公式広報キャラクタで、SNSなどを通じたファンも多く、そのコンセプトはなりきりAIにぴったりです。CS研ではこれまでも、雑談対話とタスク対話を自由に行き来し、対話の話題を自然に制御する技術の基礎研究を行ってきました。「なりきりAI京町セイカ」は、「人の心に寄り添う対話」実現に向けたこれら技術の実証の場となります。まずは精華町民の皆様とご協力のもと、精華町に関する多数の知識や経験を含む対話データを収集します。そして個性的なキャラクタを持つ京町セイカが、適切な情報提供や相談をタスク対話として行う合間でもユーザからの雑談や質問に柔軟に答えるなど、ユーザの気持ちや要望に寄り添うタスク対話を実現します。

人間を深く理解し究める

一方で、AIの発展により、人間のことを深く知り、理解することは、ますます重要になってきました。最近のインターネット検索サイトは各ユーザの検索履歴等を把握しており、例えば、ユーザがインターネットで調べものをしている最中に、検索ワードにマッチした商品広告がさりげなく提示されると、いつのまにかクリックして購入してしまう、ということが起こり得ます。その際ユーザは、あくまでも自分の意志でその商品を購入したのであって、第三者に操られて商品を買わされたとは、あまり自覚しません。今後AI技術が発展すると、より巧みな、いわばAI版「サブプリミナル効果」のリスクが高まると考えられます。

このようなリスクを防ぐためにも、人間がいつ、どのような思い込みを持つのか、そしてその思い込みがどう行動につながるかなどを、人間科学、特に脳情報処理の観点から深く理解することが重要です。CS研では卓越したスキルを持つアスリートに着目し、彼らが情報をどうとらえて判断しているのかを、身体に現れるさまざまな生体情報の解析を通じて解明する研究に取り組んでいます。例えば野球選手において、打てる打者と打てない打者は何が違うのか、「ボールを良く見て打つ」というのは本当か、ストレートは本当に「まっすぐ」か、などです。これらの知見をアスリートに効果的にフィードバックすれば、脳機能を鍛えるトレーニング手法としても活

用できます。

ウィズコロナの時代、ともすると「心のふれあい」はますます希薄になりがちです。「神の見えざる手」で有名なアダム・スミスは、その著書『道徳感情論』で「共感」(Sympathy)の重要性について論じる中で、「我々はしばしば他人の悲しみから(自らの)悲しみを引き出す」と述べています⁽¹³⁾。感情(Sentiment)や情動(Emotion)の共有、他者の経験を自分のものと感じること、それすなわち共感であり、心のふれあいに通じます。CS研では、東京大学 亀田達也研究室との共同研究により、「痛み体験の共有」について研究しています。初対面の2人が同時に痛み刺激(熱刺激)を受ける実験において、2人の痛みに対する不随意、すなわち意識しない、自律神経反応(ここでは指尖容積脈波という、指先の脈に応じた血液の変化量を測定)が対面状況では同期するが非対面では同期しないことが分かりました。また、この刺激を繰り返し経験すると、反応の弱い人が強い人に合わせるかたちで変化することを明らかにしました⁽¹⁴⁾。すなわち、対面のインタラクションにおいて、痛みのようなネガティブな情動が、意識しない、自律神経反応のレベルで、個人間で共有され、増幅することが示唆されたのです。さらにeスポーツでの1対1の対戦を対象とした実験においても、上級者どうしの接戦では、プレイヤーどうしの心拍数が同期して変動すること、しかし一方的な試合展開では心拍数は大きく乖離することが分かりました。その他、CS研で取り組んでいる

人間科学研究については本特集記事『知覚心理学で探る触覚の仕組み』⁽¹⁵⁾、『巧みで素早い運動を支える脳内情報処理——視覚的な身体情報による伸張反射の調整』⁽¹⁶⁾でさらに紹介します。

おわりに

日本語の「幸せ」の語源は、「為合わせ」や「仕合わせ」、対応する動詞は「仕合わせる」であって、これはまさに、他者とのインタラクションやコミュニケーションが「うまく行った」状況をさしているという説があります⁽¹⁷⁾。すなわち、心のふれあいの相乗効果が人々の幸福、最近の言葉でいえばウェルビーイングの向上につながることとなります。eスポーツでの心拍の同期は、まさに「仕合せている」状態、「仕合」そのものといえます。CS研はこれからも、人の能力に迫る研究、人を究める研究に取り組み、たとえ「離れていても心は君のそばにある」ような「ここまで伝わる」理想のコミュニケーションとは何かを探求していきます。

■参考文献

- (1) 山田：“人に迫り、人を究め、人に寄り添う——デジタルとナチュラルの共生・共創に向けて,” NTT技術ジャーナル, Vol. 31, No. 9, pp.6-9, 2019.
- (2) 加藤：“量子情報処理における量子的間接制御の可能性,” NTT技術ジャーナル, Vol. 32, No. 9, pp. 34-38, 2020.
- (3) http://www.kecl.ntt.co.jp/IllusionForum/a/noise_vocodedSpeech/ja/index.html
- (4) <https://www.ntt.co.jp/news2019/1907/190710a.html>
- (5) <https://www.ntt.co.jp/news2018/1805/180528c.html>
- (6) 田中：“あなたの声はどんな声？どんな声でしゃべりたい?,” NTT技術ジャーナル, Vol. 32, No. 9, pp. 29-33, 2020.
- (7) S. Dehaene: “Reading in the Brain: The New Science of How We Read,” Penguin Putnam Inc, 2010.
- (8) 藤田：“言葉の難しさを測る——テキストの難易度と人の語彙数の推定,” NTT技術ジャーナル, Vol. 32, No. 9, pp. 39-44, 2020.
- (9) <http://www.nttprint.com/company/itemid419-000048.html>
- (10) <http://www.nttprint.com/company/itemid419-000053.html>
- (11) <https://www.ntt.co.jp/news2019/1911/191118a.html>
- (12) <https://www.ntt.co.jp/news2020/2007/200703a.html>
- (13) https://en.wikipedia.org/wiki/The_Theory_of_Moral_Sentiments
- (14) A. Murata, H. Nishida, K. Watanabe, and T. Kameda: “Convergence of physiological responses to pain during face-to-face interaction,” Scientific Reports, Vol. 10, No. 1, p. 450, 2020.
- (15) 黒木：“知覚心理学で探る触覚の仕組み,” NTT技術ジャーナル, Vol. 32, No. 9, pp. 18-22, 2020.
- (16) 伊藤：“巧みで素早い運動を支える脳内情報処理——視覚的な身体情報による伸張反射の調整,” NTT技術ジャーナル, Vol. 32, No. 9, pp. 23-28, 2020.
- (17) 玄侑：“しあわせる力 禅的幸福論,” 角川SSC新書, 2010.



山田 武士

CS研はこれからも「ここまで伝わる」コミュニケーション探求の取り組みを続けるとともに、パートナーの皆様とのコラボレーションを進めることで、ウィズコロナであっても、離れていても心ふれあう、心が豊かになる社会の実現へとつなげていきます。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
TEL 0774-93-5000
FAX 0774-93-5015
E-mail takeshi.yamada.bc@hco.ntt.co.jp

知覚心理学で探る触覚の仕組み

指先は、机の上に落ちた髪の毛や、金属の磨き度合いなど、かなり細かな違いを区別できる素晴らしいセンサです。私たちのグループは知覚心理学の手法を使って触覚の仕組みを研究しています。本稿では「錯覚」を通して、触覚システムがどのように情報を取捨選択し、安定した知覚を形成しているのかを調べた研究を紹介します。こうした研究は、効率的な情報提示技術につながることで期待されています。

くろき
黒木

しのぶ
忍

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

触覚 × 知覚心理学

手は道具でありセンサです。手指を巧みに使うことで、人間は上手に進化を遂げてきたと思います。道具をうまく使うには速くて正しい計測と処理が有効です。私たちはこの、皮膚を通じた情報処理に興味を持っています。「手に取るように分かる」「肌で感じる」など、触覚にかかわる比喩表現には、ものごとを深く理解する様子をイメージさせるものが多くあります。ところが、触覚が実際に何をやっているのか、その情報処理に関する研究は意外なほど疎で、その処理のメカニズムはあまり良く分かっていません。自己と世界の境界から得られる感覚であるため、その接触面で起きる現象を直接計測したり、人工的に再現したりすることが難しいなど、技術的な課題もありました。近年の技術進歩に伴い、視覚や聴覚の研究を追いかけるかたちで、少しずつ触覚についても解明が進んでいます。

知覚心理学とは、人間をシステムとして扱い、その内部処理を同定する学問です。人間に対して、何か画像や音のような入力を加え

たときに、出力としてどのような知覚が得られるのかを調べます。例えば、明かりをゆっくり点けたり消したりすると明るさの変化を知覚することができますが、切り替え速度を上げていくと明滅は徐々に見えにくくなり、蛍光灯ほど高速になると変化は検出できません。このように、少しずつ入力を変化させながら、私たちの知覚に影響を及ぼす物理量や、その範囲を調べていきます。

本稿では、触覚の仕組みや特徴について考える手掛かりとなる「錯覚」を2つ紹介します。ここで言っている錯覚というのは、例えば、物理的には全く同じ入力に対して、異なるものを知覚してしまう、あるいは物理的に異なるものに対して同じものを知覚してしまう、といった現象です。錯覚を通して、脳がどのような情報に感度を持ち、またどのような情報にはあまり感度を持たないのか、を調べることができます。この試みは、効率的な情報提示方法を考えるうえでも役立ちます。

2つの振動が混ざってしまう 周波数の錯覚

モノの表面に触れると、指先の皮膚に振動が発生します。その振動を通じて、さらさら、ざらざら、といった質感を感じることができます。これらは皮膚の中にある受容器、触覚のセンサで符号化された、振動の周波数の情報に基づいた知覚です。網膜に複数のセンサがあり、それぞれ異なる色に対して感度を持つように、皮膚にあるセンサにもいくつかの種類があります。それぞれのセンサは、ある種類は小粒で皮膚表面に密集し、また別の大きなものは皮膚深くにぽつぽつと点在するなど、異なるかたちと分布を持っています。その結果、ゆっくりした変形に応答するセンサや、着信バイブレーションのような高周波の振動に良く応答するセンサといった具合に、種類ごとに個性が生まれます（図1）。では、周波数というものはこれら異なるセンサの信号をどのように使って符号化されているので

しょうか。

触覚だけでなく、視覚や聴覚においても、時間周波数の異なる入力はその違いを知覚することができます。例えば目の場合、赤色の光（波長が長い）と緑色の光（波長がやや短い）を同時に、近い場所に提示すると、黄色の光（赤と緑のおよそ中間の波長）を感じます。赤と緑、それぞれを感じることはできません。有名な光の三原色です。一方で音の場合、例えばドの音とミの音を聞いたときに、中間のレの音が聞こえるということはなく、和音として両方聞こえる、分解できると思います。手はどちらに似た処理をしているのでしょうか。

私たちは、振動の三原色のような現象が観察できるか、複数の振動に触れた場合に中間の振動周波数を感じるかどうかについて、実験を通して検討しました。ここで、単純に皮膚表面に2つの周波数を合算した合成振動を加えてしまうと、皮膚が弾性体であるため、センサに振動が届くころには物理的に振動が

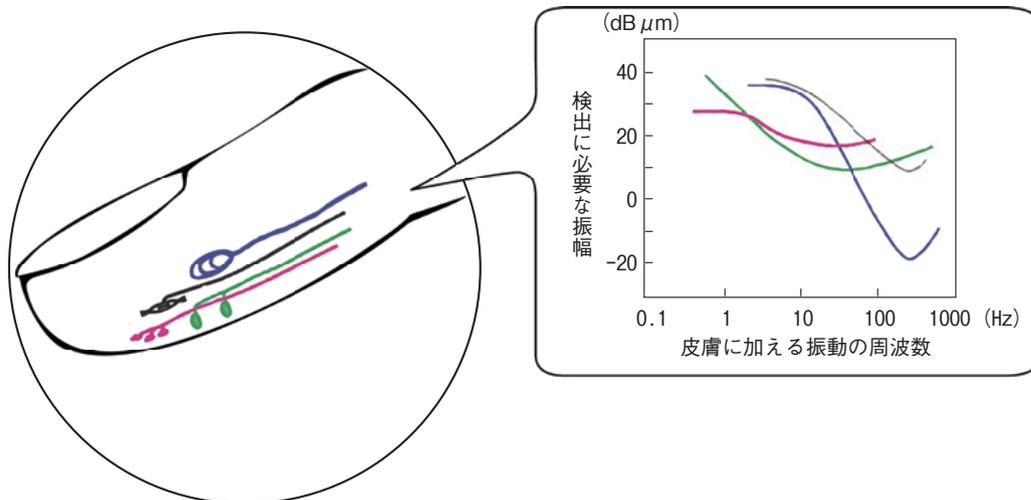


図1 指先皮膚に存在する複数のセンサと、それらにつながる神経の応答特性

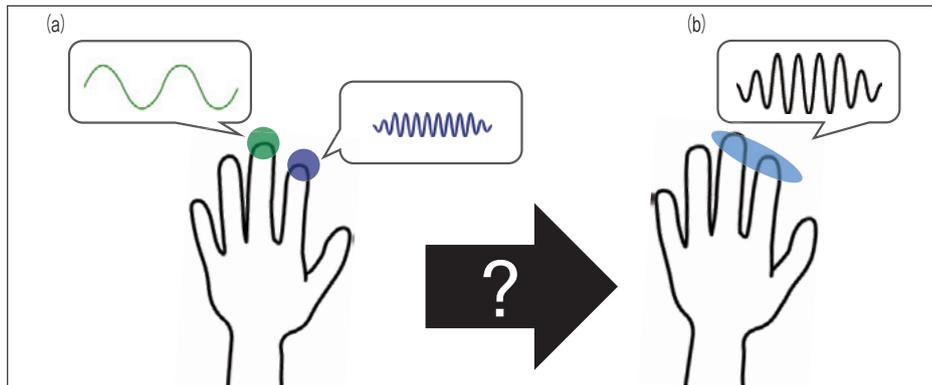


図2 2つの振動の周波数が混ざってしまう錯覚

減衰してしまうおそれがあります。そこで、人差し指と中指、2本の異なる指に対して、異なる周波数を持つ2つの振動を1つずつ、同時に加えることで、赤色と緑色を同時に見ているような状況を疑似的に再現しました。実験では、2つの指に異なる周波数を持つ正弦波振動を加える「合成振動」について、その周波数を、2つの指に同じ正弦波振動を加える「比較振動」の周波数と比較してもらいました(図2)。すると、合成振動で提示した2つの振動の中間の周波数を持つ振動を提示したときに、合成振動と同じくらいの周波数であるように感じられるということが分かりました。ここだけみると、光の三原色と同じような結果になっています。また、この現象は、合成振動を片手の2本の指に加えた場合だけでなく、右手と左手の指に加えた場合にも観察されることが分かりました。右手と左手という明らかに異なる部位に、全く異なる周波数の振動を加えた場合にも、私たちはまるでその2つの振動が同じ周波数を持つ入力であるかのように、混ぜて感じてしまうようです。

ただし、合成振動は完全に混ざってしまうわけではない、ということも実験を通して分かってきました。2つの指で異なる周波数を持つ振動「合成振動」に触れた場合、右の指と左の指に何らかの(例えば強さなどの)違いを感じます。また、周波数では同じくらいの正弦波振動と比べても、合成振動はノイズに感じます。触覚の場合、視覚と違って、合成振動と普通の振動で、知覚的等価性が担保されないのです。

まとめると、触覚では周波数の異なる複数の振動に触れたときに、複数の振動があることが分かるので、目とは異なる符号化を行っていることが分かります。しかし、2つの周波数を別々に感じることはできないので、耳とも異なっています。触覚は、視覚と聴覚の間のような特徴を持っているのではないかと考えられます⁽¹⁾。

違って見えるのに触ると似てしまう テクスチャの錯覚

私たちの身の周りに存在する物体は、多様な表面の凹凸パターン、テクスチャを持って

います。思いどおりのテクスチャを人工的に設計することは技術的に難しかったため、テクスチャの研究は簡単な実験刺激を作成するか、世の中にすでに存在する素材をそのまま使うことで行われてきました。私たちのグループでは、単純な実験刺激と複雑な現実世界の間をつなぐ試みとして、レーザーカッターや3Dプリンタを使い、複雑な空間パターンを持つ表面テクスチャを作成して、研究を進めています。

テクスチャの設計には画像をハイトマップとして利用しました(図2(a))。白い所が凸、黒い所が凹み、彫りが深いところを表します。画像を用いることで、表面凹凸を持つ空間周波数や、その帯域などの統計量を、簡単に操作することができます。実験では、各画像を4 cm × 4 cm、彫りの深さ最大で2 mmの試料片として3D印刷して、表面テクスチャを作成し、それぞれのテクスチャを区別できるかを調べました。図3(a)に示されている5枚の画像は、紙やすりの番手などで表されるような中心周波数、比較的単純な統計量を変

調してあります。これらの画像に基づいて3D印刷した試料片は、右に行くほど中心周波数が高く、ぼこぼこした表面からザラザラした表面になります。実験でこの表面の触り分けを行うと、高い成績が得られます。良く知られている現象ですが、人間は中心周波数の変調には非常に感度が高いのです。では、全く違う画像に基づく試料片の弁別はどうでしょうか。図3(b)の5枚は、画像データベースから取ってきた自然画像です。輝度値の平均と分散をそろえてありますが、白黒の空間的配置に違いがあるため、目で見ると簡単にパターンの違いを見分けることができます。しかし、手で触るとあまり違いを触り分けることができません。特に、石・サンゴ・葉っぱの3枚(図3(b)の紺枠で囲んだ3枚)については、それぞれ見た目が全く異なるにもかかわらず、区別ができませんでした。テクスチャの弁別という課題においては、目と手で、入ってくる情報の計算の仕方が違うらしい、ということがこの錯覚から分かります。

では、目と手の情報処理はどのように異な

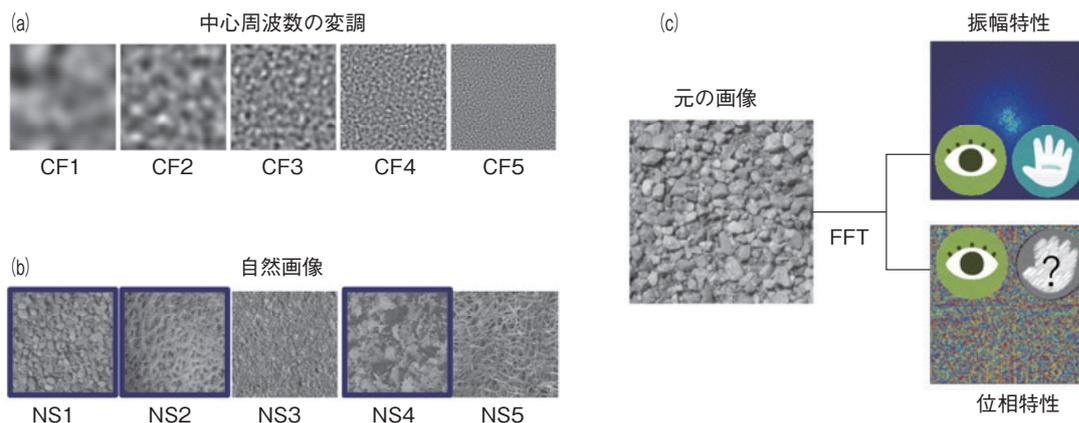


図3 違って見えるのに触ると似てしまうテクスチャの錯覚

るのでしょうか。私たちは、テクスチャ表面の設計図となった画像について解析を行いました。自然画像というのは、空間周波数が上がるにつれて振幅が下がるという特徴的な振幅特性を持っています。図3(b)の5枚の画像に対してそれぞれフーリエ変換をかけて、振幅（濃淡の強さの情報）と位相（濃淡の分布情報）という異なる統計量に分けてから見比べると、5枚の振幅はよく似ている一方で、5枚の位相は全く異なっています。目は、画像をフーリエで分解した先の、振幅と位相（の一部）を両方情報処理しています。一方で、手では主に、振幅の特性のほうを情報処理して触り心地を計算し、位相特性のほうはあまり使っていないのではないかと、ということが考えられます（図3(c)）。この性質を利用することで、違って見えるのに触ると似てしまうテクスチャを自由に作成することができるようになりました⁽²⁾。位相の算出には振幅の算出よりも計算コストがかかります。触覚は、位相の情報処理にあまりリソースを割かず、どちらかというと、振幅特性の細かな違いに感度を持つように進化をしたのではないかと仮説を立て、引き続き研究を行っています。

紹介してきたように、私たちのグループでは知覚心理学の手法を使って触覚の仕組みを研究しています。五感の研究はもともと、視覚・聴覚を対象にしたものが多く、触覚の研究はあまりありませんでした。研究を行うための道具が進歩してきたこともあり、最近やっと手の研究も増えてきています。五感には似たような処理もたくさんありますが、やはり、別々のかたちをして進化をしてきた感覚器なので、それぞれ、異なる情報処理を行っている可能性があります。視覚には視覚の、聴覚

には聴覚の、そして触覚には触覚の処理、知覚のルールがあります。こうした知覚のルールに関する理解を積み重ねていくことが、触覚の理解につながると同時に、将来的な触覚情報提示の可能性を啓くと期待しています。

■参考文献

- (1) S. Kuroki, J. Watanabe, and S. Nishida: "Integration of vibrotactile frequency information beyond the mechanoreceptor channel and somatotopy," *Scientific Reports*, Vol. 7, No. 2758, 2017.
- (2) S. Kuroki, M. Sawayama, and S. Nishida: "Haptic metameric textures," *bioRxiv*, doi: <https://doi.org/10.1101/653550>, 2019.



黒木 忍

私たちは自身のセンサとしての特性も含めたうえで、外界を知覚しています。外界の物理情報と内的な知覚状態の関係性について、機能的なモデルを構築することで、人間理解への科学的な貢献と、産業分野への工学的な貢献をめざしています。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
人間情報研究部
TEL 0774-93-5020
FAX 0774-93-5026
E-mail cs-liaison-ml@hco.ntt.co.jp



巧みで素早い運動を支える脳内情報処理 ——視覚的な身体情報による伸張反射の調整

観客を惹きつけるアスリートのスーパープレーから、私たちが何気なく行っている日常の動作まで、人間の身体動作は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つである伸張反射が、多感覚統合による身体表象を介して調整されることが、最新の研究成果より分かってきました。このことは、反射による運動制御が、従来考えられてきたより高度な脳内情報処理を経て行われている可能性を示唆します。

いとう しょう
伊藤 翔

ごみ ひろあき
五味 裕章

NTT コミュニケーション科学基礎研究所

人間の運動を支える反射

人間の身体動作は意識に上らないさまざまな脳の仕組みによって支えられています。その1つが「反射」と呼ばれる感覚-運動プロセスで、視覚や体性感覚*などによる外界からの刺激に対して、意識を介さずに運動応答を生成します。反射による運動制御は、随意運動（意識を介して行われる運動）よりも高速な応答を引き起こすため、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ます。あるいは“歩く”“立ち上がる”“物に手を伸ばす”といった、日常生活の中で何気なく行っている動作も、反射による姿勢の制御に支えられて初めて実現されるといえます。NTTコミュニケー

ション科学基礎研究所では長年、反射がどのような脳内の情報処理を経て生成され、人間の運動実行に役立っているかを調べています^{(1)~(3)}。本稿では体性感覚情報によって引き起こされる反射の1つ「伸張反射」について概要を述べ、その情報処理に関する最近の研究成果⁽⁴⁾を解説します。

伸張反射の仕組みと機能

伸張反射は筋の受動的な伸展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1）。障害物との接触などによって意図しない姿勢の変化が生じると、筋の長さの変化をとらえる受容器である筋紡錘が反応し、「筋が伸ばされた」という情報を上行性の感覚信号として脳・神経中枢に伝達します。この信号は随意運動とは異なる脳部位や神経経路で処理され、伸ばされた筋を収縮させる運動応答を生成します。伸張反射応答は脊髄レベルの神経

* 体性感覚：人間の感覚機能のうち、触覚および深部感覚を合わせて称する用語。皮膚や筋、腱、関節などの受容器からの入力によって生じる感覚を指します。体性感覚があることで、人間は視覚情報が得られない状況でも自己の姿勢や運動の様子を知覚することができます。

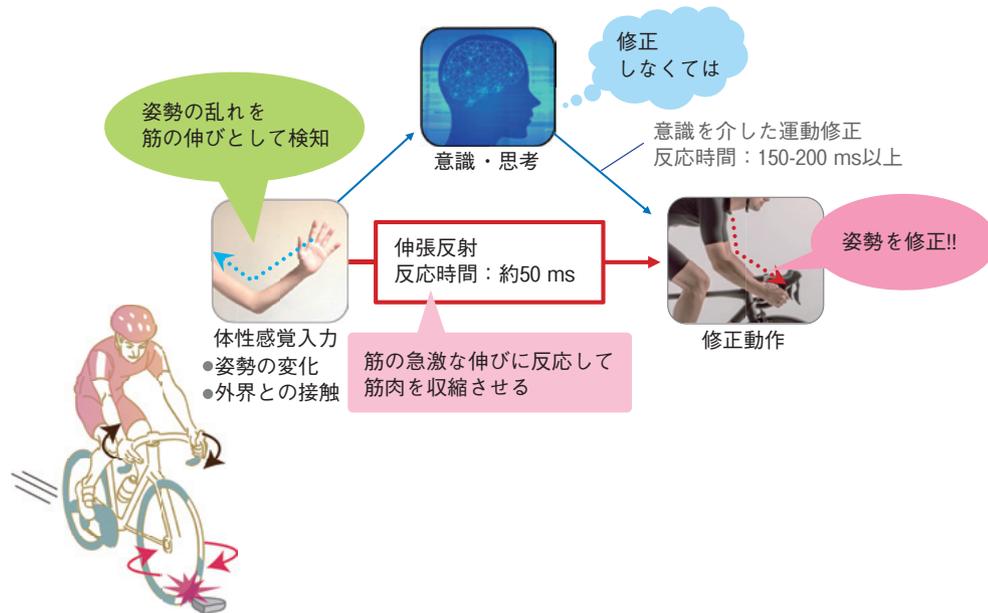


図1 伸張反射のはたらき

経路によって生じる短潜時成分と、大脳皮質運動野まで含む神経経路を経て生成される長潜時成分とを含むことが明らかになっています⁽²⁾。そのうち、比較的応答の遅い長潜時の伸張反射でさえ、刺激の入力から約50 msという極めて短い反応時間で筋活動が発生するため、反応に100~150 ms以上かかる随意運動と比較して素早く姿勢の変化を補償することができると考えられます。

伸張反射は入力刺激に対して常に一定の応答が生じるわけではなく、課題や環境の変化に依存して応答の調整がみられることが種々の先行研究で示されています⁽³⁾、⁽⁵⁾。脳はこのような反射系の調整を通して、状況に応じた柔軟な運動制御を行っていると考えられます。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。一例として、伸張反射の調整が体性感覚情報のみに基づくのか、あるいは視覚情報など他のモダリティにおける感覚情報も統合した身体表象を利用して行われているのかについてはこれまで未解明でした。本研究ではこの点を検証するため、運動実行中の自己位置を示す視覚情報を操作し、伸張反射に影響がみられるかを調べました。

反射調整における多感覚統合の関与

身体状態に応じた伸張反射の調整の仕組みについて、2つの仮説が考えられます(図2)。1つは、伸張反射は体性感覚入力によって生じる応答であることから、その調整も体性感覚に依存して行われるという考え方で、これに対してもう1つは、体性感覚情報

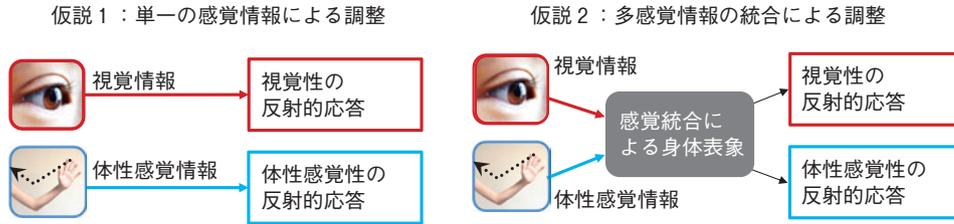


図2 反射調整の情報処理についての仮説

実験装置

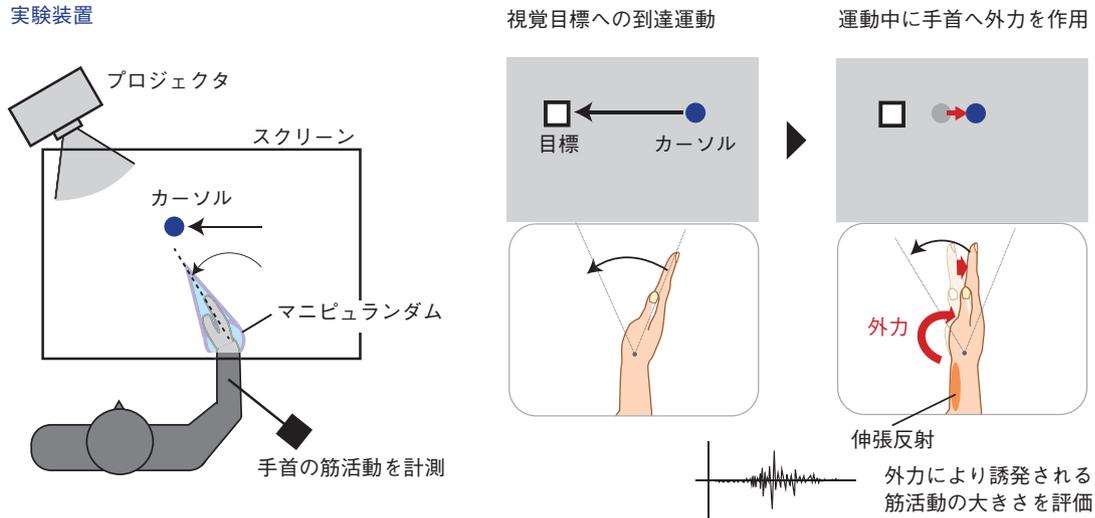


図3 実験設定

に加えて視覚情報など他のモダリティの感覚情報も統合した身体表象を介して、より精度良く身体状態を推定し、反射応答の調整に使用しているという考え方は、本研究では、これらの仮説のどちらがより確からしいかを検証するため、視覚情報を実験的に操作し、それにより伸張反射が影響を受けるかを調べました。

実験として、**図3**左に示すような実験装置を用いて、手首の屈曲運動による視覚目標への到達課題（**図3**中央）を行いました。試行

を繰り返し行う中で、一定の確率で到達運動の最中に瞬間的な外力を作用させ、手首の急激な伸展を引き起こしました（**図3**右）。この操作によって手首の屈筋に伸張反射を誘発することができ、その大きさを皮膚に張った電極によって計測しました。ここで実験条件として、手の位置を表すカーソルの移動方向に回転変換を加えることで、視覚による身体情報と実際の運動の間に不一致を生じさせました（**図4**左）。ただし、目標位置や運動開始位置も同じ回転変換により移動させること

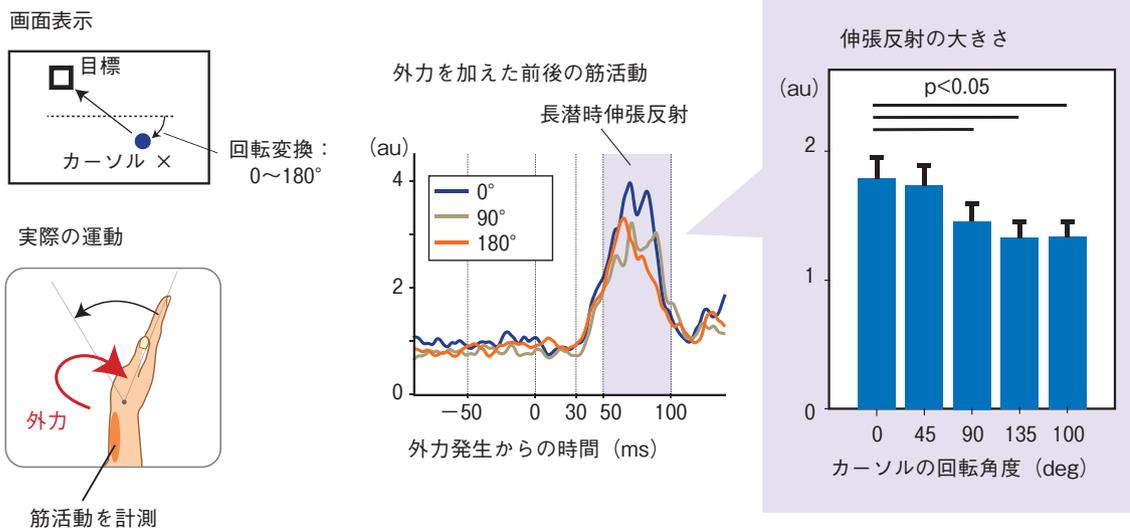


図4 視覚情報の不一致（回轉變換）が伸張反射に与える影響

で、行われる運動は常に同一になるようにしました。この条件下で伸張反射応答の大きさを比較することで、視覚情報の伸張反射への影響を調べました。その結果、図4右に示すように、カーソルの回轉變換が大きくなるほど、長潜時の伸張反射応答が小さくなることが分かりました。このことは、伸張反射応答の調整に視覚情報を含む多感覚統合による身体表象が関与している、という仮説を支持する結果といえます。反射系の調整の基盤となる身体表象も、随意運動と同様、複数の感覚情報を統合することによって状態推定の精度を高めていると考えられます。

身体状態推定の不確かさの影響

第一の実験では、視覚フィードバックの回轉變換に応じて伸張反射応答が小さくなることを示しました。この現象の説明として、回

轉變換によって運動中の身体状態推定が不確かになり、そのことが伸張反射応答の減衰につながった可能性が考えられます。この仮説を検証するため、運動中に自分の手の位置を示すカーソルを消去する実験を行いました(図5左上)。このとき身体状態を表す視覚情報に不確かさを与えるため、カーソルの提示時間を4段階に変化させ、運動への影響を調べました。その結果、図5右上に示すように、カーソルの提示時間が短いほど運動到達位置のばらつきは大きくなり、運動中の身体状態推定がより不確かになることが確認されました。一方、伸張反射応答を計測したところ、カーソルの提示時間が短いほど長潜時の伸張反射応答が小さくなることが分かりました(図5下)。この実験の結果から、運動中の身体状態の不確かさに応じて伸張反射が調整されていることが示唆されました。身体状態が曖

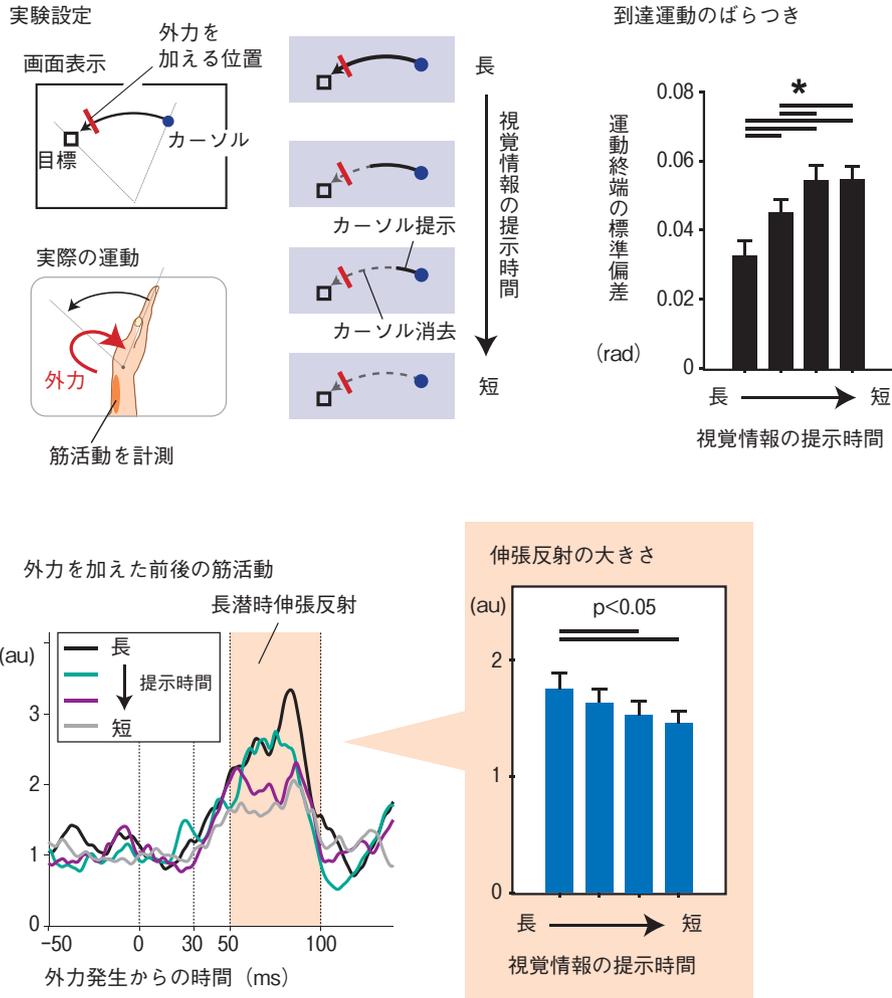


図5 身体情報の不確かさが伸張反射に与える影響

味な状況では誤った方向に大きな運動修正を行ってしまう危険性があるため、脳は反射応答を小さくすることでリスクを回避する調整を行っている」と解釈できます。

まとめと今後の展望

本研究では、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明らかにしました。実験により、視覚目標への到達運動中

の伸張反射が①身体運動の視覚フィードバックと実際の運動の不一致、②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示しました。これらの結果から、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考えられます。さらに、視覚情報の提示時間に応じて変化する反射応答と運動到達位置のばらつきが逆相関す

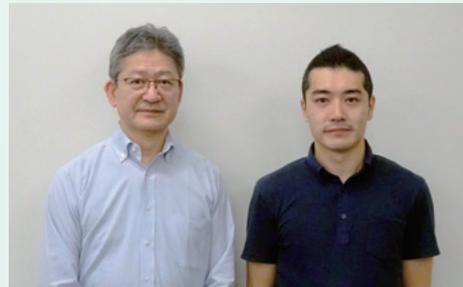
ることを見出しました。このことから、運動中の身体状態推定がどのくらい不確かかということによって伸張反射の調整が行われている、ということが示唆されます。これらの発見は、反射応答の調整計算が、従来考えられていたより複雑な脳内情報処理を経て行われていることを示唆しています。

今後、本研究で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。特に、調整計算にかかわる神経基盤を明らかにすることや、情報処理の理論的側面を詳細に調べることがこれからの課題です。このような検討を通して人間の身体制御の仕組みをより深く理解していくことで、将来的には、アスリートの能力の解析や、科学的なトレーニング方法の開発などに発展していくことが期待されます。また、本成果によって、人間の運動実行において多感覚情報が統合・利用される脳内情報処理過程の一端が明らかになりました。運動時の感覚統合メカニズムは、身体動作を伴うインタフェースのデザインを検討するうえで重要であり、将来的にはVR (Virtual Reality) システムの設計開発などに応用できるよう、知見を積み重ねていきます。

本研究の一部は、平成28～令和2年度文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合 潜在的運動における学習適応メカニズムの解明と計算モデル構築 (JP16H06566)」の助成を受けて行われました。

■参考文献

- (1) N. Saijo, I. Murakami, S. Nishida, and H. Gomi: "Large-field visual motion directly induces an involuntary rapid manual following response," *Journal of Neuroscience*, Vol. 25, No. 20, pp. 4941-4951, 2005.
- (2) T. Kimura, P. Haggard, and H. Gomi: "Transcranial magnetic stimulation over sensorimotor cortex disrupts anticipatory reflex gain modulation for skilled action," *Journal of Neuroscience*, Vol. 26, No. 36, pp. 9272-9281, 2006.
- (3) T. Kimura and H. Gomi: "Temporal development of anticipatory reflex modulation to dynamical interactions during arm movement," *Journal of Neurophysiology*, Vol. 102, No. 4, pp. 2220-2231, 2009.
- (4) S. Ito and H. Gomi: "Visually-updated hand state estimates modulate the proprioceptive reflex independently of motor task requirements," *Elife*, Vol. 9, e52380, 2020.
- (5) J.A. Pruszynski and S.H. Scott: "Optimal feedback control and the long-latency stretch response," *Exp. Brain Res.*, Vol. 218, No. 3, pp. 341-359, 2012.



(左から) 五味 裕章 / 伊藤 翔

無意識の運動応答は一見、単純にみえますが、調べるといろいろと興味深い点が見えてきます。反射をはじめとする運動の仕組みを通して、私たちの脳が行っている巧みな情報処理を探っていきたいと思います。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

人間情報研究部

TEL 0774-93-5020

FAX 0774-93-5026

E-mail cs-liaison-ml@hco.ntt.co.jp

あなたの声はどんな声？ どんな声でしゃべりたい？

人と人とのコミュニケーションには、物理的・能力的・心理的な状態に起因するさまざまなかたちの制約が存在します。私たちは、ある音声を異なる音声や望まれる音声へと変換する技術の研究を通じてこのような制約を取り除き、あらゆる人が不自由なく快適にコミュニケーションを行える環境を実現することをめざします。本稿では、「近年著しく発展し続けている深層学習を活用することによって音声をどのように変換できるのか？」を題材に、従来技術の課題と私たちの取り組みを紹介します。

たなか	こう	かねこ	たくひろ
田中	宏	金子	卓弘
ほうじょう	のぶかつ	かめおか	ひろかず
北条	伸克	亀岡	弘和

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

非言語情報を「変換」する

音声は、言語情報だけでなく話者性などの非言語情報も伝達できるという大きな特徴を有し、利便性に特に優れたコミュニケーション媒体であるため、人々がお互いにコミュニケーションを取るうえで基本的なツールの1つとなっています。発話することで、自分・相手の意図や感情を、伝える・理解することができるため、音声の特徴（例えば、抑揚や声質・リズム）をその時々で変化させることで、相手へ与える印象を変えることもできます。

しかしながら、一個人の生成できる音声の表現力は身体的・能力的・心理的制約により制限されてしまいます。この制約を超え、発話者が所望の音声で思いのままに表現できるよう能力の拡張を行う技術が音声変換です。その適応先は、話者性の変換や発声障がい者補助、感情などの発話スタイル変換、語学学習のための発音・アクセント変換など、多岐にわたります。これらの利用シーンに応じて、変換したい音声特徴・学習データ・リアルタイム性に関する要件など、さまざまな前提条

件が想定されます。私たちは、高品質であること、少量データ・非パラレルデータ*で学習可能であり効率的であること、リアルタイムに音声変換が動作すること、声質だけでなく抑揚やリズムといった超分節の特徴などの柔軟な変換が可能であること、上記の4点が音声変換において重要な要件であると考えています。以降、これら4点に着目した私たちの具体的な取り組みについて紹介していきます（図1）。

音声 × 深層生成モデルの取り組み

従来技術において代表的なものは、混合ガウス分布に基づく統計的声質変換⁽¹⁾です。入力音声の特徴量から目標音声の特徴量への変換関数を得るために、事前に時間整合をとった入力音声と目標音声の同一発話文（パラレルデータ）を用意することで、両音声の特徴量の同時確率を記述したモデルです。また、近年では、前述のパラレルデータを必要とする枠組みにおいて、性能改善のため、ニュー

* 非パラレルデータ：入力音声と目標音声とで発話内容が異なるデータ（非同発話文）を示します。

ラルネットワークを用いた手法や非負値行列因子分解などを用いた事例ベースの手法の検討も進められています。しかしながら、これら従来技術には、①学習データとして同一発話内容の音声ペアが必要であったり、②変換可能な音声特徴が声質に限られていたり、③音声の特徴量から波形を合成する際に古典的なボコーダを用いているため、合成される音声と実音声は容易に聞き分け可能であるなど、技術的制約があります。

一方、画像認識や自然言語処理の分野において、2014年以降、変分自己符号化器 (VAE: Variational Auto-Encoder)、敵対的生成モデル (GANs: Generative Adversarial Networks)、系列変換モデル (Seq2Seq: Sequence-to-Sequence model) など、非常に興味深い深層学習モデルが台頭してきました。Seq2Seqの1モジュールである自己再帰型モデル (AR: Auto-Regressive model) とVAE, GANsを総して三大深層生成モ

デルと呼ばれることもあり、画像処理や自然言語処理、音声信号処理などさまざまな分野・タスクでその有効性が確認されています。また、2015年中期の機械翻訳タスクにて、注意機構 (Attention mechanism)⁽²⁾がニューラルネットワークに導入され、その有効性ととも瞬く間に注目を浴びました。

NTTコミュニケーション科学基礎研究所では、前述の従来音声変換技術の課題を克服しさまざまな利用シーンに柔軟に対応可能な多用途音声変換システムを実現すべく、敵対的学習や系列変換学習などの方法論をベースに、①声質だけでなく長期依存特徴である韻律やアクセントの変換を行える「音声系列変換機能」、②発話内容に制約のない非パラレルデータを用いて声質変換を行える「非パラレル声質変換機能」、③合成音声波形から実音声波形へ波形空間上で変換を行い、出力音声の高音質化を実現する「波形ポストフィルター機能」などの新機能を創出しました。結

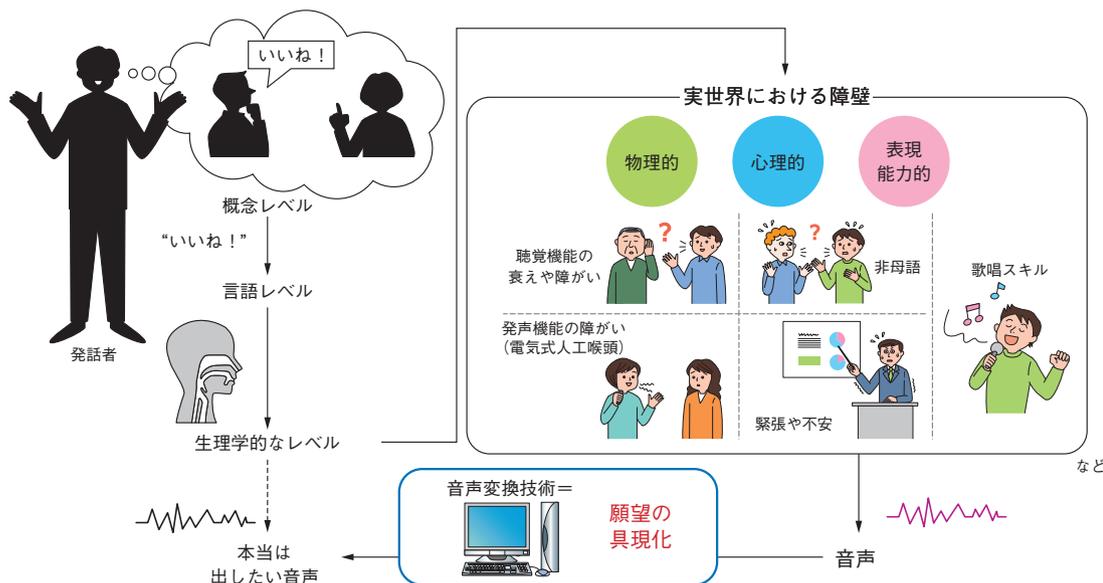


図1 音声 × 深層生成モデルの取り組み

果として、人の声と聴き分けられない品質の音声変換や任意の目標話者へ変換、非パラレルデータを用いることができるという高効率化、リアルタイム化を実現しています。また、近年盛んに研究されている分野横断型の研究として、目標話者の顔画像を用いて条件付けを行い、音声を変換する「クロスモーダル音声変換機能」も実現しています。

安定学習可能・高精度な音声系列変換

ここでは、前述の「音声系列変換機能」⁽³⁾を掘り下げようと思います。自然言語処理において離散値として扱われる単語（シンボル）と違い、音声は連続値の系列として観測されます。系列変換を用いた音声変換アプローチでは、大幅な高品質化が見込める一方で、連続値の系列を扱う際の学習の難しさが課題となります。この課題を克服するため、従来の音声系列変換では、音声認識とテキスト音声合成を組み合わせるアプローチが主流でした。音声認識を用いて、入力音声から単語のようなシンボルを認識し、離散値の系列であるシンボル系列上で変換を行い、変換されたシンボル系列から所望の音声を合成する、というアプローチです。離散値であるシンボルを用いて変換するので比較的安定した学習が可能な一方で、モデルを学習するために音声だけでなくテキストラベルも必要となります。また、テキスト化という処理を挟むことにより、テキスト化が困難な笑い声などの変換も容易ではありません。

NTTコミュニケーション科学基礎研究所では、テキストラベルを用いずに安定学習可能な音声系列変換を実現しました。図2に示されるとおり、後述の文脈保持機構を新たに導入し、音声データのみからすべてのモジュー

ルを学習します。テキストラベルは用いないものの、文脈保持機構が存在するため、音声の文脈構造が崩れる変換を許さないという制約が働き、適切な学習を導くことができるようになります。文脈保持機構において、入力音声の復元をタスクとするモジュール（図2左）は、入力音声を復元できるように、入力音声の情報を変換の過程で保持するよう働きかけます。いわゆる自己符号化と呼ばれる技術となります。一方で、目標音声を予測するよう新たに導入されたモジュール（図2右）は、変換の過程で得られる中間特徴量を、入力音声も目標音声も予測可能な特徴量にするよう働きかけます。いわば、入力音声を“話者共通の音声空間”へ写像させるような制約となります。これにより、文脈情報を保持するため音声認識に近いことを行いますが、音声認識により得られるシンボルよりも、“リッチな”中間特徴量を得ることができ、高精度な変換を手助けします。

合成音声波形から実音声波形への波形変換

音声変換のもう1つの課題は、音声の特徴量から波形を合成した際に、波形合成器の精度の影響を受けるという点にあります。世の中にあふれる音声を聞いて、「これは機械により合成された音声だな」と判断できることもあるかと思います。そういった“合成音声っぽさ”をなくし、より高音質で肉声感のある自然な音声波形への波形の直接補正をめざします。

波形を深層学習で扱う際の難しさは2つあります。1つは、例えば、16 kHzサンプリング音声には1秒間に1万6000個の点があります。合成音声と自然音声のペアデータを用

いて対応点を求めようとする、非常に困難なタスクとなることは想像が容易かと思えます。もう1つは、「位相」という扱いが非常に難しい特徴量の存在です。そのため、音声変換では位相情報を捨てて振幅情報のみを扱うのが定石となっています。

NTTコミュニケーション科学基礎研究所では、前述の課題を克服し、深層学習を用いた音声波形の直接補正を実現しました⁽⁴⁾。図3に示されるとおり、補正法のコアモジュールである循環型敵対学習モデルにおける変換器は2つの指標に沿って学習されます。1つは、敵対学習の学習指標である「識別誤差の最小化」です。合成音声と自然音声との定量化しづらい違いを識別モデルに認識させ、その差をできるだけなくすように合成器を学習します。また、1つの識別器ではなく、複数の識別器を用いてさまざまな角度から違いを認識させることにより、高精度な変換を実現しています。もう1つは、循環モデルの学習

指標である「再構成誤差の最小化」です。合成音声を自然音声化し、再度、合成音声化することで、入力である合成音声を復元します。この際に、完全に復元するように誤差を最小化します。ここがポイントで、位相まで含めて波形を再構成するよう制約付けることで、位相を適切に考慮した学習が可能となります。これらにより高音質化を実現していますが、さらに嬉しいことに、循環型敵対的モデルは、パラレルデータを必要としない枠組みであるため、合成音声と自然音声を適当にかき集めることで、所望のモデルを学習することができます。

今後の展開

NTTでは、より多様な音声への変換に向けて、技術改良と実証を進めていきます。現在までに、具体的な目標話者が存在する音声への高品質な変換には成功していますが、「もっと可愛い声で喋りたい」や「もっと渋

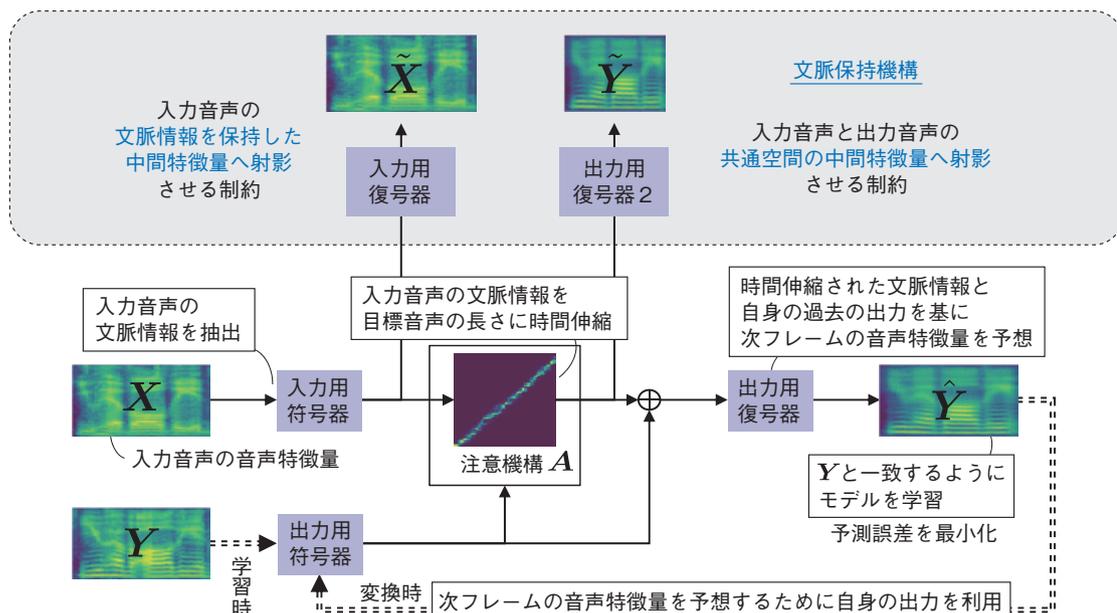


図2 安定学習可能・高精度な音声系列変換

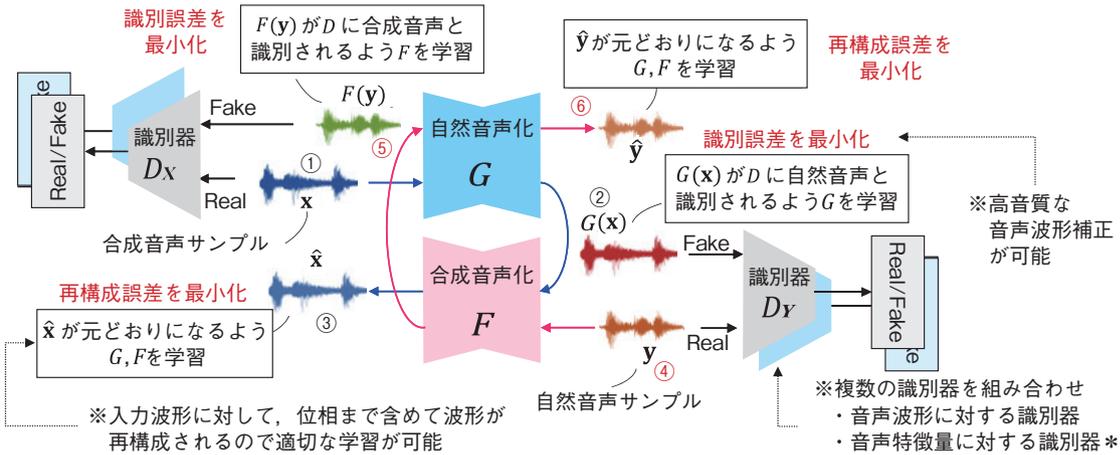


図3 合成音声波形から実音声波形への波形変換

い声で話したい」といった、目標話者ではなく音声のイメージを伴う変換を実現するには、音声の知覚的な空間を掌握し、空間上の潜在変数でうまく補間できるように、技術自体の性能を高めていく必要があります。ユーザのあらゆる願望にこたえ、さまざまな利用シーンに柔軟に対応可能な多用途音声変換システムの実現に向けて、研究開発を推進していきます。

■参考文献

- (1) T. Toda, A. W. Black, and K. Tokuda: "Voice conversion based on maximum likelihood estimation of spectral parameter trajectory," IEEE Trans TASLP, Vol. 15, No. 8, pp. 2222-2235, 2007.
- (2) D. Bahdanau, K. Cho, and Y. Bengio: "Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate," in Proc. ICLR 2015, San Diego, U.S.A., May 2015.
- (3) K. Tanaka, H. Kameoka, T. Kaneko, and N. Hojo: "AttS2S-VC: Sequence-to-sequence voice conversion with attention and context preservation mechanisms," in Proc. IEEE ICASSP 2019, Brighton, U.K., May 2019.
- (4) K. Tanaka, T. Kaneko, N. Hojo, and H. Kameoka: "Synthetic-to-natural speech waveform conversion using cycle-consistent adversarial networks," in Proc. IEEE SLT 2018, Athens, Greece, Dec. 2018.



(上段左から) 田中 宏 / 金子 卓弘
(下段左から) 北条 伸克 / 亀岡 弘和

深層学習の目覚ましい発展により、メディア生成・認識においてさまざまなことが高精度に実現可能となってきました。私たちは、あらゆる人が所望の音声で思いのままに表現でき、不自由なく快適にコミュニケーションを行える環境を実現することをめざしています。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
メディア情報研究部
TEL 0774-93-5020
FAX 0774-93-5026
E-mail cs-liaison-ml@hco.ntt.co.jp

量子情報処理における量子的間接制御の可能性

近年、量子コンピュータや量子暗号など量子と名の付く話題を目にする機会が増えています。これら量子情報処理を実現できれば、通常のコンピュータで解けない問題が解けたり、絶対に秘密が守られる暗号が実現できたりします。しかし、その実現にはまだ越えなければならない山も存在します。本稿では、その山を越えるための手段の1つとして、量子的間接制御という手段を紹介するとともに、量子情報処理を実現する手段として量子的間接制御が有用な性質を持っていることが発見されたことを示します。

かとう ほう
加藤 豪

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

量子情報処理の現状

量子情報処理の1つである量子コンピュータは、2つの状態が同時に存在するという量子力学の性質を利用した計算機であり、並列の処理が自然にできる計算機です。その結果、現在使われているどんな暗号も容易に解読するなど、現在のコンピュータでは不可能とされることができるようになります。それ故に、量子コンピュータの実装が大きく期待されているところです。また、量子情報処理のもう1つとして、量子暗号がありますが、同時に計ることができない量があるという量子力学の性質を利用した暗号であり、原理的に安全な暗号です。量子暗号は、従来使われている現代暗号の欠点を補完する要素として期待されています。

実用化という面において、量子暗号が実装された装置はすでに開発されています。こういった装置は現時点では一般に販売されてい

るわけではないものの、特殊な場合であれば実社会に導入されるのも時間の問題でしょう。実際、中国・EU・米国においては、量子暗号の実機を使ったフィールド実験の研究が国家主導で盛んに行われています。

他方、量子コンピュータの実用化への道のりはまだ今少し遠い状況です。Googleがつくった量子コンピュータが従来のコンピュータを凌駕することを示したという記事や、IBMがクラウド上で量子コンピュータを使うサービスを始めたという話題などを目にした方もいらっしゃるかもしれません。実際、数十量子ビットの量子コンピュータはすでに実現されています。しかし、社会のありかたを変えることができるほどの規模・精度の量子コンピュータにまでにはなっていません。例えば、現在インターネット上でまさに使われている暗号を解読するためには、ノイズが全くない理想的な量子コンピュータであっても数千量子ビット、ノイズがわずかに残って

いるものならば、数百万量子ビット必要です。つまり、現在の量子コンピュータの規模は、社会に影響を与えるにはまだ桁違いに小さいことがお分かりいただけるでしょう。

量子コンピュータの規模を大きくするには現在2つの解決すべき問題点が存在します。

1つはノイズの増大です。いかに小規模なシステムであろうと、量子コンピュータにおいてノイズを完全に除去することは現在できていません。そして、量子コンピュータの規模が大きくなればなるほど、ノイズの影響は大きくなっていきます。そのため規模を大きくしてもノイズの影響を増加させない手立てを見つけ出す必要があります。量子誤り訂正符号はこの問題を解決する1つの有力な手段であり、現在もよく研究されていますが、実用できるまでにはなっていません。もう1つの問題は、大規模な量子コンピュータを制御するのに必要な制御機構は現実的には実装困難な点です。通常の量子コンピュータのモデルにおいては、その量子コンピュータを構成する量子ビットの数に比例する数の制御機構が必要です。つまり、量子コンピュータが大規模となり量子ビットの数も増大するに従って、膨大な量の制御機構が必要になるわけですから、量子ビット数が数百万というレベルでは、必要とされる制御機構の設計は現実的には大変難しいのです。通常のコンピュータではバスという概念で同様の問題を解決していますが、現時点では量子コンピュータの実装において量子バスとでも呼べるものは、いまだ大規模には実現していません。

量子コンピュータ実現に対する課題を解決する手段としての量子的間接制御

前述の2つの問題を解決するために、従来からさまざまな研究がされているところですが、新たな側面からの解決手段を探求することも重要です。量子的間接制御という考え方は、まさにその新たな解決手段になり得るものです。

量子的間接制御についてまず説明します。量子的間接制御とは、制御対象となる量子系が、直接操作が可能な量子系（S系）と、間接的にしか操作できない量子系（E系）とからなっていて、S系をうまく操作することで、S系とE系からなる全体を間接制御するという考え方です。例えば、操作が容易で1量子ビットと見なせる量子系、つまりS系として用い得る系として、超伝導体をリング状に配置することで実現できる超伝導量子ビット（図1(a)）があります。また直接操作が困難な1量子ビットと見なせる量子系、つまりE系として用い得る系として、ダイヤモンド中の窒素による格子欠陥によって実現されるNV（Nitrogen Vacancy）センタ（図1(b)）があります。超伝導量子ビットの上にNVセンタの含まれるダイヤモンドプレートを置くだけで、その2つの量子系は相互作用によってつながり、超伝導量子ビットをS系・NVセンタをE系とする量子的間接制御を行う系が実現します。実際に1量子ビットの量子メモリ⁽¹⁾をこの系によって実装する実験はすでに行われています。

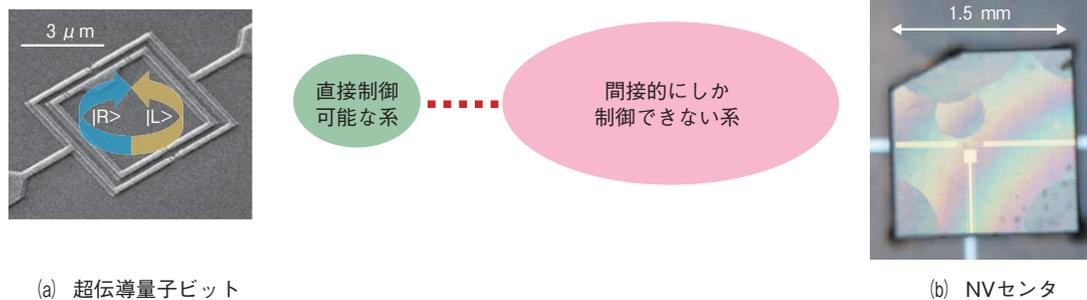


図1 量子的間接制御の例

こういった量子的間接制御の構造が一般的に、前述した第一の問題点であるノイズの増大を効果的に解決できる手段であることは、次のようなかたちで理解することができます。量子系の操作をするには物理的な操作の配線を配置する必要があります。しかし、物理的な配線がつながっていれば、それが必然的にノイズの侵入する経路にもなります（図2）。他方、ノイズの侵入を減少させようと思うと、操作配線を減らして、操作性を犠牲にせざるを得ません。つまり、量子系への操作性の高さとノイズ侵入の困難性との間にはトレードオフの関係が存在します。現状の量子コンピュータの実現形態においては、量子系全体への高い操作性を前提としており、そのことがノイズ侵入経路を減らすうえでの限界を与えています。そのため、量子的間接制御のように操作性が低くても、自由に全体制御が可能であることが分かれば、ノイズ侵入経路を減らし、ひいてはノイズ低減自体を高いレベルで実現したうえで、量子情報処理を実現できることが期待されます。

さらに量子的間接制御で量子系全体を自在に制御できることは、前述した第二の問題点に対しても有効に対処可能であることをも意味します。というのも、量子的間接制御はE系にある量子情報をS系に取り出して処理してはE系に戻すことの繰り返しであることからとらえることができ、抽象的には量子バスの構造を持っているといえるためです。つまり大規模な量子的間接制御を行えるようになることで実現する機能は、大規模な量子バスを実現することで得られる機能を含んでいます。

量子コンピュータを量子的間接制御で実装するにあたっての課題

前述のように、量子的間接制御は大規模な量子コンピュータをつくるうえでの主要な2つの問題を解決する手段となり得ます。にもかかわらず、量子メモリのような小規模な利用例はあるものの、大規模な量子情報処理への実装手段としては検討されず、十分な研究もなされてきていませんでした。というのも、S系とE系をつなぐ相互作用のわずかな違い

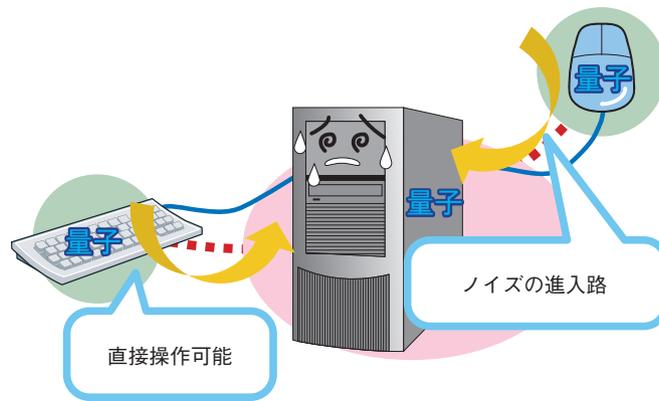


図2 ノイズの侵入経路

で、実行可能な制御の種類さえ大きく変わってしまい、そのような状況では情報処理の能力を議論することさえも困難だからです。実際、量子コンピュータとして機能するためには、どんな制御でも実行可能である必要がありますが、与えられた量子的間接制御がそのような性質を持っているかという基本的な質問にさえ、今までは明確に答えることはできていませんでした。

本稿で示す研究成果⁽²⁾は、この基本的な質問に対して答えるものです。ある量子系が与えられたとき、その量子系でどのような制御が実行できるかは、動的Lie代数^{*1}と呼ばれる歪エルミート行列^{*2}の集合によって判断できることが知られています。そのため、量子系が与えられたときに、その動的Lie代数が何かを知ることこそが、その量子系が実行できる制御の範囲を調べることに相当します。例えば、現在考えられている典型的な量子コンピュータの場合、対応する動的Lie代数にはすべての歪エルミート行列が含まれる

ことがすでに知られており、そのことは当該量子系においてどんな制御でも実行可能であることを意味しています。

ところが、一般の量子系の場合、一般的に実現し得る動的Lie代数には多くの可能性が存在します。それ故に、量子的間接制御において、上記の基本的な質問にさえ答えを与えることが困難でした。しかし、最近行われた研究⁽²⁾によって、操作が量子的間接制御によって行われるという事実さえ仮定すれば、その動的Lie代数にはJordan代数^{*3}と深く関連する構造の存在が要求されることを発見しました。Jordan代数は動的Lie代数に比べて多様性が非常に小さいことが知られてい

*1 動的Lie代数：交換子積に関して閉じていて線形空間を成す元からなる集合。つまり、この集合は、この集合の任意の2つの元をA, Bとし、任意の実数をx, yとすると、 $AB-BA$ や $xA+yB$ もこの集合に含まれます。

*2 歪エルミート行列：複素共役+転置によって自身に負符号をつけたものになる行列。

*3 Jordan代数：反交換子積に対して閉じていて線形空間を成す元からなる集合。つまり、この集合は、この集合の任意の2つの元をA, Bとし、任意の実数をx, yとすると、 $AB+BA$ や $xA+yB$ もこの集合に含まれます。

ます。この事実を使うことで、量子の間接制御の場合の実現し得る動的Lie代数を完全に分類するとともに、量子の間接制御が量子情報処理を実装する手段として有用な性質を持つことが分かりました。

得られた動的Lie代数の分類によると、直接操作可能な量子系（S系）の次元^{*4}によって、動的Lie代数の構造が全く異なることが分かりました。特に、S系の次元が3以上の場合は、量子の間接制御によって、影響を及ぼせる空間に対する任意の歪エルミート行列が動的Lie代数に必ず含まれることが分かりました。つまり、S系の次元が3以上の場合には、実質的に背後にある量子系に対してどのような制御でも実行可能であると認識して良いことを意味しています。つまり、量子情報処理を実装する装置として十分な性能を量子の間接制御は普遍的に有することを意味しています。

まとめ

このように、量子の間接制御の数学的な性質を研究することで、量子の間接制御が量子情報処理を実現する手段として有効であることが分かりました。ここで示した結果をもって、ノイズを非常に低く抑えた量子コンピュータが明日にでも実現するというわけではありませんが、量子コンピュータ実現への課題の解決手段として今まで検討されてこなかった量子の間接制御という手法に可能性が有るこ

*4 次元：通常の情報処理で言うところの基数。例えば3量子ビットからなる量子系は8次元です。

とを理論的に示したことは、それ自体が大きな一歩です。さらには、この研究で得られた理論体系を、制御の実行時間をも扱える理論へと発展させることなどで、量子コンピュータ実現へのさらなる大きな貢献ができるでしょう。

参考文献

- (1) X. Zhu, S. Saito, A. Kemp, K. Kakuyanagi, S. Karimoto, H. Nakano, W. J. Munro, Y. Tokura, M. S. Everitt, K. Nemoto, M. Kasu, N. Mizuochi, and K. Semba: "Coherent coupling of a superconducting flux qubit to an electron spin ensemble in diamond," *Nature*, Vol. 478, pp. 221-224, 2011.
- (2) G. Kato, M. Owari, and K. Maruyama: "Algebra and Hilbert space structures induced by quantum probes," *Ann. Phys.*, Vol. 412, 168046, 2020.



加藤 豪

量子情報は、実用化がもうすぐそのものから、まだ夢物語のものまでいろいろありますが、より多くのものを実現していけるよう、理論的な探求を行っていきます。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

メディア情報研究部

TEL 0774-93-5020

FAX 0774-93-5026

E-mail cs-liaison-ml@hco.ntt.co.jp

言葉の難しさを測る——テキストの難易度と人の語彙数の推定

文章を読むときに、難しいと感じるか、易しいと感じるかは、文章の難易度と読み手自身の知識量の両方に依存します。文章（テキスト）の難しさを自動的に推定するための難易度推定と、読み手側の知識量（語彙数）の推定が、簡単に、高精度にできれば、ちょうど良い難しさのテキストを推薦することができ、学習支援につなげることも可能です。本稿では、私たちが取り組んでいるテキストの難易度推定方法と語彙数推定方法を紹介します。

ふじた さなえ
藤田 早苗

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

難しさを測る意味

文字を覚えてたての子どもが自分で読むつもりで選んだ絵本が読めず、読んであげることになったことはありませんか。中学1年生のときとても苦労して読んだ英文が、大学生になるころにはとても簡単に感じられたことはありませんか。同じ文を読もうとしても、難しいと感じるか易しいと感じるかは、読み手の知識量に依存します。

もし、読み手にとってちょうど読めるくらいの、あるいは少し頑張れば読めるくらいの絵本や本、英文を薦めることができれば、無理なく読み手の知識を増やしていけるかもしれません。しかし、「ちょうど読めるくらい」や「少し頑張れば読めるくらい」を判断するのは簡単ではありません。人の知識量と文（テキスト）の難易度の両方を適切に推定する必要がありますからです。

本稿では、この両方の推定方法の研究と、

推定を支える言語資源の構築について紹介します。

人の語彙数を測る

人に必要な知識の1つとして語彙の知識が挙げられます。NTTでは20年以上前から、さまざまな年代の人の語彙数の調査や推定に取り組んできました。

幼児を対象とした調査では、語彙数自体は多くないので、理解・発話できるすべての語彙を調査することも不可能ではありません。実際私たちは、1500組以上の親子モニターの皆様にご協力をいただき、子どもがいつごろどのような語を覚えるか、発話できるかというデータを蓄積し、幼児語彙発達データベースを構築してきました。

しかし、小学生以上となると、知っているすべての語彙を調査することは困難です。そこで、提示した語を知っているか回答してもらうことにより、語彙数を推定します。提示

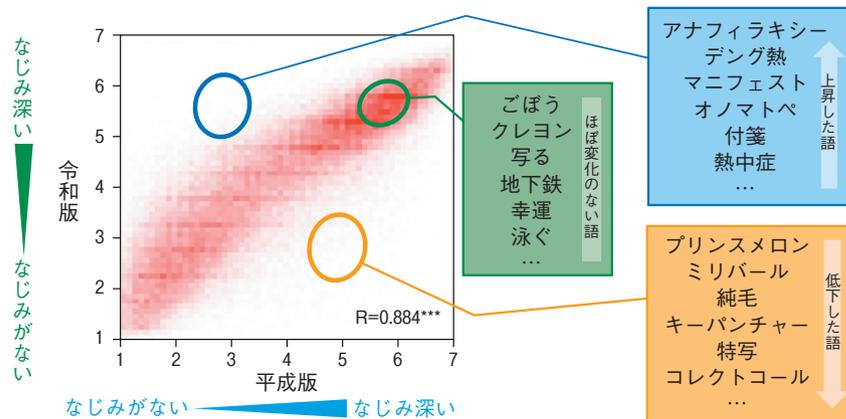


図1 平成版から令和版への単語親密度の経年変化

する語は多ければ多いほど正確な推定ができますが、数十語でも推定可能です。

この推定方法では、ある語を知っていると回答したときに、何語知っていると仮定するかがポイントとなります。例えば「しょっぱい」と「検潮儀」だと、「検潮儀」のほうが知っている人は少ないでしょう。そのため、「しょっぱい」だけを知っている人より「検潮儀」も知っている人のほうが、より多くの語を知っていると仮定します。では、「検潮儀」を知っていれば何語ぐらい知っていると仮定できるのでしょうか。その仮定の根拠となるのが、次に紹介する「単語親密度」です。

単語親密度データベース

「語のなじみ深さ」を評定実験によって数値化したものを「単語親密度」と呼びます。語に付与された数値が大きければ大きいほど、多くの人になじみのある語であり、数値が小さければ小さいほど、多くの人にとってなじみのない、あまり知られていない語であることを示します。

NTTでは20年以上前から単語親密度データベースなどの基盤的言語資源の構築に取り組んできました。過去に構築した約7万7千

語からなる平成版の単語親密度データベースは、NTTデータベースシリーズ「日本語の語彙特性」として公開され、心理学や言語教育、言語聴覚療法分野などの基礎指標として幅広く活用されてきました。しかし、調査から時間が経ち、単語親密度自体が時代とともに変化した可能性もあり、新しく出現した語（「インターネット」や「コンビニ」など）に対応していないといった問題もありました。

そこで、再調査と新しい語の追加調査を実施し、令和版単語親密度データベースとして約16万3千語という過去最大のデータベースを構築しました⁽¹⁾。さらに、平成版単語親密度からの変化を調査し、両者に強い相関があり、多くの語では20年以上経っても親密度に大きな変化がないことを確認しました。一方で、大きく変化した語も一部存在すること、どういった語が大きく変化したかを明らかにしました（図1）。

単語親密度を用いた語彙数推定方法

単語親密度を用いた語彙数推定では、親密度の高い語から低い語まで、何段階かの親密度の語をサンプリングして出題します（図2）。基本的に、知っていると回答された語

以上の親密度の語はすべて知っているとして仮定して、語彙数を推定します。例えば、「しょっぱい」までなら約1500語、「検潮儀」まで知っていれば約13万9千語と仮定します。ただし、知っている語と知らない語の境界付近では、知っているかどうかにはばらつきがあると考えられます。そこで、回答結果にロジスティック回帰曲線を当てはめ、知っている確率がちょうど50%になる語彙数を推定結果とします(図3)。

このようにすると、サンプリングした少数の語をチェックしてもらうだけで、回答者の

語彙数を簡単に推定することができます。また、理論的には同じ親密度の語であれば何を出題しても良いため、出題する語の変更が容易で、さまざまなバリエーションのテストを作成することができます。もちろん、チェックしてもらう語は多いほど推定精度を向上させることができます。

本手法で推定できる語彙数の上限は単語親密度データベースのサイズに依存しますが、令和版単語親密度データベースの構築により、推定できる語彙数の上限が大きく上昇し、テストの汎用性を高めることができました。

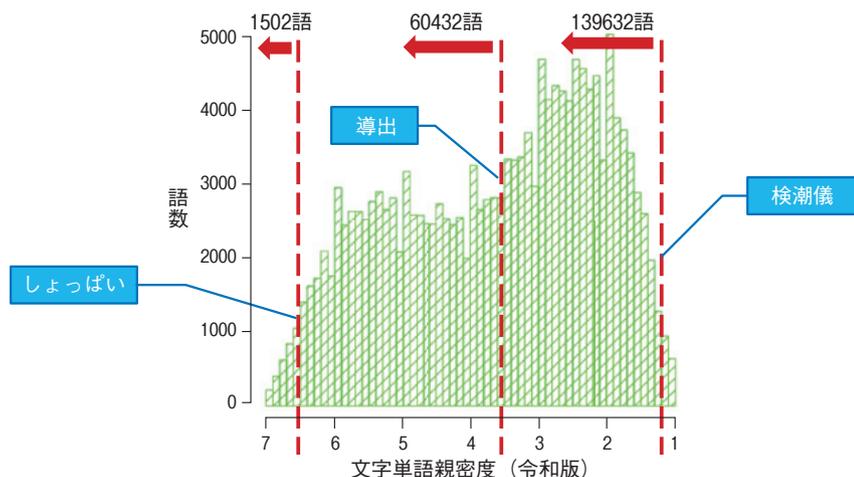


図2 単語親密度に基づくサンプリング

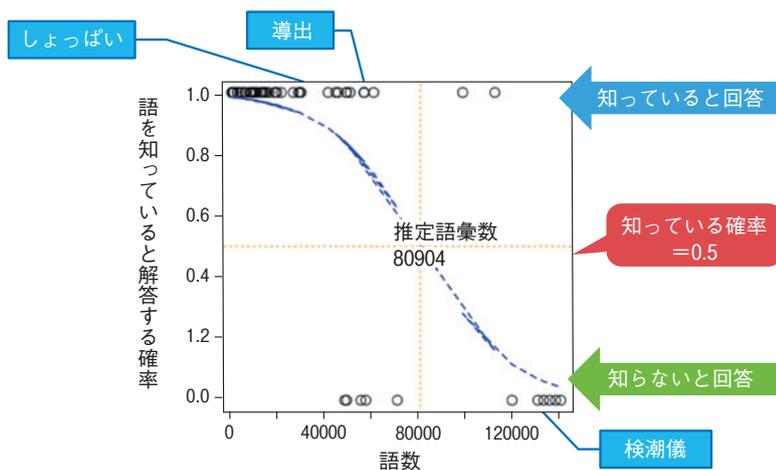


図3 語彙数推定方法

大規模な語彙数調査

これまでは児童・生徒を対象とした大規模な語彙数調査はほとんど実施されてきませんでした。私たちは、本手法を用いて、公立の小学生～高校生2800人以上を含む、約4600人の語彙数調査を行いました。

その結果、特に、小中学生では急激に語彙数が上昇すること、成人でも、年齢とともに語彙数が上昇することを確認しました（図4）。調査結果から、同じ学年でも生徒によって語彙数に大きなばらつきがみられるため、支援が必要な生徒を見つけるのに役立つと考えています⁽²⁾。

さらに、各学年・年齢における、単語親密度と語彙獲得状況（その語を知っている人の割合）との関係を分析しました（図5）。これは、各単語親密度の語を知っていると回答した人の割合（獲得割合）を各学年・年齢ごとに示したものです。どの学年・年齢でも親密度が高い語ほど、知っている人の割合は高くなる傾向があり、年齢が上がれば上がるほど、この傾向は顕著になります。一方、成人

に比べて、小学生や中学生では、比較的親密度の高い語であっても、知っているかどうかの個人差が大きく、ばらつきがあります。こうした分析から、単語親密度を手掛かりとして、児童・生徒がこれから重点的に獲得するだろう語彙、あるいは獲得したほうが良い語彙を見つけていくことができると考えています。

また、学校での調査用とは別に、一般の方に試していただける令和版語彙数推定テストをオープンハウス2020に合わせて公開しました（<http://www.kecl.ntt.co.jp/icl/lirg/resources/goitokusei/>、2020年6月4日公開）。公開後約10日で3万人以上の方にお試しいただきました。よろしければ、皆様もお試しく下さい。

テキストの難しさを測る

次に、テキスト側の難易度推定方法を紹介します。最初に取り組んだのは、絵本の難易度推定です。NTT研究所でこれまで取り組んできた幼児の語彙発達研究と組み合わせることで、語彙発達の解明や発達支援に寄与で

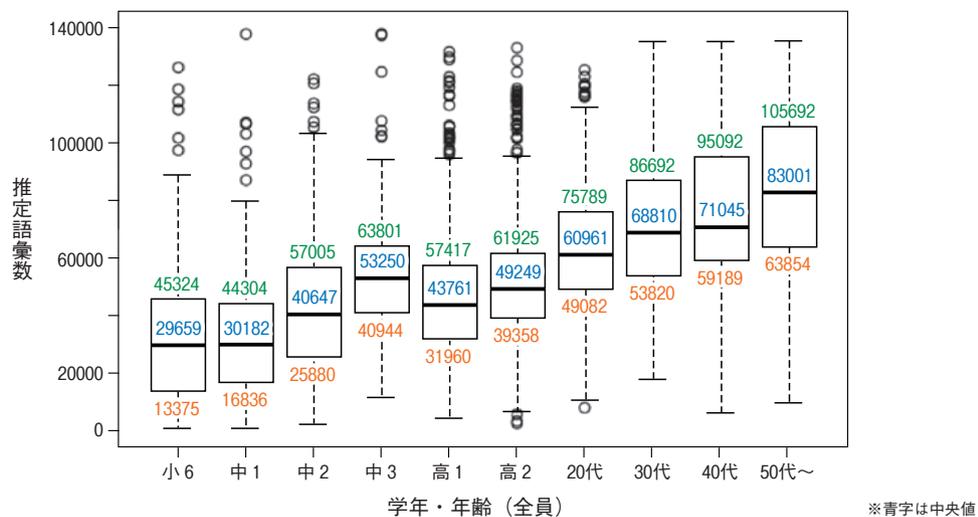


図4 学年・年齢の語彙数推定結果

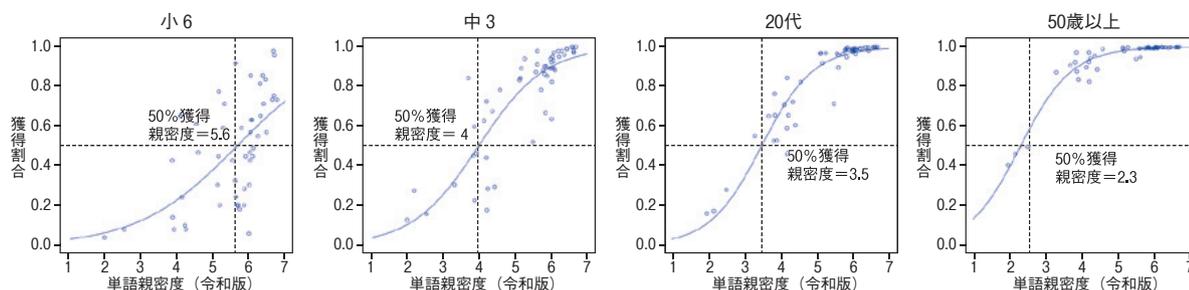


図5 単語親密度と語彙獲得状況の関係

きるのではないかと考えたからです。

テキストの難易度には、使われている語彙の難しさ、文構造の難しさの両方が影響します。絵本の場合、ひらがなを正しく解析することも必要です。例えば、「とうさん」が「父さん」か「倒産」かによって、難易度は大きく異なります。そうしたひらがな解析の精度向上に取り組み、幼児の語彙発達データベースなどの語彙の難しさを反映する特徴量と、文の長さ等の文構造の難しさを反映する特徴量を用いることで、0～2歳、3歳、4歳、5歳という4クラス分類で87.8%という高精度な難易度推定を可能にしました⁽³⁾。また、一口に3歳向けといっても、2歳に近い3歳という場合もあれば、4歳に近い3歳という場合もあります。そのため、前後の年齢向けと推定してもあまり問題にはならないと考えられます。前後の年齢向けと推定しても良いとして評価すると、精度は96.7%となりました。つまり、提案手法は、対象年齢を大きく間違えることがほとんどなく、ロバストで信頼度の高い難易度推定が可能であるといえます。この難易度推定方法は、絵本検索システム「ぴたりえ」⁽⁴⁾で子どもにあった読みやすさの絵本を探すために使われています。

なお、テキストの難易度推定の研究では多くの場合、教科書の学年を推定できるかどうかで評価を行います。そこで、提案手法を適

用して教科書の学年を推定する評価も実施したところ、小学1年生から中学3年生の9クラス分類で、98%以上という高い精度で学年を推定できました。つまり、絵本の難易度推定の精度向上のための工夫は、小学生以上のテキストの難易度推定にも有効であることが分かったのです。

NTT 絵本・児童書コーパス

前述の難易度の推定には、電子データ化された絵本の文章のデータ（コーパス）を利用しています。しかし、絵本のコーパス自体ももとは存在しなかったため、その構築からスタートしました。実はこの部分がもっとも泥臭くて時間がかかる部分です。絵本では絵の中に文字が書かれることが多く、OCRによる文字認識もできません。結局、ほとんど人手で本文を入力することになりました。地道な作業の甲斐あって、NTTの絵本コーパスは、日本語の絵本6000冊以上、英語の絵本2500冊以上からなる世界に類をみない規模になりました。しかも今でも拡張中です。

さらに私たちは、構築したNTT絵本・児童書コーパスを用いて、絵本と幼児の語彙発達や感情発達との関係調査など、多くの新しい研究に取り組んでいます。



図6 語彙力にあった英語コンテンツの推薦

今後の展開

今回紹介した人の語彙数やテキストの難易度の推定は独立に行っています。しかし、両者を組み合わせれば、定期的な語彙数の確認をしつつ、個人ごとに「ちょうど読めるくらい」や「少し頑張れば読めるくらい」のテキストを推薦することが可能になります。実際私たちは、英語の語彙数推定と難易度推定の研究も進めており、語彙力にあった英語絵本を推薦して学校の英語教育に活かす取り組みも始めています⁽⁵⁾(図6)。

私たちは今後も、日本語でも英語でも、幼児でも小中高校生でも、大人に対しても、エビデンスを積み重ねながら、1人ひとりに合った育児・教育支援の実現をめざしていきます。

■参考文献

- (1) 藤田・小林：“単語親密度の再調査と過去のデータとの比較,” 言語処理学会第26回年次大会, 2020.
- (2) 藤田・小林・山田・菅原・新井・新井：“小・中・高校生の語彙数調査および単語親密度との関係分析,” 言語処理学会第26回年次大会, 2020.
- (3) 藤田・小林・南・杉山：“幼児を対象としたテキストの対象年齢推定方法,” 認知科学, Vol. 22, No. 4, pp. 604-620, 2015.
- (4) 藤田・服部・小林・奥村・青山：“絵本検索システム「びたりえ」～子どもにぴったりの絵本を見つけます～,” 自然言語処理, Vol. 24, No. 1, pp. 49-73. 2017.
- (5) 藤田・服部・小林・納谷：“日本人初学者の語彙数推定方法の検討,” 2020年度人工知能学会全国大会, 2020.



藤田 早苗

自分の当たり前と、他人の当たり前は違います。忘れがちなことですが、自分や大人の「当たり前」を押し付けるのではなく、1人ひとりに合った育児・教育支援の手助けとなるよう今後も取り組んでいきます（自戒を込めて）。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
 協創情報研究部
 言語知能研究グループ
 TEL 0774-93-5020
 FAX 0774-93-5026
 E-mail cs-liaison-ml@hco.ntt.co.jp

主役登場

私が欲しいと思うものは
他の人も欲しいはず

藤田 早苗

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
主任研究員



私自身は子どものころから本好きで、家族の貸し出しカードまで使って図書館で手あたり次第に本を借りて読んでいたことを覚えています。私には子どもが3人いますが（娘2人と息子1人）、子どもたちにも本好きになってほしいと思い、寝る前の読み聞かせを心掛けていたのですが…。

好きな絵本を持ってこさせると、娘たちは物語の絵本を持ってくるのに、息子は恐竜図鑑を持ってくるのです。正直私は恐竜には全く興味がありませんでした。それなのに、毎晩、延々と、恐竜の名前、体長、生きていた時代や地域を読まされるのです。せめて物語になっていれば私も読む気がする、と思って、図書館で恐竜の出る絵本を片っ端から借りて読みましたが、ほどなく読みつくしてしまいました。しかも、図書館にある恐竜の出る絵本と図鑑を（おそらくすべて）読み切ったら、息子はもう図書館には行きたがらなくなりました。これでは本好きにはならないかもしれません。焦った私は、まだ読んでいない恐竜の絵本があるかもしれない、絵本でなくてもいいかもしれない、恐竜じゃなくても古生物やモンスターも好きかもしれない、息子が興味を持つかもしれない、読めるかもしれない本を探して図書館をさまよいました。ところが、図書館の何万冊もの本の中から、息子の興味を引きそうでちょうど読めそうな本を探すのは簡単なことではありませんでした。

この経験からできたのが、絵本検索システム「びたりえ」です。1人ひとりの子どもに合った読みやすさで興味のあるような内容の絵本を簡単に探せるようにとつくりました。私の専門は自然言語処理（日本語や英語といった自然

言語を機械で上手く扱うための研究分野）ですが、絵本の文の難易度推定やひらがなの解析に自然言語処理技術が活かされています。「びたりえ」は2019年にNTTデータ九州から商用化されました。いずれ全国津々浦々の図書館や保育園・幼稚園で使っていただけるようになって、絵本の読み聞かせに悩む親御さんの一助になればと願っています。

このこと自体は大変嬉しいことですが、残念ながら、基礎研究が商用化されるより子どもの成長のほうが早く、子どもたちは商用化前に絵本の読み聞かせ年齢を卒業してしまいました。でもこれであきらめる私ではありません(!?)。

自然言語処理技術は日本語だけでなく、英語にももちろん適用できます。折しも2020年度から小学校で英語が必修化されるなど、英語の学習は重点項目になっています。ということで、次は英語の学習支援です。英語のテキストの難易度推定や英語の語彙数推定など、日本語で培った技術を活かし、英語力にあった英語コンテンツの推薦などの学習支援に取り組んでいます。

自分の研究を自分が必要だと思うことに活かせる、ましてや自分自身の子育てに活かせるなんて、これほど幸せなことはありません。公私混同?いえいえ、私が欲しいと思うものは他の人も欲しいはずを信条に、英語の学習支援は子どもの成長に負けないスピードでの実現をめざして頑張っていきます。

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1回 オールフォトニクスというムーンショット

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。NTT技術ジャーナルにおいて特別連載を12回にわたり掲載します。連載第1回目は「オールフォトニクスというムーンショット」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）。

はじめに

■ムーンショット

ムーンショット（Moonshot）という言葉が知られるようになったのは元アップルコンピュータのCEO、ジョン・スカリーの著書からだ。彼が書いた『ムーンショット！-Moonshot!』にはワールド・ワイド・ウェブやアップルのiPhoneなどがムーンショットの代表例として示されている。

ただ、元々、この言葉を使ったのはアポロ計画を推進したジョン・F・ケネディ大統領だった。

「1960年代が終わる前に月面に人類を着陸させ、無事に地球に帰還させる」

人を月に送るなんて、パソコンもインターネットもなかった時代には夢だった。可能だとしても、膨大な時間と卓越した技術と数多くの優秀な頭脳が必要だった。

そんなムーンショットには3つの要素が必要とされる。

Inspiring（人々を魅了する）、Imaginative（創意にあふれ斬新）、Credible（信憑性がある）。

では、新型コロナウイルスが蔓延した後の時代のムーンショットとは何なのだろうか。

NTTが昨年、発表したIOWN（アイオン：Innovative Optical and Wireless Network）構想はそれにあたる。地味な研究者集団のNTT研究所が敢然として発表した構想を読むと、Inspiringで、Imaginativeなアイデアにあふれ、しかもCredible。決して、持ち上げているわ

けではなく、構想にある通りのことを実現したら、今の時代のムーンショットになるだろう。

そんなIOWN構想のなかで、もっとも重要な部分がフォトニクスと関連の技術だ。本連載ではフォトニクスとその時代、その技術について、中学生以上の誰もが理解できるように話を進めていく。

フォトニクスと関連技術をすべて理解することは決して簡単なことではない。しかし、勉強しているうちに、楽しくなってくるのも事実だ。

フォトニクスの詳細を理解しようとすることは、現代美術の作品と向かい合った時の感覚に似ている。「すべてを理解することはできないけれど、でも魅力を感じる。目を離すことはできない」

このように、光と光の技術は奥が深く、魅力にあふれている。

第一回 電気から光へ

■蒸気から電気へ

第一次世界大戦が勃発したのは1914年のことだ。日英同盟を結んでいた日本は英国への情誼をもとにドイツに対して宣戦を布告し、結果として戦勝国となった。

大戦の間、ヨーロッパ諸国からの軍需が増えた。また、列強がいなくなった中国市場へ進出することができた。さらに、好景気となった米国へ輸出を増大させることができた。このため、日本は空前の好景気となったのである。

開戦した1914年から戦争が終わった翌1919年の間、日本の工業生産額は5倍となり、1919年には工業生産額が農

業生産額を上回った。日本が農業国から工業国へ変わったのはこの時である。

そして、工業化への原動力はエネルギー構造の転換だった。

1915年、猪苗代水力発電所が完成し、東京への長距離送電が実現する。1917年には電力が蒸気力を抜いて、エネルギーの筆頭となった。それまでの日本の工場設備とは電気で動く工作機械もあったが、主力はまだ蒸気機関を使った機械が鎮座していたのである。蒸気力なんて、歴史のなかの言葉としか思っていないかもしれないが、けれど、電気の力が産業の現場で主力になっていくのは、この頃からだった。

一方、家庭で使われていた電気（電力）といえば電灯だ。もっとも家電製品といえばアイロンくらいしかなかった。人々は夜が明るくなっただけで、充分、満ち足りていた。

1920年、松下幸之助が大正期の三大発明のひとつ、「電灯用の二股ソケット」を発売した。以後、都市部の家庭では電灯をつけながら、アイロンを使うことができるようになった。ラジオが登場したのは1925年。その頃から二股ソケットの進化系であるコンセントが普及し始め、家庭に電力が届けられていく。

なお、二股ソケットに並ぶ三大発明の他のふたつは亀の子たわしと地下足袋である。

■電気と通信

本論はここからだ。今でも家庭に来ている電気の線にはふたつある。ひとつは電力会社からの線である電力線、もうひとつが通信用の電話線である。

電力線より遅れて、電話線が都市部の家庭に広まっていったのは大正時代（1912-26年）だった。当時、国内の電話加入者数は40万を超え、うち、東京は8万（1922年）。

その後、電力線、電話線ともに日本の津々浦々へ伸び、離島までもネットワークは完成されている。さらに、電話線のネットワークは地球のほぼすべての地域をつないでいる。

ここで強調したいのは大正期から現代に至るまで、日本を支えたのは電力と電気通信というエレクトロニクスの力だったことだ。

他に代わるものが長期にわたって実用化されてこな

かったため、エレクトロニクスに頼るしかなかったともいえる。しかし、蒸気力があつという間に電力に置き換わったように、エレクトロニクスもまた永遠の主役となることが決まったわけではない。

現に、電気通信の世界では革命的な変化が起きている。国内の電話線においては光ファイバケーブルの架設が家庭の近くにまで進み、銅線の電話線は主役ではなくなった。身の回りではエレクトロニクスからフォトンクスへという流れが決定的になっている。

むろん家庭や工業電力の世界ではまだまだ電気の力は大きい。

だが、通信とその周辺に関しては光のネットワーク、光の技術が浸透してきたのである。

■3つの大きな課題

NTTの研究部門を率いる同社常務、川添雄彦は「NTT（当時は日本電電公社）は1960年代から光技術に関する基礎研究を開始していました」と語る。

川添はIOWN構想の現場指揮官で、彼が先頭に立ってフォトンクスの普及を進めている。

「情報通信システムの世界では3つの課題がエレクトロニクスの土台を揺るがしています」

ひとつはデータの流通量が激増していることだ。2007年、経済産業省が発表した「グリーンITイニシアティブ」にはこう書かれている。

「日本国内のインターネット内の1秒当たりの通信量は2006年から約20年の間に、190倍になる」

2018年に出た『データ・エイジ』には「世界全体のデータ量は2011年から14年で90倍になる」と推計している。

ただし、こうしたデータよりも身の回りの電子デバイスの使い方を見ているとよりデータ流通の激増ぶりが実感できるのではないかな。

現在、世界中の中学生以上の人間はほぼスマホを持っている。会話しているわけではない。SNSでつながるか、写真や動画を送る。

固定電話や光ファイバが行き渡っていない途上国でもスマホの普及率は増大している。中国では孫へのお小遣いも、スマホを通じて送られている。

インドでは電子的な本人証明である「アドハー」（国民識別番号システム）という電子システムが普及している。顔、指紋などの生体情報を読み込み、社会保障など

の本人確認などで使う。むろん、そういったデータはスマホで確認する。

世界ではデジタルイゼーションが進む一方だ。今後、インターネットを介するデータ流通量が減ることはまったく考えられない。これが第一の課題である。

二番目は電気消費量の増大だ。

スマホをはじめとする電子デバイスが増えているためエネルギーの消費量は膨大になり、歯止めが利かなくなってきている。省エネ化を進めてはいるのだが、まさに焼け石に水といった状態だ。そして、通信システムやクラウドサービスにはデータセンターが必要だけれど、電力供給の事情により、新設場所が制約される場合もある。

三番目は電子デバイス内にあるトランジスタの能力は限界にきていること。

トランジスタは電気の信号を増幅し、スイッチングすることで演算素子、記憶素子を構成する。IC、LSI、CPUには必ず使われている基幹素子で、情報処理の中核だ。

そしてトランジスタの数が増えることは性能が向上することにつながる。そこで、同じ性能を持った回路をより小さなチップに改良してさらに集積することで、能力をアップさせてきたのである。

だが、現在、トランジスタの大きさはすでにナノメートル、つまり10億分の1メートルの単位にまで小さくなっている。

では、ナノメートルの大きさとはこういったものなのか。

たとえば髪の毛の直径は100マイクロメートルだ。直径の100分の1は1マイクロメートル(μm)。単位を変換すれば1000ナノメートル(nm)となる。要するに、髪の毛の直径の100分の1の長さの、これまた1000分の1がナノメートル。

今あるトランジスタは、もう、何がなんだかかわからないくらい小さくなっているわけだ。これ以上、小型化することはほぼ不可能だろう。そんな小さなトランジスタだって電力を消費する。ICにするためには集積しなくてはならない。集積率が高まると、回路を流れる電子の数や動き方はばらつきを起こす。そうすると、トランジスタは、発熱したり、動作異常をおこしたりする。パソコン

ンやスマホを長時間使っていると、温度上昇するのはトランジスタが全力で動いているからであり、この際の発熱も電力消費そのものだ。

データの流通量は増え続け、電気消費量も増える。情報処理の中核を担うトランジスタの小型化は限界にきている。もはや、今のエレクトロニクス技術だけでは3つの課題を解決できなくなっている。

■光のネットワークと光の技術

川添たちNTTは何も「電気はもはやおしまい」と言っているのではない。なんといっても、NTTは日本の電力全体の1パーセントを使用しているという。彼らが率先垂範しない限り、省エネは進まない。

ただ、フォトンクスへの注力は自社の省エネで始まったわけではない。なんといっても、彼らがフォトンクスへ踏み出したのは50年以上も前からのことだから。

川添は言う。

「世界的には1960年代後半から通信用の伝送媒体としての光ファイバの研究開発が始まりました。NTTもまた同時期から光ファイバの開発、製造技術の向上を進めてきたのです。そのため、日本は世界有数の光ファイバ普及国となっています」

確かに、日本にある電話線(通信用ケーブル)の98.8パーセントはすでに光ファイバ(世帯カバー率)となっている。

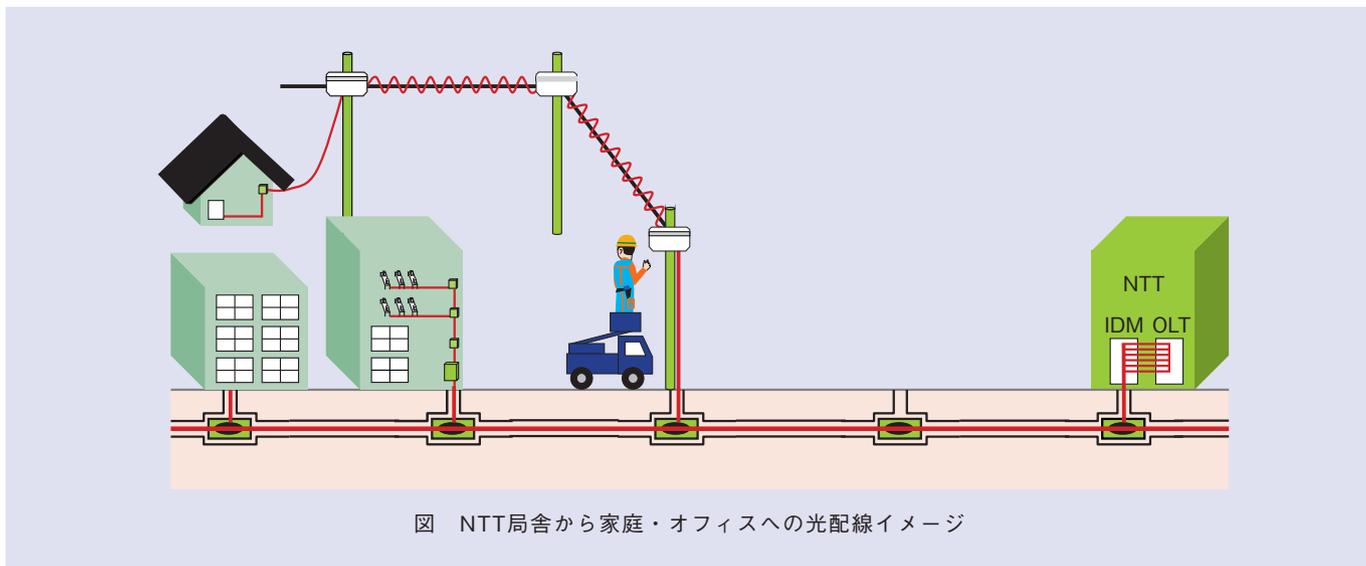
日本よりも世帯カバー率が多い国にはUAE、クウェート、シンガポールが挙げられるが、いずれも人口は多くない。

1億人以上が暮らす国でこの比率まで光ファイバになっているのは世界中で日本だけだ。

「光のネットワークは整ってきました。次はネットワークから端末の処理まですべて光の技術を導入することです。それが光電融合型の処理を行うオールフォトンクスネットワークです。」

情報処理基盤の性能限界を示す熱問題を解決し、消費電力、伝送容量、遅延時間を改善するには光と電気を融合させるしかない。そうすると、電力効率は100倍、伝送容量は125倍、エンド・トゥ・エンドの遅延時間は200分の1になります。

たとえば、光伝送技術ですけれど、1ファイバで1ペタbit/s伝送できるまで技術が進展してきました。光の



伝送技術に加えて光のコンピュータ基盤が実現すれば、システム全体の遅延時間を大幅に低減できるのです」

前述のように、国内に張り巡らされた光ファイバの世帯カバー率はほぼ100パーセントだ。

住居まで光ファイバを引き込むこと、FTTH（ファイバ・トゥ・ザ・ホーム）と表現されており、すべての家庭を光ファイバで繋ぐ作業を進めている（図）。

その後の問題は室内の通信線と電子デバイスのなかの回路だろう。

だが、それもまた解決に近づいた。

川添はこう説明する。

「光コンピュータ、すなわち、回路を電子から光に変えることですが、世界中の光の研究者にとってはゴールのひとつでした。ただ、なかなか研究は進まなかったのです。突破口は光電変換技術です。私たちはナノフォトニクス技術を用いて光電変換のエネルギー損失を大きく減らすことができました。そして、この技術を利用した光電融合型トランジスタの動作にも成功しました。これはとても大きなことなんですよ」

光電融合型トランジスタの動作実験を成功させたのは厚木にあるNTT物性科学基礎研究所、ナノフォトニクスセンタという長い名称の研究所だ。

実際にリードしたのは同センタのセンタ長、納富雅也。

光トランジスタに代表されるさまざまな光機能デバイスを集積できるようになれば、スマホ、コンピュータと

いった電子機器の中に光技術を導入することが可能になり、機器の性能を飛躍的に向上できる。

フォトニクスがムーンショットになるのは、光電融合型トランジスタが私たちの持つスマホの部品に使われた時だろう。

次回は「光とは何か」「光ファイバのネットワークとは何か」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』でミス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）。

5G特集

社会課題解決・社会変革実現に向けたドコモの挑戦

5Gコンセプト



5G実証実験



5Gユースケース

3GPP



ノンスタンドアローン

NTTドコモは、2010年ごろから検討を始めた5G（第5世代移動通信システム）を用いた通信サービスを2020年3月から商用提供開始した。以来、5Gに対応したスマートフォン6機種とデータ通信製品（Wi-Fiルータ）1機種を順次発売し、高速・大容量といった5Gの特長を活かし、マルチアングル（多視点）視聴やVRライブを可能にした「新体感ライブCONNECT」をはじめとした7つのサービスを提供している。本特集では、5G実現に向けたこれまでの取り組み、5G標準仕様策定における貢献、および5Gネットワーク開発について紹介する。

Fifth-Generation Commur

これまでの取り組み

NTTドコモの5Gの実現に向けての検討開始からサービス提供までの道のりや、開発およびパートナー企業・団体との協創について概説する。

52

5G標準仕様策定における貢献

2020年3月に商用サービスを開始した5Gは3GPPおよびO-RAN仕様に準拠している。これらの標準仕様策定におけるNTTドコモの貢献について概説する。

59

5Gネットワーク

5G商用サービスを提供するために実施した無線基地局装置、およびコアネットワーク装置の開発内容について紹介する。

67

Mobile Communications System

これまでの取り組み

NTTドコモは、2010年ごろから検討を始めた5Gを用いた通信サービスを2020年3月から商用提供開始しました。以来、5Gに対応したスマートフォン6機種とデータ通信製品（Wi-Fiルータ）1機種を順次発売し、高速・大容量といった5Gの特長を活かし、マルチアングル（多視点）視聴やVRライブを可能にした「新体感ライブCONNECT」をはじめとした7つのサービスを提供しています。本稿では、ドコモの5Gの実現に向けての検討開始からサービス提供までの道のりや開発およびパートナー企業・団体との協創について概説します。

きしやま よしひさ

岸山 祥久

すやま

須山

さとし

聡

NTTドコモ

まえがき

NTTドコモは、LTEサービスが始まった2010年より、10年後の実現をめざして第5世代移動通信システム（5G）に向けての検討を開始しました。5Gの基本的なコンセプトや無線アクセス技術について検討し、5Gシミュレータの試作、2014年には5Gホワイトペーパーの公開⁽¹⁾などを行いました。また、同年より世界主要ベンダとの個別協力による5G伝送実験を開始し、5Gの周波数や無線アクセス技術の評価検証に取り組みました。さらに、5G伝送実験の取組みをさまざまな業界のパートナー企業との連携へと拡大させ、5Gの特長を活かした多くのユースケースについて共同実験を通じて開拓していきました。2018年2月にはパートナーとのソリュー

ション協創を促進するため「ドコモ5Gオープンパートナープログラム」を開始しました。本稿では、これらのドコモにおける5Gの基本コンセプト提案から実証実験およびソリューション協創に至るまでの取り組みについて振り返ります。

5Gホワイトペーパーの公開まで (2010～2014年)

2010年ごろは、10年後の2020年を見据え、移動通信のトラフィック量が10年で1000倍程度に激増することを要求条件として想定し、キューブ型のコンセプト（周波数利用効率^{*1}の改善×周波数帯域幅の拡大×ネットワークの高密度化）でそれを実現する技術進化の方向性を提案しました⁽²⁾。2011年ごろには、既存の低い周波数帯と5GHz以上の高い周波

* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol. 28 No. 2, 2020年7月)に掲載された内容を編集したものです。

*1 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送ることのできる情報ビット数。



図1 5Gシミュレータ

数帯を組み合わせる無線アクセス技術など、キューブ型のコンセプトを実現する具体的な技術候補を提案しました⁽³⁾。2012年ごろには、高速・大容量に加え、現在の5Gの特長である低遅延、多数端末接続といった要求条件の明確化、および5Gが「LTEの拡張」と「New RAT (Radio Access Technology) *²」の組合せであるという「5Gの定義」についても提案しました⁽⁴⁾。2013年ごろには、すでに5G時代に実現をめざすサービスやアプリケーションを含め、2014年公開の5Gホワイトペーパーに記載した技術コンセプト部分がほぼ完成しました⁽⁵⁾。このような5Gの基本的なコンセプトや無線アクセス

技術については、世界主要会社とのコンセンサスを構築しながら進めており、要求条件や高い周波数帯の開拓など共通のコンセプトを含む内容が他社からも提案されています^{(6),(7)}。

「5G」という名称については、当初、ドコモは「Future Radio Access」と対外的には呼んでいましたが、2013年10月のCEATECで「5G」のネーミングを初めて用いて発表しました。この「5G」の初展示では、5Gの基本的なコンセプトや無線アクセス技術を可視化するシミュレータによるデモを実施し、「CEATEC AWARD 2013 総務大臣賞」を受賞することができました⁽⁸⁾。5Gシミュレータは、図1に示すように、その後もスタジアムモデルなどへとアップデートしつつ開発を進めました。「5G」のネーミングを用い始めたころには、5Gの無線アクセス技術

*2 New RAT：4GのLTEと後方互換性 (Backward compatibility) のない新しい無線インタフェースの規格。5GのNR (New Radio) に相当します。

についても、高周波数帯を有効利用するため、多数のアンテナ素子をフル活用する Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) *³ が欧州の5G 研究プロジェクトである METIS (Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty Information Society) *⁴ などで着目され、ドコモが主導して提案したファントムセル*⁵ (C/U分離)⁽⁹⁾ や、非直交アクセス (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access) *⁶ ⁽¹⁰⁾ といった候補が出揃ってきていました。これらの無線技術やシミュレータ試作の取り組みについても、その時点で最新のものを「ドコモ5G ホワイトペーパー」において公開しました⁽¹⁾。

5G 伝送実験およびユースケース開拓 (2014年～)

■ドコモとパートナー企業による取り組み

ドコモは、5Gの周波数やキーとなる無線アクセス技術の有効性を実証するため、世界主要ベンダとの個別協力による5G伝送実験を実施しました。2014年5月に6社との実験

- *3 Massive MIMO：超多素子のアンテナを利用する大規模MIMOのこと。高い周波数帯ではアンテナ素子サイズを小さくすることができるため、同じ面積により多数のアンテナ素子を配置できます。
- *4 METIS：5G無線技術に関するEUの研究プロジェクトで、期間は2012年11月～2015年4月。通信ベンダ、通信事業者、大学などが参加。なお、継続プロジェクトのMETIS-IIの期間は2015年7月～2017年6月。
- *5 ファントムセル：ドコモが提案したC/U分離を基本コンセプトとする高度化スモールセルシステムの名称。5Gの標準化では「Dual Connectivity」に反映されました。
- *6 非直交アクセス (NOMA)：時間、周波数、符号のリソースを複数のユーザに割り当てる際、ユーザ間でリソースの重複を許すことで効率化を図る多元接続方式。

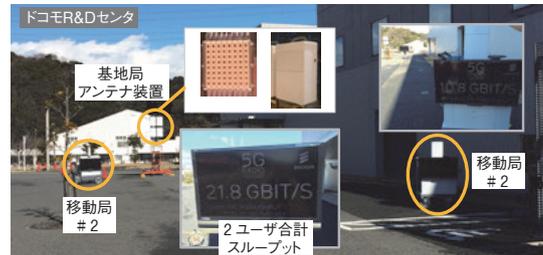


図2 20 Gbit/s屋外実験

協力を発表し⁽¹¹⁾、2015年7月には13社まで拡大しました⁽¹²⁾。各社との共同実験によって、最大70 GHz帯までのさまざまな周波数帯でMassive MIMOなどの5G無線アクセス技術を検証し、2016年2月には、屋外環境で合計スループット20 Gbit/sを超える5Gマルチユーザ通信実験に世界で初めて成功しました(図2)。その他の報道発表を実施した主な5G伝送実験の成果を表1に示します。これらの5G伝送実験により、2018年3月までに170件の学会発表を実施しました⁽¹³⁾。

2016年ごろからは、5Gの特長を活かしたさまざまなユースケースを、さまざまな業界のパートナー企業の協力により開拓していきました⁽¹⁴⁾。これらを実証する場として東京臨海副都心地区(お台場・青梅地区)と東京スカイツリータウン周辺に5Gの実験環境を構築するなど、「5Gトライアルサイト」として、これまで430件(2020年6月時点)のサービス実証実験の取り組みを行いました。

■総務省5G総合実証試験での取り組み (2017年～)

総務省は、5Gの実現による新たな市場や新しいサービス・アプリケーションの創出を目的に、さまざまな活用分野の関係者が参

表1 5G無線技術の実験における主な成果（報道発表）

報道発表日	実験の成果	実験パートナー
2015/3/3	15 GHz帯を用いて受信時4.5 Gbit/s以上のデータ通信に成功	Ericsson
2015/3/3	70 GHz帯を用いて受信時2 Gbit/s以上のデータ通信に成功	Nokia
2015/11/26	70 GHz帯を用いて商業施設などの実利用環境で2 Gbit/s以上の通信実験に成功	Nokia
2015/11/26	28 GHz帯を用いて時速約60 kmで高速移動する環境で受信時2.5 Gbit/s以上のデータ通信に成功	Samsung
2016/2/22	15 GHz帯を用いて屋外環境で通信容量20 Gbit/sを超える5Gマルチユーザ通信実験に成功	Ericsson
2016/5/24	70 GHz帯を用いて8K映像のリアルタイム5G無線伝送に成功	Nokia
2016/11/16	28 GHz帯を用いて時速150 kmの高速移動時に2.5 Gbit/sの5G無線データ伝送実験に成功	Samsung
2016/11/16	4.5 GHz帯を用いて屋外に配置した23台の端末との間で、合計で11.29 Gbit/sの高速・大容量通信を実現	Huawei
2017/11/2	4.5 GHz帯を用いて5G高信頼低遅延通信（URLLC）の屋外実験に成功	Huawei
2017/11/2	世界初スマートフォンサイズのNOMA対応チップセットによる周波数利用の効率化実験に成功	MediaTek
2017/11/6	28 GHz帯を用いてお台場エリアにおいてコネクテッドカー実現に向けた5G実証実験に成功	トヨタ, Ericsson, Intel
2018/4/23	28 GHz帯を用いて時速300 kmの超高速移動環境で5G無線通信実験に成功	NEC
2018/5/23	4.5 GHz帯基地局間協調ビームフォーミングを用いた干渉低減による複数移動局への5G無線通信に成功	NEC
2018/7/25	28 GHz帯を用いてコネクテッドカー向け「車両ガラス設置型アンテナ」による5G通信に成功	AGC, Ericsson
2018/11/22	28 GHz帯を用いて屋外実験において通信速度27 Gbit/sに成功	三菱電機
2019/5/29	28 GHz帯を用いて5G端末向けのガラスアンテナで通信に成功	AGC, Ericsson

画する「5G総合実証試験」を2017年度から3年間実施しました⁽¹⁵⁾。ドコモが3年間に連携パートナーとともに全国で実施した5G総合実証試験の実施内容を表2に示します。試験グループGIでは低速移動環境、GIIでは高速移動環境（時速60 km以上）の試験を行いました。2017年度の5G総合実証試験では、人口密集地における10 Gbit/sの超高速通信の実証試験（GI）を実施し、エンタテインメント、スマートシティ、医療の3つの応用分野において、4.5 GHz帯および28 GHz帯を用いたサービス・アプリケーションの実証試験を行いました⁽¹⁶⁾。また、ドコモは、NTTコミュニケーションズが実施主体となる高速

移動時における2 Gbit/sの高速通信の実証試験（GII）にも参画し、エンタテインメント分野において、時速90 kmで移動する高速移動体に対して28 GHz帯を用いた実証試験を行いました⁽¹⁶⁾。

2018年度の5G総合実証試験においては、5Gの最大性能だけでなく、平均的な性能を検証するため、屋外環境における平均4～8 Gbit/sの超高速通信の実証試験（GI）を実施し、2017年度の3つの応用分野に加えて、オフィス・ワークプレイス分野での実証も行いました⁽¹⁷⁾。また、時速60～120 kmで移動する高速移動体に対して平均1 Gbit/sの高速通信に関する実証試験（GII）を実施し、

表2 2017～2019年度5G総合実証試験の実施内容・場所

試験グループ	応用分野	ユースケース	実施場所	実施年度		
				2017	2018	2019
GI	エンタテインメント	①5Gを活用したVR音楽ライブ体験	東京都墨田区	○		
		②5Gを活用したMRコミュニケーション	東京都墨田区	○		
		③5Gを活用した8K映像マルチチャンネルMMT伝送	東京都墨田区	○		
		④5Gを活用した4K省電力デジタルサイネージ	東京都墨田区	○		
		⑤ショッピングモール環境での高精細映像伝送	東京都墨田区	○		
		⑥5Gを活用したスポーツイベントのライブビューイング	神奈川県横浜市	○		
		⑦5Gを活用したSL大樹への超高精細映像伝送	栃木県日光市		○	
		⑧5Gと8K映像を活用した観光客誘客	京都府京都市		○	
		⑨5Gを活用した車椅子バスケットボールのライブ映像配信	神奈川県鎌倉市		○	
		⑩5GとVR技術を活用した遠隔博物館訪問	福井県勝山市		○	
		⑪5Gを活用した観光イベントにおけるライブビューイング	福島県会津若松市		○	
		⑫5Gを活用したスポーツイベントの遠隔ライブ応援	神奈川県川崎市		○	
		⑬5G×Body Sharing技術を活用した沖縄県の観光振興	沖縄県名護市他			○
		⑭5Gを活用したリアルタイムクラウド編集・中継ソリューション	宮城県仙台市			○
	スマートシティ	①5Gを活用した施設内監視	東京都江東区	○		
		②5Gを活用した高所カメラによる広域監視	東京都墨田区	○		
		③5Gを活用したカーセキュリティ	徳島県神山町		○	
		④5Gを活用した地方見守りサービス	福島県会津若松市		○	
	医療	①5Gを活用した遠隔診療	和歌山県和歌山市、和歌山県日高川町	○	○	○
		②5Gを活用した救急搬送高度化ソリューション	群馬県前橋市		○	○
③5Gを活用した高精度顔認証およびセンサによる見守り・行動把握		広島県広島市			○	
ワークプレイス	①5Gを活用した動くサテライトオフィス	徳島県神山町		○		
	②5Gを活用した高技能工員の労働安全確保	愛媛県今治市			○	
スマートライフ	①5Gを活用した伝統芸能の伝承（遠隔教育）	岐阜県中津川市			○	
	②5Gを活用した音の視覚化による生活サポート	岐阜県中津川市			○	
GII	エンタテインメント	①5Gを活用した高速移動体への高精細映像伝送	栃木県栃木市・鹿沼市、埼玉県春日部市	○	○	
		②5Gを活用したゴルフ場でのラウンド補助	長野県長野市			○
	交通	①5Gを活用した高速鉄道の安全運行監視	大阪府高槻市		○	
		②5Gを活用した濃霧の中での運転補助	大分県大分市他			○
		③5Gを活用した地下鉄安全確保支援	大阪府大阪市			○
	スマートシティ	①5Gを活用した雪害対策（除雪作業の効率化）	福井県永平寺町			○

エンタテインメント分野に加えて交通分野での実証を行いました⁽¹⁷⁾。

2019年1月には、総務省は地方が抱えるさまざまな課題の解決につながる地方発のユ

ニークなアイデアを発掘することを目的として、「5G利活用アイデアコンテスト」を開催しました⁽¹⁸⁾。2019年度の5G総合実証試験では、上記のアイデアコンテストの結果とこれまでの技術検証の成果などを踏まえ、5Gによる地域課題の解決や地方創生に資する利活用モデルに力点を置き、新たな連携パートナーと多様な応用分野における実証試験を実施しました⁽¹⁹⁾。

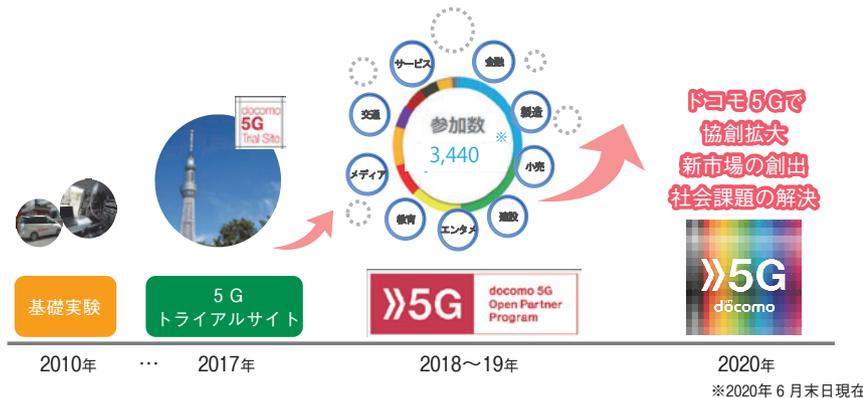
パートナーとのソリューション協創

幅広いパートナーとともに新たな利用シーン創出に向けた取り組みを拡大するため、ドコモは「ドコモ5Gオープンパートナープログラム」を2018年2月から開始しました（図3）。本プログラムは、パートナーとなる企業・団体に対し、5Gの技術や仕様に関する情報の提供や、パートナー間の意見交換を行

う5Gパートナーワークショップの場を提供するものです。パートナー数は2020年6月末で3440です。

また、ドコモが常設する5G技術検証環境である「ドコモ5Gオープンラボ」においては、5Gの実験基地局装置や、実験移動局に接続する映像伝送機器などを、パートナーに対して無償で提供しています。パートナーとなる企業・団体は、本プログラムへの参加を通じ、商用開始に先立ち早く5Gを用いたサービス構築や検証が可能となっており、高速・大容量、低遅延、多数端末接続といった5Gの特長を活かして、自社サービスの品質向上や新たなサービスの創出に活用することができます。「ドコモ5Gオープンラボ」は2020年6月末現在、国内外に11カ所展開しています。また、「ドコモ5Gオープンラボ」にクラウドコンピューティングの設備を直結した「ドコ

5Gを活用し、幅広くビジネスパートナーの皆様と 新たなビジネスの創出をめざす取り組み



©2020 NTT DOCOMO, INC. All Rights Reserved.

図3 ドコモ5Gオープンパートナープログラム

モオープンイノベーションクラウド」のトライアル環境を提供し、技術検証を進めました。

また、ドコモは2019年9月より「5G プレサービス」を開始しました。5G 商用サービスと同じネットワーク装置や同じ周波数帯を利用し、ビジネス創出を本格的に開始することに加え、5G 商用サービスと同環境の体験など、5G 商用サービスにつながる実質的な5Gのスタートとなりました。5G プレサービスでは、「ドコモ5G オープンパートナープログラム」に参加している3000を超えるパートナーに対し、「5G オープンラボ」の提供に加え、5G プレサービス対応端末の貸出しにより、5Gを活用した産業創出や社会課題の解決に向けて、全国で200件を超えるフィールド検証を実施しました。その中から5Gのスタートに合わせて、「産業の高度化」「働き方改革」といった社会課題の解決につながる領域を中心に、パートナーの皆様との協創によって生まれた新体感ライブCONNECTをはじめとする7つのサービスと22のソリューションの提供を発表しました。今後も5Gの特長である高速・大容量・低遅延を活かした「遠隔作業支援」や「高精細映像伝送」などを中心に、働き方の新しいスタイルの価値提供をめざします。

あとがき

本稿では、ドコモの5G サービス開始までの道のりについて解説しました。ドコモは今後も5Gのさらなる進化をめざし、引き続き、技術の検討および研究開発を進めていきます。

参考文献

- (1) NTTドコモ：“ドコモ5G ホワイトペーパー,” Sep. 2014.
- (2) Y. Kishiyama: “LTE enhancements and future radio access,” APCC2010 Seminar on Future Wireless Technologies, Nov. 2010.
- (3) Y. Kishiyama: “LTE enhancements and future radio access towards next decade,” 1st NGMN Innovation Day, Stockholm, Sweden, Sep. 2011.
- (4) Y. Kishiyama: “Future radio access challenges,” WWRF Wireless World 2020 Workshop, Berlin, Germany, Oct. 2012.
- (5) NTT DOCOMO: “Future radio access for 5G,” ARIB 2020 and Beyond Workshop, Tokyo, Japan, Nov. 2013.
- (6) Ericsson: “White paper - 5G radio access,” Jun. 2013.
- (7) Nokia Solutions and Networks: “White paper - Looking ahead to 5G,” Dec. 2013.
- (8) NTTドコモ報道発表資料：“「CEATEC AWARD 2013」において「次世代移動通信（5G）」が総務大臣賞を受賞,” Oct. 2013.
- (9) H. Ishii, Y. Kishiyama, and H. Takahashi: “A novel architecture for LTE-B: C-plane/U-plane split and Phantom cell concept,” IEEE Globecom, Dec. 2012.
- (10) Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi: “Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access,” IEEE VTC Spring, Jun. 2013.
- (11) NTTドコモ報道発表資料：“世界主要ベンダーと5G実験で協力,” May 2014.
- (12) NTTドコモ報道発表資料：“世界主要ベンダーとの5G実験を拡大,” Jul. 2015.
- (13) https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/rd/tech/5g/5g_trial/
- (14) 中村：“5Gが切り開く未来の展望 —パートナーの強みを融合させた世界—,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, 25週記念号, Oct. 2018.
- (15) https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000297.html
- (16) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/topics/2017/topics_180326_03.pdf
- (17) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_190319_01.pdf
- (18) https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000362.html
- (19) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_200316_00.pdf

◆問い合わせ先

NTTドコモ
R&D戦略部
E-mail dtj @nttdocomo.com



5G 標準仕様策定における貢献

3GPPにおいて、5G標準仕様の初版が2018年6月に完成しました。また、O-RAN Allianceにて、5Gのオープンな無線アクセスネットワークを実現する標準仕様が2019年3月に公開されています。NTTドコモは3GPPやO-RANの標準仕様策定に積極的に貢献しており、2020年3月に商用サービスを開始した5Gも3GPPおよびO-RAN仕様に準拠しています。本稿では、これらの標準仕様策定におけるドコモの貢献を概説します。

ながた さとし
永田 聡

みのくち あつし
巳之口 淳

ウメシュ アニール

おぐま ゆうた
小熊 優太

たけだ しんじ
竹田 真二

NTTドコモ

まえがき

2018年6月の3GPP TSG (Technical Specification Group) #84 プレナリ会合*¹において、3GPP Release 15仕様の凍結が宣言され、5Gの初版仕様が完成しました。5G標準仕様は、NR (New Radio) と呼ばれる新たな無線アクセス仕様と、5GC (5G Core network) と呼ばれる新たなコアネットワーク仕様を中核とし、既存システムであるLTE (Long Term Evolution)/EPC (Evolved Packet Core) との連携機能を含んでいます。

3GPPでの5G標準化は、2015年9月にITU-R (International Telecommunication Union-Radio communication sector) が発行したビジョン勧告

ITU-R M.2083に基づき、①モバイルブロードバンドのさらなる高度化 (eMBB: enhanced Mobile BroadBand)、②多数同時接続を実現するマシンタイプ通信 (mMTC: massive Machine Type Communication)、③高信頼・超低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communication) の3つの利用シナリオを想定して、2016年3月からRelease 14での要求条件や要素技術の基礎検討 (SI: Study Item) が実施されました。その後、2017年3月からRelease 15での詳細仕様検討 (WI: Work Item) が実施されました。

ドコモは、Release 14開始からRelease 15完了までの2年3カ月にわたる3GPPでの5G仕様策定作業において、技術提案や仕様

* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol. 28 No. 2, 2020年7月) に掲載された内容を編集したものです。

*1 プレナリ会合: 3GPP TSG会合の最上位会合。TSG配下のWGでの仕様策定に関するスケジュールやWGで策定された仕様の承認が行われます。

書の取りまとめ、会合の議長・副議長を務めるなど、積極的な貢献を行っています。この間のドコモからの5G標準仕様への寄書入力件数は約3700件であり、これは、3GPPに参画している全世界の企業の中で9位、通信事業者としては、首位の貢献となっています⁽¹⁾。さらに、5G必須特許*²候補の出願件数についても、通信事業者で首位と評価されています⁽²⁾。

また、3GPP標準化作業と並行する形で、ドコモは、2018年2月に、AT&T、China Mobile、Deutsche Telecom、Orangeとの連名で、O-RAN Allianceを設立しました。O-RAN Allianceでは、5Gをはじめとする次世代の無線アクセスネットワークを、より拡張性が高く、よりオープンでインテリジェントに構築することを目的に、①相互接続が可能なオープンインタフェースの推進、②無線ネットワーク装置の仮想化、ホワイトボックス*³化、③AI、ビッグデータの活用、に取り組んでいます。

これらの取り組みの結果、2018年6月の3GPP Release 15仕様完成、および2019年3月のO-RANフロントホール*⁴仕様完成に至り、5G商用サービスのための装置開発が可能となりました。

本稿では、5G標準仕様策定における活動内容とドコモの貢献について解説します。

3GPPにおける5Gの 早期仕様策定に向けた活動と貢献

3GPPにおける5Gの標準仕様策定にあたっては、新しい無線アクセス方式であるNRにおいて、eMBBやURLLCの一部を実現するユースケースを対象とした仕様をRelease 15で標準化し、URLLCやmMTCを含めた残りの仕様を次の段階であるRelease 16以降で標準化することを目標として検討が進められました。併せて、ノンスタンドアローン運用と呼ばれる4G基地局・コアネットワークと5G基地局の組合せで運用するケースの仕様をはじめに標準化し、5G基地局・コアネットワークのみで運用可能なスタンドアローン運用を含めた全仕様を次の段階で標準化するなど、多様な要求条件やユースケースが存在する5Gに対し、段階的な標準化を行うことにより、計画的に標準仕様策定を進めることが決められました。

ドコモは、5G標準化全体の推進のみならず、5G標準仕様の早期策定の実現にも大きく寄与しました。具体的には、当初のスケジュールである2018年6月にノンスタンドアローン運用とスタンドアローン運用を同一のリリース（Release 15）で標準仕様化することを担保しつつ、ノンスタンドアローン運用の標準仕様策定を2017年12月までに終わらせることを明記したドキュメントを47社と連名で3GPPに提出し、早期策定に貢献しました。これが、世界的な5G商用導入の加速につながっています。

*2 必須特許：標準規格に準拠した製品を製造するうえで、ライセンスなどを受けなければ特許権の侵害を回避することができない特許。

*3 ホワイトボックス：装置などの内部構成や処理がオープンなこと。ブラックボックスの対語。

*4 フロントホール：基地局の集中制御装置と無線装置間の回線であり、光ファイバなどが用いられます。

3GPP TSG SA/CTにおける活動と貢献

3GPPではプロジェクト全体を統括するPCG (Project Coordination Group)のもとに技術検討を行うTSGがおかれています。TSGにはTSG SA (Service and System Aspects), TSG CT (Core Network and Terminals), TSG RAN (Radio Access Network)の3つのグループがあります。TSG SAは、ユースケースの検討とシステム要求条件の導出、アーキテクチャの決定と各機能単位への要求条件の導出、機能単位間の情報の流れと各機能単位での動作の決定を行っています。また、各々に関し標準仕様を規定しています。TSG CTは、端末-コアネットワーク間、コアネットワーク内機能単位間のプロトコル、および第三者利用に向けた外部API (Application Programming Interface) や USIM (Universal Subscriber Identity Module) の詳細仕様を規定しています。ドコモは、5G仕様規定作業の中で、TSG CT副議長およびSA-WG (SA-Working Group) 3副議長の要職を務め、仕様規定の全体方針や、スケジュール策定、技術検討の推進などに大きく貢献してきました。

5Gの標準仕様の規定において、TSG SA/CTは、ノンスタンドアローン方式と呼ばれるNRをEPCに收容するための機能拡充、および新たなコアネットワーク仕様である5GCを検討しました。

ドコモは、5Gエリア拡充に相応の時間を要することを考慮し、Release 14でのSI検討中に、ノンスタンドアローン方式での5Gサー

ビス導入を主張しました。検討当初は、ベンダに加えて通信事業者からも新たなコアネットワークに検討を一本化すべきという意見もあり、賛同を得ることができませんでした。しかしながら、説明の繰返しとTSG RANでの技術検討の進捗（後述）により徐々に賛同が得られ、後にRAN/SA #72プレナリ会合にて、5Gとしてノンスタンドアローン方式の仕様化を優先して進められることとなりました。このような経緯がありましたが、今ではノンスタンドアローン方式は5G導入初期の主要なネットワーク構成として世界中の多くのオペレータに採用されています。

また、5Gサービス発展期への適用に向けて、新しい概念のコアネットワークが5GCとして仕様化されました。

ドコモは、NRのEPC收容（ノンスタンドアローン方式）、および5GC双方の仕様化作業の進展に貢献しました。

(I) SA-WG1

ユースケースの検討とシステム要求条件の導出を行うSA-WG1では、ノンスタンドアローン方式に関しては検討せず、5GCのみが検討されました。ドコモは、お客さまの要望は多様化しロングテール*⁵で分布すると想定し、そのためには画一的なネットワークでなく分割されたネットワーク (i.e. ネットワークスライス*⁶)が必要であると考え、それを推進しました。加えて、オペレータとして基盤となる課題に取り組み、特に、アク

*5 ロングテール：ここでは、サービスごとにそれを要望するお客さまの数を数の多い順番にグラフ化すると、分布図が、長いしっぽがあるように見える状態。つまり、多様なサービスそれぞれに少なくない数の要望がある状態。

*6 ネットワークスライス：5G時代の次世代ネットワークの実現形態の1つ。ユースケースやビジネスモデルなどのサービス単位でコアネットワーク分割して最適化するアーキテクチャ。

セス規制の仕様化をリードしました。

(2) SA-WG2

アーキテクチャの決定と各機能単位への要求条件の導出、機能単位間の情報の流れと各機能単位での動作の決定を行うSA-WG2では、ノンスタンドアローン方式、および5GCの両方が検討されました。

欧州通信事業者の一部はノンスタンドアローン方式をLTEの無線速度向上からの一連の流れとしてとらえていました。そこで、この方式は多くの通信事業者が導入できるようコアネットワークの変更なしでも動作すること、コアネットワークに変更が入ることをいとわない通信事業者には高度な制御を可能にする機能を入れること、の方針を整理しました。個別技術項目に関しても、後述するSA-WG3やCT-WGでの暗号化やS-GW選択の検討の方針を整理しました。

5GCでは、複数社がラポータ*⁷に名乗りを上げWID (Work Item Description) 作成が滞ったことから、WGメンバからの依頼を受けてドコモがエディタとしてWIDを完成させました。その後、ネットワークスライス、およびEPC-5GC相互接続の検討に貢献しました。

(3) SA-WG3

セキュリティに関しユースケースからプロトコルまで網羅的な検討を行うSA-WG3でも、前述の2つの方式両方が検討されました。ドコモは副議長を務め技術検討を主導しました。ノンスタンドアローン方式では、セカンダリRAT (Secondary Radio Access Technology) 無線区間に適用するセキュリティは、MME (Mobility Management Entity) が変更なしでも動作するよう、LTE

用のセキュリティ能力をNR用のセキュリティ能力に読み替えることによっても動作することとし、その仕様化を主導しました。5GCの検討では、ドコモが5GC全体の主要仕様書のラポータとなり無線部分での暗号化強化や認証の改善を主導しました。

(4) CT-WG1

端末—コアネットワーク間のプロトコルの詳細規定、および一部の基本機能についてはアーキテクチャから検討を行うCT-WG1では、5GCに関し、ETWS (Earthquake and Tsunami Warning System), SOR (Steering of Roaming), アクセス規制の仕様化を推進しました。

(5) CT-WG4

コアネットワーク内機能単位間のプロトコルの詳細規定を行うCT-WG4では、ノンスタンドアローン方式において、高いトラフィックを収容する場合の適切なS-GW (Serving Gateway) の選択方式の仕様化を推進しました。

3GPP TSG RANにおける活動と貢献

TSG RANは、無線アクセスネットワーク全般の仕様策定を行っています。ドコモは、TSG RAN配下のWGでの技術議論をリードするとともに、TSG RAN副議長を務めることで、5G無線アクセスネットワークの標準仕様策定に大きく貢献してきました。

(1) RAN-WG1

無線インタフェースの物理レイヤ*⁸の検

*7 ラポータ：Work Itemのような検討対象項目に対して、進捗の管理、議論のとりまとめ、議論結果をキャプチャしたテクニカルレポートのエディタなどを務める3GPPの役職。

討を行うRAN-WG1では、無線アクセス方式の検討や複数送受信アンテナ技術の検討などが行われています。例えばNRでは多様なユースケースのサポートと、既存セルラで用いられている低周波数帯からミリ波帯を含めた高周波数帯までの広い周波数帯のサポートを目的として、複数のサブキャリア間隔によるOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 信号が定義されました。ドコモは広帯域化技術やアンテナ技術、初期アクセス技術など多数の技術提案を行うとともに、5Gの標準仕様策定のラポータとして進捗管理や関係者との調整を図り、さらにRAN-WG1の議長や、各要素技術のリーダー役を務め、標準仕様の完成に大きく貢献しました。

(2) RAN-WG2

無線インタフェースのアーキテクチャとプロトコルの検討を行うRAN-WG2では、LTEとNRのDual Connectivity^{*9}によりNRでの通信を既存LTEでの通信に上乗せできるようにしました。本仕様は、ドコモがラポータとして推進し、Release 12で標準仕様化したLTEのDual Connectivity向けの規定がベースとなっており、加えて、ドコモが5G向けに新たに提案したSN (Secondary Node) に終端されるsplit bearer^{*10(3)}も採用することで、既存のLTEネットワークを活かしつつNRによる高速化や低遅延化を可能にしました。また、5Gの多様なユースケースや要求条件を実現するため、端末が基地局に報告する対応機能や能力、基地局が端末に設定するパラメータが膨大にありますが、それらを通知するために用いるRRC (Radio Resource Control) メッセージの検討を

リードするなど、ドコモは、標準仕様の完成に大きく貢献しました。

(3) RAN-WG3

無線アクセスネットワークのアーキテクチャとインタフェースの検討を行うRAN-WG3では、eNB^{*11}間のX2^{*12}インタフェースを拡張し、LTEとNRのDual Connectivityの実現に必要なeNB—gNB間の連携を可能にしました。また、性能向上やコスト効率化に向けて無線アクセスネットワークの展開柔軟性を高めるために、F1インタフェースを規定して基地局をCU (Central Unit : 無線プロトコルのPDCP (Packet Data Convergence Protocol) サブレイヤ以上を終端) とDU (Distributed Unit : 無線プロトコルのRLCサブレイヤ以下を終端) に分離にすること、さらにはE1インタフェースを規定してCUをCU-CP (CU-Control Plane : 制御プレーン^{*13}を終端) とCU-UP (CU-User Data Plane : ユーザプレーン^{*14}を終端) に分離することを可能にしました⁽³⁾。ドコモは、これらのインタフェースのマルチベンダ相互接続性を高めるため、商用LTE網でのマルチベンダ実現で培った経験を活かし、数多くの技術的な寄書を入力し、議論を推進させるためのモデレータを務めるとともに、標準仕

*8 物理レイヤ：OSI参照モデルの第一層。例えば、物理レイヤ仕様とは、ビット伝送にかかわる無線インタフェース仕様のことを指します。

*9 Dual Connectivity：マスターとセカンダリの2つの基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数のコンポーネントキャリアを用いて送受信することで、広帯域化を実現する技術。

*10 split bearer：Dual Connectivityにおいて、MNとSNの両方の基地局を介して送受信されるベアラ。

*11 eNB：LTEの基地局・無線制御装置。

*12 X2：3GPPで定義されたeNB間のリファレンスポイント。

*13 制御プレーン：通信データの転送経路などの制御処理。

*14 ユーザプレーン：通信で送受信される信号のうち、ユーザが送受信するデータの部分。

様のエディタとしても貢献してきました。

(4) RAN-WG4

基地局や端末の無線〔RF (Radio Frequency)〕性能や無線リソース制御^{*15}の仕様策定を担うRAN-WG4では、LTE/LTE-Advancedが利用してきた6 GHz以下の周波数帯だけでなく、NRで新規導入された準ミリ波/ミリ波の周波数帯〔Release 15では、FR2 (Frequency Range 2) : 24250 ~ 52600 MHzの周波数帯として定義〕の利用の検討がなされました。ドコモは、2015年より4年間の任期でRAN-WG4の副議長を務め、日本国内の5G向け周波数割当予定を考慮した周波数バンドの策定および基地局や端末のRF性能仕様の規定に向けた技術提案を活発に行い、議論を牽引してきました。国内の5Gの法制度化は、この策定された規定に従い進められました。

FR2では、広帯域通信が期待できる一方で、RF構成観点では、高周波数による無線部内部での電力損失や電波伝搬損失の増加と、広帯域化による電力密度低下がもたらすエリアカバレッジの縮小が課題となります。その解決には、カバレッジ確保が必要で、高いアン

テナ利得を実現するアンテナのアレイ化が求められますが、狭い面積に無線信号の送受信機とアンテナを高密度に実装することが困難であるため、FR2では従来の測定用コネクタありのRF構成^{*16}を適用できません。このため、FR2のRF仕様規定ではコネクタなしのRF構成で試験をするOTA (Over The Air) 規定が導入されました。

OTA規定では図1に示す、装置から放射される全電力を規定する総合放射電力 (TRP: Total Radiated Power) に加えて、アンテナ特性を含めたビーム方向における等価等方放射電力 (EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power) と等価等方感度 (EIS: Equivalent Isotropic Sensitivity) が定義されています。

端末では、FR2のEIRP最大送信電力について、端末を中心とした球面全体にビーム方向を操作した際に得られる各EIRP値の累積

*15 無線リソース制御：有限である無線リソースの適切な管理や、端末・基地局間のスムーズな接続を実現するために実施する制御の総称。
*16 従来の測定用コネクタありのRF構成：基地局のRF性能仕様の規定については、従来の6 GHz以下の周波数帯においても、一部OTA規定が導入されています。

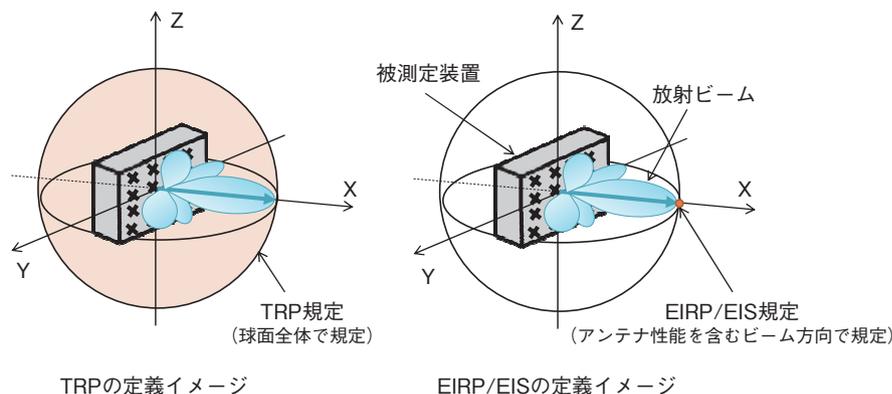


図1 NRの基地局および移動局RF規定で用いられる定義イメージ

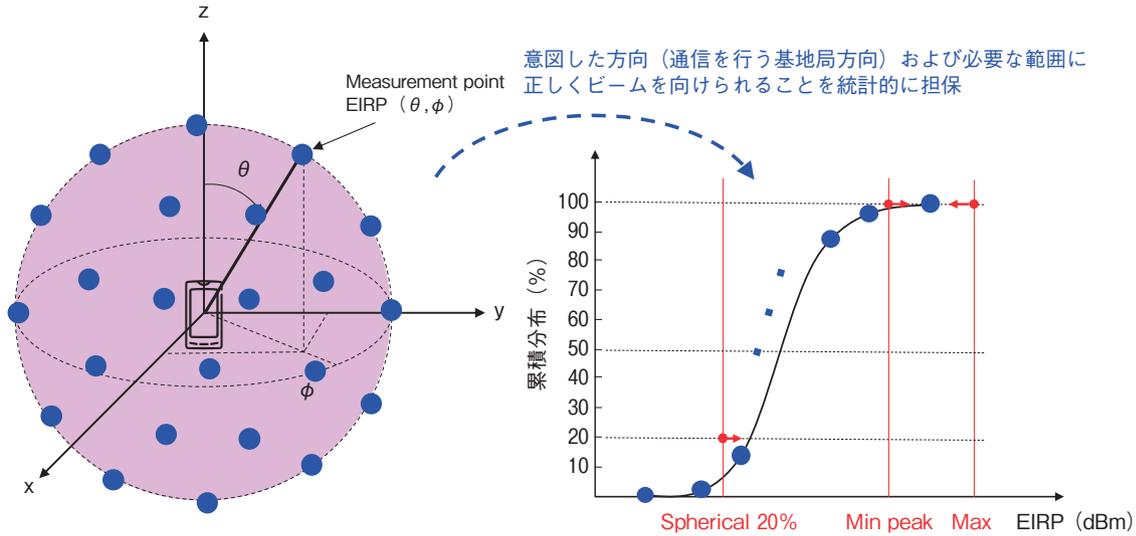


図2 累積分布を用いたOTA EIRP評価手法

分布^{*17}を用いた規定が採用されています（図2）。本規定導入の目的は、意図した方向（通信を行う基地局方向）および必要な範囲に正しくビームを向けられることを統計的に担保することです。測定したEIRPのうち少なくとも1つが最低限満たすべき値をMin peak値、累積分布X%における値、すなわち球面空間上の(100-X)%エリアが担保すべき値をSpherical coverageと定義しました。ドコモは、オペレータとしてFR2のエリア性能担保のためにはSpherical coverageが要点であると考え、技術的実現性を考慮しつつ、各種規定の中でSpherical coverageが優先的に高い性能規定となるようオペレータ各社の賛同を集めながら議論を展開しました。

O-RANにおける活動と貢献

ドコモは、5G時代における無線アクセス

ネットワークをより拡張性高く、オープンでインテリジェントに構築することを目的に、2018年2月にAT&T, China Mobile, Deutsche Telekom, OrangeとO-RAN Allianceを設立しました。現在では、多くのオペレータとベンダ（2020年6月26日現在、加入メンバー数200）が加盟し、WGにおいて無線アクセスネットワークにおける相互接続可能なオープンインタフェース、仮想化、AI・ビッグデータ活用、ホワイトボックスハードウェア、オープンソースソフトウェアに関する検討を進め仕様を多数公開しており、注目を集めるとともに、多くの期待が寄せられています。

中でも、2019年3月に公開されたO-RANオープンフロントホール仕様は、それまでグローバルにはベンダ独自であった基地局の（集約設置される）デジタル処理部と（張り出して設置される）無線部とのフロントホールインタフェースについて、マルチベンダ相互

*17 累積分布：評価する対象が、ある特定の値以下となる確率。

接続を可能にし、多くのオペレータやベンダがその採用を表明したことは⁽⁴⁾、業界に大きなインパクトを与え、注目を集めました。

ドコモは独自に、パートナーベンダと協力して、すでにLTE世代から共通のフロントホールインタフェースを用いたマルチベンダRANを実現していました。そのノウハウと実績を活かして、2016年3月～2017年12月にかけて3GPP Release 14/15で行われた基地局機能分離に関するSIのラポータを務めました。さらに、O-RAN Allianceに統合される前のxRAN Forum^{*18}に2018年2月より参画して、賛同するオペレータやベンダと協力してフロントホールの標準仕様策定を推進し、現在でもO-RAN Allianceでオープンフロントホール仕様の主管であるWG4の共同議長も務めるなど、フロントホールの標準化を牽引してきています。さらに、商用5GネットワークにおけるO-RANオープンフロントホール仕様を用いたマルチベンダ相互接続も世界で初めて実現しており、今後も5GにおけるマルチベンダRANのグローバルなエコシステムの実現を推進していきます。RANにおけるマルチベンダ相互接続性は、利用可能な基地局ソリューションのポートフォリオを拡大し、迅速、柔軟、かつコスト効率の高いネットワーク構築を可能にするものであり、多種多様な要件を持つ5Gにおいてこれまで以上に重要となります。

O-RAN Allianceにおいて、ドコモはほかにも、X2やF1などの3GPPインタフェースのオープン化を検討するWG5の共同議長を

務め、それらインタフェースのマルチベンダ相互接続性を確保するプロファイル仕様の公開などに貢献しています。さらに、仮想化やAI・ビッグデータ活用など、他のO-RAN Allianceの検討についても今後推進する予定です。

あ と が き

本稿では、5Gの標準化に対して、3GPPおよびO-RAN Allianceにおける活動とドコモの貢献について解説しました。

現在、3GPPでは、5Gを高度化したRelease 16の仕様策定が完了し、さらなる利用シーンに対応するため、Release 17の技術検討が進められています。また、O-RAN Allianceでは、オープンなインタフェースのさらなる検討に加え、無線ネットワークの仮想化やビッグデータ活用の技術検討が進められています。

ドコモは、5Gを今後20年の無線通信の基盤となる技術と位置付け、その高度化のために、引き続き、3GPPおよびO-RANでの標準化活動に積極的に寄与していく予定です。

■参考文献

- (1) サイバー創研：“5G実現に資するETSI標準規格必須特許(5G-SEP)候補の出願動向と標準化寄書の提案動向,” 2019.
- (2) サイバー創研：“5G実現に資する5G-SEP候補と5G-SEP宣言特許の出願動向、および、標準化寄書の提案動向,” 2020.
- (3) 内野・甲斐・戸枝・高橋：“5GにおけるNR上位レイヤ仕様,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.26, No.3, pp.59-73, Nov. 2018.
- (4) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_190222_00.pdf

◆問い合わせ先

NTT ドコモ

R&D戦略部

E-mail dtj @nttdocomo.com

*18 xRAN Forum：拡張性の高い無線アクセスネットワークの推進を目的に活動していた業界団体。現在ではO-RAN Allianceに統合されています。



5G ネットワーク

2020年3月にNTTドコモは5G商用サービスを開始しました。ドコモでは5G導入に際し、LTEで提供している機能・エリアを最大限活用することで、早期提供と安定した品質確保を実現しています。本稿では、5G商用サービスを提供するために実施した無線基地局装置、コアネットワーク装置の開発内容について解説します。

さがえ ゆうた さわむかい しんすけ
寒河江 佑太^{†1} 澤向 信輔^{†1}

おおわたり ゆうすけ きよしま こうへい
大渡 裕介^{†1} 清嶋 耕平^{†1}

かんばら けいいち たかはし じょう
神原 恵一^{†1} 高橋 匠^{†2}

NTTドコモ^{†1}
ドコモ・テクノロジー^{†2}

まえがき

第5世代移動通信システム(5G)は高速・大容量、低遅延、多数端末接続の特長を有しており、動画・サービスなどコンテンツのさらなるリッチ化などへの対応に加え、従来では困難であった社会的課題の解決や新たな産業創出が可能となることにも期待が高まっています。

NTTドコモは2019年9月に開始した5Gプレサービスに続き、2020年3月に5G商用サービスを開始し、2020年7月6日時点において契約者数が17万件を超えています。今後、5G需要の増加が見込まれていることから、端末ラインアップの充実、5G提供エリアの拡大を順次行っていきます。

本稿では、5G商用サービス提供を行うた

めの無線基地局装置、およびコアネットワーク装置の開発内容について解説します。

5G向け周波数の概要

5Gにおいては、ユースケース、利用シナリオなどに応じたネットワークが求められており、技術面では、新たな無線技術〔5G NR (New Radio)〕の採用、既存の周波数帯に加え、より高い周波数帯を活用することなどが求められています⁽¹⁾。

5G向け国内周波数帯として、3.7 GHz帯(3.6~4.1 GHz)、4.5 GHz帯(4.5~4.6 GHz)、および28 GHz帯(27.0~29.5 GHz、うち28.2~29.1 GHzは非割当て)の3つの周波数帯が割り当てられています(表1)。特に前者2つの周波数帯がSub6帯、後者がmmW (millimeter Wave) 帯^{*1}と呼ばれ

※ 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol. 28 No. 2, 2020年7月)に掲載された内容を編集したものです。

*1 mmW帯：周波数帯域の区分の1つ。30 GHzから300 GHzの周波数であり、5Gで利用される周波数である28 GHz帯を含めて慣習的にミリ波と呼ばれます。

表1 国内5G周波数の特徴

	3.7 GHz帯	4.5 GHz帯	28 GHz帯
割当周波数	3.6~4.1 GHz (500 MHz幅)	4.5~4.6 GHz (100 MHz幅)	27.0~28.2 GHz 29.1~29.5 GHz (1.6 GHz幅)
割当帯域幅	100 MHz幅/オペレータ	100 MHz幅/オペレータ	400 MHz幅/オペレータ
Massive MIMOの活用	MIMO多重に活用		Beamformingによる カバレッジ拡張
他システムとの利用状況	衛星システム	航空機電波高度計	衛星システム
海外動向	中国, 韓国, 欧州, 米国	将来的に中国が利用予定	米国, 韓国



図1 3.7 GHz帯の周波数割り当てとLTE 3.5 GHz帯の関係

ています。

Sub6帯は、5G国内周波数において100 MHz幅/事業者と、LTEと比較して広帯域利用が可能であり、かつ、LTE 3.5 GHz帯と同様のカバレッジを実現することができます。一方でmmW帯は、これまでLTEで利用してきた周波数とは大きく異なり、超広帯域の割当てにより数Gbit/sの高速伝送によるサービスをスポット的に展開することが期待されています。しかし、一般に高い周波数であるほど電波が飛びづらいため、既存LTE周波数やSub6帯と組み合わせたヘテロジニアス・ネットワークを構築していく必要があります。加えて、高周波数帯においてはアンテナの小型化が容易であり、Massive MIMO (Massive Multiple Input Multiple Output) *2によるMIMO技術の高度化を活用したネットワーク展開が期待されます。

さらに、国内では5G向け国内周波数帯において既存システムが運用されており、その既存事業者との共存・棲分けが重要です。特に3.7 GHz帯は衛星システム事業者が利用しており、衛星システムとのシステム間の干渉調整を実施しながらの展開となるため、5G早期展開に有力な周波数帯として4.5 GHz帯が注目されています(図1)。また、海外動向に注目すると3.7 GHz帯や28 GHz帯はすでに各国で利用開始がされており、端末の対応状況や今後のローミング対応の観点から、今後の5G特有の高速大容量などのサービス展開において有力です。これらの周波数の特徴、既存事業者との共存、そして、グローバ

*2 Massive MIMO:非常に多数のアンテナを用いるMIMO伝送技術の総称。MIMOとは同一時間、同一周波数において複数の送受信アンテナを用いて信号の伝送を行い、通信品質および周波数利用効率の向上を実現する信号技術。

ル動向などを踏まえ、それぞれの周波数帯の強みを最大限活用した商用展開を実施していきます。

これら国内周波数に対して、総務省による開設計画の認定⁽²⁾の結果、ドコモはSub6帯については3.6~3.7 GHzおよび4.5~4.6 GHzの合計200 MHz、mmW帯は27.4~27.8 GHzの400 MHzが割り当てられています。これにより、下りピークレートとして、既存LTEシステムと組み合わせることでSub6帯では3.4 Gbit/s、mmW帯では4.1 Gbit/sを提供可能です(表2)。

Sub6帯および28 GHz帯はTDD (Time Division Duplex) バンドとして割り当てが行われていますが、周波数の有効利用の観点で、

隣接する携帯事業者間で同じ下り・上りリソース割当て (TDD Config^{*3}) を利用しなければなりません。国内においては、3GPP (3rd Generation Partnership Project) で合意されているTDD Configを基に、データトラフィック量や今後の5Gサービス予測をかんがみたくうえで、図2に示すTDD Configでの運用を実施することとなっています。特に3.7 GHz帯は隣接するLTE 3.5 GHzとの干渉を軽減させるために、同一タイミングにおいて、下り・上りリソースを使用するように設計されています(図2)。また、ドコモのみが獲得した4.5 GHz帯にお

*3 TDD Config: TDDの上下スロットをどのように配分するかを決定するパラメータ。3GPP仕様にて規定されています。

表2 技術的特徴

	Sub6帯	mmW帯
Massive MIMOの活用方法	MIMO多重に活用	Beamformingによるカバレッジ拡張
カバレッジの考え方	LTE 3.5 GHz帯と同様のカバレッジ	広帯域を活用した高スループットを提供 スポット的な展開
ピークレート (3GPP規格値, LTE含む)	下り3.4 Gbit/s/上り182 Mbit/s	下り4.1 Gbit/s/上り480 Mbit/s
MIMO数	下り4×4/上りSISO	下り・上り2×2MIMO
変調方式	下り256QAM/上り64QAM	下り・上り64QAM

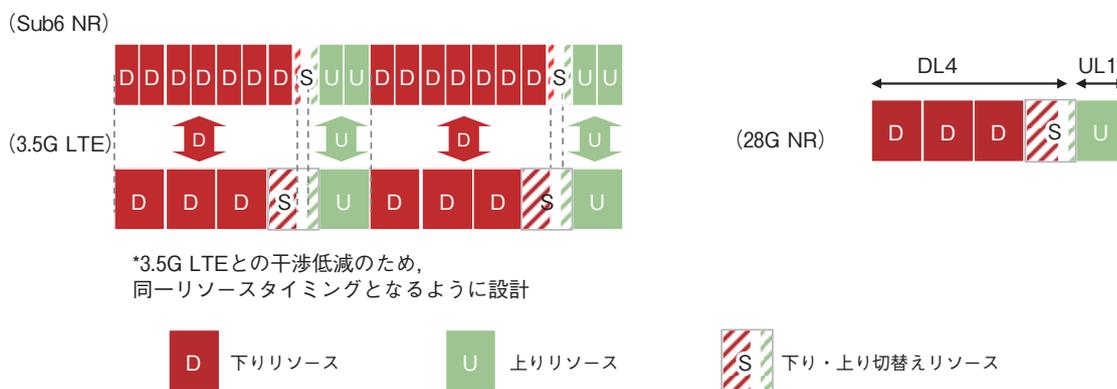


図2 国内周波数で利用されるTDD Config

いては、ユースケースに応じた独自のTDD Configを設定し、周波数を有効に活用していきます。

5G 商用開発

■5G 基地局装置開発

5Gにおけるネットワーク構成を図3に示します。5Gのサービス開始に向けドコモは、5Gに対応したベースバンド（BB: Base Band）信号処理部を集約した親局（CU: Central Unit）を、既存のBB処理装置である高密度BDE（Base station Digital processing Equipment）を拡張して開発し、加えて、電波の送受信機能などを持つ5G無線部（RU: Radio Unit）を新規に開発しました。また、より多くのRUを1台のCUに収容するために、LTEにおいて導入していたフロントホール分配装置（FHM: FrontHaul Multiplexer）⁽³⁾の5G対応版である5G FHM

を開発しました。これらの装置について概要を以下に解説します。

(1) CU

(a) 開発コンセプト

5Gサービスのスムーズな展開に向け、3G/LTE/LTE-Advancedに対応したBB信号処理を行う既存の高密度BDEを最大限活用し、高密度BDEの一部のカード交換、および5G対応ソフトウェアへのアップグレードにより、既存装置を置き換えることなく、工事期間や設備投資を抑えてエリア構築が可能なCUを開発しました。

(b) CU基本仕様

今回開発したCUの装置外観例を写真1に示します。

これまでに述べたように、本装置は既存装置である高密度BDEの一部のカード交換により5Gに対応した機能が実現可能となっています。また、今後のソフトウェアアップグレー

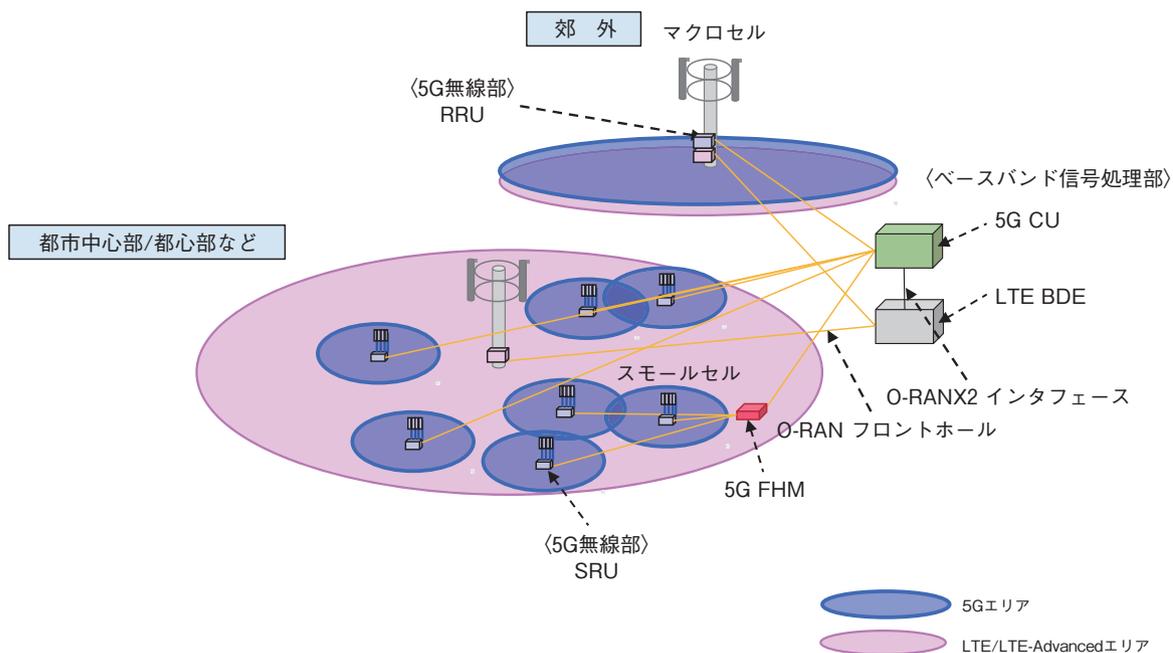


図3 5Gネットワーク構成



写真1 CU外観例

ドにより、従来の3G/LTE/LTE-Advancedに対応したソフトウェアと5G対応ソフトウェアをそれぞれ搭載することで、1台のCUにおいて、3Gから5Gの3世代に対応したネットワークを構築することができます。

既存のLTE-Advancedではドコモが提唱する高度化C-RAN (Centralized RAN)*⁴アーキテクチャ⁽⁴⁾を採用していましたが、5Gにおいても本アーキテクチャに対応しており、CU・RU間はフロントホールを介して接続します。このフロントホールは、ドコモを含めたオペレータ5社により2018年2月に設立したO-RAN (Open RAN) Allianceで標準化を進められ、異なるベンダ間の相互接続を可能とするO-RANフロントホール仕様に、5Gサービス導入当初から準拠しており、同仕様に準拠したCU・RUはベンダを問わず接続可能としています。また、基地局装置どうしを接続するための仕様についても

O-RAN標準仕様に準拠しており、5G対応のCUとLTE-Advanced対応の高密度BDEについて異なるベンダ間の接続を可能としています⁽⁵⁾。これにより、ドコモでは既存の高密度BDEのベンダに依存せずにCUを導入可能となり、既存資産を活かしつつスピーディに必要な場所に柔軟にエリア展開することが可能です。なお、CU1台につき、6本以上のフロントホール接続が可能となっており、それぞれのフロントホールに対して接続先のRUを選択可能にしています。5GではLTE-Advancedに比較してさらなる広帯域伝送に対応するため、フロントホール伝送レートを従来の最大9.8 Gbit/sから最大25 Gbit/sに拡張しながら、CU・RU間の光張出し距離は従来の高密度BDEと同等を実現しました。

(2) RU

(a) 開発コンセプト

ドコモでは、5Gサービス導入当初から柔軟なエリア構築を可能とするため、2019年9月の5Gプレサービス開始に合わせ、導入時の周波数帯である3.7 GHz帯、4.5 GHz帯、および28 GHz帯にそれぞれ対応した、スモールセル用のRUとなる小型低出力張出しRU

*4 高度化C-RAN：ドコモが提唱する新しいネットワークアーキテクチャで、LTE-Advancedの主要な技術であるキャリアアグリゲーション技術を活用し、広域エリアをカバーするマクロセルと局所的なエリアをカバーするスモールセルを同一の基地局制御部により高度に連携させる無線アクセスネットワーク。

(SRU: low power Small Radio Unit) を開発しました。また、5Gエリアの早期拡大に向け、郊外などにおける効率的なエリア化の実現を可能としたマクロセル用のRUである張出しRU (RRU: Regular power Radio Unit) についても開発しました。

5G機能の1つとして、他セルへの干渉低減を図り、ユーザ体感品質の向上が期待できるBeamforming^{*5}機能があります。本機能に対応したアンテナ・5G無線部一体型の装置(アンテナ一体型RU)を開発するとともに、既設の3G/LTE/LTE-Advanced向けの無線装置(RE: Radio Equipment)に本装置を併設できるようにスペースなどが限られた個所に対して柔軟に設置可能とすることを目的として、アンテナ・5G無線部

*5 Beamforming: 送信信号に指向性をもたせることで、特定方向の信号電力を増加・低下させる技術。複数のアンテナ素子(RF装置)の位相制御により指向性を形成するアナログビームフォーミングと、ベースバンド部において位相制御するデジタルビームフォーミングが存在します。

分離型の装置(アンテナ分離型RU)を開発しました。

(b) SRU基本仕様

SRUは、これまでに述べたように柔軟なエリア構築を可能とすることを目的とし、5Gプレサービス開始当初から、3.7 GHz帯・4.5 GHz帯・28 GHz帯にそれぞれ対応したアンテナ一体型SRU、および3.7 GHz帯・4.5 GHz帯にそれぞれ対応したアンテナ分離型SRUを開発しました(写真2)。

アンテナ一体型RUについては、Beamforming機能を実現するアンテナパネルを具備しています。3.7 GHz帯・4.5 GHz帯では標準仕様上最大8ビーム、28 GHz帯では標準仕様上最大64ビームであり、ドコモで利用するTDD Configなどに応じた送受信ビーム数にてエリアを形成可能としています。また、送受信ブランチ数は3.7 GHz帯・4.5 GHz帯では428 GHz帯では2とし、1台で前者は最大4レイヤ、後者は最大2レイヤ



(a) アンテナ一体型SRU



(b) アンテナ分離型SRU

写真2 SRU外観例



写真3 RRU外観例

のMIMO送受信が可能です。

アンテナ分離型SRUについては、設置性を考慮して省スペース化を目的とし、従来のRE同様に無線部のみの構成としており、SRUとアンテナを別の場所に設置することが可能です。なお、同周波数帯に対応したアンテナ一体型SRUと比較して装置容積を低減し、6.5 ℓ以下を実現しました。アンテナ分離型SRUでは、Beamforming機能には非対応となっているものの、同周波数帯のアンテナ一体型SRU同様に送受信ブランチ数は4としています。

(c) RRU基本仕様

RRUは、5Gエリアの早期拡大に向け、SRUと比較して高出力の装置として、5Gサービス展開に合わせて開発されました(写真3)。

5Gの広帯域幅をサポートするために、従来のマクロセル用RE(RRE: Remote Radio Equipment)と比較して装置サイズが大きくなる傾向となりますが、最新のデバイス動向をかんがみ、早期に省スペース化・軽量化が期待できるアンテナ分離型を先行開発して導入しました。最大送信出力はマクロセルの工

リア半径を考慮し、36.3 W/100 MHz/ブランチ*⁶としました。また、送受信ブランチ数は4としており、アンテナ分離型SRUと同様のMIMO送受信レイヤ数を実現しています。

ドコモでは、引き続きアンテナ一体型RRUについても導入予定であり、今後は設置場所などをかんがみながらそれぞれの機種を活用して柔軟に5Gエリアを構築していく予定です。

(3) 5G FHM

5G FHMは、フロントホール上の無線信号を最大12分配、合成する機能を持つ装置であり、RRU同様に5Gサービス展開に合わせて開発されました(写真4)。

5G FHMを用いない場合は、1台のRUごとに1セルとして収容しますが、5G FHMを用いることにより、最大12台のRUを1セルとしてCUに収容可能となり、5Gサービス開始当初、必要な無線容量が少ない場所のエリア化において、より多くのRUを1台の

*6 ブランチ：本稿では、アンテナおよびRF送受信機の総称。



写真4 5G FHM 外観例

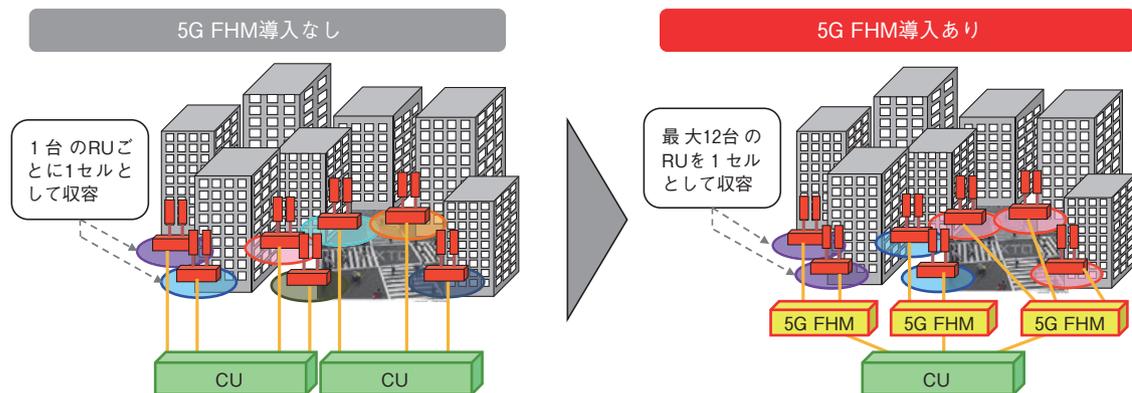


図4 5G FHM 導入イメージ

CUに収容することが可能です(図4)。また、従来のFHM同様、全RUが同一セルの無線信号の送受信を行うため、RU間の干渉や、RU間をまたがるハンドオーバー(HO: Hand Over)制御の発生を抑止することができます。なお、5G周波数帯である3.7 GHz帯・4.5 GHz帯・28 GHz帯すべてに対応しており、それぞれの周波数帯の用途に応じて柔軟にエリア構築が可能となっています。

■5G無線アクセスネットワーク対応

5Gサービスを実現するRANの構成と、無線アクセスネットワーク技術としてLTE-NR Dual Connectivity*7, Beam Management技術, NR高速化対応に関する技術概要を解説します。

(1) RANの構成

5G商用サービス展開にあたっては、ドコモはNRの特徴の1つであるノンスタンドアロン運用にてサービスを提供しています。

ノンスタンドアロンとは、NR単独ではエリア提供せず、LTE/LTE-Advancedのエリアをアンカーとして利用し、サービスを提供する運用形態です。図5に示すように、NRのノンスタンドアロン運用においてeNB(evolved NodeB)*8は、NRを提供する基地局であるgNB*9とはX2*10インターフェースを用いて接続します。また、eNBとgNBはEPC(Evolved Packet Core)とS1インターフェースを用いて接続します。ノンスタンドアロンではLTEをアンカー*11としているため、接続性に関してはこれまでと同等の品質レベルを実現しつつ、LTE装置との

*7 Dual Connectivity: マスターとセカンダリの2つの基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数のコンポーネントキャリアを用いて送受信することで、広帯域化を実現する技術。

*8 eNB: LTE無線を提供する無線基地局。

*9 gNB: NR無線を提供する無線基地局。

*10 X2: 3GPPで定義されたeNodeB間のリファレンスポイント。

*11 アンカー: 制御信号もしくは、ユーザペアラの切替え基点となる論理的ノード地点。

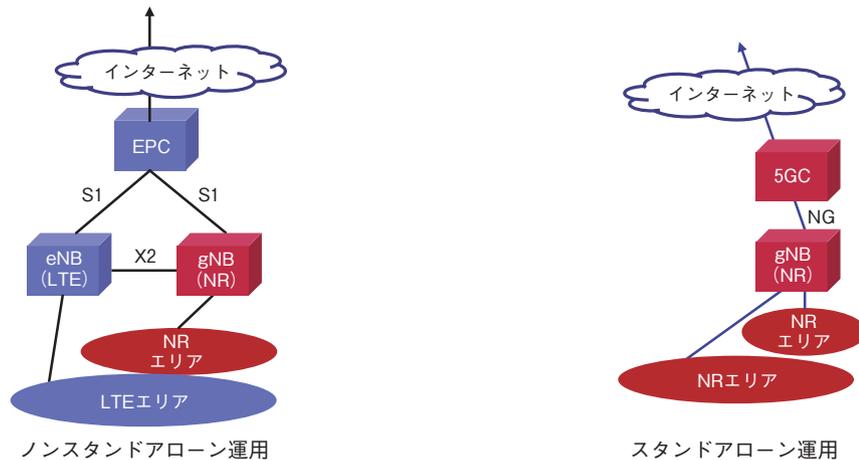


図5 5Gにおけるネットワーク構成

併用による既存ネットワークインフラの活用により早期に商用化を実現しました。またeNBとgNB間の接続に際してドコモらが主導したO-RAN X2仕様に準拠し、LTEとNRの、異なるベンダ間における相互接続を可能としました。すでに展開されているLTEエリアに対して5Gエリアを迅速かつ柔軟に展開することもできるようになりました。

今後提供予定のNRのスタンドアローンは、gNBのみでサービス提供を可能とするもので、RANは新しいコアネットワーク(5GC: 5G Core network)に接続します。gNB間はXnインタフェースを用いて接続し、gNB-5GC間はNGインタフェースを用いて接続します。

(2) LTE-NR Dual Connectivity

前述のとおり既存のLTE/LTE-AdvancedとNRとを組み合わせるサービス提供するノンスタンドアローン構成において、UEに対してLTE/NR両方で同時に通信するアーキテクチャがLTE-NR Dual Connectivityです。LTE-NR Dual Connectivityでは、LTE/NRそれぞれの無線リソースを同時に

送るSplit Bearer^{*12}が規定されており、最大5つのLTEキャリアとNRとの同時送信を実現し、高速化や柔軟な5G商用サービス展開を可能としています。

LTE-NR Dual Connectivityの、LTE基地局がMN (Master Node) となる運用においては、NR側の帯域が大きくなるに連れてLTE基地局側でMCG (Master Cell Group) Split Bearerを行う必要があり、そのため、NR装置に比べ能力に制限のあるLTE基地局装置側の増強が必要であり、それに伴う装置開発・運用コストの増加につながります。そこでLTE基地局装置の増強を抑えつつ、その装置能力によるスループットの制約を回避するために、LTE-NR Dual Connectivityではユーザデータの分岐点をNR装置であるSN (Secondary Node)^{*13}で設定できるようにSN terminated split

*12 Split Bearer: Dual Connectivityにおいて、マスターとセカンダリの両方の基地局を介して送受信されるベアラ。

*13 SN: Dual Connectivity中の端末に、MNの無線リソースに加えて、追加で端末に無線リソースを提供する基地局。LTE-NR Dual Connectivityにおいて、SNは、MNがLTE基地局(eNB)の場合はNR基地局(gNB)、MNがNR基地局(gNB)の場合はLTE基地局(eNB)がなり得ます。

bearer, および SN Terminated MCG Bearerが仕様化されています。SCG split bearerはユーザデータをSNのキャリアに伝送しつつMNのキャリアにも転送を行い、SNおよびMN同時にデータをユーザに伝送できるようにする方法です。これにより高速化通信を実現しています。またSN terminated MCG BearerはNRのエリア外においてもSNからデータ転送を行えるようにする方法であり、これにより安定的な通信を実現しています。

(3) Beam Management技術

NRでは新たにBeam Management技術を採用しています。前述のようにアンテナ一体型RUについては複数ビームを形成するような構成となっています(図6)。

FR1 (Frequency Range 1) ではBB信号に位相回転を与えることによりビーム形成するDigital beamformingを採用し、FR2 (Frequency Range 2) ではRF (Radio Frequency) 信号に位相を与えることによりビーム形成するAnalog beamformingを採用しています。NR接続開始時の最適ビーム選択処理および、UEの移動などによる無線品質変更に伴いビームを変更するビーム切替え処理を具備し、通信するUEの位置に応じた最適な送受信ビームを使用することで、

高周波数帯においてもカバレッジの確保を実現しています。また、UEの位置に対してビームを向けることにより、不要な方向への電波の放射が抑制され、セル間の干渉の抑圧効果も期待できます。

(4) NR高速化対応

5GではLTE/LTE-AdvancedとNRとのDual ConnectivityにてNRも同時に利用することにより、さらなる高速通信が実現されます。現在ドコモではLTE/LTE-Advancedにて、下り通信は5つのコンポーネントキャリアをキャリアアグリゲーションすることにより下り最大1.7 Gbit/sのサービスを提供していますが、ドコモの5Gでは導入当初からLTE/LTE-Advancedの5つのコンポーネントキャリアとNRのDual connectivityを実現しており、NRとして3.7 GHz帯または4.5 GHz帯を利用する場合は最大3.4 Gbit/s、NRとして28 GHz帯を利用する場合は最大4.1 Gbit/sを実現しています。

また、上り通信においては、28 GHz帯において、合計200 MHz(2コンポーネントキャリア)をキャリアアグリゲーションで同時利用することに加え、2×2 MIMOの導入により、合計480 Mbit/sを実現しています。

さらに、今後、下り通信においては3.7

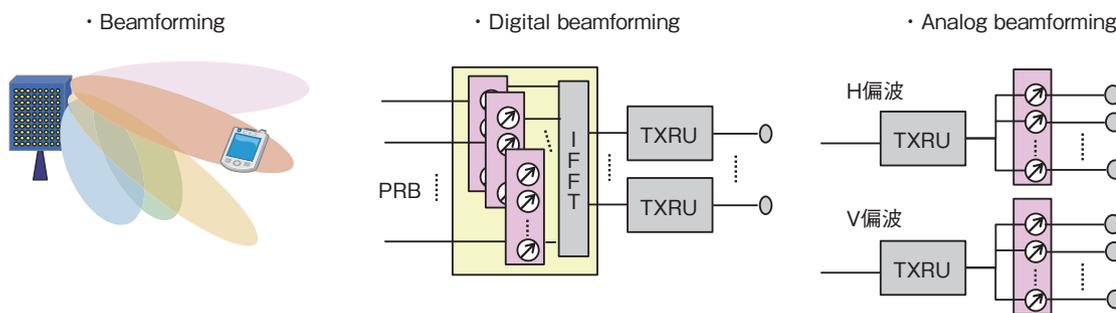


図6 Beamforming技術の種別

GHz帯と4.5 GHzのキャリアアグリゲーション、上り通信においては28 GHz帯における400 MHz（4コンポーネントキャリア）のキャリアアグリゲーションによりさらなる広帯域利用による高速化をねらいます。

■コアネットワーク装置開発

国際的な標準化団体である3GPPにおいては、5Gの提供に向けた複数のマイグレーションのアーキテクチャが規定されています。3GPPに規定されているアーキテクチャの一覧を図7に示します。Option 1がLTEで提供しているアーキテクチャであり、5Gを提供するにあたりOption 2～5、7の、どのアーキテクチャを採用するかは各オペレータの判断になります。ドコモは前述したとおり、5G導入当初においてはLTEで商用運用しているEPCを拡張することでNRと接続し、

5Gを提供するOption 3アーキテクチャを採用しています。これにより、LTE/LTE-Advancedで展開済みの安定した品質を担保可能としつつ、早期に5Gの商用提供を実現しました。なお、5G導入当初は世界的に見て多くのオペレータがOption 3を採用しています。

今後は新しいコアネットワークである5GCの導入も含め、将来のマイグレーションに向けた検討を続けていきます。

(1) Option 3xアーキテクチャ

前述のとおり、装置開発・運用コストを抑制するためのSCG split bearerによるユーザデータの転送処理を行っています。つまり制御系信号のやり取りはEPC-eNB間で行い、ユーザデータのやり取りはEPC-gNB間で行っています。これはOption 3xとして

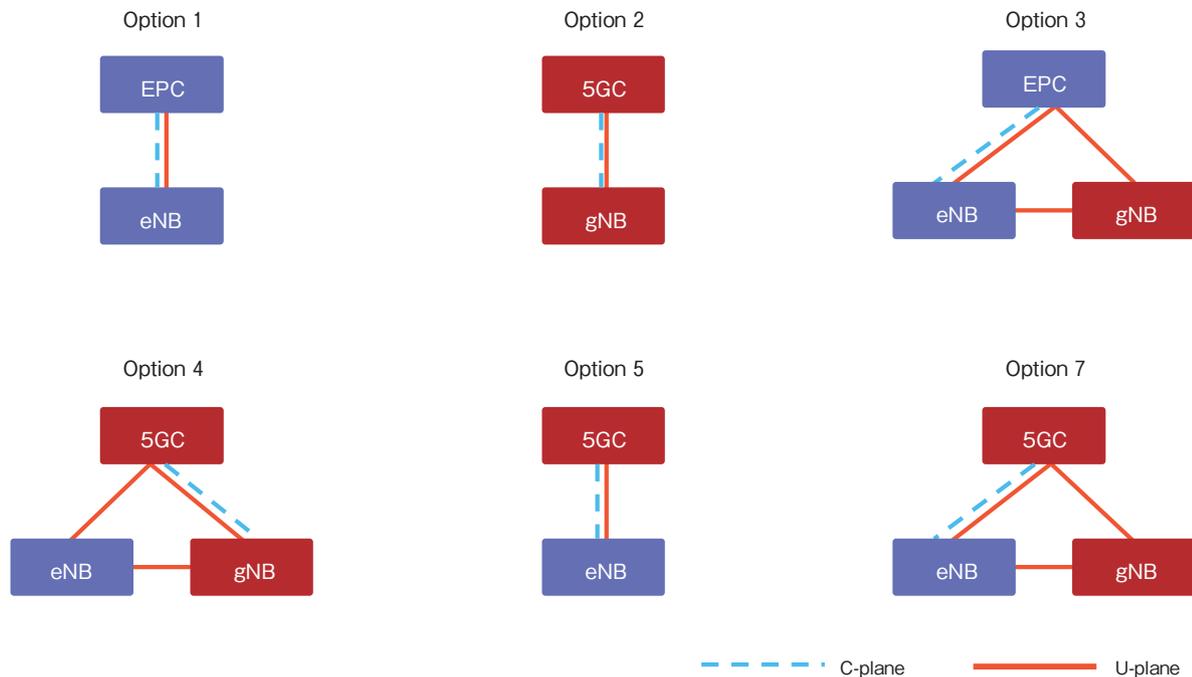


図7 5Gへのマイグレーションアーキテクチャ

標準上規定されています。

EPCはeNBとのS1インタフェースおよびUEとのNAS (Non-Access Stratum) インタフェースを拡張することでNRを収容可能となるため、コアネットワーク装置への影響を軽減でき、安定した品質と早期導入を両立可能なことが最大の特長です。

(2) 高スループット対応

5Gでは最大で4.1 Gbit/sの下りスループットを提供し、今後もより高速・大容量通信を実現するために開発を続けていきます。一方、EPCはさまざまな能力の装置が混在しており、5Gの求めるスループットの提供が困難な装置も存在します。これらをかんがみ、EPCの中でデータ転送処理を担うS/P-GW (Serving Gateway/PDN Gateway) を選択する際に、5Gのスループットを提供可能なS/P-GWを選択する開発を実施しました。

具体的には、MME (Mobility Management Entity) でS/P-GWを選択する際にTA (Tracking Area) やAPN (Access Point Name) をキーにDNS (Domain Name System) を引くことで、応答に含まれるレコードからS/P-GWを選択していますが、DNSの応答に含まれるサービスパラメータ (network capability) に5G能力を示す値 (+nc-nr) を追加しました。5Gユーザに対しては、この値に応じて5Gのスループットを提供可能なS/P-GWを選択することで高速通信を実現しています。

(3) 低遅延ネットワーク

5Gの商用開始と同時にドコモオープンイノベーションクラウドの提供も開始しました。ドコモオープンイノベーションクラウドはMEC (Multi-access Edge Computing)

の1つの形態として提供しており、コアネットワークを含めたコンピューティングリソースを端末に近いところに配備することでEnd to Endの通信遅延を短縮することができます。さらに接続端末とクラウド基盤間の通信経路を最適化することでネットワーク伝送遅延を短縮する「クラウドダイレクト™」も提供します。

あ と が き

本稿では、5G商用サービス提供を行うための無線基地局装置、およびコアネットワーク装置の開発内容について解説しました。

ドコモは5Gを通じてさまざまなパートナーと協創し、豊かな社会の実現に貢献するとともに、今後も先進的で高度な技術開発を進めていきます。

■参考文献

- (1) https://www.soumu.go.jp/main_content/000567504.pdf
- (2) https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000378.html
- (3) 藤井・諏訪・鳥羽・戸枝：“3.5 GHz帯TD-LTE導入に向けた基地局装置の開発,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol. 24, No. 2, pp. 8-13, Jul. 2016.
- (4) 吉原・戸枝・藤井・諏訪・山田：“高度化C-RANアーキテクチャを実現する無線装置およびアンテナの開発,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol. 23, No. 2, pp. 19-24, Jul. 2015.
- (5) https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2019/09/18_01.html

◆問い合わせ先

NTTドコモ

R&D戦略部

E-mail dtj@nttdocomo.com

挑戦する 研究者たち CHALLENGERS



河邊隆寛

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
上席特別研究員

やりたいことを 誰にも負けない ように頑張る

静止画だと思っていたポスターやボードが動いたら驚く人は少なくないでしょう。NTTは人間の感覚情報処理の科学的理解をめざした研究を行っています。科学的理解の過程で扱うさまざまな錯覚現象は、これまでになかった豊かで分かりやすい感覚を実現する情報提示手法の提案につながっています。本研究を手掛ける河邊隆寛NTTコミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員に現在の研究の進捗と研究者としての心構えを伺いました。



錯覚を現実の世界で活かす

現在手掛けている研究について教えてください。

錯覚を利用した情報提示技術の提案が私の研究テーマです。錯覚は実際の世界で生じている事象とは異なるものを感じてしまう人間の知覚特性を指します。一般的には錯覚は「望ましくないもの」ととらえられがちで、これは人間が正しい世界を見ることを錯覚により阻まれると感じるためです。しかし、私は錯覚を利用すれば、これまで不可能だった表現が可能になる、錯覚を利用することで、いわゆる正しい世界では生じることのなさそうな知覚体験を提供できるのではないかと考え、「変幻灯」という技術を開発

しました⁽¹⁾(図1)。この技術は、私が現在の研究テーマを始めたきっかけでもあります。

変幻灯は光投影技術(プロジェクションマッピング技術)を利用して、静止した対象に見掛け上動いているかのような印象(錯覚)を与えることができます。変幻灯では錯覚が生じるように計算された明暗の映像を、対象にぴったり重なるように投影します。人間の脳にある動きを検出する仕組みは、低いコントラストでも動作しますので、変幻灯で投影する映像は低いコントラストのもので構いません。

また、人間の動き検出器は明るさには敏感ですが色には鈍感なので、変幻灯で投影する映像は明るさの変化のみで十分です。このため、ほのかな明暗映像しか投影しないの



で、投影された対象の色味や風合いをほとんど損なうことなく、動きの錯覚だけを対象に与えることができます。この変幻灯は成果提供先である、NTTコミュニケーションズと大日本印刷株式会社との協業により商用化され、スーパーや美術館などさまざまな分野で利用されています。

変幻灯の次に開発したのが「浮像（うくぞう）」です⁽²⁾（図2）。浮像は実対象の影に見えるパターンを投影することで、あたかも実対象が宙に浮かんでいるように錯覚させる技術です。もともと影をつけることで対象が浮いて見えることはよく知られており、コンピュータのインタフェースや漫画、アニメなど多くの分野で使われています。浮像はその強力な影の錯覚効果を実世界へ持ち込み、カメラで実

対象を取り込むだけで、自動的にその実対象の影にみえるパターンを生成・投影することで、実対象に奥行き印象を与えることができます。

もう一つ、「変幻灯」「浮像」の次に「踊る紙人形」に取り組みました⁽³⁾（図3）。静止した対象の輪郭に明暗の線を加えて明るさが時間的に変化する背景上にそれを提示すると、その対象が動いているように錯覚することは以前から知られていましたが、あくまで画面上での話として考えられてきました。私は実際の紙の対象に明暗の輪郭線を加えて、それを明暗が変化する画面上に置くこと、その紙対象が動いているような印象を与えることができることを研究報告し、国際的な錯覚コンテストである2018年のBest Illusion of the Year Contestで入賞いたしました。現在、この技術の商用化に向けて取り組んでいます。

どれもユニークでワクワクする技術ですね。現在はどのようなことに注力されていますか。

1年半ほど前から、視覚的な「柔らかさ」を伝える錯覚技術の研究に取り組んでいます。「柔らかさ」というのは主に触覚を通じて認識されると思いますが、人間が映像のみからどのようにして「柔らかさ」を認識するかという問いについてはまだ完全には明らかになっていません。

こうした中、私は「ポアソン効果」という物理現象に注目しました。ポアソン効果というのは素材を横に引っ張ると縦に縮む（もしくは横方向に押し込むと縦方向に伸びる）物理現象です。ポアソン効果は、ポアソン比という数値で記述することができ、例えばゴムのポアソン比は0.5に近く、コルクのポアソン比はほぼ0です。ゴムを横に伸ばすと縦方向に縮みますが、コルクを横に伸ばしても縦にはあまり縮みません。ポアソン比はこの物理的性質をうまくとらえた指標です。メタマテリアルを除く日常的な素材でのポアソン比は0.5を超えないことが分かっています。

私はこのポアソン比が見た目の柔らかさにどのように関



図1 変幻灯

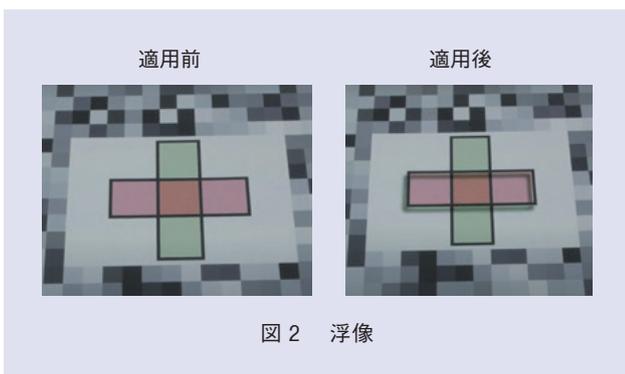


図2 浮像



図3 踊る紙人形

与するののかについて検討を始めています。まず、ポアソン比を人間がどのように知覚するかを調べました。その結果、人間はポアソン比が0.5を超えてもポアソン効果に違和感を持たないことを発見しました。検討を重ねた結果、人間は変形前後の画像面積変化に基づいてポアソン効果の違和感を判断していることが分かりました。

さらに最近ポアソン効果が疑似触覚に影響を与えることを示しました。疑似触覚とは、視覚的な映像を操作することでユーザに生じる触覚的な錯覚のことを指します。例えばコンピュータのマウスを動かしているときに突然カーソルの動きが鈍くなったら、重くなったような印象を持ちます。その印象は疑似触覚の一種だと考えられます。私は対象を持ち、それを横方向へ広げるような動作を空中で行っているときに、画面上で対象が横方向に延びるような仕掛けをつくり、そこでポアソン比を操作してみました。すると、ポアソン比が高い対象ほど柔らかいと評価されることが分かりました。将来的には、この技術を遠隔地にあるものの柔らかさを伝え、それをコントロールし、その作業過程を見せるシーンで活用できるのではないかと考えています。



きっかけは学会帰りの飛行機で観た映画

これらの研究を手掛けようと思ったきっかけを教えてください。

これらの技術は2018年に海外で開催された学会に参加したとき、帰りの飛行機の中で映画を見ていてひらめきました。たしか、『アイアンマン』だったと思いますが、映画の中では立体的なホログラムを主人公が操作していました。実社会ではホログラムは映像だけですから触ることはできませんが、私はこの主人公はホログラムを触っている感覚を得て、それで操作しているのだろうと想像し、疑似的な触感を与えることで質感を高められるだろうと考え研究を始めました。

さらに幼いころまでさかのぼると、豆電球に手をかざすと手が透けて見えたように思え、それはもしかしたら超能力ではないかと思っていました。成長するにつれ、徐々に現実が分かるようになり、後知恵バイアスかもしれませんが、実際にはないものがそう見えることがあるのだと考えたことが現在の研究活動につながる原体験かもしれません。それから時を経て、大学で心理学を専攻し視覚について学んでいました。また、テレビゲームが好きでゲーム上で壁にぶつかったときに衝撃を受けたような感覚になること等にもヒントを得て、錯覚を利用した情報伝達ができないかと考えました。

上席特別研究員となられてご自身に変化はありましたか。課題やテーマを探すときに心掛けていること、意識して実行していることがあれば教えてください。

上席特別研究員になってから2カ月しかたっていないことと、新型コロナウイルス対策のために在宅勤務が続いていたため、役割の変化を肌で感じたことはまだありません。一方で、持つべき視野については日常的に考えるようになって



りました。私は10年前まで大学で勤務しておりました。ここでは科学の「ビルディングブロック」になるんだ！科学に対して貢献しよう、と考えていましたが、NTTでの業務を通じて、大学とは異なったかたちで研究ができるのではないかと思い始めました。実際に錯覚の実世界実装を研究しそれを使ってもらうことで社会に貢献することができることが分かると、自分の研究は科学の礎だけではなく、具体的に世の中に貢献することにもつながるのだと考えるようになりました。NTTの上席特別研究員として、科学にも社会にもどちらにも価値ある研究成果を提供できる人材でありたいと考えています。

また、研究者にとって、テーマ探しはいくつになっても苦勞する側面の1つだろうと思っています。今でも「次何しようかな」と思うことはあります。私が大学院生のころテーマ探しで悩んでいたときに、現在は大学教員をしておられる先輩から「何をするか決まらないのは努力が足りないからだ」というお叱りを受けたことを覚えています。確かに「何をすべきか分からない」という状態は、「何が当該研究領域で問題となっているのか、それを構造化して理解していない」ということにほかならず、結果的に先輩がおっしゃっていた「努力していない」という言葉はもっともだと思っています。とにかく自分の研究領域で何が問題になっているのか、自分は何が分かっているのか、を把握するために、この領域のテーマに関する文献を毎日4、5本、隙間時間を利用して必ず読むことを心掛けています。

それから最近では、ドラえもん歌のようですが「こんなこといいな、できたらいいな」と考えるようにしています。例えば、錯覚を使ってこんな素晴らしいことができたらいいなと想像し、それが実現可能か、実現するための最先端の知見・技術は何か、という順番で考えています。一通り考えを巡らせると具体的に研究の話まで落とし込むことができ、日ごろ読み込んでいる文献が役に立ちます。このようにボトムアップ（研究領域で分かっていることを把握

する）に研究を進めつつ、トップダウン（世の中で何が実現できるかに思いを馳せる）に考えることを続けることで、課題や研究テーマは見つけやすくなるのではないかと思います。

こうした研究のテーマ設定や取り組み方については大学院時代のある出来事が影響しています。進路に悩んでいたとき、私が所属した研究室の隣の研究室の先生に「河邊君、研究は好きな人が好きなだけやればいいんだ。やらないといけなくてではなく、やりたいことをやるものなんだ」という言葉をかけていただきました。この言葉を聞いてから、やらないといけなくてではなく、やりたいことをやるものなんだという言葉をかけていただきました。この言葉を聞いてから、やらないといけなくてではなく、やりたいことをやるものなんだという言葉をかけていただきました。そして、研究が軌道に乗り始めたのはこの言葉がきっかけでした。

もう1つ、自分の研究分野を限定しないように常に考えています。世の中にある問題を解決するためには、1つの研究分野の知識で足りることは稀で、ほとんどの場合複数の研究領域の知識が必要となります。そのようなとき、「自分の研究分野とは別の分野の話だから解決は無理だな」と考えずに、まずは他の分野の論文でも読んで知識をつけることを考えています。一方で「餅は餅屋」という言葉もあるように専門分野の人には勝てませんから、その分野の人にも積極的に意見を聞くようにしています。知識を蓄えておけば議論や将来の連携もスムーズになると思います。



ボトムアップとトップダウンの精神で挑む

後輩の研究者に向けて一言お願いいたします。

私の場合はまだ後輩よりも先輩のほうが多いので、後輩と同じ立場に立って大切だと思うことをお伝えします。常に研究のボトムアップとトップダウンの精神を忘れないでいてほしいと思います。そうすることで、自分が研究領域

や社会にどのように貢献できるかもおのずと見えてくるのではないかと思います。これまで誰もやっていない研究テーマでも、やりたかったらやれば良いと思います。やったら認めてくれる人がいます。そうすることで、たくさんのスペシャリストが生まれることに期待しています。

さらに、基礎研究を研究者が直接アウトプットに結び付けるのはおそらくそう簡単なことではないと考えます。例えば、変幻灯も研究成果を見た方がこんな使い方があるのではないかとヒントをくださったことで実用化につながっています。一方で、トップダウン的な意識や希望を研究者自身が持っていることがアウトプットに結び付きやすいのではないかと考えています。その意味では、NTTにはR&Dフォーラムのような良い機会があるので、これを積極的に活用して他者の意見をいただくことは大切だと思います。私は積極的に展示をしています。

■ 今後はどのように歩まれますか。課題や抱負を教えてください。

今後の課題は、錯覚の実世界実装の拡張です。錯覚は視覚だけではなく、聴覚や触覚といった他の感覚でも生じます。また、複数の感覚を組み合わせることで生じる錯覚も存在します。さまざまな感覚で生じる錯覚を技術に落とし込むことで、感覚を利用した技術の幅と深さを変えていけるのではないかと思います。例えば「柔らかさ」をキーワードにとっても、視覚・触覚の組み合わせによる柔らかさ表現や、光投影を用いた実物体の柔らかさ操作、さらには、バーチャル空間での柔らかさ判断などさまざまな切り口で研究ができると考えています。

NTTの研究所にいて、なぜこの研究をしているのかと問われることが多くあります。外界とあまり接触のなかった大学時代とは研究スタンスが違っていると感じています。これはNTTの研究所で研究をすることは、世の中に貢献できる可能性があるから問われているのだ、と考えるようになりました。科学的に貢献するだけでなく、自らが考えた

技術を使って社会貢献をすることも大事なのではないかと感じています。新型コロナウイルス感染拡大防止に伴う緊急事態宣言を経て、どのような社会貢献ができるかいろいろと考えました。例えば、感染防止のために非接触を推進するため、錯覚によってATMやエレベータのボタンなどに触れている感覚を持たせられるようなディスプレイの実現なども模索しています。

こうした社会問題を1つずつ解決していくこと、そして、これから社会に起きるだろう問題を先取りして提起していくことは非常に大切だと考えています。実は、非接触ディスプレイのアイデアはコロナ禍以前から考えており、錯覚を利用した奥行きのある豊かな情報提供を提案しようとしていたところ、今回の感染症拡大防止に役立つ可能性がみえてきました。

はたからみると研究者は何をしているのかよく分からないけれど、知恵を絞って社会を良くしてくれる存在だと思われるのではないのでしょうか。私は研究者以外の仕事を知りませんし、また、研究者を辞めたいと思ったこともありません。今後も2つの視点を携えて好きなことをずっと研究していこうと思います。

■ 参考文献

- (1) <https://xtech.nikkei.com/dm/article/NEWS/20150629/425500/>
- (2) <https://www.ntt.co.jp/journal/1809/files/JN20180920.pdf>
- (3) <http://www.kecl.ntt.co.jp/openhouse/2019/exhibition24/index.html>



お客さまに付加価値を提供する 専門家集団

ハレックスは、法人のお客さまを中心に気象情報等を提供する、NTTグループ唯一の総合気象情報会社だ。法規制の下、業界各社は気象庁からの配信情報をそれぞれ加工してビジネスを行う中、情報の鮮度と活用ノウハウを強みに“IT×気象”のエキスパート集団としてニッチトップをめざす、藤岡浩之社長に話を伺った。



ハレックス 藤岡浩之社長

情報に付加価値をつけてお客さまに 提供する総合気象情報会社

◆設立の背景と目的、事業概要について教えてください。

ハレックスは、気象業務法が改正・施行された年の1993年4月1日に設立されました。この日を境に、これまで気象庁でしか実施することができなかった気象予報業務が、気象庁の許可により予報業務許可事業者として民間の事業会社でも行えるようになりました。他の主要気象会社と異なる第三の新たな民間気象会社として設立されたのが当社です。株主はNTTデータ（設立当時はNTTデータ通信）をはじめ、日本気象協会、鉄道、通信、電力、建設等、気象情報と関係の深い54社（2020年7月現在）で構成されています。こうした出自により、今年度で創立27年目を迎える歴史の長い総合気象情報会社です。約40名の社員のうち半分が気象のスペシャリストである気象予報士で、気象という分野のみならず、多くのスペシャリストで構成されているという点で、NTTグループ会社の中では非常にユニークな存在です。

さて、気象情報会社というと天気予報が思い浮かびますが、天気予報は、気象庁が観測データ、スーパーコンピュータによる予測データ等を基に分析・発表する天気予報や警報注意報などを各社が独自にアレンジして表現するかたちで行われています。そして、テレビのニュースや情報番組で気象予報士が「お天気キャスター」として登場するシーンをしばしば見かけますが、当社は一般向けの天気予報も、「お天気キャスター」もほとんど手

掛けていません。当社の事業は、気象庁から配信される、気象（風、雨等、大気の状態）、地象（地震や火山活動）、海象（波浪や海流等の現象）の3つの分野にかかわる観測データ、予測データに、NTTデータグループとしての強みであるITを活用して（気象情報とITの連携）、当社独自の付加価値をつけて、XMLファイル、API（Application Programming Interface）等の形式やソリューションとして法人のお客さまに提供するのが主な事業です。特にピンポイントの気象情報サービスに関しては、ニッチな領域ではあるのですが、そこでのトップをめざしています。

◆気象情報の付加価値とはどのようなものでしょうか。

気象情報サービスは、一般的な天気予報とは異なり、気象庁から配信される天気、気温、湿度、降水量、風向・風速、気圧等の観測データ、予測データ等の気象データを加工して提供するサービスです。気象庁から配信されるのは、5～20 km四方の格子の平均値のデータ、1日4回発表される予測データを基にした1時間単位の時系列予報データ、独自の圧縮形式で専門知識を必要とする膨大なデータなどです。これらのデータは専門家に向けたデータであるため、必ずしもお客さまが使いやすいかたちになっているわけではありませんし、そのままお客さまの事業に活用できるわけでもないため、お客さまの利用目的に合うかたちで加工しています。当社では、格子の範囲を1 kmのメッシュに変換補正し、さらにその地点の標高補正、時系列予報データに対してアメダスやレーダーの実測値・実況情報による補正（最短5分単位の補正、1日48回更

ニッチトップへの道 気象情報をお客さまのニーズに合わせて提供する

ビジネスソリューション事業部

システム部長

馬目 常善さん

◆担当されている業務について教えてください。

システムに関して、開発、運用からお客さまへのソリューション開発まですべて担当しています。システムのチームは、風、雨等、大気の状態に関する気象情報、地震や火山活動に関する地象情報、波浪や海流等の現象に関する海象情報の3領域で編成されているのですが、私はその中でも特に気象領域を20年以上にわたり担当しています。



馬目常善さん

気象庁から配信されるデータは格子（メッシュの枠）点ごとの観測値・予報値で、そこに位置、時刻、要素、単位、格子配列等のメタデータが含まれています。それらを1kmメッシュ単位で管理することでお客さまに提供する情報のベースができます。例えば緯度・経度で位置を指定すると、それがどの1kmメッシュに該当するかの対応付けができていますので、瞬時に必要な情報を取り出すことができます。また、1kmメッシュ相互間のデータの差分をスムーズにする補正も行っています（特許取得）。そして、情報の鮮度が重要であり、30分に1回（情報によっては5分に1回）更新しています。

これをお客さまが使いやすい形式で提供するために、APIに力を入れています。このAPIによる情報提供はまさにNTTデータグループの得意とするITの活用であり、2012年から当社が業界の先駆けとなって提供しております。その後、世界の天気、特別警報・警報・注意報、降水ナウキャスト等、APIで扱う情報の種別も増やしてきています。最近でこそ、他社も例えば雨雲が動くような情報をWebサイト等で提供していますが、当社のAPIでは緯度経度で指定された1kmメッシュに該当する時系列データを瞬時に提供することができます。ピンポイント地点の予測データや過去データをシステムに取り込んで活用するお客さまにはご好評をいただいております。

気象データを扱いやすい素材にして提供すること。これが1つの強みとなっています。

もちろん、APIを業務に活用できないお客さまには、ご

要件を確認して、ASPなどのソリューション開発も行っています（図4）。

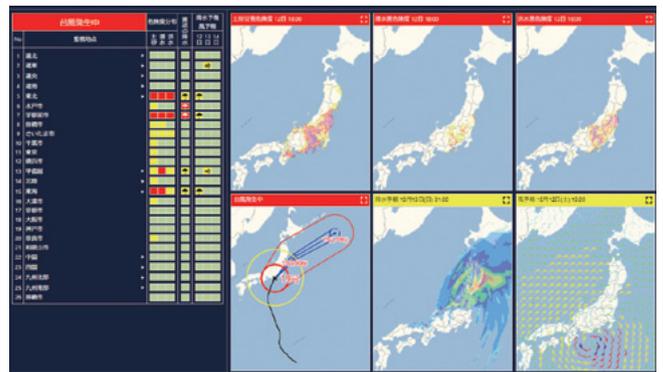


図4 実績あるソリューションを統合した気象災害リスクの可視化サービス

お客さまの業務に合わせて気象条件やしきい値等を決め、アラートを出力するプログラム開発は得意技の1つです。

◆ご苦労されている点を伺えますか。

気象情報をお客さまのニーズに合わせて提供することは難しい課題の1つですが、当社の腕の見せ所でもあります。と言うのも、気象庁から発表される情報の粒度、タイミング、予報の期間などは、必ずしもお客さまのニーズとは一致しないからです。

大雨警報などの警報注意報は自治体単位に出され、最近運用の始まった危険度分布情報は1kmメッシュで表現されている一方で、お客さまのニーズはピンポイントのほか、例えば管轄エリアや路線上の情報を必要としており、必ずしも気象庁が発表する情報の単位と一致しないため、お客さまを軸に考えた提供をする工夫が必要となります。

当社は気象庁の各種情報を活用し、日本全国にわたってお客さまのニーズに合わせた情報提供が可能であるため、NTTの災害対策関連のチームからも注目されています。通信ネットワークは社会インフラなので、身の引き締まる思いです。

◆今後の展望について教えてください。

データの鮮度と活用ノウハウは当社の強みであり、ニッチトップをめざすうえで、これらをさらに向上させていく

ことが重要だと考えています。そこで、これらについて現状の環境においてお客さまにご満足いただける情報提供ができるよう、システムの強化を進めていきたいと思ひます。現在のところは、まだまだ100点といえるレベルではありません。例えば2～3年前に気象庁がスーパーコンピュータを更改した結果、それまで台風進路予想が3日先までだったものが5日先になったように、気象庁の取り組みが変わることで当社が対応しなければならないことも増えていきます。こうしたことはこれから先も繰り返されていく

ので、しっかりと対応を続けていきます。一方で、IT技術の進化も目まぐるしい昨今、環境の変化や世の中のニーズの多様化などをタイムリーにキャッチアップできるよう、準備していきたいと思ひます。

ハレックス ア・ラ・カルト

■気象予報士の朝礼

毎朝9:30から、朝礼の代わりに気象予報士による気象会報を行っているそうです(写真1)。当番の予報士が、当日や今後の気象について解説をするのですが、そこは専門家の集まり。解説に対して異論が出てきたり、指導が入ったり、朝から議論白熱、ということもしばしばあるとのこと。予報士ではない社員ははじめのうちはこれに面食らうのですが、勉強になることも多いそうで、これをきっかけに気象予報士をめざす人も出てくるかもしれません。以前は職場の一角に集まって実施していましたが、現在はオンラインで行っています。

■物産展 ツマミはクイズ?

年に2、3回関係会社や取引先等を招待して物産展(写真2)を開催するそうです(現在は新型コロナウイルス感染対策で休止中)。NTTグループの会社のいくつかもやっている物産展同様、社員が帰省や旅行等で地方へ行ったときに買った土産物を持ち寄るのですが、地方に帰省等をする人が少ないので、物産品が集まりづらいとのこと。そこで、気象予報士にクイズを出してもらおう企画を始めたところ、話題豊富でネタが尽きることなく、大いに盛り上がるそうです(写真3)。

■社長席はひな壇

社長席が社長室から飛び出て社員と同じフロアに移りました。ただし、ひな壇の上なのです(写真4)。このひな壇、役員が着席中に社員と会話する際に、視線の高さを合わせることを目的に以前からつくられていたそうです。社員の顔を一望できる場所を求めて社長室から出てきたとのことなのですが、ステージの上で仕事をしているような雰囲気、少し戸惑いもあるそうです。主のいなくなった社長室は打合せ室として使っているとのことですが、一部の社員が社長室であたかも社長のように仕事している、という声もチラホラあるようです。

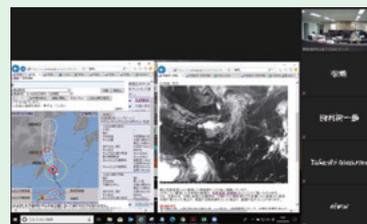


写真1 ビデオ会議による気象会報の様様



写真2

写真3



写真4 五反田オフィスのひな壇

2025年の崖を乗り越えるための レガシーデジタルインテグレーション

NTTデータでは技術オフリングの1つとして、「DXを阻むさまざまな課題を適切に紐解き、優先度をつけて段階的に解決していく」ためのソリューション「Legacy Digital Integration[®]」（レガシーデジタルインテグレーション）を提唱しています。この「Legacy Digital Integration[®]」のコンセプトやポイントについて、デジタル時代の現状とともに紹介します。

デジタル時代に対応するために

NTTデータはこれまで、TERASOLUNAや統合開発クラウドによる生産性向上、大規模Agileによるビジネス拡大を推進してきました。しかし、①お客さまニーズが超上流における技術力にシフトしていること、②IT業界における技術が急速に進化・多様化していること、③前述の①②を支える人財・体制の確保が難しくなっていること等により、既存の方法論やツール等によるアプローチだけでは対応が難しい状況となっています。

この状況に対応するべく、NTTデータでは“コンサルティングからデリバリまで”幅広いお客さまニーズに一气通貫でこたえ、提案・提供が可能な仕組みを整えました（図1）。方法論やツールといった道具をそろえるのみならず、お客さまニーズと当社の技術的な強みを踏まえた17の「技術オフリング」を整備し（図2）、これらを含めた幅広い知

識を持つ「デジタルテクノロジーディレクター[®]（DTD）」が各種技術を適切にコーディネートし、お客さまのビジョン実現に向けたロードマップとして提案を行います。

ここでは、この「技術オフリング」の1つである「Legacy Digital Integration[®]」（レガシーデジタルインテグレーション）について紹介します。

■「2025年の崖」を乗り越えるカギ

さて、2018年に経済産業省より『DXレポート*』が発行されてから、早いものですでに2年以上が経過しました⁽¹⁾。ビジネス競争力の維持・強化のため、あらゆる産業分野においてデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進が求められていることは、多くの経営者にとってもはや共

* DXレポート：経済産業省が2018年に発行した「DX（デジタルトランスフォーメーション）レポート～ITシステム「2025年の崖」の克服とDXの本格的な展開～」。

⁽¹⁾ 2025年目途にDXを実現しなければ、年間最大12兆円（現在の約3倍）の経済損失が生じる可能性があるかと警告しています。

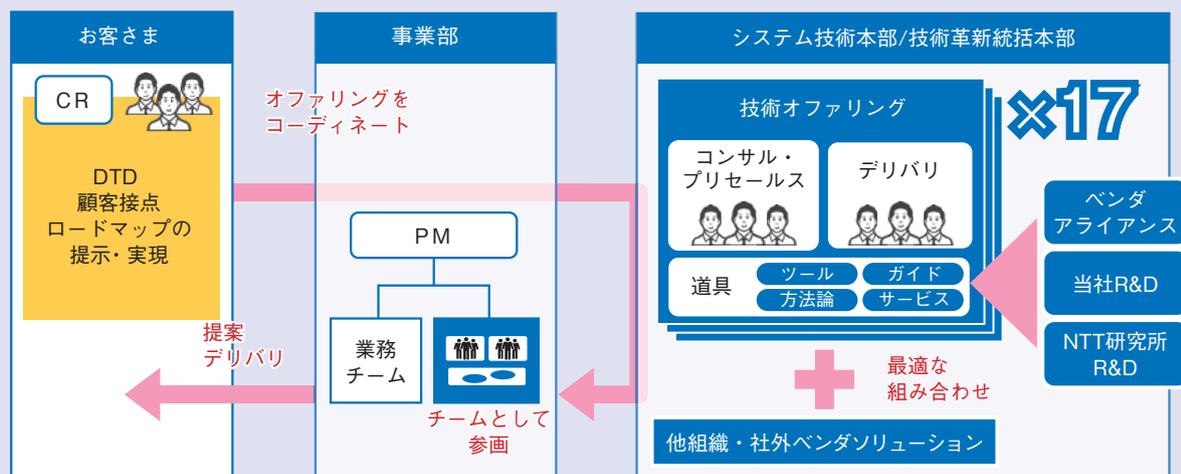


図1 DTD × 技術オフリングの全体像

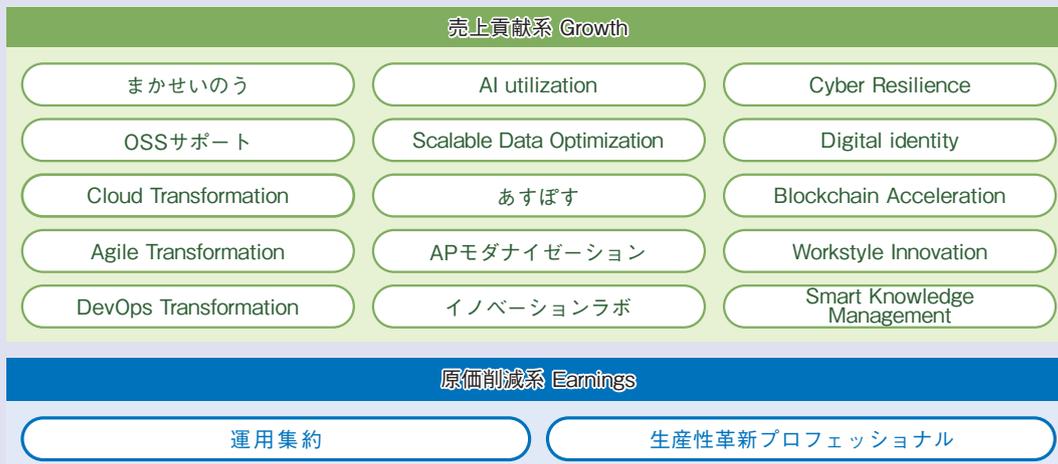


図2 17の技術オフリング

通認識であるといっても良いでしょう。経済産業省からはレポートによる問題提起のほか、実際にDXに取り組むための施策として『DX推進ガイドライン』『DX推進指標』も公表され、経営者が現状を認識しDXに取り組むアクションを起こすことが強く促されてきました。実際に、現状への危機感を具体的なビジネス課題に昇華し、変革のロードマップを描くべく具体的なアクションへ移るお客さまがこの2年間で増えてきています。

しかしSierとしては、この2年間思ったようにDXに取り組めず、危機感を抱いたまま足踏みをしてしまっている企業が少なくないことも感じています。これらの企業でDXを阻んでいるものは一体何であるのかを考えるにあたり、ここで改めて『DXレポート』における問題提起を振り返ってみましょう。この報告書では“DXに取り組まず放置してしまうと「2025年の崖」に落ちる”，つまり大きな経済損失を生む状態に陥るとして警鐘が鳴らされました。具体的には、2025年までにDXを実行できない場合のシナリオとして、ビジネスにおける競争に敗れるだけでなく莫大な技術的負債を抱える可能性が示されています。そして“DXの足かせとなるのはレガシー化した既存システムである”とし、これを取り除くため積極的にシステム刷新に取り組むことが推奨されました。

DXをめざす企業にとっては、ビジネス戦略を迅速かつ柔軟に顧客や市場の変化に対応させていくことが必須であり、これを実現できるITシステムへと刷新していく必要があります。しかし、長年利用されてきた既存システムは肥大化・ブラックボックス化などの“手を付け難い”要因

を数多く抱えていることがほとんどであり、思い描く理想の姿に一足飛びに生まれ変わるには非常に困難な状況だと言わざるを得ません。このことを踏まえれば、前述した「DXに取り組めない企業」の大多数が既存システムに手を焼いているであろうことは容易に想像がつかます。

つまり、「2025年の崖」を乗り越えるには、「既存システムをどう攻略するか」がキーポイントになるといっても過言ではないでしょう。では、解決すべき課題が山積している既存システムを前にして、どのようなアプローチが採れるのでしょうか。この答えとしてNTTデータが提唱しているのが「Legacy Digital Integration[®]」です。

■NTTデータのDXアプローチ

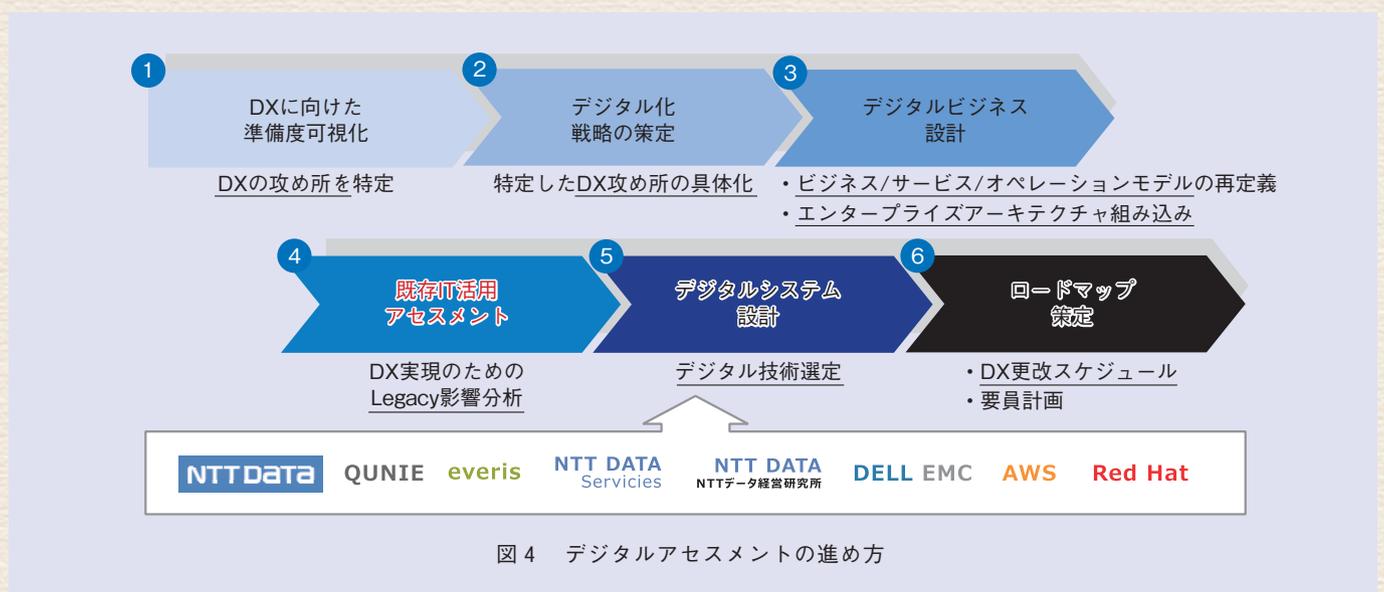
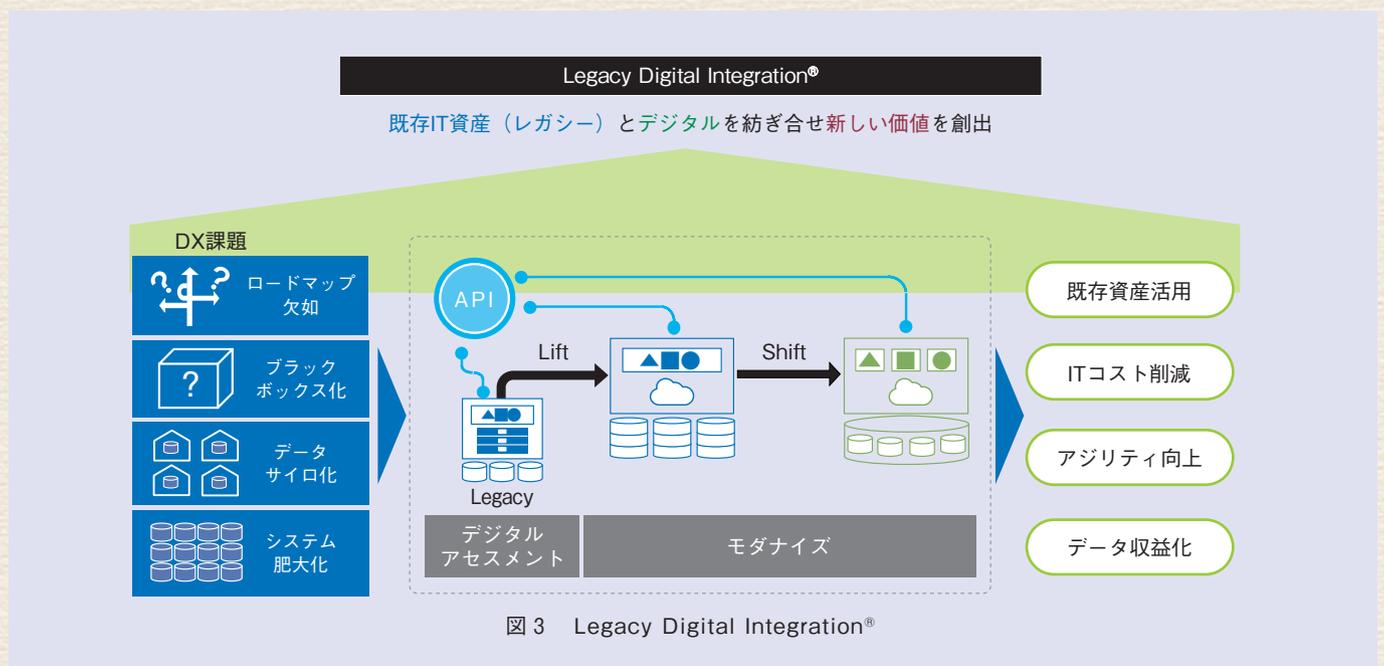
「Legacy Digital Integration[®]」は、DXを阻むさまざまな課題を適切に紐解き、優先度をつけて段階的に解決していくための“実践的な”アプローチです(図3)。上流の「Step1: デジタルアセスメント」でDXロードマップを描き、下流の「Step2: モダナイズ」でそれを実行する2段階の構成となっていますが、ここでより重要なのは「Step1: デジタルアセスメント」において“絵にかいた餅”ではない、実現性のある道筋をつけることです。

DXに取り組むにあたっては、ビジネス戦略とIT施策を融合させたロードマップが欠かせません。「Step1: デジタルアセスメント」では、この必要不可欠なロードマップを描くべく、現状把握と課題整理を行い、今後進むべき方向性と優先順位を定めていきます(図4)。ここでのポイントは、ビジネス・ITの両観点でアセスメントを行うことにあります。これまでのシステム刷新とは異なり、DX後

のめざす姿を定めるためにはビジネス観点が必須です。「既存システムの現状、レガシー化課題」を整理するのみでは不十分であり、これに「ビジネスニーズに基づくシステムへの要求事項」を合わせることで、初めてDX後のシステムの姿を描くことが可能になります。

また、デジタルアセスメントにはもう1つ重要な役割があります。それは、DXを「企業全体の取り組み」として始めるためのファクトをそろえることです。ビジネス観

が欠かせないDXにおいては、これまでのシステム刷新のようにIT部門のみで取り組むことは不可能であり、経営層の承認はもちろんビジネス部門の協力も得る必要があります。そのためには、課題を放置するリスクや早期に対策するメリットについて、定量的な指標（具体的な数値）や事実で示すことが非常に効果的です。こういった観点からみても、企画段階においてビジネス・ITの両面からアセスメントを実施しておくことは重要といえます。



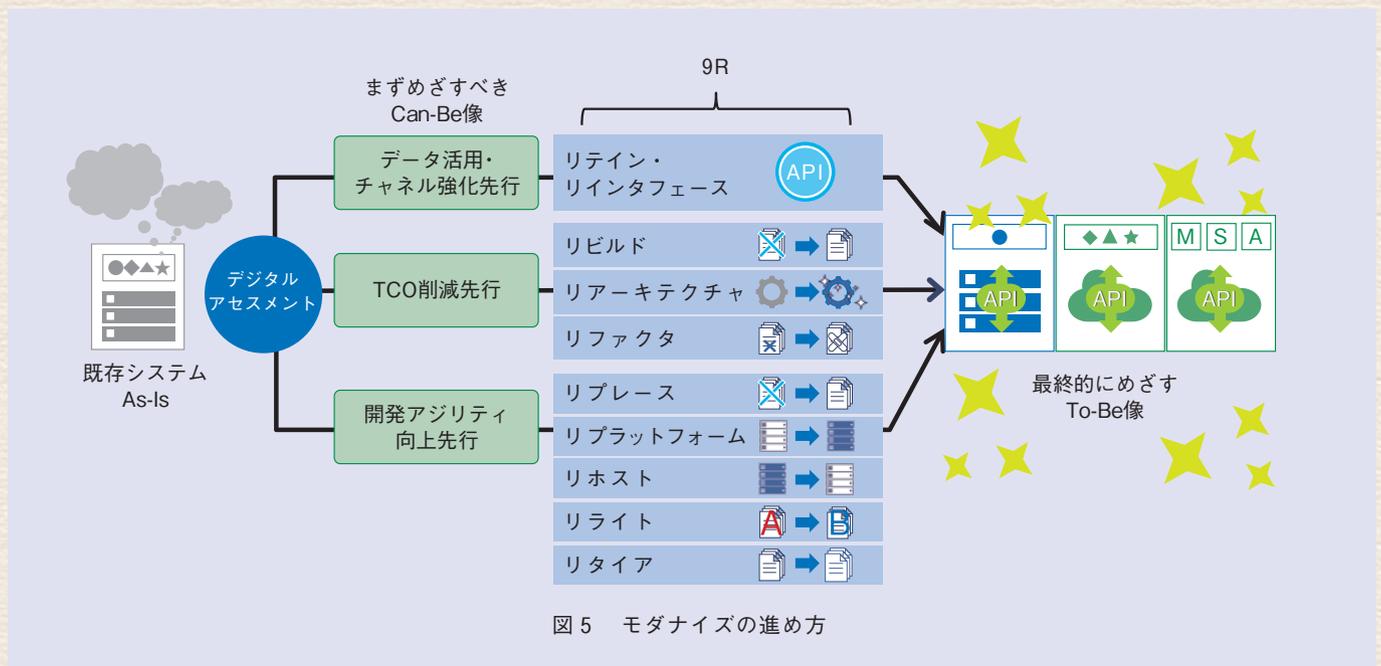


図5 モダナイズの進め方

「Step2：モダナイズ」では、デジタルアセスメントで描いたロードマップに合わせ、適切な手法を選択しながらめざす姿を段階的に実現していきます（図5）。NTTデータでは、実現のためのモダナイズ手法を“9つの「R」（9R：ナインアール）”としてパターン化しており、システム課題や制約を踏まえた“Can-Be”にマッチする最適な手法を選択・組み合わせることで、現実的なジャーニーとして実行していきます。

手法適用の一例を挙げると、外部プラットフォームとの連携強化を重要視する方針であれば、既存システムに極力変更を加えず外部向けのコネクタを提供する手法（＝リテイン・リインタフェース）が候補となります。開発アジリティを向上させることを最優先とするのであれば、まず既存の最適化（＝リファクタ）に取り組むか、クラウド・外部システムへの切り出し手法（＝リアーキテクチャ）が選択肢となり得るでしょう。

お客さまはそれぞれ異なるビジネス戦略を持ち、抱えるシステム課題も異なります。それらを踏まえて描くDXロードマップも当然、千差万別ものとなります。そのため、この「Legacy Digital Integration®」により、お客さまの現状とニーズを見極め、実際に取り組むことのできる現実的な道筋を描いたうえで着実に実行していくことこそが重要となるのです。

■DXは“終わりのない長い旅”

私たちは、DXを“終わりのない長い旅のようなもの”

ととらえています。「既存システムは捨てて新しく作り直す」ディスラプティブ（破壊的）なアプローチや、すべての課題を1回で解決するビックバンアプローチで取り組むのではなく、常に変化していく状況に合わせて段階的に進めていくことが重要です。そして、これまで述べてきたように「Legacy Digital Integration®」はその長い道のりの標になるものと考えています。

DX全盛のデジタル時代において、Slerのシステム刷新への取り組み方にも変化が求められています。しかし、お客さまに寄り添いその時点における最善を提案する姿勢については、これまでと何ら変わることはないかと私たちは考えています。これからも長い旅をお客さまとともに歩み、DXを成功させるお手伝いを続けていきます。

■参考文献

- (1) https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/digital_transformation/20180907_report.html
- (2) https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/dx/dx.html

◆問い合わせ先

NTTデータ

技術革新統括本部 システム技術本部 デジタル技術部

インテグレーション技術センター

TEL 050-5546-2482

E-mail integ-legadigi@kits.nttdata.co.jp



10G-EPON ONUのソフトウェア対策技術

NTTアクセスサービスシステム研究所

きた りょうた /伊藤 健太 /名越 遥 /森嶋 俊 /鳥津 聡志 /吉田 智暁

NTTアクセスサービスシステム研究所では、新たに10G-EPON ONUに搭載するソフトウェア対策技術を開発しました。この技術は、ONUがソフトウェアを検出し、自律的な電源OFF/ONによって再起動を行うものです。本機能により、ONUのソフトウェア故障によるユーザからの問合せと、通信事業者の故障対応に要する稼働の削減が見込まれます。

10G-EPONシステムの概要

PON (Passive Optical Network) システムは、1心の光ファイバの光信号を光スプリッタを用いて分岐させ、複数のユーザで共用するFTTH (Fiber To The Home) の光アクセスシステムです。10G-EPON (10 Gigabit-Ethernet PON) システムは、伝送速度が最大10 Gbit/sのPONシステムです。本システムは通信事業者の局舎に設置するOLT (Optical Line Terminal : 光

加入者線端局装置)、ユーザ宅内に設置するONU (Optical Network Unit : 光加入者線終端装置)、光スプリッタ、それらを結ぶ光ファイバのネットワークから構成されています (図1, 2)。

ONUにおけるソフトウェア

ソフトウェアとは、電氣的ノイズによってメモリがビット反転する事象です。ソフトウェアによる故障 (ソフトウェア故障) は、半導体デバイスの再起動やデータの上書きによって回復可能です⁽¹⁾。ソフトウェアは、宇宙線 (高エネルギーの陽子など) が主たる発生原

因です。宇宙線が窒素や酸素などの原子核と衝突し中性子線を発生させ、次にその中性子線が装置内の半導体デバイス内のシリコン原子核と衝突を起こすことで電氣的ノイズを発生させます (図3)。

ONUにソフトウェア故障が発生すると、通信断を引き起こすことがあります。ソフトウェア故障の一例をあげると、半導体デバイス内に生じる電氣的ノイズによりPON-MAC (Media Access Control) 処理部内の揮発メモリ (RAM: Random Access Memory) に展開された、主信号経路を制御する機能部に

※ 現、NTT西日本

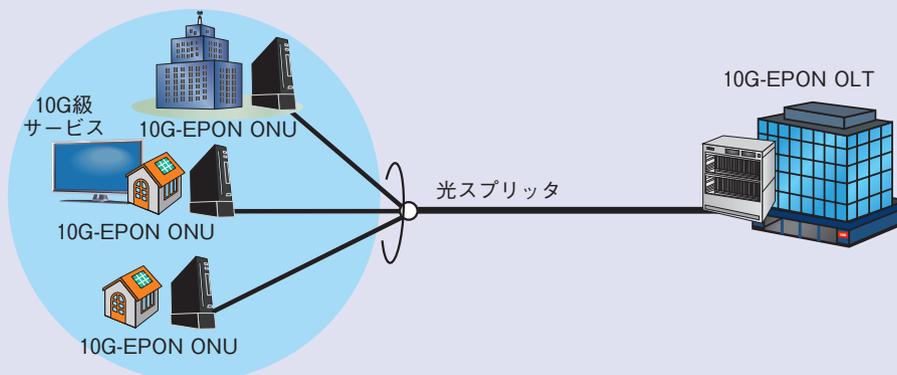


図1 10G-EPONシステム

てビット反転が発生し、主信号の導通が全く行われなくなり、通信断を伴う故障となります。この場合、ONUの電源OFF/ONによる再起動を行うことで、RAM内の情報をいったん削除し不揮発メモリ（ROM: Read Only Memory）よりプログラムの再読込を行い、故障



図2 10G-EPON ONU

を回復させることができます。このようなソフトウェア故障が発生した際は、ユーザ宅でのONUの電源OFF/ONによる再起動が必要となります。

一般的にソフトウェアは半導体デバイス内の微細な個所で発生することから故障の切り分けや特定が難しく、一方で電源OFF/ONで回復することもあり、面的かつ数多く配置・展開されるONUにおいてはソフトウェア故障の対応稼働の効率化が重要です。また、ソフトウェアは、10 Gbit/s級の高速通信に利用する微細化された半導体デバイスでは、メモリセルが保持する電荷量が減少することで、中性子線の影響を受けやすくなります。そのため、ソフトウェアの発生率が高くなり、故障対応の機会が増加すると想定されます。

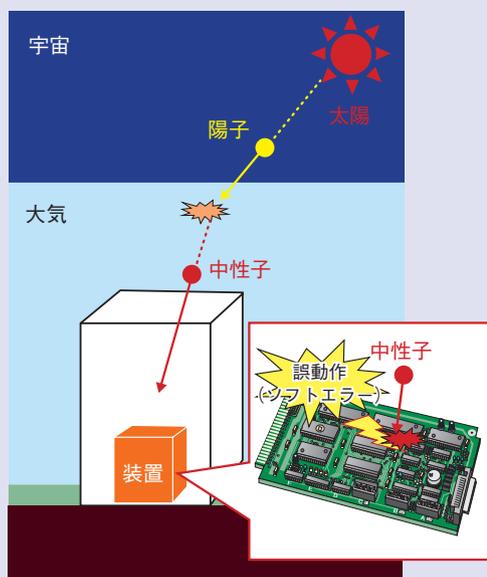
ソフトウェア対策におけるエラー訂正として、①ハードウェアによる自律訂正、②装置制御プログラムによる自律

訂正、③保守者操作による訂正があります⁽²⁾。①ハードウェアによる自律訂正は、ECC (Error Check Code) 訂正などの機能を持つ部品で構成します。②装置制御プログラムによる自律訂正には、装置リセットやデバイスリセットなどの方法があります。装置リセットは電源OFF/ONによる再起動と変わらず、特殊な制御を伴わずに実現できます。デバイスリセットは対象デバイス(部品)のみリセットするため、訂正時間は短縮しますが、周辺回路との状態整合に連携が必要で、複雑な制御となります。③保守者操作による訂正は、保守者による遠隔制御リセットやユーザへの電源OFF/ON指示などの方法があります。訂正までの時間がかかり、通信事業者の故障対応の稼働が必要となります。

そこで、10G-EPON ONUでは、②の装置リセットに相当する、ONU自身がソフトウェアを検出し、自律的に電源OFF/ONによる再起動を行う機能（自律リセット機能）を開発しました。この機能は、①ハードウェアによる自律訂正、および②のデバイスリセットに比べ、経済的で簡易にソフトウェア対策を実現でき、③保守者操作による訂正で生じていた故障対応の稼働を削減します。

ソフトウェア検出と自律リセット対象の分類

ONUの機能ブロックを図4に示します。ユーザ機器等と接続されるUNI (User Network Interface) から入力された上り信号をPHY (PHYSICAL layer) で受信、PON-MAC処理部で優先制御や転送処理をし、暗号部・FEC (Forward Error Correction) 部でこれら機能が有効設定であれば、それぞれ信号の暗号化、誤り訂正符号の付与



※出典：https://www.ntt.co.jp/news2013/1303/130321a_1.htmより作成。

図3 ソフトエラー発生のメカニズム（イメージ）

をして、光モジュールからOLTへ送信します。また、OLTのPONインタフェースから入力された下り信号を光モジュールで受信し、FEC部で誤り訂正、暗号処理部で復号し、PON-MAC処理部で優先制御や転送処理を行い、PHYからユーザ機器等へ送信します。

ソフトエラー検出として、まず前述の上下信号が通る主信号経路の各機能ブロックのRAMのフレームバッファ領域にてエラー検出を行います。検出されるソフトエラーの多くは、フレームバッファ領域内の単一フレームのビット化けであり、検出後廃棄され、通信にほとんど影響を与えません。しかし、まれにPHY、PON-MAC処理部、暗号部とFEC部のフレームバッファ領域にて、同種のソフトエラーが継続して検出される場合があります。この場合は、ソフトエラーが複数フレームで継続的に発生していることから、ONU内の主信号の導通に問題が発生していると想定されるため、ソフトエラー故障と判断し、自律リセット機能の動作対象としました。

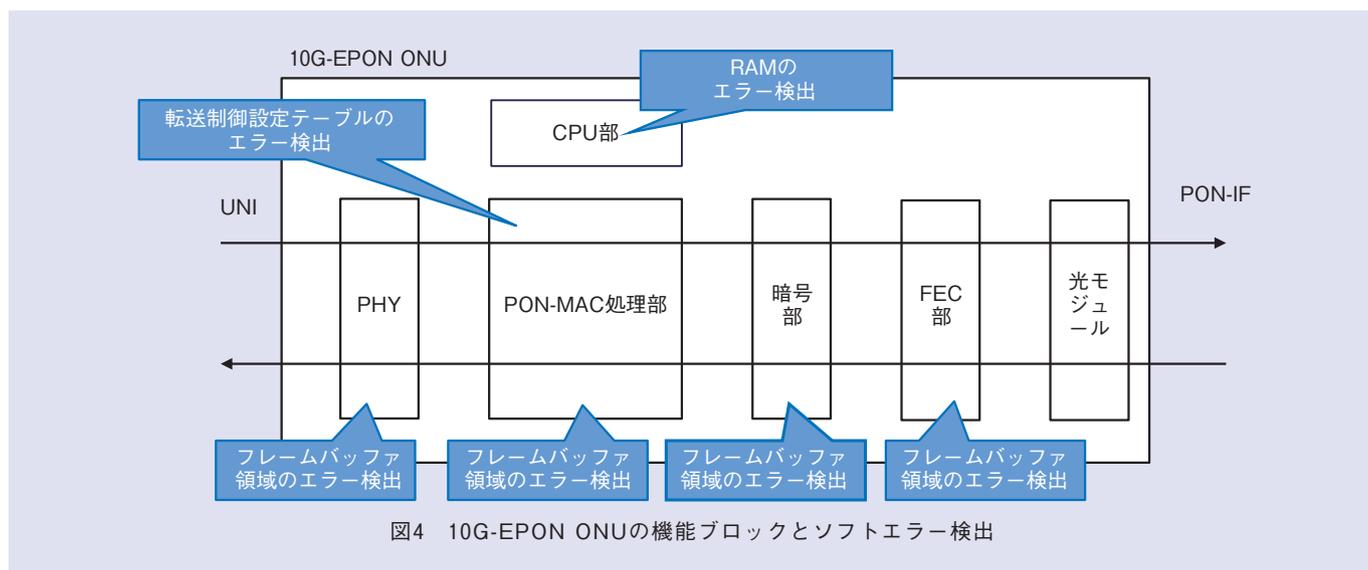
またCPU (Central Processing Unit) 部のRAMとPON-MAC部のRAMの優先制御や転送処理に関する設定値格納領域 (転送制御設定テーブル) でもエラー検出を行います。CPU部のRAMでソフトエラーが検出された場合、CPUの処理が異常となっていると推定されます。PON-MAC処理部の転送制御設定テーブルでソフトエラーが検出された場合も、OLTへの主信号転送に問題が発生していると推定されます。よって、共に上記と同様にソフトエラー故障と判断し、自律リセット機能の動作対象としました。

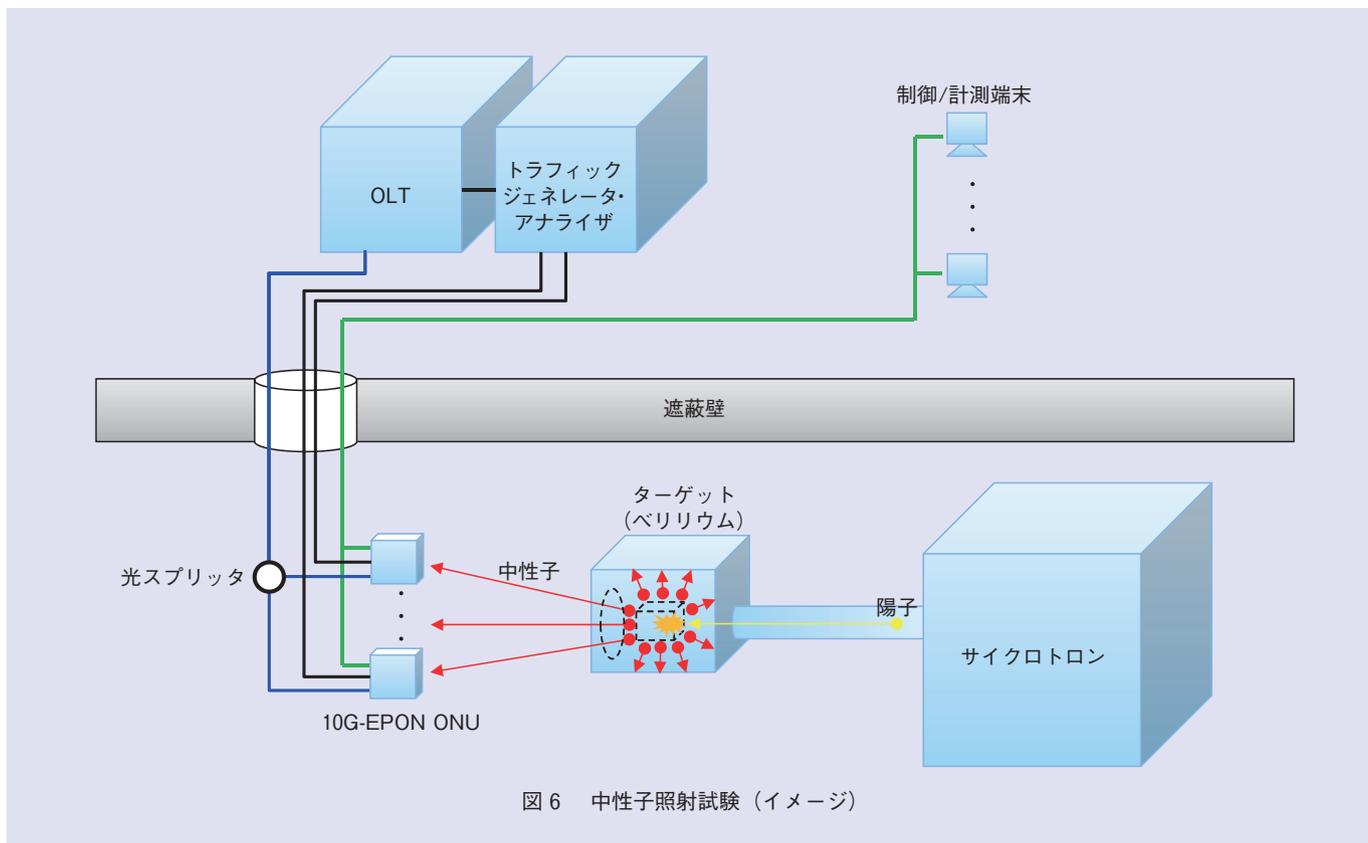
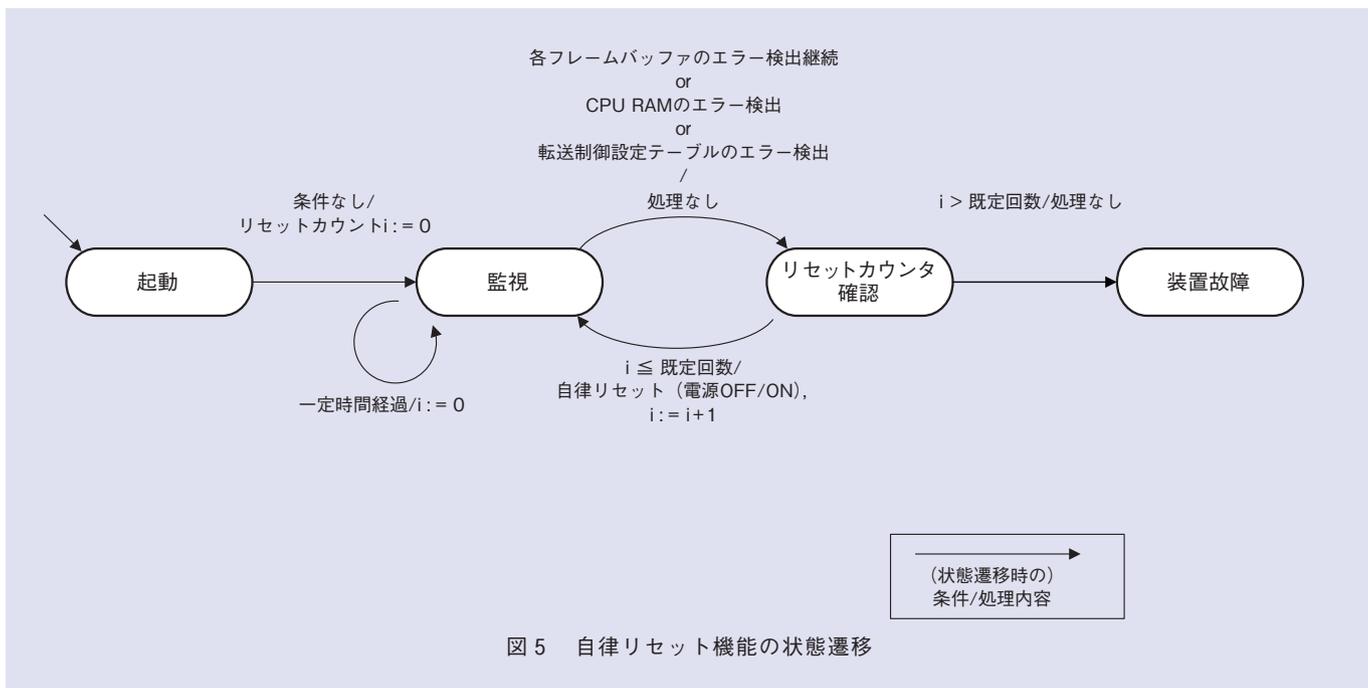
ソフトエラー対策としての自律リセット機能

自律リセット機能の遷移フローは、**図5**のようになります。中性子線により半導体デバイスが影響を受ける事象は、ソフトエラーのほか、物理欠陥があります。物理欠陥は、中性子線の影響により物理的に半導体デバイスが劣化し誤作動する事象であり、物理欠陥による故障 (物理欠陥故障) は、半導体デバイスの再起動やデータの上書き

では回復しません。自律リセット機能は、一部の物理欠陥が発生した場合に、ソフトエラーと区別がつかず、自律リセット実施後もエラーが継続し、電源OFF/ONを繰り返してしまう懸念があります。

そこで、リセット回数を記憶し、リセット回数が一定時間内に規定回数を超過した際に、物理欠陥故障と判断し、自律リセットを行わずONUの通信機能を停止 (装置故障状態) する機構を実装しました。具体的には、ONUにリセット回数を記録するリセットカウンタを設けました。ONU起動後、リセットカウンタは0回でスタートし、自律リセットが発生した際にその回数が加算されます。自律リセットが繰り返し発生した場合、リセットカウンタが増加し、規定回数を超えた状態でソフトエラー等を検出すると、装置故障状態へ遷移します。これにより物理欠陥故障が原因の自律リセットの繰り返しを防止し、ソフトエラー故障と物理欠陥故障の切り分けを可能とします。





中性子照射線試験による効果の確認

ソフトエラーを再現させる方法は中性子照射試験が一般的です。今回、開発したソフトエラー対策の効果を測定するために、10G-EPON ONUに対しTTC標準 JT-K130^③に準拠したNTTアドバンステクノロジーが提供している中性子照射試験サービス^④を用い、自律リセットの効果を測定しました。

中性子照射試験では、自然界での発生頻度が極めて低いソフトエラーを再現するために、サイクロトロン陽子加速器により加速させた陽子をターゲット（ベリリウム）に照射することで中性子線を発生させ、評価対象である複数台の10G-EPON ONUへ照射しました。本試験では、自然界時間に対し最大で約1億倍に相当する中性子強度の加速試験を実現しました（図6）。

照射中の10G-EPON ONUへはOLTおよびトラフィックジェネレータ・アナライザを用いて主信号を導通させました。また試験中は中性子線の影響によりログファイルが破壊される可能性を考慮し、10G-EPON ONU内部のログをリアルタイムで収集し、自律リセットを漏れなく計測しました。本試験を通じ、10G-EPON ONUを平均して約11万年間/台、自然環境で中性子線にさらしたのと同様の試験結果を得ました。中性子を照射することで、ソフトエラー等を平均1151回/台検出し、そのうちフレームバッファ領域における自律リセット対象ではないエラー検出を1104回/台、自律リセットによる故障回復を46回/台確認しました。

自律リセット機能が想定どおりに機能したことにより、ユーザが利用中の

ONUにてソフトエラー故障が同様に発生した際も、ONUが自律的に回復し、ソフトエラー対策として効果があると確認できました。1000万台展開されると想定した場合、1年間で約4200回分の故障対応の稼働削減が見込まれます。

今後の予定

10G-EPON ONUにて増加が見込まれるソフトエラーに対する対策技術の開発を行いました。本技術により、ONUの故障削減に貢献し、ユーザおよび通信事業者の故障対応に要する稼働の削減に貢献することが可能となります。今後、他のONUへの本技術の展開を検討していきます。

■参考文献

- (1) TTC標準 JT-K124: “通信装置の粒子放射線影響の概要,” 2018.
- (2) TTC標準 JT-K131: “通信装置のソフトエラー対策設計法,” 2019.
- (3) TTC標準 JT-K130: “通信装置の中性子照射試験法,” 2019.
- (4) https://keytech.ntt-at.co.jp/emc/prd_5014.html



(上段左から) 喜多 亮太/ 伊藤 健太/
名越 遥

(下段左から) 森嶋 俊/ 鳥津 聡志/
吉田 智暁

今後も事業会社のニーズを踏まえながら、高品質な光アクセスシステムの研究開発に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
光アクセス基盤プロジェクト
光アクセスシステムグループ
TEL 046-859-4841
FAX 046-859-5513
E-mail kishig-p-ml@hco.ntt.co.jp

情報科学

人間科学

AI

「NTT コミュニケーション科学基礎研究所 オープンハウス 2020」開催報告

かめい こうじ あべかわ なおとし おおくに ともき むらまつ じゅん うえだ ひろし
 亀井 剛次 / 安部川 直稔 / 大國 智樹 / 村松 純 / 上田 大志 /
 さわやま まさたか
 澤山 正貴

NTT コミュニケーション科学基礎研究所

NTT コミュニケーション科学基礎研究所では、最新の研究成果を多くの方々に知っていただくイベントとして、2020年6月4日正午より「オープンハウス2020」をWeb公開しました。ここではその模様を報告します。

オープンハウスの概要

NTT コミュニケーション科学基礎研究所（CS研）は、人と人、あるいは人とコンピュータの間の「ここまで伝わる」コミュニケーションの実現をめざし、時代を先取りした基礎研究に取り組んでいます。その最新成果を「見て、触れて、感じてもらう」イベントとして、例年5月末～6月上旬にNTT京阪奈ビル（京都府精華町）で「NTT コミュニケーション科学基礎研究所 オープンハウス」を開催してまいりました。本年は新型コロナウイルス感染症への対策として、「オープンハウス2020」を実会場でのイベントとして開催することは断念し、当初開催予定であった6月4日正午より最新成果のWeb公開というかたちで開催し、NTTグループ関係者のみなら

ず、各企業や研究機関、大学関係者の方々より、開催後1カ月間で多数のアクセスをいただきました。コンテンツは引き続き公開しています⁽¹⁾。

所長講演

CS研山田武士所長による講演「あなたを・もっと・知りたくて～AIで人に迫り脳科学で人を究める～」ではNTTの発足およびCS研の設立当時を振り返り、現在そして未来につながる基礎研究を紹介しま

した（写真1）。

本講演では、人と人、あるいは人とコンピュータの「ここまで伝わる」コミュニケーションの実現をめざすCS研のミッションとして、人間の能力に迫り、場合によっては凌駕するAI（人工知能）技術をさらに追求するのはもちろんのこと、人間の機能、特性を解明し、人間のことをよく理解すること、そのうえで人間に寄り添う技術の実現をめざすことの重要性を指摘しました。人との接触が大幅に制限され、対面コ

Part1: 音声音響処理で人に迫る (11分29秒)



写真1 所長講演動画の1シーン

コミュニケーションが希薄になりがちな今日の状況において、コミュニケーションにおける心のふれあいの本質を見極めることはなおさら重要な課題といえます。CS研の最新のAI技術を「音声音響処理で人に迫る」「言語で人を究める」「共感と『しあわせ』で人に寄り添う」の3つの観点から紹介したうえで、CS研はこれからもコミュニケーションの本質を追い求め、新たなチャレンジに大胆かつ粘り強く取り組んでいくことを宣言しました。

研究講演

研究講演では、CS研の顕著な研究成果の中から特に注目度の高いテーマに関して、以下の講演を行いました。

- ① 「ご希望の声でコミュニケーション～深層生成モデルが切り拓く音声変換の可能性～」と題した田中宏（メディア情報研究部）による講演では、AI分野で良く耳にする「深層学習」を音声情報に適用し、多様な音声変換を高品質に実現する技術を、多くのデモを交えて紹介しました。CS研では、音声情報をコミュニケーションの重要ツールとしてとらえ、その変換技術では、1) 高品質、2) 少量データの学習で実現可能、3)

リアルタイムに変換可能、4) 声質・韻律・アクセントなど多様な特徴変換が可能、という4点を特に重要な要件と考えています。このような音声変換技術の研究・開発を通じて、発声障がい補助、感情を含めた発話スタイルの変換、語学学習の発音・アクセント変換など、実社会への応用をめざしています(写真2)。

- ② 「知覚心理学で探る皮膚感覚のしくみ～指先の時空間情報処理～」と題した黒木忍（人間情報研究部）による講演では、人が触覚を処理する情報処理について解説しました。人に触覚刺激を呈示して刺激の「タイミングや位置」を答えてもらう心理物理実験を行うと、実際に与えた刺激とは異なる回答結果を得るという不思議な現象が観察されます。脳は物理的な入力刺激を解釈することで錯覚を引き起こしますが、このような現象や錯覚を丁寧に紐解くことで、脳が触覚情報を処理するメカニズムを探っていきます。また、人の視覚情報処理系にヒントを得た手法に基づき、3Dプリンタを用いて触覚刺激をデザインし、実際に生成するなど、先進的な取り組みについても触れ、触覚科学の新しい方向性について説明しました(写真3)。

- ③ 「言葉の難しさを測る～テキストの難易度と人の語彙数の推定～」と題した藤田早苗（協創情報研究部）による講演では、「人の語彙力に関わる語彙数の推定方法」と「テキスト自体の難易度推定方法」を紹介しました。人の語彙数推定は、CS研が20年以上前から調査、作成してきた単語親密度データベースに基づいています。令和に入り、16万語を超える語でデータベースをリニューアル、令和版語彙数テストも作成しました。このテストは実際に体験いただくこともできます⁽²⁾。語彙数推定とテキストの難易度推定を組み合わせることで、個人に適した本を推薦するなどテラーメイド教育支援をめざした取り組みについても紹介しました(写真4)。

いずれの研究講演でも、研究の背景や全体像を述べたうえで、最新の研究成果と技術ポイントを分かりやすい例を交えて紹介しました。

研究展示

研究展示では、「データと学習の科学」「コミュニケーションと計算の科学」「メディアの科学」「人間の科学」の4カテゴリに関する最新成

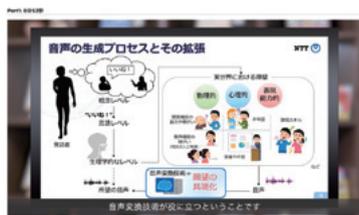


写真2 研究講演
(スライドと紹介写真・田中宏)

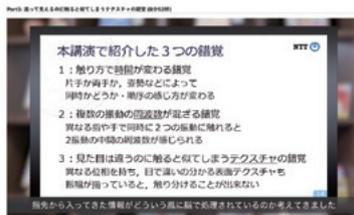


写真3 研究講演
(スライドと紹介写真・黒木忍)

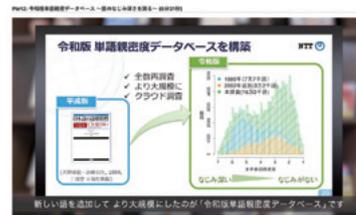


写真4 研究講演
(スライドと紹介写真・藤田早苗)

果31件について、会場での説明に向けたスライドに合わせて音声を録音した展示説明動画を作成し、配信しました（写真5）。説明動画に加えて、Webサイト上での体験デモや、体験型デモの動画など、工夫を凝らしたコンテンツを用意し公開いたしました。以下は、各カテゴリの展示名です。

■データと学習の科学（6件）

- ・WWW上のみんな、オラに力を分けてくれ！
～WWW上のリソースを活用した機械学習用データ作成手法～
- ・システム障害を早期に解決する方法を見つけます
～ニューラルネットを用いた障害復旧コマンドの生成～

- ・都市における空間集約データの
高解像度化
～空間集約データを補間する多変量ガウス過程～
- ・データに適した異常検知器を高速に生成します
～未知データセットのための転移異常検知法～
- ・低い誤検知率で異常を検知
～部分AUC最大化のための半教師あり学習～
- ・そのデータ、本当に偏ってますか？
～決定グラフを用いた組合せ的相関検定～

■コミュニケーションと計算の科学（8件）

- ・みんなが協力せず勝手に急ぐと

どうなる？

～混雑ゲームの均衡計算～

- ・小さな窓から量子世界の全てをコントロール
～量子系の間接的制御が持つ可能性を探る～
- ・少量の追加データで作るカスタム機械翻訳
～汎用対訳コーパスJParaCrawlを用いた機械翻訳の領域適応～
- ・こどもの感情発達レベルを測ります
～表情・文脈・音声テストによる感情発達プロセスの解明～
- ・こどもの興味と発達に合わせて絵本を作ります
～パーソナル知育絵本を用いた親子の絵本読み活動支援の試み～
- ・あなたの語彙数測ります
～令和版語彙数推定テスト～
- ・京町セイカがご案内！
～地域連携で作るなりきりAI～
- ・こんなとき、あの人だったらどう思う？
～人の個性を考慮した体験に紐づく感想生成技術～

■メディアの科学（8件）

- ・この声、何歳？
～話者クラスタリングを用いた深層話者属性推定～
- ・ワイヤレスマイクを同時により多く使えます
～ビット誤りに頑健で低遅延な音声音符号化方式BRAVE～
- ・聞きたい人の声に耳を傾けるコンピュータ（II）
～音声と映像を手がかりとしたマルチモーダル選択的聴取～
- ・顔で声の表情を制御する
～クロスモーダル音声表情変換～
- ・探し方を学びながら探す
～適応的スポットティング法による効率的な物体探索～
- ・データを端末から漏洩させない分散深層学習

写真5 展示Webページ

～分散NW上で機械学習をするための非同期合意形成技術～

・心臓らしい心臓モデル

～物理法則拘束付きガウス過程回帰を用いた心臓のモデル～

・あなたの鼓動に耳を澄ます

～音響観測に基づく血流動態の解析～

■人間の科学（9件）

・ヒト知覚モデルで「自然な」錯覚をつくる

～「不自然さ」予測に基づく「変幻灯」の視覚運動量最適化～

・微小な眼球運動から垣間見る認知状態

～眼球運動の動特性と認知タスク・瞳孔径の関係～

・触ると似てしまうテクスチャ

～3Dプリンタを用いた触り心地を変えないテクスチャ変調～

・情動はいつ変化するのか？どうやって測るのか？

～実験室環境と日常生活における情動変化の計測～

・eスポーツ達人の脳力

～パフォーマンス、身体の生理状態、脳活動の相互関係～

・ラグビースクラムのハーモニーを紡ぐ

～ウェアラブルセンサを用いた選手間協調の簡便な評価～

・ストレートは“まっすぐ”か？

～物理計測と知覚計測からピッチングを捉えなおす～

・巧みで素早い運動を支える脳の中の身体表現

～手の位置推定の不確かさは伸張反射を調節する～

・意識より賢い無意識

～環境に応じた顕在・潜在的視覚運動応答の調節～

招待講演

今年は、東北大学・副学長の犬飼

典子先生にご依頼し、「〈個性〉を科学するためのチャレンジ」と題する寄稿・講演をいただきました。自閉スペクトラム症の方が、芸術や研究の分野などで天才的な技能・業績を残すことがよく知られています。先生の研究グループでは、神経発達障がいの方が示す「非定型発達」を〈個性〉としてとらえ、そのような「非定型さ」に関連する遺伝的・非遺伝的要因を、マウスをモデル動物として用いて研究されています。特に、非遺伝的要因として、父加齢が仔マウスの鳴き声コミュニケーション発達に影響を与えることを発見され、エピゲノム情報の変化に着目した分子メカニズムまで掘り下げた、最先端の研究成果を紹介いただきました。〈個性の科学〉はダイバーシティ社会を支える本質的なテーマです。講演の最後には、「社会の在り方」から「人類の進化」に至るまで、壮大な議論を展開いただきました。

Webによる情報発信

CS研の研究力・技術力の高さを国内外に広くアピールするため、当日の展示パネル資料を日本語と英語の両方でWebサイトに公開することを毎年継続して行っています。本年は展示説明動画を事前に作成し、YouTube上で配信することとし、各ページに埋め込んだコンテンツとして公開しました。講演映像についても同様に事前に作成した動画をYouTube上で公開し、多くの方々にCS研の最新成果を詳しく知っていただく機会を提供しています。

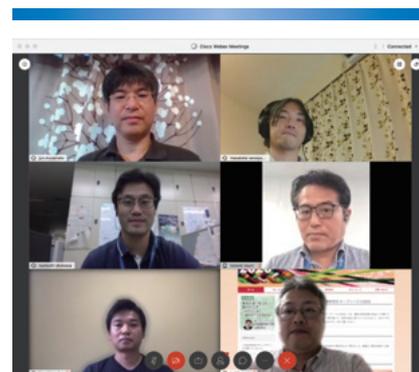
オープンハウスを終えて

2020年のオープンハウスは、研究所会場での開催は断念しましたが、Web公開により、YouTube上での

再生回数は合計1万回を超え、さまざまな方々にCS研の最新成果をご覧いただくことができました。展示会場でご説明できる以上の方々にご覧いただけたことになり、ご意見をいただく方法が、コメント機能やお問合せのメールに限られたため、例年どおりに議論させていただくことは難しかったのですが、開催後も長期間にわたって動画をご覧いただけていることは、大きな刺激となりました。本イベント開催に協力いただきました皆様に、心よりお礼を申し上げます。

■参考文献

- (1) <http://www.kecl.ntt.co.jp/openhouse/2020/>
- (2) <http://www.kecl.ntt.co.jp/icl/lirg/resources/goitokusei/>



(上段左から) 村松 純 / 澤山 正貴
(中段左から) 安部川 直稔 / 大國 智樹
(下段左から) 上田 大志 / 亀井 剛次

今後ともCS研の研究にご注目ください。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
企画担当
TEL 0774-93-5020
FAX 0774-93-5026
E-mail cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp



3GPPにおけるIP相互接続仕様の標準化動向

えいとく

永徳 はるか

NTTネットワークサービスシステム研究所

VoIP (Voice over IP) による電話サービスの普及に伴い、NTTではPSTN (Public Switched Telephone Network) マイグレーション/IP相互接続の実現に向けた標準化活動を行ってきました。この活動の集大成として、2021年からいよいよ国内でのIP相互接続開始が予定されています。ここでは、PSTNマイグレーション/IP相互接続の解説に始まり、IP相互接続仕様に関する国内外の標準化動向とそれに対するNTTの取り組みを紹介します。

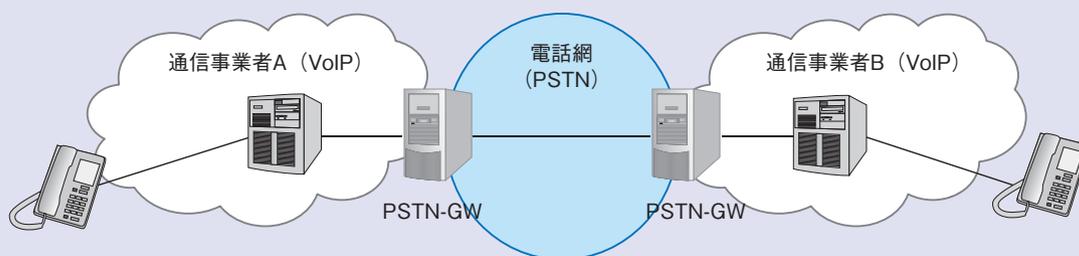
IP相互接続

これまでの電話サービスにおいて、異なるキャリアに契約を持つユーザー同士が通話するためには、PSTN (Public Switched Telephone Network) と呼ばれる従来の回線交換網を用いて通信を行う形態が一般的でした。しかし、固定網におけるNGN (Next Generation Network) や移動網におけるVoLTE (Voice over LTE) 等のIPベースの電話サービスの普及や、PSTNを構成する一部装置の維持限界等を背景として、

PSTNを介さずにキャリアのIP電話網どうしが相互に接続 (IP相互接続) する形態へと移行 (マイグレーション) していくことが計画されています (図1)。

これまでの接続形態では信号の中継に関する機能をPSTNに期待しており、PSTNではISUP (ISDN User Part) というプロトコルを用いてこの機能を実現していました。一方で、IP相互接続時には各社のIP電話網どうしがSIP (Session Initiation Protocol) と呼ばれるプロトコルを用いることでIP相互接続を実現していくこととなります。このプロトコルの変化に伴う事業

(a) 従来の事業者間接続形態



(b) IP相互接続時の事業者間接続形態

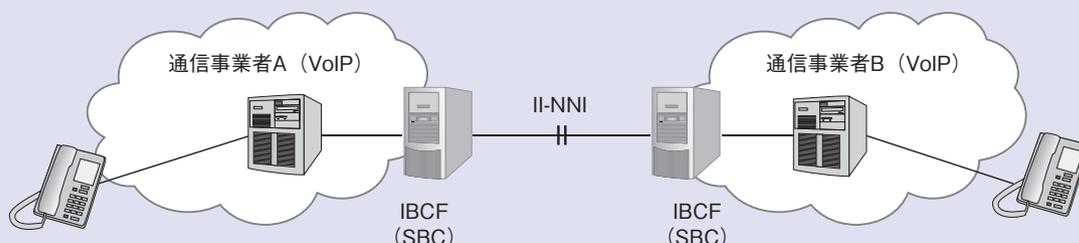


図1 VoIPサービスにおける事業者間接続形態



者網間SIP共通インタフェース仕様の新規策定が、IP相互接続に向けた大きな課題であり、NTTネットワークサービスシステム研究所（NS研）では、国内外での標準化活動を通じて取り組んできました。

IP相互接続に関する標準化団体

NGNなどのIP電話網では、通信の確立や切断などのセッション制御を行うためのプロトコルとして、SIPを利用しています。このプロトコルの基本仕様は、インターネットで利用される技術の標準化を行う団体であるIETF (Internet Engineering Task Force) のRFC3261というドキュメントにおいて規定されています。しかし、SIPにはRFC3261で規定される基本仕様以外にもさまざまな拡張仕様が存在しており、SIPに関連するRFCのガイド (RFC5411) によると、2009年の時点ですでに100以上のドキュメントが規定されています。通信キャリアがVoIPサービスを提供するためには、各社のサービスを実現するうえで必要となるさまざまな技術仕様をこれらのRFCの中から取捨選択しなければなりません。そこで、ETSI (European Telecommunications Standards Institute) のTISPAN (Telecoms and Internet converged Services and Protocols for Advanced Network) やITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication

Standardization Sector), 3GPP (3rd Generation Partnership Project) などの標準化団体では、サービス・アーキテクチャ・プロトコルといった、通信キャリアがサービスを提供するために必要なルール (国際標準仕様) の議論と策定を行ってきました。そして、現在は3GPPのIMS (IP Multimedia Subsystem) がSIPを用いるキャリア網の国際標準になっています。

3GPP標準化最新動向

3GPPとは、移動体通信事業者やベンダを主体に活動している国際標準化団体であり、第3世代以降の移動体通信 (3G, 4G, IMSなど) に関する標準化を行っており、移動体網は、この3GPP仕様に基づいて実装を行っています。

現在、3GPPでは5Gに関連する技術仕様の検討が盛んに行われています。3GPPにおける検討は「リリース」という単位で行われていますが、5G仕様については、リリース15で基本仕様、リリース16で全体仕様の完成を目標として進められ、リリース17ではさらなる機能拡張が検討されています。一言に5Gといっても、技術的には5Gアクセス無線と5Gコア網に区分されており、IMSはこのうちの5Gコア網との接続が主に検討されています。これまで、IMSはDiameterというプロトコルを用いて4Gコア網と接続してきましたが、まず、リリース15ではIMSと5Gコア網間のDiameterによ

る接続が4Gコア網と同様に可能になり、リリース16ではクラウド化などの技術トレンドを取り入れてHTTPによる接続も可能になりました。今後、リリース17では、IMSによる5Gコア網の特有機能 (ネットワークスライスやモバイルエッジコンピューティングなど) の活用方法について検討が行われます。また、5G関連以外に、IMSの新規付加サービスに関する検討も継続して行われています。例えば、認証を受けていない端末が特定のサービスに限り利用できるようにするサービス (RLOS) や、ユーザが複数のデバイスや複数のIDを連携させて利用するサービス (MuD/MiD) がリリース16で追加されました。NS研では、これらの新たな仕様が既存のサービスや国内仕様に与える影響について分析し、それらの整合性を保つための寄書提案や現地での会合対応も行っています。

IP相互接続に関する標準化動向

NS研では、図2に示すように、3GPPやIETF、TTCにおける標準化活動を実施してきました。その結果として、IP相互接続時に国内通信事業者が準拠する国内標準仕様 (TTC JJ-90.30等) や、およびそれに先立つ国際標準仕様 (3GPP TS 29.165等) が策定されています。これらの標準仕様の関係については図3に示します。

NTTのNGNはITU-Tが規定するところのNGN仕様をベースに設計され

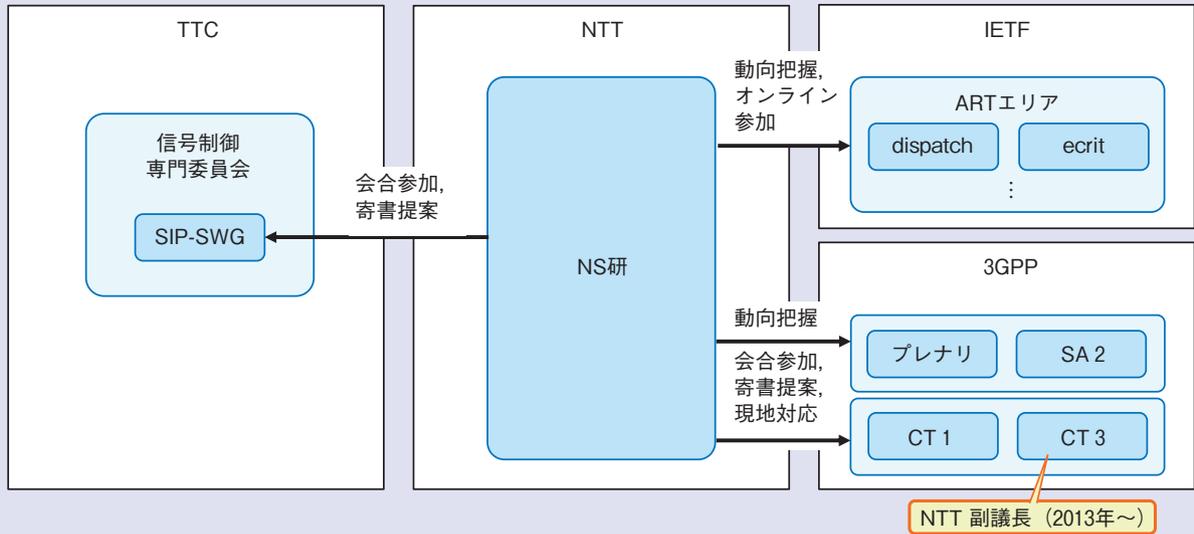


図2 標準化体制

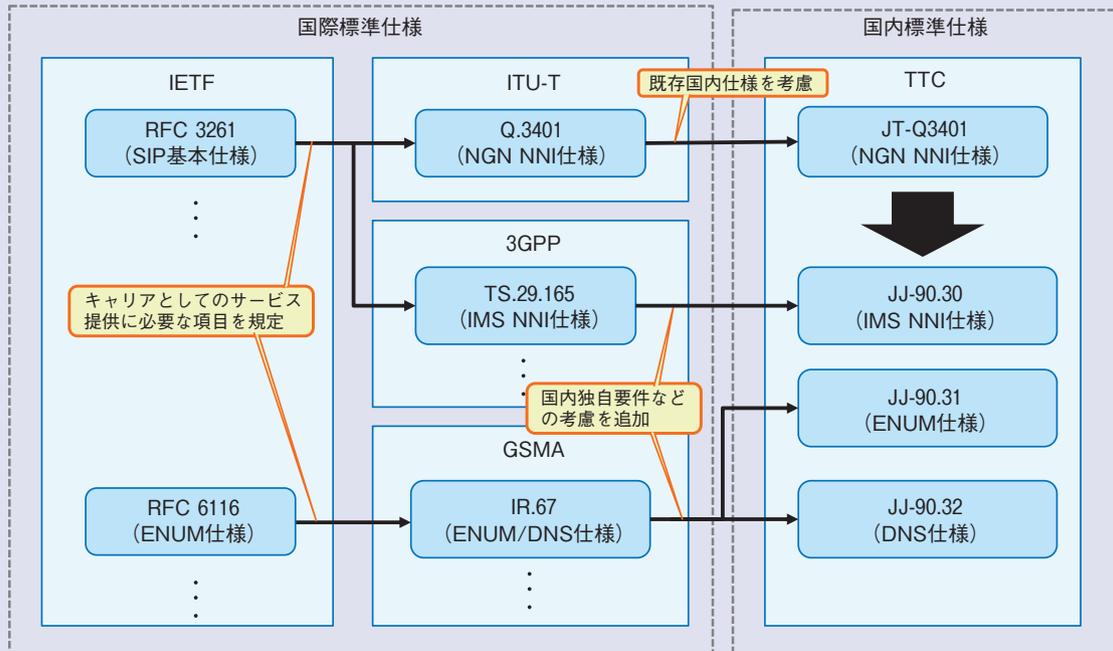


図3 IP相互接続にかかわる標準類の関係



ています。国内におけるNGNのNNI仕様やUNI仕様は、ITU-TのQ.3401とQ.3402という勧告を基に日本国内の要件やサービス仕様を取り込んで、JT-Q3401、JT-Q3402を2007年にTTC標準として制定しました。その翌年、3GPPでは、2つのIMSの間のインタフェース (II-NNI) 仕様であるTS 29.165が新規に作成されました。当時、NS研では、IP相互接続に向けた国内NNI仕様の検討を行っていましたが、国内IP相互接続時には固定網どうしだけでなく、移動網どうしや移動網と固定網との接続も行われることから、従来のITU-TベースのNNI仕様ではなく、3GPP仕様が将来のIP相互接続時における国内NNI仕様のベースになると考えました。そこで、NS研ではまず従来の国内NNI仕様であるJT-Q3401とTS 29.165との差分について2010年から3GPPへの積極的なアップストリームを開始しました。

このとき、アップストリーム活動に加えて、II-NNIにおけるヘッダ・パラメータの設定条件やIMS事業者間での協議事項等を明らかにして相互接続性を向上させるために、WG (Working Group) が取り組むべき2つの課題 (ワークアイテム) をNS研から3GPPへ提案し、ラポータとしてTS 29.165の作成に取り組み、2013年までに国内独自要件以外の基本規定をTS 29.165に反映することができました。これにより、JT-Q3401からTS 29.165ベースの国内II-NNI仕様への移行準備が整いました⁽¹⁾。その後、国内

独自要件であった緊急通報サービスも国際標準等への盛り込みを行い、その国際標準をベースとして国内仕様を作成してきました⁽²⁾。

最近の3GPPでの取り組みとしては、2021年に開始する他事業者とのIP相互接続に向けた開発からのフィードバックと実際の保守運用を考慮した寄書提案や、国内仕様との乖離を防ぐための仕様防衛活動を行っています。例えば、新規付加サービスに関するII-NNI規定の追加や、SIPレイヤにおける復旧検知方式に関する追記、事業者間精算に用いるヘッダの設定条件の修正、ISUP-SIPインタワークにおける発信者番号の扱いに関する記載追加、などの寄書提案項目があげられますが、以降では復旧検知方式に関する提案を一例として紹介します。

IP相互接続において、各社IP電話網はSBCと呼ばれる装置を事業者網間の関門 (IBCF) に設置することが想定されます。このSBCが何らかの原因で障害を起こした後、このSBCの復旧検知をSIPレイヤで行う方式として「OPTIONSリクエストを利用する方式」を日本国内仕様では規定しています。この方式では、対向事業者のSBCの障害を検知した事業者が、障害を起こしたSBCに対して定期的にOPTIONSリクエストを送信し障害発生したSBCから正常な応答を受信することで復旧検知とします。このような方式は、通常の呼の確立や切断を伴うSIP信号とは異なる信号条件〔例えば、事業者間精算のための情報

の有無やRequest-URI (着信先番号) の設定内容など〕が想定されますが、一方で、3GPP仕様ではこの方式を明確に規定していませんでした。国内でのOPTIONSリクエストの利用方法は、実際の運用におけるエラーや、それによる各社実装の見直しを削減する効果を期待して規定しているため、この利用方法を国際標準としても明確に許容することを目的として国際標準仕様の修正を行い、国内既定と国際規定を整合させることができました。

なお、これらの標準化活動を通してNTTのプレゼンスを高めて検討を優位に進めるために、外部ネットワークとのインタフェースを検討するWGである3GPP CT WG3において2013年以降継続してNTTが副議長を務めています。

国内標準の規定概要

国内におけるII-NNIの相互接続共通インタフェース仕様として、TTCではJJ-90.30を策定しています。このドキュメントはTS 29.165をベースに作成しており、IP相互接続時の事業者網間におけるSIP信号仕様を規定しています。また、その他のIP相互接続関連の仕様として、TTCでは図4に示すようなJJ-90.31 (キャリアENUMの相互接続共通インタフェース)、JJ-90.32 (SIPドメイン解決のためのDNS相互接続共通インタフェース)、JJ-90.27 [着信転送サービス (CDIV) に関するNNI仕様]、

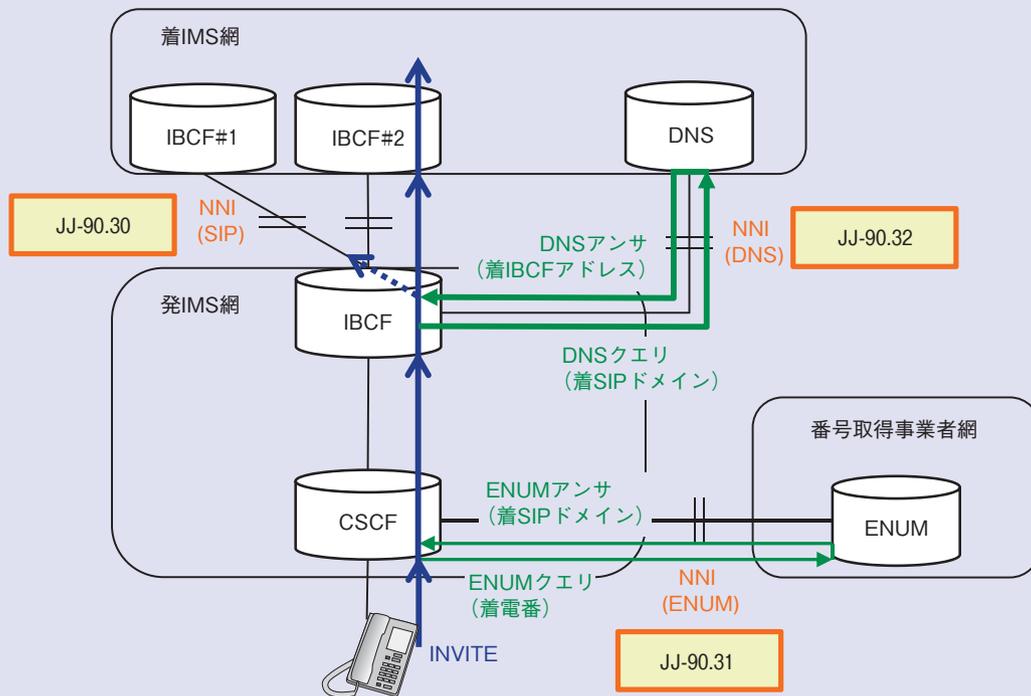


図4 IP相互接続関連の国内標準仕様概要

JJ-90.28（緊急通報呼に関するNNI仕様）を策定しています。JJ-90.31とJJ-90.32はGSMA（GSM Association）のIR.67をベースに作成しており、JJ-90.27とJJ-90.28は主に3GPP仕様をベースに作成しています。

今後の取り組み

現在のJJ-90.30はリリース15の3GPP仕様を参照しています。新型コロナウイルスの影響もあり若干の検討の遅れこそありましたが、3GPPでは2020年7月にリリース16仕様（仕様凍結）が完成

成を受けて、リリース16で変更された箇所をすべて確認し現在の国内仕様との差分を明らかにしたうえで、TTCではJJ-90.30のリリース16準拠へのアップデートを行い、今年度10月ごろに改版を制定予定です。3GPPにおける寄書提案や仕様防衛は最終的にこのようなかたちで国内仕様へとフィードバックしています。2021年にはいよいよ国内IP相互接続が開始されますが、その前に今年度は10月制定予定の改版仕様を基に、他事業者とのIP相互接続試験が開始されます。今後は、試験からのフィードバックを踏まえた明確化などを実施していきます。

参考文献

- (1) 坂谷・荒井・鐘ヶ江：“IP相互接続仕様に関する標準化活動,” NTT技術ジャーナル, Vol. 26, No. 7, pp. 63-65, 2014.
- (2) 小川・上茶：“緊急通報の標準化動向とIP網間インタフェース仕様の標準化,” NTT技術ジャーナル, Vol. 30, No. 2, pp. 57-61, 2018.

NTTとIntel, 新たなコミュニケーション基盤「IOWN」の実現に向けた 共同研究契約の締結について

NTTとインテル コーポレーション（インテル）は、消費電力の大幅な削減など従来技術の限界を超える未来のコミュニケーション基盤「IOWN (Innovative Optical and Wireless Network)」技術の共創を目的に2023年4月までの共同研究契約を締結しました。

両社の提携は、研究開発における戦略的協業として、NTTの業界トップクラスのフォトニクス技術、デジタル信号処理（DSP）技術、コンピューティング技術、ネットワーク基盤運用技術と、インテルの豊富な技術ポートフォリオ、サポート体制、ハードウェア・ソフトウェアに関する専門知識を活用するものです。今後、NTTとインテルは、スマートでコネクテッドな世界の実現に求められる爆発的なデータ量の処理が可能となる技術開発に向けた研究等に取り組んでいきます。

■提携の概要

(1) フォトニクス/光電融合技術

光技術を従来の長距離信号伝送だけでなく、電子回路と連携したプロセッサチップ内の信号処理部にも導入し、光電融合による新しいコンピューティング基盤を実現します。

(2) 高速分散コンピューティング

大容量・低遅延な将来の通信インフラを最大限に活用して、膨大なリアルタイムデータを効率的に処理するコ

ンピューティングインフラを実現します。

(3) オープンフレームワーク

多様化しながら加速的に進化しているAI演算デバイスを(2)の高速分散コンピューティングインフラにおいて活用するためのソフトウェアフレームワークを開発します。

■今後の予定

本共同研究成果を活用したスマートモビリティ、スマートインダストリ（スマートアグリカルチャ含む）、スマートエリアマネジメントのPoC、ユーザ評価を2020年度下期より開始し、IOWN構想の具現化を加速させていきます。

また、本共同研究は、先端フォトニクス技術、エッジ・コンピューティング、分散コネクテッド・コンピューティングなどのフォトニクス・ネットワークの全インフラストラクチャを統合して、将来のデータおよびコンピューティング要件を満たす、新しい通信インフラストラクチャの採用促進につながる取り組みとして、NTT、インテル、ソニーによって設立されたIOWN Global Forumでの活用についても検討していきます。

◆問い合わせ先

NTT広報室

E-mail ntt-cnr-ml@hco.ntt.co.jp

URL <https://www.ntt.co.jp/news2020/2005/200514a.html>

新たなネットワーク需要を見据えた次世代通信インフラの構築

アシャ ケディ

インテル コーポレーション 副社長 兼 次世代標準化グループ長

インテルは、以前からテクノロジーを通じて地球上のあらゆる人々の生活を豊かにするといった長期的な展望について述べてきました。このたびのNTT様との協業は、その展望を実現するうえで重要なステップです。この協業から生まれるであろう新たなソリューションは、情報通信分野にとどまらず、さまざまな業界に幅広い影響を及ぼすと考えます。例えば、輸送、ロジスティクス、精密医療、環境計画、製造といった業界はすべて、今後両社で研究を進める高速分散通信インフラに基づいた、よりインテリジェントな世界から多大な恩恵を受けることができるでしょう。この重要な取り組みの結果については今後ともご期待ください。

パートナー
紹介



ナノフォトニクスによる光電融合 コンピューティング技術の開拓に向けて

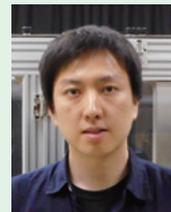
野崎 謙悟

NTTナノフォトニクスセンタ/NTT物性科学基礎研究所 特別研究員

現在、光技術は通信応用にとどまらず、情報処理技術としての可能性が深く模索されています。我々はこれまでナノフォトニクスと呼ばれる微細構造を利用した光制御技術を研究し、一方で、世の中ではシリコンフォトニクスのような大規模光回路の製造技術が発展を遂げています。光コンピューティング技術への期待は世界的にも高まり、その状況の中、IOWNの枠組みとしてインテルとの連携がなされることに強い機運を感じています。

光は超高速な信号処理が可能とはいえ、それだけでは実用的なコンピューティング基盤として成り立たず、大規模なデジタル処理や大容量メモリを持つCMOS電子回路と融合し、機能分担させることで優位性が発揮されるといえます。その意味で今回の連携は強い意義があり、また、これまで基礎研究が主であったナノフォトニクス分野にとって新たなフェーズを開拓する機会と考えています。

研究者 紹介



IOWNがめざす高速処理・低遅延なサービスインフラの 実現に向けて

益谷 仁士

NTTネットワーク基盤技術研究所 コグニティブファウンデーションNWP ネットワーク革新技術共創G

さまざまなデバイスや、人の行動に伴って出力されるデータが増大することが想定されており、高齢化社会やさまざまな産業が抱える課題の解決には、大容量なデータを利用した複雑なデータ分析を決められた時間以内に処理し、結果をフィードバックすることが重要になります。特に生活基盤を支える一次、二次産業や将来期待されている自動運転などの新しいサービスでは、リアルタイムな応答が求められるケースが多く、実現にはコンピューティングとネットワーク技術を融合させた世界初のサービスインフラが必要となります。インテルとの共同研究では、より一層必要とされる計算処理能力の飛躍的な向上に加え、ネットワーク技術を連携により、「従来のIPパケット網では困難であった」迅速な応答性を伴ったサービス処理基盤を実現する高速分散コンピューティングの検討を行い、社会へサービスとしてフィードバックしていきたいと考えております。

研究者 紹介



IOWN のオープンフレームワークをめざして

江田 毅晴

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

IOWNを実現することで、現在クラウドに置かれているビッグデータはよりユーザの近くに安全に配置され、日々の生活を豊かにするために必要な計算をより低遅延に行うことができると考えています。そこで求められるのは、スーパーコンピュータのような大規模計算ではないし、スマートフォンのように個人個人の端末で完結する計算だけでもありません。地域ごとのデータの集約・管理と、必要な計算資源の適切な配置を自在に操ることのできる計算基盤が必要になります。

インテルが力を入れているIoT分野やAIチップは、まさにこうした基盤の実現に必要な不可欠な構成要素です。今回の連携によりお互いの強みを活かした強力な研究成果が生まれると信じています。

研究者 紹介



ITERとの包括連携協定の締結について

NTTは、ITER国際核融合エネルギー機構（ITER機構）とITER計画に関する包括連携協定を締結しました。

NTTは、人類初の核融合実験炉を実現しようとするITER計画を支援することで、「革新的な環境エネルギー技術の創出」を加速し、お客さま・企業・社会の環境負荷低減に貢献していきます。

■背景

ITER計画は、平和目的のための核融合エネルギーが科学技術的に成立することを実証するため、人類初の核融合実験炉（ITER）を実現しようとする、日本・欧州・ロシア・米国・韓国・中国・インドの7極が参加している超大型国際プロジェクトで、国際機関であるITER機構がITER計画を実施しています（図）。

NTTは、「革新的な環境エネルギー技術の創出」に向け、革新的なR&Dに取り組む「宇宙環境エネルギー研究所」の設立準備を進めるなど、R&Dによる限界打破のイノベーションの創出、および環境負荷低減への事業活動の推進により、お客さま・企業・社会の環境負荷低減に貢献することで、「環境負荷ゼロ」をめざしています。

こうした取り組みの中で、活動を開始したIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想における光関連技術の適用を想定しており、現状のICT技術を革新させることで、ITER計画の成功に寄与していきます。

■内容

本包括連携協定の下、戦略的観点より以下の領域で連携していきます。

- ・超高速・超低遅延ネットワーク接続、データストレージ、コンピューティング、グローバルネットワークインフラを含む未来の情報通信技術に関する探査
- ・ネットワークから端末まで、すべてにフォトニクス（光）ベースの技術を導入した「オールフォトニクス・ネットワーク」、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」、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」からなりたつIOWNに関する探査

ITER機構が日本の民間企業と長期的な非商用包括連

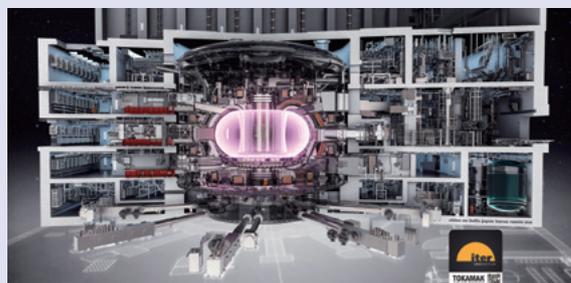


図 核融合実験炉ITER

携協定を締結するのは初めてであり、フルスタック・フルライフサイクルのサービスをグローバルに提供ができる総合ICTプレイヤーとしてNTTグループが一丸となって、ITERの2025年初期運転開始およびそれ以後に向けて、情報流通基盤や制御基盤整備へ向けた技術的貢献を行っていきます。

◆問い合わせ先

NTT広報室

E-mail ntt-cnr-ml@hco.ntt.co.jp

URL <https://www.ntt.co.jp/news2020/2005/200515c.html>

地上に太陽を：ITERからNTT研究開発力への期待

パートナー紹介

Tim Luce (ティム ルース)

ITER国際核融合エネルギー機構 チーフ・サイエンティスト

「ITER (イーター)」は、平和目的のための核融合エネルギーが科学技術的に成立することを実証するために、人類初の核融合実験炉を実現しようとする超大型国際プロジェクトです。南仏プロバンスの地で、世界35カ国からなる日本・欧州・米国・ロシア・韓国・中国・インドの7極のITERメンバーが協力して、世界最大のトカマクと呼ばれる核融合マシンを建設しています。

核融合プラズマをはじめとするITER全体で取得されるさまざまなデータは、ITER計画の基本的な成果であり、またもっとも貴重な資産となります。従い、ICT分野における世界の最先端のテクノロジーおよびイノベーションを取り入れるために、世界的なIT企業と戦略的なパートナーシップを結ぶことは、ITERプロジェクトにとって大きな利益になると考えています。

ICT分野におけるハードウェア、ソフトウェア、またさまざまなコンセプトは急速に進化しており、(ITER計画の初期運転開始予定の)2025年までには現在予測されているさまざまなソリューションが実現しているかもしれません。さらに (ITER計画にとっての次の主要なマイルストーンである) 2035年およびその先においては、私たちが今日まだ知らないような画期的なICTが登場するかもしれません。そのため、最新のテクノロジーを必要とときに反映させることができるアジリティは、私たちにとって大きなメリットとなります。ICT分野の最先端テクノロジーに関する重要な洞察は、この戦略的パートナーシップによって得られると信じています。

このたび、先進的ICTを開発する確かな能力と、私たち核融合コミュニティが必要とするIOWN構想のような革新的な未来の技術戦略を構想する能力を備えている世界的ICT企業のNTTと非商用長期的協業パートナーシップを結ぶことができ大変嬉しく思います。ITER計画の実現のために、共に人類の未来のために、NTTのメンバーとの素晴らしいコラボレーションができることを期待しています。



人類の夢「人工太陽」の実現に向けて

研究者紹介

前田 裕二

NTT宇宙環境エネルギー研究所 所長

これまでの私の専門分野とは関係性が薄かったため、核融合は人類の夢であり、実現は2050年ごろと漠然と思っていました。ところが、昨年あたりから実はもっと早く実現するかもしれないという話を耳にしたり、ITERという超大型国際プロジェクトの存在を知ったり、少しずつ核融合に興味を持つようになっていました。

そのような中、前職であるNTT研究企画部門在籍中、2019年5月にIOWN構想を全世界に向けて発表し構想の中身を詳細化させていく段階で、NTT Research, Inc. 経由でITER機構にIOWN構想を紹介しないかという話があり、それをきっかけとして私たちNTTも人類の夢の実現に貢献できるチャンスがあると考え始めました。

折しも、革新的な次世代エネルギー技術にチャレンジ可能な新研究所を新しく発足させるという話も同時期に浮上し、この新研究所の目玉テーマとして、何としてでもITER機構との協力関係を構築したいという気持ちになり、IOWN構想の発表からちょうど1年となる2020年5月に包括連携協定を結ぶことができました。

NTT側には核融合の研究ノウハウはほとんどありませんが、IOWN構想で実現しようとしている超大容量、超低遅延なオールフォトニクス・ネットワークと、サイバー空間上で超高精度な未来予測を行い現実世界へ反映させるデジタルツインコンピューティングなどの新技術によって、核融合オペレーションの最適化に貢献できないかと考えています。

また、この協定はグローバルカンパニーであるNTTグループとしての包括連携協定であるため、核融合データセンタ構築等においては、国際的に豊富なノウハウを持つNTT Ltd. も連携体制に入っています。このようにNTTグループ一丸となって、人類の夢の実現に貢献していきます。



業界初、対話型AIによる災害時の保険受付（電話受付）の自動化に関する 実証実験を開始

損害保険ジャパン株式会社（損保ジャパン）と、NTTコミュニケーションズ（NTT Com）は、損保ジャパンの災害時の保険受付において、NTT Comの「ボイスデジタルトランスフォーメーション」（ボイスDX）を活用した対話型AIによる受付の自動化に関する実証実験を2020年6月26日から開始しました。対話型AIを活用して保険受付を完結するのは保険業界で初の取り組みとなります。

■開発の背景と目的

近年多発する台風などの大規模自然災害の発災直後は、お客さまからのお電話がコールセンター（事故サポートセンター）へ一時的に集中し、オペレータがすべてに対応することができず、お客さまを長時間お待たせしてしまうケースが発生していました。

損保ジャパンは、このようなお客さまのご不便を解消すべく、従来のオペレータによる対応に加え、対話型AIが電話で保険受付手続きを完了する仕組みを開発し、「お客さまをお待たせしない災害時の受付体制」の実現をめざします（図）。

■機能概要

- (1) 対話型AIによる自動受付・ヒアリング
お客さまがコールセンターに電話し、対話型AIによる

保険受付を選択した場合、音声ガイダンスにしたがって受付に必要な情報（氏名・電話番号・被害状況等）をお話しいただくと、対話型AIがヒアリングし、受付を完結します。ヒアリングした情報はテキスト化され、データ連携されます。

- (2) RPAを活用した受付データの自動連携

テキスト化したヒアリング内容を基に、損保ジャパンの基幹システムに自動的に登録されます。

■今後の展開

損保ジャパンは、実証実験の結果をふまえ、お客さまにとってご利用いただきやすい各種機能を今後さらに充実させていく予定です。NTT Com とともに本サービスを通じて、さらなる安心・安全な社会の実現をめざします。

◆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/2020/0625.html>

