

NTT

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可
令和6年4月1日発行 毎月1回1日発行 第36巻第4号(通巻421号)

技術ジャーナル

4

APRIL
2024

Vol.36 No.4

特集

新たなライフ・ワークスタイルを創造する音空間技術 ——パーソナライズドサウンドゾーン

トップインタビュー

岡田 顕

NTT研究開発担当役員 先端技術総合研究所 所長

グループ企業探訪

NTT ExCパートナー

from NTTフィールドテクノ

NTT西日本の通信サービスを支えるゼロタッチオペレーション

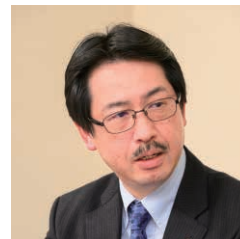


4 トップインタビュー

**振動を与えつつも、
振動を意識させないのがトップの役割**

岡田 顕

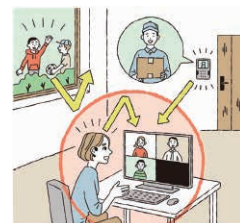
NTT研究開発担当役員 先端技術総合研究所 所長



8 特集

**新たなライフ・ワークスタイルを創造する音空間技術
——パーソナライズドサウンドゾーン**

- 10 パーソナライズドサウンドゾーン実現に向けた取り組みとその展望
- 13 逆相の音を活用した新たな音の閉じ込め手法 PSZ スポット再生技術
- 17 リアルとバーチャルの音を融合する音響XR技術
- 20 車室内の快適で安全な音環境の実現に資するPSZ能動騒音抑圧技術と所望音通過技術
- 25 NTTソノリティの挑戦——PSZ技術とMagic Focus Voiceをコアにした事業展開
- 29 主役登場 千葉 大将 NTTコンピュータ&データサイエンス研究所



For the Future

- 30 **期待高まる国産生成AI（前編）
——AIの歴史的変遷と大規模言語モデルの動向**

38 挑戦する研究者たち

岩田 具治

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員

少数の学習データで高い精度を達成する「メタ学習」



特集

42 挑戦する研究開発者たち

加藤 拓己

NTTデータグループ 技術開発本部 シニア・エキスパート

ビジネス課題の解決を量子技術開発により行う



For the Future

46 明日のトップランナー

内田 大誠

NTTアクセスサービスシステム研究所 特別研究員

新たな無線周波数帯の可能性に挑戦する
「高周波数帯分散アンテナシステム技術」



特別企画

50 グループ企業探訪

株式会社NTT ExCパートナー

ヒューマン・キャピタル分野を中心に
EXの向上を通じてCXの高度化に貢献する会社



挑戦する研究者たち

56 from NTTフィールドテクノ

NTT西日本の通信サービスを支えるゼロタッチオペレーション

挑戦する研究開発者たち

60 Webサイト オリジナル記事の紹介

5月号予定
編集後記

明日のトップランナー

グループ企業探訪

本誌掲載内容についてのご意見、ご要望、お問い合わせ先

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

本誌ご購入のお申し込み、お問い合わせ先

日本電信電話株式会社 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/>

NTT技術ジャーナルは
Webで閲覧できます。

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



NTT 研究開発担当役員
先端技術総合研究所
所長

岡田 顕 Akira Okada

PROFILE

1993年日本電信電話株式会社入社。2003年フォトニクス研究所主幹研究員、2009年総務部門担当部長（人事・人材開発）、2015年先端技術総合研究所企画部研究推進担当 担当部長、2016年デバイスイノベーションセンタ所長、2017年先端集積デバイス研究所所長、2022年7月先端技術総合研究所所長、2023年6月NTT 研究開発担当役員就任。



摂動を与えつつも、 摂動を意識させないのがトップの役割

基礎から応用までの幅広い研究開発を手掛けるNTTのR&Dは4つの総合研究所などから構成されています。そのうちの1つ、NTT先端技術総合研究所（先端総研）は「NTTの事業領域を拡大する先端技術の研究開発」「社会に変革をもたらす新原理・新概念の創出」「地球環境・人にやさしい技術の研究開発」をミッションとして先端技術の研究に取り組んでいます。NTT先端技術総合研究所の岡田顕所長に、先端総研の技術戦略とトップとしての心構えを伺いました。

カッティングエッジ：2050年の社会 を見据えた研究開発

NTT先端技術総合研究所について教えてください。

NTT先端技術総合研究所（先端総研）は「先端」という名のとおり、「2050年を見据えてすべてをつないで社会をつくり、地球を育み、人々が生き生きと暮らせる世界を築くこと」を大きなビジョンとして掲げ、カッティングエッジな研究に取り組んでいます。

先端総研は、革新的なネットワークシステムの実現をめざして、多様な周波数帯と媒体を対象に新たな通信パラダイムを実現する技術の研究開発を担う「未来ねっと研究所」、光と電子の融合により新たな価値創造をもたらすデバイス・材料の研究開発を自前のクリーンルームを活用して展開し、次世代の通信・情報処理インフラや持続可能かつ人々の生活を豊かにする技術の創出を担う「先端集積デバイス研究所」、コミュニケーションの壁を打ち破るメディア・情

報処理の研究開発により人間と情報の本質に迫り、社会に変革をもたらすメディア・情報処理・人間科学を追究する「コミュニケーション科学基礎研究所」、そして、既存技術の壁を越える新原理・新概念創出と将来のコア技術の種となる技術を探求する「物性科学基礎研究所」の4つの研究所で構成されており、物事を深く理解し、型にはまらない発想力で世界一・世界初の技術や驚きの創出に取り組んでいます。

広範囲で多岐にわたる基礎研究を手掛けているのですね。現在、注目を集めている研究開発をいくつかご紹介いただけますか。

まず、情報処理分野ではIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の3要素の1つであり、従来のネットワークが電気信号と光信号の変換を繰り返して信号伝送していたものを、エンド・ツー・エンドをすべて光信号処理で行うオールフォトニクス・ネットワーク (APN) を実現する「光電融合技術」です。実は私たち先端総研の光電融合技術に関する研究成

果が起点となってIOWN構想につながっています。光電融合技術の導入によって電力効率を100倍にすることを目標としており、2019年に英国科学誌『Nature Photonics』で発表した光電変換デバイス（光トランジスタ）はこの領域の試金石となる研究成果です。

また、サステナブル技術としての人工光合成も注目を集めています。人工光合成はその名の通り太陽光を使ってCO₂からエネルギーを生み出す光合成のメカニズムを人工的に実現した技術です。将来的には人工光合成技術は炭素循環社会の実現に貢献できると考えています。2023年には世界最長の350時間連続炭素固定を実現しました。CO₂変換反応による累積炭素固定量は420 g/m²に達し、これは樹木（スギ）が年間で固定する単位面積当りの炭素量を上回る量に相当します。現在は、より高性能な人工光合成デバイスを実現するために、電極での反応の高効率化、電極の長寿命化の両立を図り、屋外試験を通じて、太陽光エネルギーを用いたCO₂削減技術の1つとして

確立することに挑んでいます。

問題は何かを追究して問題を創り、「難しい」ことを果敢に攻めよう

ところで基礎研究はとても先駆的であるからこそ、その重要性が伝わりづらいこともあるかと思いますがいかがでしょうか。

基礎研究は、物事の本質・存在に迫るような理論や現象、自然法則等を発見・メカニズム解明し、新たな技術・製品・システム等を開発するための基礎となる研究です。したがって、日常生活の中では直接見ることがないがゆえに、その重要性が伝わりづらいものです。ノーベル物理学賞を受賞した研究は、それがすごい研究であることは誰もが理解できるのですが、それがどのように社会実装されて、どのように社会に役立っているのかが一般の人には分かりづらいものが多い、というのがその例です。基礎研究の重要性を広く伝えるためには、研究内容を専門家でない方々に分かりやすく平易な言葉で伝えられる力を、研究者自らが備えることも非常に重要であると感じています。

このため、私たちの技術を分かりやすく伝える啓蒙活動も展開しています。企業の研究所で基礎研究を行っているところは日本ではほとんど皆無であり、その中でNTT研究所は特異な存在であり、それがNTTの強みでもあることから、「研究者を前に出す」ことで私たちの技術の先端性をしっかりアピールする活動をNTT研究所全体で取り組んでいます。

具体的には、一般の方向けに研究内容を伝える際には比喻などを使い、専門知識がなくても分かりやすくするとともに、ニュースリリースをはじめさまざまなメディアへの露出を多くすることで、より多くの人にメッセージを届きやすくしています。さらに、学会やシンポジウムで研究成果や進捗を示し、ジェネラルな場での講演にも積極的に臨んでいます。

ところで、日本の研究力の低下がささやかれています。基礎研究領域における技術は2、3年後にすぐに来上がるわけではありません。私たちは2050年を見据えて研究を行っていますが、2030年、35年、40年とマイルストーンを設定し、めざす技術と



それが生み出す価値をできるだけ具体的に示すことを心掛けています。基礎研究の性質を踏まえて、研究者が長期的な視野に立ってチャレンジングなテーマに取り組めること、そして、研究者が主体的に研究したいことを提案できる環境づくりに努めています。

このため、私は常日頃から、研究の取り組みでは「難しい」と表現することはやめまじょうと話しています。なぜなら、「難しい」と言葉にした瞬間に思考停止に陥ってしまうことがあるのです。視点を変えれば「難しい」ことはこれまでできていないこと、誰も到達できていないことで、これはチャンスなのです。私たちの知識、既成概念にとらわれない考え方や手段など、いろいろな角度からのアプローチを総動員すれば乗り越えられます。この姿勢で臨むことがある意味で新たなパラダイムを生み出すかもしれませんし、研究力向上につながるかと考えています。

研究のタネづくりを促し、研究者の可能性を引き出していらっしゃるのですね。マネジメントをするうえで大切にしていることを教えてください。

問題を解くことのみが研究力につながるわけではありません。何が問題であるかを追究して問題を創ること、「難しい」ことを果敢に攻める姿勢を大切にすることが本当の研究力につながるかと考えています。これは若干、忍耐力が必要になるときもある

のですが、先端総研としての大きな営みです。この先もこれを怠らなく取り組みたいですね。

また、私たちの手掛ける基礎研究の次のステップである応用研究、そして実用化も当然のことながら大切なプロセスですから、マネジメントする立場からすればしっかりと両輪として走らせていきたいと考えています。このとき、私たちが担うのは基礎研究だからとそれだけに従事するのではなく、井の中の蛙となって社会から取り残されることのないように、俯瞰的な視野を持って応用研究や、実用化に必要なオペレーションの部分も学びつつ、自らの役割に従事したいと思います。

さらに、マネジメントの立場では生み出す価値とそのリターンも考えなくてはならないことです。その点については、有体な言い方になってしまいますが、私たちの研究が提供する価値がどのようなものかをしっかりと理解し、伝えることがとても重要です。その価値をどう判断するかは、伝える相手によりさまざま受け止め方がありますが、まずは、研究者自身がその研究の価値を見定めて信じるのが重要なことです。研究は計画的に、あるいは順調に成果を出せるという性質ではありませんから、自分のめざす頂点のある程度見定めて、めざしていくことが重要であると考えています。

主体性と情熱とリスペクトを携えて、「素直」であらう

これまでのご経歴を踏まえて、トップとして大切にしていってほしいことをお聞かせください。

私は博士課程を修了して1993年にNTT研究所に入所しました。いわゆるドクター入社です。学生時代に材料の特性を活用してデバイスを創る研究をしていたことから、入所後は光通信に役立つ新規光機能デバイスを、当時武蔵野にあったクリーンルームで作製し、研究に没頭し、非常に良い経験を積みさせていただきました。1997年にはスタンフォード大学の客員研究員として1年間、視野を広げるために光通信・伝送の研究をさせていただきました。このときの経験から俯瞰してみることの大切さを認識しました。

当時は光ネットワーク技術に関する業界団体OIF (The Optical Internetworking Forum) が設立されるなど、光通信に関し

て大きな動きが出始めた時期で、スタンフォード大学のあるシリコンバレーでのアクティビティをつぶさに見ることができ、自らの視野の広がりを感じました。帰国後はデバイスからネットワークのシステムを提案する研究プロジェクトに従事し、システム全体からデバイスを考えることの重要性を学ぶ機会をいただきました。これらを通じて、幅広い研究手法・知識を獲得し、人とのつながりを得ることができました。

その後、研究フィールドしか知らなかった私にとって、突然、全く未知の世界であった人材育成を担うことになります。よくお酒の席でも話のですが、NTT人生で体重が減ったのはこのときだけといえるくらい（ただし最初の1カ月だけでしたが）、分からないことが多く各方面に気を使いました。そして、グループリーグとして研究現場に戻った時期もありましたが、現在のポジションに至るまで、総務部門の人材開発担当では事業会社の多くの方と接する機会もあり、研究所と事業会社を人材面でつ

なが仕事にもかかわってきました。さらに、グローバルなSI会社であるディメンションデータ（現NTT Ltd.）のM&A等、NTTのグローバル化等も含め、それぞれの節目でさまざまに学ばせていただきました。

これらを踏まえて実感するのは手掛けている研究にプラスして少し幅広く、さまざまなところへ首を突っつかないことも大切かもしれません。というのも、私自身、研究者の自分としては予想

もしなかったプロセスを経てこのポジションに就いていますが、もしかしたら他者からのほうが自分のことがよく見えているのかもしれないからです。一般的に、変化することを避けたり抵抗したりすることもあるかと思いますが、さまざまな理由により研究テーマを断念せざるを得ない局面もあり、それに伴いテーマも変化します。これは当人にとってはつらいことかもしれませんが、変化は与えられたチャンスであり人間を豊かにするのだととらえ、そのステップを上げることで自身を人間的に強くしていくものではないでしょうか。何事も気の持ちようですし、変化は人を成長させることに疑いはありません。

最後にトップとはどんな存在とお考えですか。研究者の皆さん、そして、社外に向けて一言お願いいたします。

私は「損動を与えつつも損動を意識させない」というのがトップの役割だと考えています。世の中が変化している中で、トップは部下に変化を与える（損動を与える）必要があります。そのときにそれが変化ではないように伝える（損動を意識させない）ことで、変化を意識せずに前進させることだと考えています。いったん前進すれば、進みながら変化を理解し、そこまで来ると「面白い・楽しい」ことに気づき、さらに理解が進み、研究に対する主体性と情熱が生まれてきます。

ノーベル物理学賞受賞者・アーサー・ショーロー氏の言葉に「成功する科学者は往々にして、もっとも優れた才能の持ち主ではなく、好奇心に突き動かされている者である」というものがあります。私はこの言葉を所員向けの講話の際に毎回伝えています。仮に、そのときに知識や能力が不足していたとしても人間の能力は拡大する余地がありますから、好奇心に根差す主体性と情熱は、成功するためには大切だと考えています。主体性と情熱は大切ではあるのですが、自分の思いだけで猪突猛進のごとく突っ走ってはいけません。他人からのアドバイスを素直に聞き受け止めること、そして相手へのリスペクトも研究力向上には大切です。

さて、吉田五郎初代電気通信研究所長が





掲げた「知の泉を汲んで研究し実用化により世に恵みを具体的に提供しよう」という言葉は、現在のNTT R&Dの基本理念となっています。もちろん先端総研もこの理念のもと、1人ではできないことは外部も含めて共創しながら、これまでとは違った概念を打ち出し、「先端総研発」の新しい何かを常に生み出せる、そして、「自分たちで未来を切り拓いていく」組織にしたいと考えています。

研究者の皆さん。NTTの研究所は失敗を恐れずにさまざまなことにチャレンジできる場所です。先端研究、基礎研究のテーマは、最初は理解されなかったり、上手く伝わらなかったりすることもあります。

トップや上司はそれを忍耐強くじっくりと、しっかりと紐解いて理解することに努めているので、主体性と情熱をもって取り組んでください。

研究パートナーの皆さん。私たちの研究は「ごつごつとした石」のようで、ユニークですばらしい価値を持っている可能性があるにもかかわらず、魅力的には見えないこともあります。この「ごつごつとした石」が川に流されて他の石とぶつかり合うと、表面が滑らかになり光沢のある美しい石となり、時にはダイヤモンドのような輝きを発します。そうなればその価値が広く世の中に認められ、社会への貢献につながります。そのために時間を要する磨きや加工が

必要です。私たちの「ごつごつとした石」（先端技術）と皆様の技術を組み合わせ、IOWN構想がめざす多様性を受容する心豊かな持続可能で安心・安全な社会の実現に貢献していきたいと考えていますので、どうぞお力添えをよろしくお願いいたします。

（インタビュー：外川智恵/撮影：大野真也）

インタビューを終えて

研究や研究者の特性を見極め、絶妙な采配をされている岡田所長。お話を伺う中で「忍耐強く」と何度か表現されました。「忍耐」という言葉の響きにマイナスなイメージを持たれる方もいるかもしれませんが、どっしりとした響く声で、ゆっくり、じっくりとお話になる岡田所長のお姿に、落ち着いた物事に取り組むことの大切さを感じます。そんな岡田所長のご趣味はジョギングやウォーキングというもうなずけます。また、シクラメン等の花を育てることもご

趣味の1つとか。「花を育てることはある意味で研究に似ていて、育てている中は何の変化もないときもありますが、しっかり世話をすると綺麗な花を咲かせてくれます」と、岡田所長。「じっくりと待つ」という岡田所長の研究に向き合う姿勢にも通じます。静と動を操りつつも、どっしりと構えておられるご姿勢にトップとしての信頼感の築き方を学ばせていただいたひと時でした。



新たなライフ・ワークスタイルを創造する音空間技術 —パーソナライズドサウンドゾーン

本特集では、場所を選ばずに仕事やエンタテインメント体験、新たなライフスタイルの実現に向けて「聴きたい音だけが聴ける世界、聴かせたい音だけが聴かせられる」を可能とする究極の音空間—パーソナライズドサウンドゾーン(PSZ)—の実現に向けた挑戦について紹介する。

パーソナライズドサウンドゾーン実現に向けた取り組みとその展望— 10

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所が取り組んでいる「スポット再生技術」「音響XR技術」「能動騒音制御技術」「所望音選別技術」の技術要素について概説する。



逆相の音を活用した新たな音の閉じ込め手法

PSZ スポット再生技術

13

汎用のスピーカを用いて、コストを抑えスポット再生を実現する手法、およびスピーカの近いエリアでのみ音が聴こえる領域を生み出すスポット再生技術について紹介する。

究極の音空間

スポット再生技術

オープンイヤー型イヤホン

音響イベント定位

目スピーカー



リアルとバーチャルの音を融合する音響XR技術 ————— 17

イヤホンから聴こえるバーチャルの音と、直接耳で聴くリアルの音を融合させて聴く音響XR技術とその取り組みについて紹介する。

車室内の快適で安全な音環境の実現に資する PSZ能動騒音抑圧技術と所望音通過技術 ————— 20

「音を閉じ込めるスポット再生技術」と「所望音選別技術」を活用した必要な音は通すことのできる能動騒音制御技術とその応用例について紹介する。

NTTソノリティの挑戦——PSZ技術とMagic Focus Voiceを— 25 コアにした事業展開

NTTソノリティの会社設立の経緯、自社ブランド「nwm（ヌーム）」およびプロダクトである「目スピーカー」、急成長するオープンイヤー型イヤホン市場、および2024年より開始した次世代音声DXサービス事業について紹介する。

主役登場 千葉 大将 NTTコンピュータ&データサイエンス研究所 ————— 29

人と現実世界と仮想世界をつなぐ、次世代音響デバイスをめざして



パーソナライズドサウンドゾーン実現に向けた取り組みとその展望

パーソナライズドサウンドゾーン (PSZ) とは、「聴きたい音だけが聴ける世界、聴かせたい音だけが聴かせられる」を可能とする究極の音空間であり、場所を選ばずに仕事やエンタテインメント体験が享受できる新たなライフスタイル、実空間・バーチャル音空間融合による新たな音響体験、リビング並みに静かで離れた席どうして快適に対話ができる自動運転カー、聴力の能力拡張による生活の質の向上などの実現をめざしています。本特集では、このPSZの実現に向けた挑戦について紹介します。

キーワード：#パーソナライズドサウンドゾーン、#究極の音空間、#新たな音響体験

新たなライフスタイルに向けた音響環境

働き方改革および新型コロナウイルスの影響により、従来のようにオフィスに出社する働き方が見直され、場所や時間にとらわれない柔軟なワークスタイルが注目を浴びています。また、感染症対策をきっかけに始まったリモート応援・観劇も新たな文化として根付きつつあります。こういった新たなライフスタイルの実現のためには、どんな場所でも快適に仕事やエンタテインメント体験をするための環境を整えることが大切であり、特に「音」の環境（音空間）がその重要なファクタを占めると考えています。

在宅勤務を題材に、理想的な音空間を例

として示します。図1の例では、Web会議中の相手の声が外に漏れず自分にだけ聴こえる、外の子どもの騒ぎ声は遮断され自分にも通話相手にも聴こえず、玄関のチャイム音などの外部の聴きたい音は通過する、というシーンを描いています。このように、聴きたい音だけ聴ける、聴かせたい音だけ届けられるといった音空間を実現できれば、快適な在宅勤務ができるようになると考えられます。

こういった理想的な音空間の実現は、単に世の中を「便利」にするだけではなく、さまざまな困りごとを持つ人たちの助けにもなると考えています。現在、全世界で4.3億人（人口の5%）を超える人が難聴であるといわれています。このような人たちに對して、目の前にいる話し相手の聴き取り

づらい声を適正な音量で聴こえるように強調する、不快に感じる過敏な音を抑制したり、聴き逃してしまう危険な音を検知し通知したりといったことが実現できるようになります。

パーソナライズドサウンドゾーン (PSZ) 技術とは

このような1人ひとりに最適な音空間を「パーソナライズドサウンドゾーン (PSZ)」として提唱しました⁽¹⁾。PSZとは、周囲の音から聴きたくない音を遮断し、自分の聴きたい音だけを聴き、他の人へ自分の音を「漏らさない」といった、まさに自分専用の音空間、サウンドゾーンの実現をめざす概念です。この音空間を1人ひとりに合わせて制御することにより、個人個人が望む快適な生活空間が享受できる世界をめざしています。

PSZの実現に向けては、周囲の音情報を把握し、それを理解したうえで、適切に音を制御する技術を組み合わせる必要があります。人の音の感じ取り方を扱う音響心理・音波の伝搬を記述する波動方程式・実際に音の入出力を行う音響デバイス（マイク・スピーカ）の構造などのハードウェア・信号処理・音響シーン把握に至るまで、さまざまな技術領域への取り組みが必要になります。これらに対してNTTコンピュータ&データサイエンス研究所では、「ハードウェアとソフトウェアの融合」というアプローチで、以下4つの技術要素「スポッ

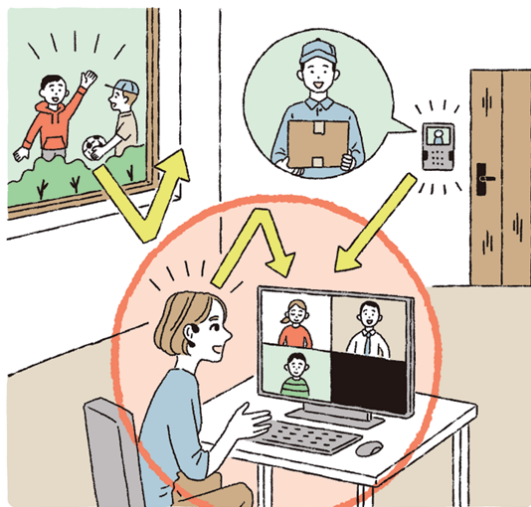


図1 理想的な音環境の例



図2 PSZの実現のための要素技術

スポット再生

- スピーカから放出され耳で反射した音漏れ音波を筐体の側面から逆相の音波を放出し打ち消し
- スピーカ背面から出る逆相の音波を側面へ誘導することで逆相の音波を放出

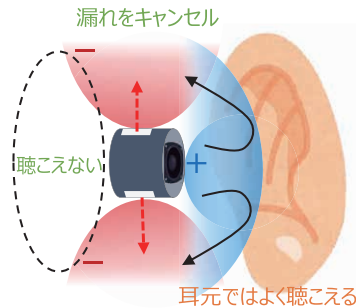


図3 スポット再生技術のイヤホンへの適用

音響XR

- 耳を塞ぐことなく利用者にしか聞こえない音響デバイスを活用
- 周囲のリアルな音空間に合わせてバーチャルの音を提示する

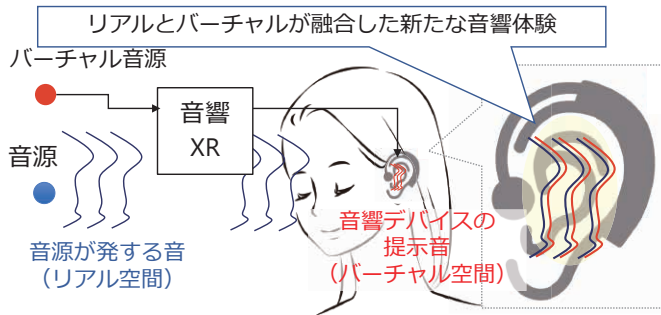


図4 音響XR技術

ト再生技術」「音響XR技術」「能動騒音制御技術」「所望音選別技術」に取り組んでいます(図2)。

(1) スポット再生技術：聴きたい人にだけ聴かせる技術

周囲に音を聴かせないように音を聴くためには、これまではイヤホンやヘッドホンを装着する手段が用いられてきました。しかし、着用の煩わしさ、長時間使用による疲れや難聴のおそれ、周囲の状況や危険の

察知しづらさなど、多くの問題がありました。このため、イヤホンやヘッドホンを用いずに対象の受聴者のみが聴こえるようなスポット再生ができれば、これらの問題を解消でき、より便利になります。スピーカ筐体やハードウェア構成の工夫により逆相の波を放射することにより音漏れ音を打ち消し、音を耳元近傍に閉じ込めるスポット再生技術に取り組んできました⁽²⁾(図3)。

(2) 音響XR技術：音を自分好みにする、新たな音響空間を創り上げる

これまでイヤホンやヘッドホンから提示される音を楽しむ、またスピーカから聴こえてくる音を楽しむことが一般的でした。耳を塞がず音を漏らさない音響デバイスの特徴である周囲の音を自然に取り込む構造を利用して、周囲で発生する実世界の音とデバイスの音を組み合わせる融合させて聴くことで新しい音響体験を享受できる音響XR技術を提唱し、スピーカの音とイヤホンからの音を融合したステージの音響演出、実空間の音についても考慮した音声ガイド重畳に取り組んでいます⁽²⁾(図4)。

(3) 能動騒音制御技術：不要な音が聴こえない

現在、広く実用化されているイヤホンなどのノイズキャンセリングは、音を消す空間が狭く、また騒音の耳への到達の経路も単純なため、実現が容易です。しかし、長時間イヤホンを装着するのは、外耳炎などのリスクを高めますし、快適性が損なわれます。身体に装着しなくてもよい機器で、不要な音を消す技術が実現できれば、より便利になり利用シーンも広がります。そのような課題に対して、従来の技術として多数のマイク・スピーカを使って実現する方法がありますが、NTTでは高速低遅延処理とスピーカ筐体・マイク配置の最適化により少マイク数・スピーカ数で耳を塞ぐことなく騒音を打ち消す技術に取り組んでいます⁽³⁾。

(4) 所望音選別技術：所望の音のみが聴こえる

PSZを構成する要素である、「必要な音は通す」技術です。例えば自動車の車室内では、外からの騒音は遮断したいが、緊急車両のサイレン音などはできるだけ早く気付きたいので車室内に届けてほしいというニーズがあります。私たちはマイクで観測した音響信号から、深層ニューラルネットワーク(Deep Neural Network: DNN)を用いて「どの方位から・どんな音が発生したか」を推定する技術を開発し、車にも応用し、所望音とその方位を抽出して音を再現することで「必要な音は通す」ことを実現しました(図5)。また、こうした応用では遠方から到来する所望音を瞬時に分析する必要がありますが、これらは多くの

能動騒音制御 × 所望音抽出

- ヘッドレストにマイク・スピーカを搭載し、耳を塞がずに耳元の音場を制御し、騒音を抑圧
- 所望音とその方位を抽出して再現

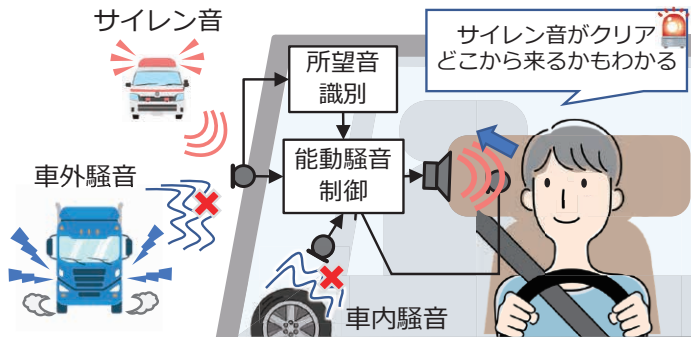


図5 能動騒音制御技術と所望音抽出技術の車載への応用例

雑音や残響の影響を受けて変化するために方位と種類の識別が困難です。そこで、反響音と背景雑音の分析に基づく周囲環境への適応により環境変化に頑健な推定を可能とし⁽⁴⁾、マイクロフォンレイ信号処理に基づく音波の物理的特徴の活用により精度維持したままの実時間動作を可能としています⁽⁵⁾。

これら要素技術の1つひとつは、多くの企業や研究機関において研究がなされています。しかし、多くは単独の技術の性能向上に主眼が置かれたもので、耳を塞ぐ音響デバイスを利用するものであったり、多数のハードウェアを必要とするような、実応用に向けてはハードルのある取り組みも多くあります。NTTコンピュータ&データサイエンス研究所では、「耳を塞がない」「ユーザに負担をかけない」という価値を軸として技術検討を進めており、現実の音空間とサイバーな音空間を融合することで新たなライフスタイル実現・エンタテインメント体験を生み出すことをめざしています。

NTTソノリティの設立

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所が開発したPSZ要素技術などを用いて音響関連事業を行うNTTソノリティを2021年9月1日に設立しました。PSZ要素技術の航空機シート、自動車シート、オフィスチェアなどへのB向けの展開と、ポー

ダブルスピーカ、ウェアラブルデバイス（イヤホン、ネックスピーカ）などのC向け展開、法人向けの次世代音声DX（デジタルトランスフォーメーション）サービスの事業を行っています。2022年7月には、研究所で開発した耳元に音を閉じ込める技術をイヤホンに応用した製品化を成し遂げ、さまざまなイベントの音響演出にも活用でき、PSZ要素技術をより早くお客さまの元に届けることができています。

PSZ実現による「音に紐付く人々のライフスタイルの変革」

PSZ実現に向けた技術的な課題はまだまだ残っており、今後もハードウェア・ソフトウェア融合のアプローチで、研究開発を行っていきます。またPSZの実現に向けてNTTソノリティをはじめとして、社内外と連携し、音響演出など実フィールドでの検証を進め技術のフィジビリティを高めていきます。将来には、まるで眼鏡のように日常生活に溶け込むかたちで、耳を塞がない音響デバイスを常時身に着けて音響サービスを受け続けられる新たなライフスタイルを実現し、リモートワークやオフィス、エンタテインメント、モビリティなど幅広い利用シーンで「音に紐付く人々のライフスタイルの変容」を促すような大きなインパクトを生んでいきたいと考えます。そして音響デバイスを着けた方が「より楽しめる」世界を実現したいと考えています。

参考文献

- (1) 福井・齊藤・小林：“究極のプライベート音空間を実現するメディア処理技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 32, No. 10, pp. 52-56, 2020.
- (2) 加古：“逆相音波の放射により音漏れを最小限に抑えるオープンイヤー型イヤホンの開発と音響XRのサービス実現に向けて,” 信学技報, Vol. 123, No. 170, EA2023-27, pp. 53-60, 2023.
- (3) 伊藤・小塚・川瀬・鎌土：“耳をふさがない騒音制御システムの実用化を目指して,” 日本音響学会誌, Vol. 80, No. 5, 2024.
- (4) M. Yasuda, Y. Ohishi, and S. Saito: “Echo-Aware Adaptation of Sound Event Localization and Detection in Unknown Environments,” Proc. of ICASSP 2022, pp. 226-230, 2022.
- (5) M. Yasuda, Y. Koizumi, S. Saito, H. Uematsu, and K. Imoto: “Sound Event Localization based on Sound Intensity Vector Refined By DNN-based Denoising and Source Separation,” Proc. of ICASSP 2020, pp. 651-655, 2020.



阪内 澄宇

PSZを実現し、リモートワークやオフィス、エンタテインメント、モビリティなど幅広い利用シーンで「音に紐付く人々の生活スタイルの変容」を促すような大きなインパクトを生んでいきたいと考えます。

◆問い合わせ先

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所
企画担当
TEL 046-859-4003
E-mail cd-koho-ml@ntt.com



逆相の音を活用した新たな音の閉じ込め手法 PSZ スポット再生技術

テレワークやWeb会議の普及、プライベートな時間・空間を大切にしたいというニーズの高まりを受け、「聴きたい音」のみを届け、「聴かれない音、聴きたくない音」を届けられないようにする究極のプライベート音響空間(パーソナライズドサウンドゾーン: PSZ)の構築をめざしています。その一環として、「聴かれない音」をごく小さな空間にとどめる新しいスピーカのスポット再生技術の研究開発を行ってきました。このスポット再生技術は、スピーカの背面から放射される逆相の音波を適切に制御することでスピーカの近くのみで音が聴こえる領域を生み出すことができる技術です。このスポット再生技術を利用し、さまざまな音響機器をNTTグループから提供することを可能としました。

キーワード: #スポット再生技術, #PSZ, #エンクロージャ

局所的に音を提示するスポット再生技術

近年急速に、テレワークやWeb会議が普及しています。また、スマートフォンやタブレット、PCなどを1人1台持つことが一般化し、各端末を保有する個人ごとに個別にコンテンツを楽しむようになってきました。それに伴い、プライベートな時間・空間を大切にしたいというニーズの高まりを受け、「聴きたい音」のみを届け、「聴かれない音、聴きたくない音」を届けられないようにする、究極のプライベート音響空間の構築をめざした研究開発をNTTコンピュータ&データサイエンス研究所では進めています。

これまで、音が周囲に漏れずに一部のエリアだけ音を再生する方法として、指向性スピーカやパラメトリックスピーカなどの音響デバイスがありました。これらのスピーカは、特定の方向に音を聴くことができるエリアを制御しますが、特殊なデバイスが必要となりいまだ広く普及はしていませんでした。また、スピーカを複数台利用したスピーカアレイを用い、空間的に制御を行うことで、一部のエリアのみに音を再生することも研究レベルでは実現されていますが、多くのスピーカが必要となり非常にコストが高くなる課題があります。

本稿では、まず汎用のスピーカを用いて、

コストを抑えスポット再生を実現する手法について紹介します。一方、個人のみで音を提示する方法としてヘッドホンやイヤホンなどの利用が広く普及しています。しかし、ヘッドホンやイヤホンは安価で容易に手に入る一方、長時間の装着によって耳や耳の穴を圧迫し、疲労や痛み、また長時間の装着が外耳炎などを引き起こすリスクがあります。また、近年では、耳の負担軽減を実現するために耳の穴を塞がないイヤホンの装着方法として耳の近くにスピーカを配置し、そのスピーカから鼓膜まで音を届けるオープンイヤー型イヤホンが数多く販売されるようになりました。オープンイヤー型イヤホンは外耳道を塞がずに耳の近くにスピーカを配置し、そのスピーカから鼓膜まで音を届ける音響デバイスになります。耳の穴に挿し込むイヤホンとは異なり、耳の穴が開放されているため圧迫感が少なく耳への負担が少ないことがメリットですが、耳からスピーカまでの距離が離れているため音漏れが課題となっていました。

次に、この音漏れを解決する方法として、パーソナライズドサウンドゾーン (PSZ) によるスポット再生の特徴であるスピーカの背面から放射される逆相の音波を利用して、スピーカの近いエリアでのみ音が聴こえる領域を生み出すスポット再生技術について述べます。この技術は音を局所的にとどめることができるため、これまでのスピー

カが担っていた多くの人に音を届けるものから、特定の人のみに音が聴こえる新しい音響機器の可能性を広げることができる技術となります。

スピーカ背面の逆相音波を利用したスポット再生

スピーカの原理について簡単に説明したいと思います。スピーカは、スピーカユニットと呼ばれる振動板と、その振動板を揺らすための磁気回路および、スピーカユニットを収めるエンクロージャからなります。スピーカユニットを振動させると、この振動板が揺れるため、空気の粗密が生じ音の波が発生します。この音の波が耳に届くことによって人間は音を知覚することができます。振動板から発生する波は物理現象のため、振動板の前面に波が発生すれば、当然その振動板の裏面にも波が発生します。この裏面から発生する波は前面の波と、ちょうどプラスマイナスが反転した、一般的に逆相と呼ばれる波が発生します。この逆相の波は前面の正の位相の波とタイミングが合うと波を打ち消してしまう性質があります。そのため、スピーカはこの振動板を含むスピーカユニットのまま振動板を動かすと、逆相の音が回り込んでしまうことで正相の音を打ち消して音が消え、どれだけスピーカユニットの振動板を動かしても音が

ちば ひろのぶ か こ たつや
千葉 大将 / 加古 達也
いとう ひろあき のぐち けんいち
伊藤 弘章 / 野口 賢一
かまど のりよし なかやま あきら
鎌土 記良 / 中山 彰

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所

聞こえません。そこで、通常のスピーカはこのスピーカユニットをエンクロージャと呼ばれる箱に収めることで、逆相の音波が周囲に放射されることを抑えて、スピーカの音をより遠くまで届ける構造となっています。そこで、PSZのスポット再生では、このスピーカユニットの振動板の背面から発生する逆相の音波を適切に制御することで、音漏れを抑えスポット的な再生ができると考えました。音漏れを解析した結果を図1に示します。むき出しで利用するスピーカユニットは、通常のエンクロージャに収めたスピーカに比べて距離が遠ざかるほど音圧がより小さくなっていることが確認できます。

また、周波数ごとの特性では、スピーカユニットから遠ざかると、高い周波数に比べて、低い周波数がより良く消えていることが分かります。一方、近距離では音質がより良いと考えられるフラットな特性になっていることが分かりました。このことから、スピーカユニットをむき出しで利用することで、頭部近傍に少ないスピーカを用いるだけで、スピーカ近傍でのみ音が聞こえる低コストにスポット再生可能なスピーカができることとなります。むき出しのスピーカユニットの性能をさらに高めるために、ここのスピーカユニットを2個並べたエンクロージャレス・スピーカアレイを提案しました⁽¹⁾。スピーカユニットにエンクロージャを搭載せず、スピーカユニット2つをパツフル板に取り付けたのみのコンパクトなアレイとなっています。スピーカユニッ

トの振動板前面から正相の音波と背面から逆相の音波を放射するため、信号処理なしでアレイ側面に音圧が急激に小さくなる領域を形成することを実現しています。アレイ前後においても正相の音波と逆相の音波が互いに干渉して音波どうしの打ち消し合いは起きますが、アレイ近傍では背面からの逆相の音波の回り込みが間に合わないため打ち消しが起こりません。これにより、スピーカの近傍では音が聞こえるが離れると聞こえなくなる領域をつくり出すことができます。

さらに、2つのスピーカを並べて利用するスピーカアレイの構造とすることで、スピーカアレイ近傍だけに音を強調し、近傍以外の方向に関しては音を消すような信号処理を施すことで、スピーカ前面の近傍のみに音が残る範囲を強調することができます。また、スピーカをエンクロージャに閉じ込めず、むき出しで利用することは音質面にも影響を与えています。通常スピーカはエンクロージャという狭い箱の中で動作することで、エンクロージャ内部に生じる空気の反発力の影響を受けてしまい、低音域の再生が不足することがあります。しかし、エンクロージャがない本構造は空気の反発力の影響を受けないため、スピーカユニットが持つ本来の再生可能な低い周波数まで再生することができます。

このスピーカアレイをヘッドレストの部分に搭載した椅子を図2に示します。ヘッドレスト部分にエンクロージャレスのスピーカアレイを搭載することで、利用者は何も

身に着けることなく、椅子に座ると音が聞こえますが、周りにはほとんど音が漏れない、快適に利用者だけに音を届けることを実現しています。

小型のウェアラブルデバイス向け PSZ Wearable

スピーカユニットの背面から放射される逆相の音波を利用したエンクロージャレス・スピーカアレイでは、遠方では正相の音波と逆相の音波が打ち消し合い消音されますが、近傍ではスピーカ前面と同じく背面側でも音が消えずに音漏れが聞こえてしまいます。

また、2つのスピーカを利用したビームフォーマ等の信号処理を必要としており、サイズや設置条件に制限が生じていました。そこで、スピーカユニットの背面から発生する逆相の音波をエンクロージャによって制御することで近傍再生を信号処理なく実現する構造設計をすることで、PSZ Wearableとして研究開発しました。エンクロージャに穴を開けるという構造自体は古くからあり、位相反転型エンクロージャ(パスレフ)として知られています⁽²⁾。パスレフスピーカユニットが再生可能な低域の周波数をさらに低くし、低音の再生を増強する目的で利用されています。エンクロージャの容積と開口面積、ダクト長によって「ヘルムホルツ共鳴」という共振を起こすことができます。さらに、この共振が起こると音の位相が反転する性質があります。

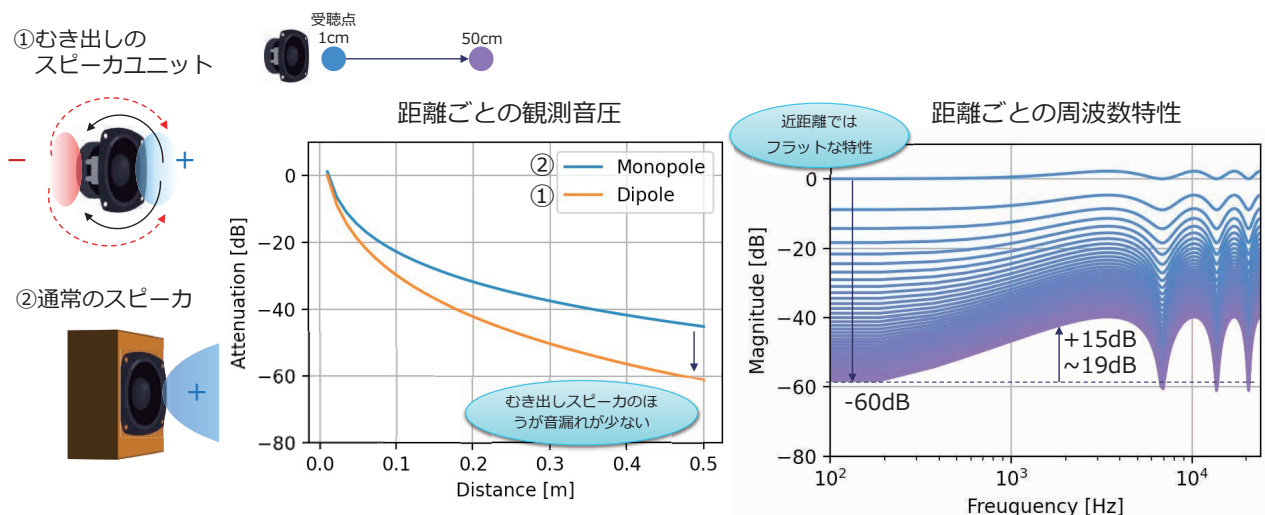


図1 むき出しスピーカと通常のスピーカの距離ごとの特性比較

位相反転とは位相が180度ずれ、プラスマイナスが反転するため、逆相の波は正相の波と位相が等しくなります。このエンクロージャの容積や開口面積を適切に設計することでヘルムホルツ共鳴を低い周波数で発生させます。すると、位相の反転した低い周波数の音がエンクロージャの開口部から出ることで、音の打ち消しが発生せず低音が増強された音がエンクロージャから放射され、スピーカユニット単体よりもより低い周波数も再生可能なスピーカを実現していました。



図2 ヘッドレストにPSZのエンクロージャレススピーカアレイを搭載したチェア

小型のウェアラブルデバイス向けPSZ Wearableの構造(図3)では、この位相反転型エンクロージャの考えをベースに低音の増強ではなく音漏れ抑圧に利用しています⁽³⁾。PSZ Wearableではスピーカの背面から放射される逆相の音波を利用する必要があります。そのため、高い周波数までスピーカユニットの前面から放射される正相の音波と、背面の逆相の音波の位相差の関係を維持しなければいけません。そこで、ヘルムホルツ共鳴を音漏れ抑圧したい周波数帯域よりも、高い周波数帯域に設計することで逆相関係を維持する設計となっています。ヘルムホルツ共鳴で制御可能な要素は、エンクロージャの容積と開口面積、ダクト長となりますが、小型なウェアラブルデバイスではダクト長は非常に小さく、また逆相音波を放射する必要から開口面積も自由に設計することができません。そこで、PSZ Wearableの構造ではエンクロージャの容積を可能な限り小さく設計し、ヘルムホルツ共鳴を高くし、逆相関係を維持する構造

となっています。

PSZ Wearableの構造によって抑圧することができる周波数帯域は、観測点での正相と逆相の音波の経路差 δ および音の波長 λ によって決まります。音の波長とは、音波の1周期の距離で表されます。高い周波数では波長が短く、低い周波数では波長が長くなります。PSZ Wearableで音を抑圧するためには $\delta / \lambda \approx 0$ を満たす必要があります。つまり、波長に比べて経路差が十分小さい条件の音の周波数で機能します。PSZ Wearableは通常のスピーカユニットおよび開口を持つエンクロージャによって構成されるため、正相と逆相の放射位置に生じる経路差 δ を小さくするには限界があり、これにより抑圧することができる周波数帯域が決定されます。この音漏れを抑圧することが可能な帯域の拡大にもヘルムホルツ共鳴を利用しています。ヘルムホルツ共鳴による位相の反転を利用し、抑圧ができない高い周波数で反転を引き起こすことで、見かけ上音波の経路を半波長分短くすることでさらに高い周波数まで音漏れの抑圧を実現しています。

PSZ Wearableによる音漏れ抑制を音響シミュレーション⁽⁴⁾による音漏れの抑圧評価結果を図4に示します。1 kHzの周波数の音を通常エンクロージャに収めたスピーカから再生させると、耳元だけでなく頭部の周囲に通常のエンクロージャでは音が広がっており、周囲にも音が漏れてしまうことが分かります。一方、PSZ Wearableでは、耳元では高い音圧が観測できますが、耳元から離れることで音圧が大幅

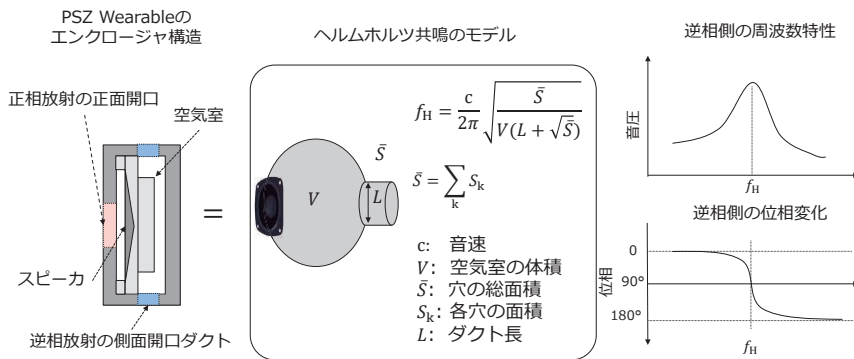


図3 PSZ Wearableのエンクロージャ構造とヘルムホルツ共鳴のモデル

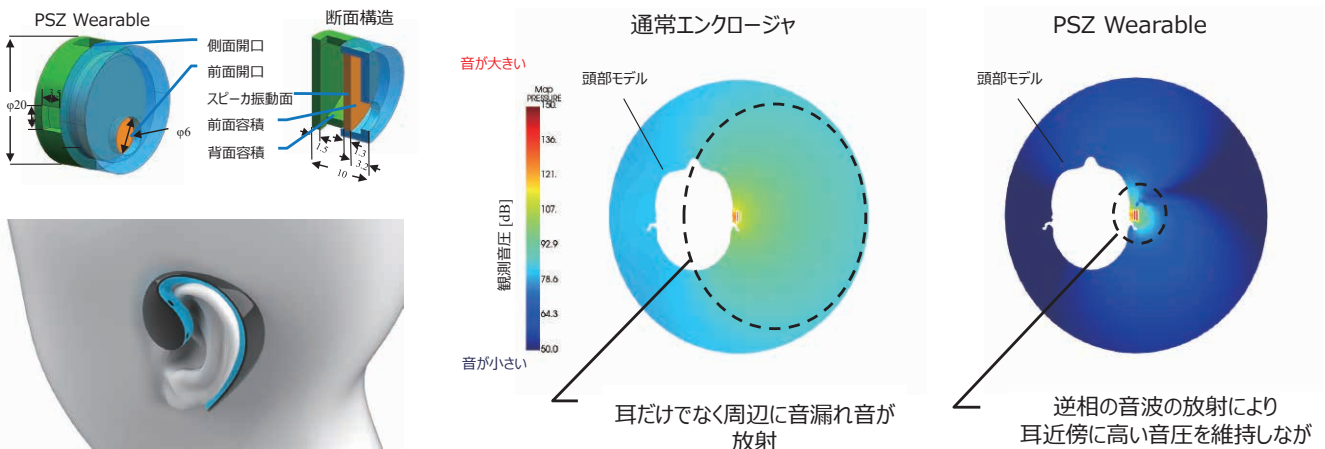


図4 PSZ Wearableの構造と音漏れの音響シミュレーション結果

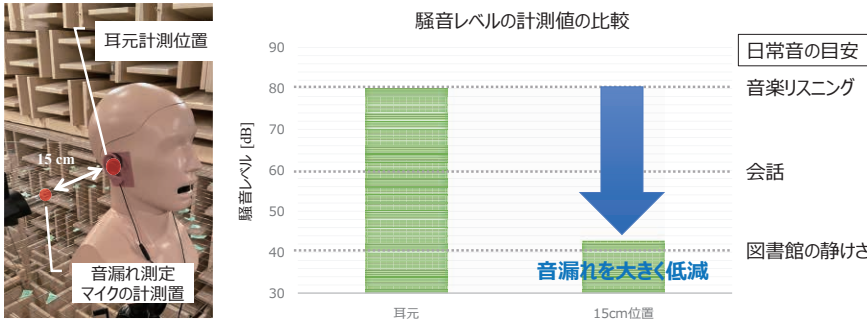


図5 PSZ Wearableの実験室での音漏れ測定結果

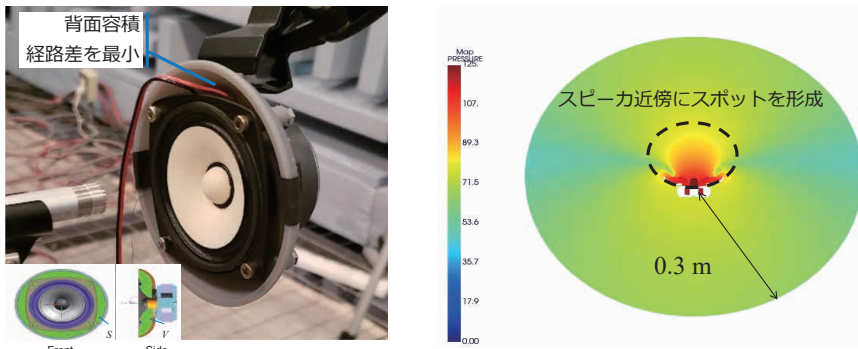


図6 逆相波誘導エンクロージャの試作機と音響シミュレーション結果

に下がり、音漏れが抑圧できていることが分かります。次に、3Dプリンタで作成した筐体をダミーヘッドの耳に装着し、無響室内で音漏れの測定を行った結果を示します(図5)。ダミーヘッドの耳では通常の音楽リスニングで利用されるような80 dBの音が聞こえている状況で、ダミーヘッドの耳元から15 cm離れた位置では42 dBまで音のパワーが低減しています。42 dBというのは一般的には図書館と同程度の静けさといわれており、15 cm離れただけでほとんど聞こえなくなる性能を実現しています。

スポット再生の適用範囲を拡大する研究と今後の展開

スポット再生はエンクロージャレス・スピーカアレイやPSZ Wearableによって少数のスピーカのみで、スピーカの近傍に音が再生可能となりました。スピーカの近傍にスピーカを配置することが可能なオープンイヤー型イヤホンや椅子のヘッドレストに搭載する構造には適していますが、スピーカと耳との距離が必要な利用シーンや、より音のスポットの範囲を自由に制御

することをめざした研究開発を進めています。また、航空機や自動車のヘッドレストに搭載する場合は、機材の重量やコストを抑えるために、1つのスピーカでより安価に製造可能な構造が求められます。そこで、PSZ Wearableのエンクロージャ構造によるスポット再生をより大型のスピーカでも実現する、逆相波誘導エンクロージャを開発しました。スピーカは低音から高音まで広い帯域の再生や、出力可能な音圧の大きさを求められますが、再生可能な帯域の広さや出力可能な音圧は振動板の大きさの影響を受けます。イヤホンと比べて耳から離れた位置に置くヘッドレスト型のスピーカは、より大きな出力を求められます。逆相波誘導エンクロージャは、PSZ Wearableの設計指針を踏襲し、大型のスピーカ口径に合わせて、逆相の音波と正相の音波の経路差を小さくしながら、エンクロージャの容積を小さくしヘルムホルツ共鳴の共振周波数を高めた構造になっています(図6)。これにより、信号処理不要で、単一のスピーカでありながらコストを抑えたスポット再生を実現しています。今後は、この逆相波誘導エンクロージャ⁽⁵⁾を利用して、車載のヘッドレストへの導入や街中の

スピーカで利用することで、健常者や視覚障がい者向けなど必要な人のみに音が聴こえるスマートなスピーカシステムへの発展などを進め、音の常識を変えるスピーカとして、幅広い場所での利用をめざした研究開発を進めていきます。

参考文献

- (1) 福井・小林・鎌土：“高精度な局所再生を実現するエンクロージャレス・スピーカアレイの提案,” 日本音響学会秋季講演論文集, pp. 199-200, 2021.
- (2) 大賀：“オーディオトランスデューサ工学,” コロナ社, 2013.
- (3) 千葉・加古・小林：“音漏れ低減のためのオープンイヤー型イヤホン向け開口エンクロージャ構造の提案,” 日本音響学会秋季講演論文集, pp. 417-418, 2022.
- (4) 加古・千葉・小林：“オープンイヤー型イヤホン向け開口エンクロージャ構造のシミュレーション評価の検討,” 日本音響学会秋季講演論文集, pp. 415-416, 2022.
- (5) 加古・千葉・野口：“1スピーカで近傍再生を実現する逆相波誘導エンクロージャの提案,” 日本音響学会秋季講演論文集, pp.351-352, 2023.



(後列左から) 中山 彰 / 野口 賢一 / 伊藤 弘章 (右上)
(前列左から) 千葉 大将 / 加古 達也 / 鎌土 記良

PSZで実現するスポット再生技術は、スピーカの利用概念を覆し、現在の課題に合わせて新しく設計をし直すことで実現しています。スポット再生は、これまでのスピーカとは異なり利用者のみに音を届けることができるため、これまでにない音響サービスを実現します。

◆問い合わせ先

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所
企画担当
TEL 046-859-4003
FAX 046-855-1149
E-mail cd-koho-ml@ntt.com

リアルとバーチャルの音を融合する音響XR技術

耳を塞がないオープンイヤー型イヤホンの普及とともに、周囲のリアルな音とイヤホンから聴こえるバーチャルの音を組み合わせる聴くことによる新たな体験が提案されています。NTTでは、このようなオープン型イヤホンが実現するリアルとバーチャルの融合を音響XRと呼び、サービス実現に向けた技術開発を進めています。本稿では、取り組んできたトライアルを中心に、技術や今後の展望について解説します。

キーワード：#XR, #PSZ, #オープンイヤー型イヤホン

のぐち けんいち ちば ひろのぶ
野口 賢一 / 千葉 大将
かこ たつや こづか しほり
加古 達也 / 小塚 詩穂里
くろかわ よしあき わたなべ ゆき
黒川 義昭 / 渡邊 悠希
なかやま あきら
中山 彰

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所

オープン型イヤホンが実現するリアルとバーチャルの融合

NTTは、究極のプライベート音空間であるパーソナライズドサウンドゾーン(PSZ)の実現に向けて、研究開発を行っており、耳を塞ぐことなく利用者にしか聴こえないイヤホンの設計技術を開発⁽¹⁾しました。耳を塞がないオープンイヤー型イヤホンは、さまざまな製品が登場し、近年急速に普及しています。NTTでは、周囲で発生する音を自然に聴くことが可能であるオープンイヤー型イヤホンの特徴に着目し、イヤホンから聴こえるバーチャルの音と、直接耳で聴くリアルな音を融合させて聴く音響XR技術を提唱し、研究開発を開始しました。

音響XR技術を利用することで、周囲の音を聴きながら、イヤホンからの付加音により、聴こえる音を拡張できます。例えば、観劇やコンサートでは、通常P.A.スピーカ

から再生された音を客席で聴取をしますが、観客の近傍で発生する音響再現、音の方向や距離感の制御、広がりのある音響の表現はまだ課題があります。P.A.スピーカ音とイヤホンからの音を融合させて聴取する音響XR技術により、従来困難であったさまざまな音響表現や観客個人に最適化された音響提示を行うことが可能となります。また、スタジアムでのスポーツ観戦では、周囲の歓声を感じながら、イヤホンから解説音声を楽しむことが可能となります。多言語で行われる国際会議では、話し相手の発話のニュアンスを感じると同時に、イヤホンから翻訳音声を聴くことができます。

音響XR技術には、図1に示すように、大きく2つの技術課題があります。「オープンイヤー型イヤホン対応立体音響」と「バーチャル音空間レンダリング」です。通常、イヤホンから再生する音は、頭内に音像が定位しますが、「オープンイヤー型イヤホン対応立体音響」は、頭外の空間上

の任意の位置、例えばリアルなオブジェクトの位置からあたかも発生するような音を、イヤホンを介してバーチャルの音として再現することにより、さまざまな音響表現を可能にします。その際、イヤホンの装着位置のずれや、個人の耳の形状の違いにも対応し、オープンイヤー型イヤホンによる立体音響提示を実現します。リアルな音とバーチャルの音を単純に組み合わせるのではなく、「バーチャル音空間レンダリング」は、人の認知特性に合わせて、イヤホン再生音を制御し、直接耳で聴くリアルな音とイヤホンから聴くバーチャルの音を違和感なく融合して聴くことを実現します。

NTTは、2023年に音響XR技術を用いた複数のトライアルを行ってきましたので、詳細を紹介します。

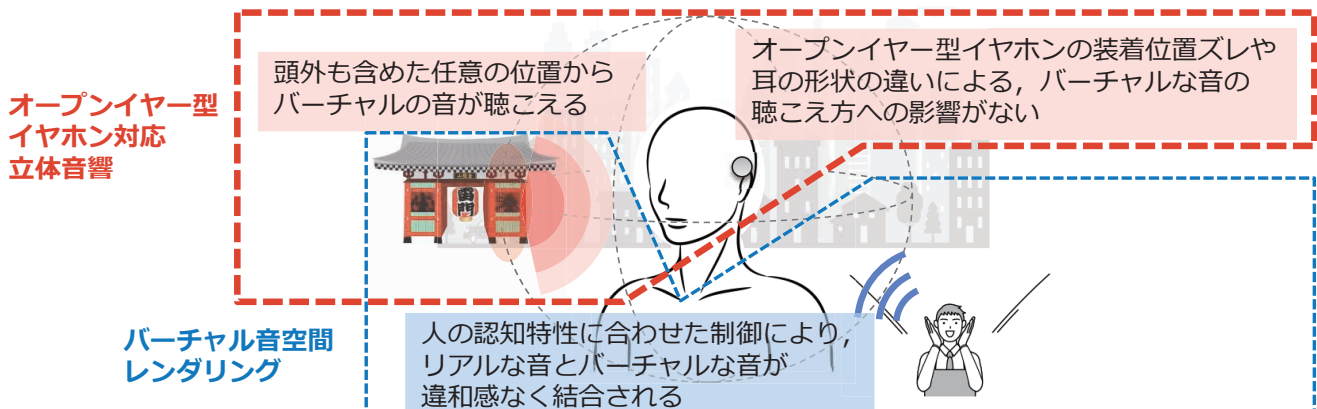


図1 音響XR技術の課題

トライアル1：超歌舞伎（ニコニコ超会議2023）

超歌舞伎では、歌舞伎とNTTの最新テクノロジーを組み合わせ、公演を行ってきました。2023年4月29～30日に幕張メッセで開催された「ニコニコ超会議2023」内で上演された「超歌舞伎 Powered by NTT『御伽草紙戀姿絵（おとぎぞうしこいのすがたえ）』」では、会場のリアルな音と耳元に流れる音がクロスオーバーする空間音響演出に取り組みました⁽²⁾。通常、観客は、P.A.スピーカから再生される、役者の音声、音楽、さまざまな効果音、周囲の客席から聴こえる大向う（歌舞伎の掛け声）を会場のリアルな音として、直接耳で聴きます。トライアルでは、ステージ前方客席の約180席限定で、無線受信機に接続したオープンイヤー型イヤホンを配布し、会場のリアルな音に加えて、イヤホンからの音を聴く体験を行っていただきました。イヤホンからは演目に合わせ、効果音を再生しました。例えば、馬が駆ける音、矢が飛び交う音、風の音等です。P.A.スピーカの音と組み合わせることで、聴取者の近傍を馬が左から右に走り抜ける音、聴取者の上方を矢が飛び交う音を再現でき、臨場感ある空間音響演出を可能としました。

オープンイヤー型イヤホンを用いた立体音響では、筐体自体の音響特性やイヤホンの装着位置から外耳道入り口までの音の伝達特性、耳表面の形状などの影響により、音像が上方に定位してしまうという問題があります。この問題に対し、上方定位の特性を打ち消す補正フィルタを開発し、適用

させました（図2）。これにより、コンテンツ制作者の意図する空間音響再生を可能とすることができました。

トライアル2：サテライト配信公演における音声ガイド

2023年11月2日に開催された「第180回NTT東日本N響コンサート」の開催会場である東京オペラシティ コンサートホール（東京都新宿区）でのオーケストラの演奏を、サテライト会場の北斎ホール（長野県小布施町）に高音質配信するサテライト配信公演が開催されました。北斎ホールでは、大型スクリーンでの映像再生と、5.1ch音響機器による高音質再生を行うとともに、手元のタブレット、スマートフォンで、好きなアングルで演奏を見ることができるマルチアングル配信を実施しました。また、NTT技術による音漏れの少ないオープンイヤー型イヤホンを用いて、演奏される楽曲の解説を配信するトライアルを実施しました。音漏れが少ないため、周囲の人の妨げにならず、耳を塞がないことで、オーケストラの演奏と解説音声を同時に聴くことができます。

一般的にオープンイヤー型イヤホンを利用する場合、周囲のリアルな音とイヤホンからの音が重なることで、音が聴き取りにくくなる問題があります。そこで、イヤホンから提示する音像位置を制御し、周囲のリアルな音が被らない位置から、あたかも聴こえるように提示することで、周囲の音が耳に聴こえる状況下でも音による情報提示を可能にしました⁽³⁾（図3）。今回のサテ

ライト配信公演では、本技術を用い、イヤホンからの解説音声の聴こえる位置をユーザの上方に制御することで、スピーカから再生されるオーケストラの音と分離し、解説音声の聴き取りやすさの向上を図りました。

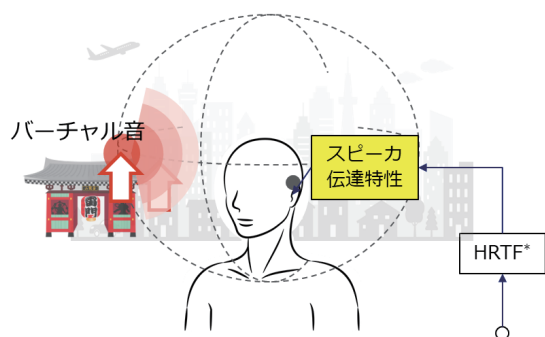
トライアル3：NTT技術史料館の音声ガイド

2023年11月14～17日に行われた「NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION」において、NTT武蔵野研究開発センタ内にあるNTT技術史料館にて、オープンイヤー型イヤホンを用いた音声ガイドのトライアルを行いました。本トライアルでは、スマートフォンのセンサによりユーザの位置を推定し、展示物に近づくと自動的に設定された音声ガイドがスマートフォンに接続されたオープンイヤー型イヤホンから再生されるシステムを来場者に配布しました。美術館や博物館等の施設で、これまでもイヤホンを用いたガイドサービスは行われていますが、本トライアルでは、以下の点をポイントとしています。

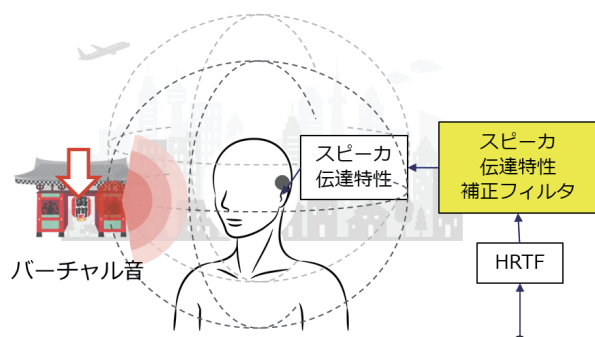
- (1) 周囲と調和するオープンイヤー型イヤホンでの鑑賞

耳を塞がないことで、周囲の音を自然に聴くことができるため、周囲の様子を把握することができます。これにより、ガイドを聴きながらも、周囲の混雑状況を感じ取ることができ、かつ、イヤホンの音漏れは少なく、他の来場者の迷惑となる心配もありません。また、館内のスピーカや展示物自体が発する音があれば、その音も自然に

バーチャル音が上方から聴こえてしまう



上方定位問題を打ち消すようなフィルタを設計



* HRTF (Head-Related Transfer Function: 頭部伝達関数)

図2 オープンイヤー型イヤホン着用時の定位位置の補正フィルタ適用イメージ



図3 空間的な特性を利用してイヤホンからの音を聴き取りやすくする音源配置技術

聴くことができます。環境によっては、一緒にいる友人等と会話を交わしながら鑑賞するといった体験も可能となります。

(2) あたかも展示物から聴こえる立体音響

ステレオの音響再生を活かし、展示物からユーザの両耳までの音の伝達特性を模擬する信号を提示することで、あたかも展示物から聴こえる立体音響を可能としました。このとき、音像が上方に定位してしまうというオープンイヤー型イヤホンの特性の補正技術を導入しています。また、今回、ユーザの位置をリアルタイムに推定しており、ユーザが移動しても、同じ位置にある展示物からあたかも聴こえるよう立体音響を実現しています。具体的には、静態展示している昔の通信機の周囲を動き回るとき、通信機を模擬した効果音をユーザ位置に応じて立体音響処理してイヤホンで提示し、あたかも通信機から音が聴こえるような音響演出を実現しました。

(3) クロスリンガル音声合成技術による多言語ガイド

インバウンド需要の増加に伴い、多言語による音声ガイドの提供が求められています。NTTが開発したクロスリンガル音声合成技術は、日本語のみの音声データから、同じ声質を保ちつつ、英語、中国語等の異なる言語による音声合成を可能とする技術です。今回は、声優の日本語音声データを基に、クロスリンガル音声合成技術による日本語と英語の音声ガイドを用意し、アプ

リ上で切り替え可能としました。

今後の展開

本稿では、イヤホンから聴こえるバーチャルの音と、直接耳で聴くリアルな音を融合させて聴く音響XR技術とその取り組みについて紹介しました。オープンイヤー型イヤホンは、周囲の音を自然に聴くことができる特徴から、観光・エンタテインメントといった分野以外にも、ビジネスや日常生活のさまざまな場面での活用が考えられます。例えば、視覚障がい者の方へ音声ガイドを行うことも有用なアプリケーションです。実際に視覚障がい者の方にオープンイヤー型イヤホンを装着し、音声ガイドを聴きながら、敷地内を歩く体験をしていただきました。体験後のヒアリングでは、「外でイヤホンをつけることに抵抗があったが、外の音の聴こえ方があまり変わらなかった」と、コメントをいただきました。また、耳を塞がないため、長時間装着していても疲れにくい特徴から、一日中ユーザがオープンイヤー型イヤホンを装着しながら、ユーザの状況に応じたパーソナライズ化された複数の音響XRサービスを楽しむといったことも考えられます。今後、想定される利用場面での技術課題を解決し、サービスの実現に向けて、取り組んでいきます。

参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/11/09/221109a.html>
- (2) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/04/29/230429b.html>
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/11/10/231110c.html>



(後列左から) 中山 彰 / 野口 賢一 / 小塚 詩穂里 / 黒川 義昭 (右上)

(前列左から) 渡邊 悠希 / 千葉 大将 / 加古 達也

音響技術を核として、リアルとバーチャルを融合させることによる新たな体験を創出しています。今後もさまざまなトライアルを繰り返しながら、価値あるサービスの実現に向けて取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所
企画担当
TEL 046-859-4003
FAX 046-855-1149
E-mail cd-koho-ml@ntt.com



車室内の快適で安全な音環境の実現に資する PSZ 能動騒音抑圧技術と所望音通過技術

本稿では、究極の音空間であるパーソナライズドサウンドゾーン (PSZ) 技術における「不要な音を消す」技術と「必要な音は通す」技術について述べます。この要素技術である「音を閉じ込める技術」と融合した新たな能動騒音抑圧技術、音響イベント定位技術、そしてその応用例を紹介します。これらの技術を車室内音響制御に応用すれば先進安全自動車 (ASV : Advanced Safety Vehicle) の利用者にミラー、レーダやカメラの死角を見ることのできる「優れた耳」を提供することもできます。PSZ 技術は利用者の快適性だけでなく、安全性や信頼性を大いに高める「耳」として利用者と車両・車室外環境・車社会を高度につなぎます。

キーワード：#アクティブノイズコントロール (ANC)、#音響イベント定位 (SELD)、
#先進安全自動車 (ASV)

音空間制御に必要な 2 つの技術

私たちを取り巻く音空間は、技術の進歩により、より便利に、より快適に進化しつつあります。

例えば、「聴きたくない音は遮断でき、聴きたい音だけが聴こえる」、このようなニーズは非常に大きく、市場においてもイヤホンなどのウェアラブル製品においてメーカはさまざまな製品を投入しています。一方で、現在に至っても、これらの製品は 2 つの大きな問題を解決できていません。

1 番目の問題は長時間装着時の耳への大きな負担です。聴きたくない音を遮断するためには技術上は耳を塞ぐことがもっともコストが安く効果的であり、このような機能を持つイヤホンの大半が耳の外耳道にイヤピースを挿入するタイプのインイヤー型のイヤホンです。これらのイヤホンは長期使用において圧迫感によるストレスの増加や外耳道疾患のリスクを高める可能性があり⁽¹⁾、人の社会活動の基本となる耳の健康への懸念があります。したがって、「聴きたくない音は耳を塞がずに遮断できる」ことが音空間を制御する技術に求められているといえます。

そして 2 番目の問題は、「聴きたい音」以外の「聴かなければならない音」を十分に考慮できていないことです。人間は目には見えないところで起こっている物事に対し、耳で聴く音で反応し対応することがで

きます。例えば、後方からくる目に見えない自転車や、ベルの音を聴いて避ける対応ができます。一方で、これらのデバイスではそれらの音が聴けるか否かはユーザに判断を任せており、常時このような危険察知に必要な音を聴くことはできません。本来耳に備わる機能である「聴かなければならない音が聴こえる」という安全上重要な機能が失われているということです。したがって、「聴きたい音が聴こえる」だけでなく、「聴かなければならない音も聴こえる」という音空間の制御もまた社会からの要請として技術的に強く求められているといえます。

車両音空間制御における 2 つの技術「ANC」「SELD」

車両においてはこれらの技術的要請は他のケースと比べより顕著となります。

耳を塞ぐようなウェアラブルデバイスを装着することは道路交通法違反の可能性があるだけでなく、条例によっては違反となります。そのため、車両での移動中にも快適な音空間を実現するためには「聴きたくない音は耳を塞がずに遮断できる」必要があります。また、車体やヘルメットによる外音の遮断、車両移動中のロードノイズ等による外音の増加や徒歩よりも移動速度が速いことにより、危険回避のために必要な音が聴こえにくくなるのが事故の原因と

かまど のりよし かわけ ともこ
鎌土 記良 / 川瀬 智子
やすだ まさひろ さいとう しょういちろう
安田 昌弘 / 齊藤 翔一郎
こづか しほり いたう ひろあき
小塚 詩穂里 / 伊藤 弘章
なかやま あきら
中山 彰

NTT コンピュータ&データサイエンス研究所

もなります。そのため、「聴かなければならない音が聴こえる」必要性はより高い、特に先進安全自動車 (ASV : Advanced Safety Vehicle) においてはその安全性を高めるうえで必須であるといえます。

私たちは、これらの技術的要請にこたえるため、パーソナライズドサウンドゾーン (PSZ) の要素技術としてスポット再生・音響 XR 技術と高度に融合した技術の研究開発を進めています。本稿では、図 1 に示すような耳を塞がずに騒音抑圧効果が得られるようなアクティブノイズコントロール (ANC : Active Noise Control) 技術と、周りの音が聴こえにくい環境においても危険回避のために、必要な音は聴こえやすくする音響イベント定位 (SELD : Sound Event Localization and Detection) 技術について紹介します。

耳を塞がずに騒音を抑圧する ANC 技術

ここでは「聴きたくない音は耳を塞がずに遮断できる」ことを目的とした ANC 技術について説明します。

前述のとおり、現在普及しているイヤホンは耳の外音を遮断するため、耳を塞ぐものが一般的です。図 2 (a) に一般に普及しているインイヤー型のイヤホンがどのように聴きたくない音を遮断するかを示します。インイヤー型のイヤホンは耳の穴を塞ぐか

たちで装着します。イヤホンが耳の穴を塞ぐことで耳栓のような役割を果たすことで、耳の外の音は聴こえにくくなります。

ただし、耳の外の音は完全には消えないため、ANCが用いられます。図2 (b)のようにイヤホン内部に2つのマイク、参照マイクとエラーマイクを装着し、これらのマイクで時々刻々と観測される音を元に、耳元の騒音を消すことのできる打ち消し音をスピーカより再生することで、より高い遮音性能を得ることができるようになります。このとき、参照マイクは遮音対象となる周囲騒音を、エラーマイクは耳内におけるANC処理の消し残りの音をそれぞれ観測するために用いられます。

ここで、耳を塞がずに騒音を消す方法を考えます。耳を塞がないためには、耳から離れた位置にスピーカを配置しなければなりません。したがって、スピーカはイヤホンのような小さなものでは出力が足りないため、より大きな物が必要となります。また、インイヤーイヤホンのように耳元に参照マイクやエラーマイクを置くと耳を塞ぐことになってしまうため、これらのマイクも耳から離して設置する必要があります。このようなシステムを図に表すと図2 (c)のようになります。

このように、耳を塞がずに周囲の騒音を抑制するためには、耳から離れたスピーカ・マイクを用いて耳元の騒音の打ち消しを実現する必要があります。しかし、この方法には3つの大きな問題があります。

- ① 制御の安定性です。耳から離れたスピーカで出る騒音の打ち消し音が周囲騒音のみを収録することを目的とした参照マイクで収録されるため、いわゆるハウリング（フィードバックとも呼ぶ）が発生します。
- ② 図2 (b)のようにイヤホンANCでは耳の入り口近くにマイクがあるため、耳内で聴こえる騒音を正しく観測できます。一方で図2 (c)のようにこれらのマイクが耳から離れると耳内で聴こえる騒音を正

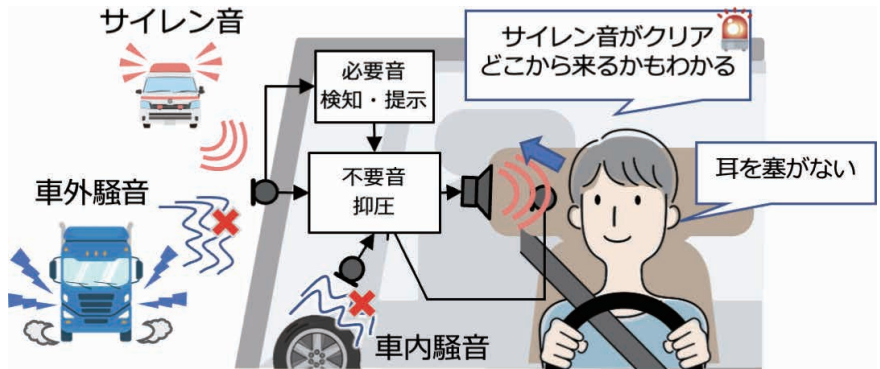


図1 車両におけるPSZ技術の応用例

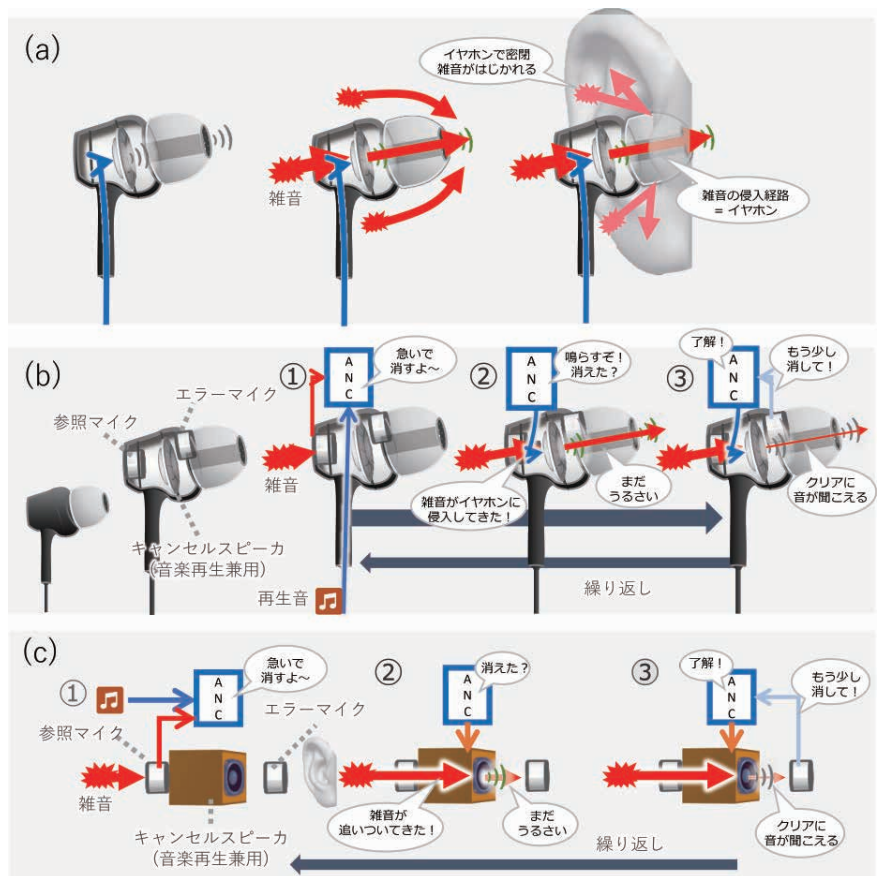


図2 インイヤーイヤホンが必要な音以外の騒音を小さくする仕組み

しく観測できず、騒音以外の音を消そうとしてしまいます。

③ 市販のスピーカやコンピュータでは音の再生と収録にすら時間がかかるため、打ち消し音を生成している間に騒音は耳

元に届いてしまい、打ち消すことができません。また、車室においては大電力の使用は困難であるため、省電力である必要があります。このような用途では従来はデジタルシグナルプロセッサ (DSP)

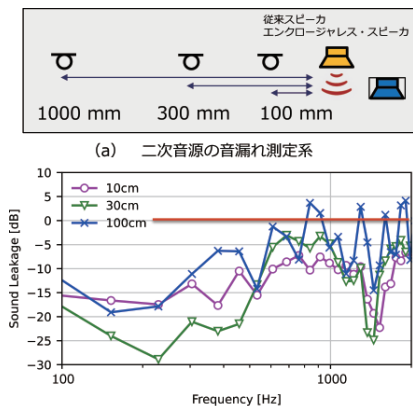


図3 音漏れ抑圧スピーカの効果

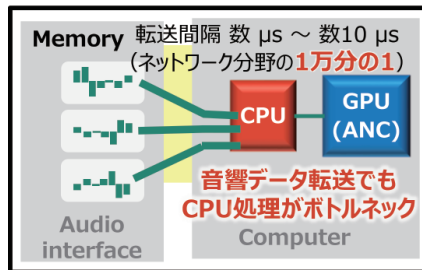
が一般に用いられてきました。一方、耳を塞がないANCにおいては、DSPの演算量が飽和するほどの困難な問題を解く必要があります。さらに、②の問題の対応のためには、一般にスピーカやマイクを多量に配置し、さまざまな補償のための信号処理を実施する必要があります。これには多くの演算量がかかり、打ち消し音の生成が間に合わなくなります。

まず、①の問題の解決のためには、スピーカから参照マイクへの音漏れを低減する必要があります。そこで、前述のスポット再生技術の原理を応用した新たなスピーカを開発しました。図3にその音漏れの低減効果を示します。

このスピーカではスピーカ周囲全体において音漏れが少なくなるだけでなく、特にスピーカの振動板と平行な面では音漏れが非常に小さくなる領域が生まれます。図3において赤線は従来スピーカの音漏れ量を、それ以外の色の線はスポット再生技術を適用したスピーカの音漏れ量を表しています。従来スピーカと比較し、スピーカ近傍100mm~300mmで数dBから数10dBもの音漏れ量の抑圧効果が得られていることが分かります。

②の問題においては、イヤホン同様に参照マイク、エラーマイクを耳元に近づけていくことが必要となります。①のスポット

(a) 従来技術およびその課題



(b) 従来技術の課題を解決する技術ポイント

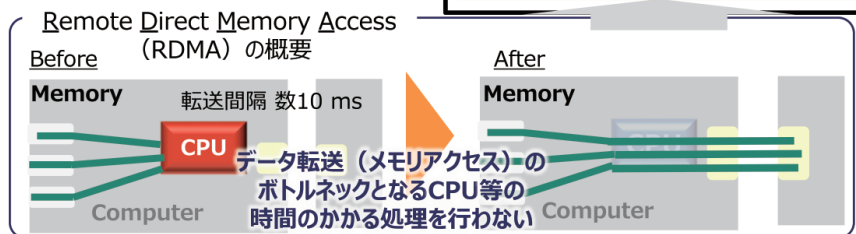
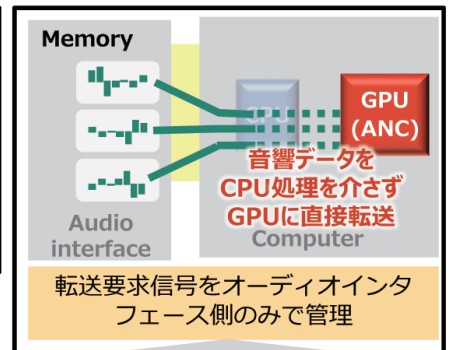


図4 多量のデータを高速低遅延で低消費電力を実現するGPU Direct Audio方式

再生スピーカは音漏れが少ないため、車両ヘッドレストにこのスピーカを埋め込むことで、参照マイクも耳元に近づけることができるようになります。これにより、参照マイクは耳元で聴こえる騒音に近い音を観測できるようになります。

一方で、エラーマイクは参照マイクのようにハウリングの問題は生じないため、参照マイクよりさらに耳元に近づけて置くことができます。しかし、耳元にエラーマイクを置くことは耳を塞がないという前提上不可能であるため、耳からわずかに離しつつ、耳元の騒音を推定する信号処理が必要となります。この処理のためには、一般に複数のエラーマイクを配置しなければならず、この処理を騒音が参照マイクで観測されてから耳元に到達する前の非常に短い時間、数100 μs の間に完了させる必要があります。

これらの理由から、耳を塞がないANCにおいては、信号処理を高速かつ超低遅延に実行する省電力なハードウェアが必須となります。そこで私たちは、ネットワーク・映像処理分野において盛んに活用されてい

るGPGPU (General-Purpose computing on Graphics Processing Units) を音響処理にも応用、最適化することで、この問題を解決しました。

図4にその原理を示します。GPGPUは高速低遅延で単位処理当りの消費電力が少ないことで知られていますが、図4(a)に示すように、データの入力と出力にオーディオ機器を直接接続できず、間にCPUが介入するために処理遅延が増える問題がありました。そこで、図4(b)に示すように、この遅延をRDMA (Remote Direct Memory Access) 技術を利用し、マイク・スピーカの音響信号を、CPUを介さずGPGPUにダイレクトに接続するとともに、1msの遅れも許されない音響処理特有の強いリアルタイム性、他信号処理にない多量の小データ・多量送信パケット(フレームバースト)に対応すべく最適化を実施しました。

この結果、従来の50分の1程度の時間で音響データ転送を実現し、多量の音響信号をリアルタイムかつ低消費電力で処理することが可能なハードウェアを実現しまし

た。このハードウェアにより、DSPでは困難であった耳を塞がないANCを実現することができるだけでなく、ANC分野ではその演算量や処理遅延の問題で導入が難しいといわれている深層学習技術などの導入も実現することができます。

これらの技術を搭載した車両の例を図5に示します。当該車両においては全席のヘッドレスト左右のユーザ視線を遮らない位置にスポット再生機能を持ったスピーカを搭載し、その周囲に参照マイク・エラーマイクを配置しています。シート内部にスポット再生スピーカが搭載されることで、そのスポット再生能力が低下しないよう、ヘッドレストの形状等にも工夫を施し、耳元での騒音抑圧精度を高めています。これにより、車室内空間での快適性を向上させることができます。



図5 耳を塞がないANCシステムの実装例

「聴かなければならない音が聴こえる」SELD技術

前述のとおり、ANC技術では車両走行時の不快な音を抑圧することはできませんが、エラーマイクで観測される音はすべてその抑圧対象となるため、危険回避のために必要な音が聴こえにくくなるのが事故の原因となり得ます。そのため、「聴かなければならない音が聴こえる」ためには新たな必要音通過技術の開発が必要となります。そこで私たちは、SELD技術に着目しました。

SELD技術の概要を図6に示します。SELD技術はマイクで観測される音響信号からいつ、どこで、何があったかを推定する技術です。SELD技術を用いることで、マイクに入力されたさまざまな音から、ユーザに真に必要な音をその到来方位を含め推定することができます。SELD技術は、現在ではエンド・ツー・エンド深層学習技術により構成されるのが一般的で、その内部では「どこで」に対応する音源到来方位(DOA: Direction of Arrival)推定、「何が」に対応する音響イベント検知(SED:

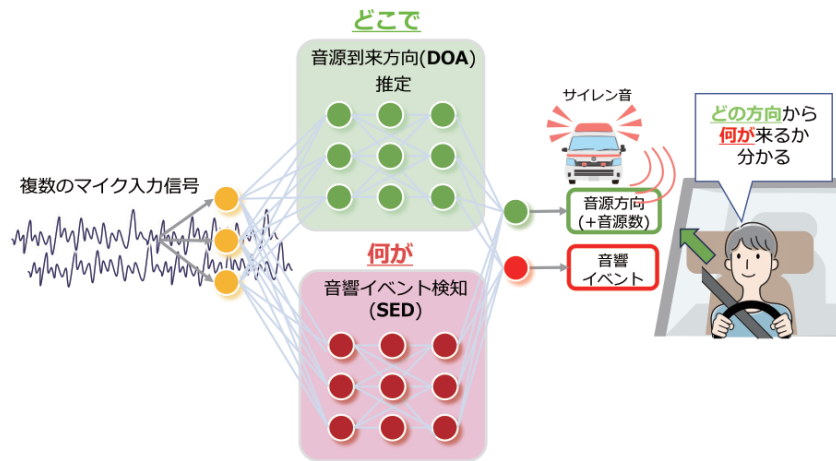


図6 SELD技術の概要

Sound Event Detection) を行います。

SELD技術は深層学習技術を用いるため、その学習には「聴かなければならない必要な音」に関する音響信号が多量に必要となります。例えば、図6のように運転者の死角にいる遠くのサイレン音をいち早く検知し、ユーザにその方位を知らせることで適切な回避を促すような用途では、理想的には死角になるあらゆる方位のサイレン音を、あらゆる場所、あらゆるシチュエーション(例えば周囲の車、建物や天候状況)などを考慮し収録し学習させる必要があります。しかし、現実にはこのような多量の音の網

羅的な収録は困難です。

一方、人間は環境の違いや自己運動に伴う音の変化があったとしても、音の到来方位をある程度推測することができます^{(2)~(4)}。これは、人間が音に含まれる情報から、その到来方位を推定するために必要な情報を取捨選択できるということを意味します。私たちはこの人間の能力^{(5)~(7)}をSELDに模倣させることを考えました。

私たちは、このような人間の能力を模倣する機能をSELD技術に付与するEcho-Aware feature Refinement (EAR)-Comprehensive Anechoic data and

Sparse Multi-environment data (CASM) 技術⁽⁶⁾ および Motion-Aware feature Refinement (MAR) 技術⁽⁹⁾を開発しました。これにより、環境が変わっても、自分が動いても頑健に動作する SELD 技術が実現できます。これらの技術により、さまざまな環境の音の網羅的な収録は不要となり、従来は困難であった車のような移動環境における SELD 技術の適用が現実的なコストで可能となりました。

EAR-CASM 技術と MAR 技術を適用した車載向け SELD 技術の概要を図 7 に示します。EAR-CASM 技術では、SELD の学習データに含まれない音の響きを知るための手掛かりとして、自車から発した音（例えば自車走行音やソナー音など）が周囲に反射して戻るエコーを SELD に与えます。改良された SELD は、このエコーから未知の環境の音の響きの影響をこれまで学習してきた音の響きを活用し抑圧する、人の耳のような動きをします。また、MAR 法では、自己運動の情報として、自車に取り付けられた加速度センサやカメラ情報等さまざまなセンサ入力を SELD に与えることで、自車運動に対する音の変化の影響を低減します。

本技術を ANC 技術とともに ASV に適用することで、「聴きたくない音は耳を塞がずに遮断でき」、「聴きたい音が聴こえる」だけでなく、「聴かなければならない音も聴こえる」、安全で快適な移動のための音空間の創出に貢献しています。

■参考文献

(1) C. Mukhopadhyay, S. Basak, S. Gupta, K. Chawla, and I. Bairy : "A comparative analysis of bacterial growth with earphone use," OJHAS, Vol. 7, No. 2, April 2008.
 (2) D. R. Begault, E. M. Wenzel, and M. R. Anderson : "Direct Comparison of the Impact of Head Tracking, Reverberation, and Individualized Head-Related Transfer Functions on the Spatial Perception of a Virtual Speech Source," J. Audio Eng. Soc., Vol. 49, No. 10, pp. 904-916, Oct. 2001.

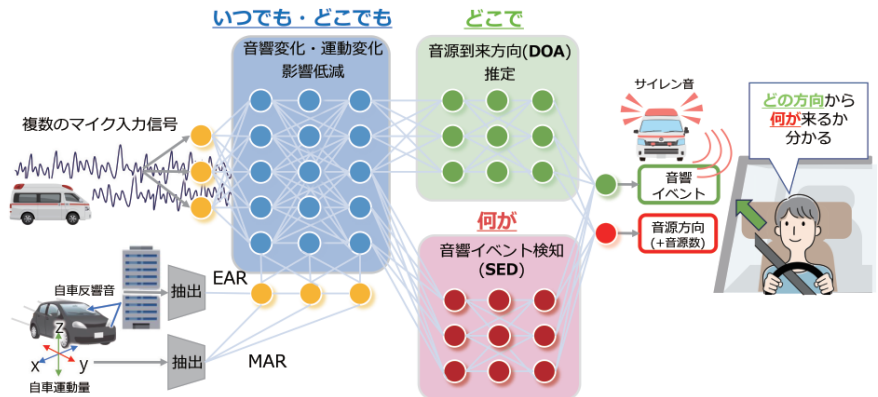


図 7 EAR-CASM と MAR を適用した車載向け SELD 技術の概要

(3) Y. Iwaya, Y. Suzuki, and D. Kimura : "Effects of head movement on front-back error in sound localization," Acoust. Sci. & Tech., Vol. 24, No. 5, pp. 322-324, 2003.
 (4) B. C. J. Moore : "An introduction to the psychology of hearing (3rd ed.)," Academic Press., 1989.
 (5) R. Gao, C. Chen, Z. Al-Halah, C. Schissler, and K. Grauman : "Visual echoes: Spatial image representation learning through echolocation," Proc. of ECCV 2020, August 2020.
 (6) F. Antonacci, J. Filos, M. R. P. Thomas, E. A. P. Habets, A. Sarti, P. A. Naylor, and S. Tubaro : "Inference of room geometry from acoustic impulse responses," IEEE Trans. on Audio, Speech, and Lang. Process., Vol. 20, No. 10, pp. 2683-2695, 2012.
 (7) L. Rosenblum, M. Gordon, and L. Jarquin : "Echo locating distance by moving and stationary listeners," Ecological Psychology-ECOLPSYCHOL, Vol. 12, pp. 181-206, 2000.
 (8) M. Yasuda, Y. Ohishi, and S. Saito : "Echo-aware Adaptation of Sound Event Localization and Detection in Unknown Environments," Proc. of IEEE ICASSP 2022, May 2022.
 (9) M. Yasuda, S. Saito, A. Nakayama, and N. Harada : "6DoF SELD: Sound event localization and detection using microphones and motion tracking sensors on self-motioning human," Proc. of IEEE ICASSP 2024, April 2024.



(後列左から) 中山 彰 / 齊藤 翔一郎 / 小塚 詩穂里 / 伊藤 弘章 (右上)
 (前列左から) 川瀬 智子 / 安田 昌弘 / 鎌土 記良

PSZ は利用者の音環境を周囲の音環境と安全性・信頼性を保ちながら高度に調和・融合し、利用者とその周囲だけでなく、利用者を取り巻く社会環境をもつなぐ、なくてはならないインタフェースとなる技術です。PSZ の利用シーンは広がり続けます。

◆問い合わせ先

NTT コンピュータ&データサイエンス研究所
 企画担当
 TEL 046-859-4003
 FAX 046-855-1149
 E-mail cd-koho-ml@ntt.com



NTTソノリティの挑戦——PSZ技術と Magic Focus Voice をコアにした事業展開

NTTソノリティは、耳を塞がずに耳元だけに音を閉じ込める「パーソナライズドサウンドゾーン（PSZ）技術」や、周囲の音をカットして自分の声だけ届けるNTTの特許技術「Magic Focus Voice（旧インテリジェントマイク）」という2つの“音のテクノロジー”をコアとして、ライフスタイルにおける新たなスタンダードの創造をめざしています。本稿では、会社設立の経緯、自社ブランド「nwm（ヌーム）」およびプロダクトである「耳スピーカー」、急成長するオープンイヤホン市場、2024年より開始した次世代音声DXサービス事業について紹介します。

キーワード：#PSZ技術, #nwm, #耳スピーカー

さ さ き か お り
佐々木 香理

NTTソノリティ

PSZ技術から会社設立へ

NTTソノリティは、耳を塞がずに耳元だけに音を閉じ込めるパーソナライズドサウンドゾーン（PSZ）技術による事業展開をめざして2021年9月に設立されました。PSZ技術とは、NTTコンピュータ&データサイエンス研究所で開発され、周囲への音漏れを抑えるために逆位相を活用するという斬新な発想から生まれました。ある音波（正相）に対し、180度位相を反転させた波形（逆相）を重ねると音が消える原理を応用しています。主に自動車メーカや航空機メーカからのニーズを受け、イヤホンやヘッドホンといったデバイスを使わずに自分だけに音が聞こえ、周囲と意思疎通もできる個別音響空間の実現をめざした研究

が続いていました。2020年11月のNTT R&DフォーラムにおけるPSZ技術搭載の航空機シートのデモ展示を契機として、ビジネス化への機運が高まりました。

当初は、自動車、航空機業界をメインターゲットとした法人向けの事業計画でしたが、NTTの澤田純会長（当時：社長）より、PSZ技術の価値をよりスピーディに社会に還元する重要性を説かれ、コンシューマ事業も加わることとなり、デモ機展示からわずか1年弱で設立されました。企画開発から製造、品質保証、流通、販売まで一気通貫する音響メーカとして成立させるため、NTTグループ外からの人材を積極的に採用しました。音響や機構、電気などメーカのエキスパートだけでなく、広告・メディア、小売業界出身者らもおり、現在、社員

の8割を占めています（図1）。

イヤホンへの技術搭載

2021年は新型コロナウイルス感染症の拡大が継続しており、リモートワークをはじめとする新しい生活様式が浸透していた時期でした。デジタルコンテンツを介したコミュニケーション機会が増え、イヤホンが生活必需品として台頭し始めた一方で、「長時間イヤホンを着けていると耳が蒸れたり、痛くなったりする」「耳が塞がっていると周囲の音に気付けない」といった新たなペインが生じていました。これをニーズととらえ、PSZ技術搭載のイヤホンの開発に取り組みました。

まずは音漏れを最小限に抑えた音響デバイスとして成立させるために、耳に入る音圧を稼ぎつつ、音質を保つという課題に挑みました。音漏れ抑制のために背面から放出される逆位相を活用するという前代未聞の発想ゆえに、製品化はチャレンジングでした。正相、逆相を放出するポート配置、サイズ、エンクロージャ内のキャビティ空間・容積など、音質に影響する各構造のバランスを定めるシミュレーションに加え、人種や性別にも影響されない形状とするハードウェア改良を何100回も実施してきました。NTTの研究技術と、高度な音響設計技術を有したNTTソノリティエンジニアたちのクラフトマンシップによって結実した製品といえます（図2）。



図1 多様な人材を採用

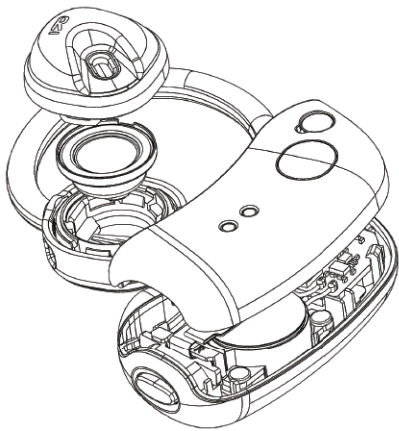


図2 改良を重ねたプロダクト



図3 ブランドタグライン&ステートメント

■音響ブランド「nwm」

体感してこそ、魅力を発揮するPSZ技術をコンシューマに広く認知させるべく、プロダクト開発と同時並行で自社音響ブランドも検討してきました。前述のとおり、コロナ禍によってデジタルコンテンツを介したコミュニケーションが浸透する中で、新たなコミュニケーション上の課題が生じているととらえました。PSZ技術自体が、コミュニケーションを継続できる個別音響空間の構築を理想としていることも踏まえ、自分の世界と周囲の世界を分断せずシームレスにつなげる、「共存」をコンセプトとしたブランドとなっています。

2022年11月に音響ブランド「nwm（ヌーム）」を発表しました。nwmは、「the New Wave Maker」の略で、ブランドタグライン「音で叶える、あなたと叶える。」の下、人と人の「今」をつないできたNTTグループ初の音響ブランドとして、ユーザのリアルな声を聴き入れた新たな働き方・暮らし方の共創を掲げています（図3）。ステートメントは以下のとおりです。

「リモート会議中のママ、電話をするパパ、動画を楽しむ子ども。それぞれが別々の作業をしても、邪魔することなく、分断もすることなく、シームレスにみんなが快



図4 耳スピラインアップ

適につながる事ができたら。

私たち「nwm」は、そんなこれからの働き方・暮らし方をあなたと一緒に考え、それを「音のテクノロジー」で実現したいのです。追求したいのは没入感ではなく、周囲とつながる気持ちよさ。さあ、音で叶えよう、共に描いた未来を。」

■nwmの新体験、耳スピーカー「耳スピ」

2024年1月現在、nwmの耳スピーカー、「耳スピ」という親しみやすいラインアップ名とともに、有線モデル「nwm MWE001」、ワイヤレスモデル「nwm MBE001」2種（ダークブラウン・ホワイ

トベージュ）、ネックバンドワイヤレスモデル「nwm MBN001」2種（ダークブラウン、ホワイトベージュ）の5製品を展開しています。いわゆるオープンイヤー型イヤホンに属しますが、オープンイヤー型の課題であった“音漏れ”を、PSZ技術によって最小限に抑制させている点で競合製品と一線を画しています（図4）。

コンセプトも踏まえ、見た目としても「耳を塞いでいない＝話しかけられる、コミュニケーションできる」ことが分かるデザインとなっています。耳の形状に沿ってクリップのように引っ掛けて装着をします。

音漏れを抑えるPSZ技術搭載により、オフィスや静かな公共空間でも気兼ねなくコンテンツを楽しめます。直径12 mmのドライバを採用し、BGMのようなバランスの取れた自然な聴き心地も実現しました。通話用マイク搭載で、耳を塞がないので自分の声がこもらずに自然に話せます。耳への圧迫感もなく、軽いフィット感に仕上がっているため、長時間続くリモートワークやオンライン会議でもストレスフリーに過ごすことが可能です。音楽や動画コンテンツ鑑賞中、インターホンの音やそばにいる家族の呼びかけ、ペットの鳴き声などにもすぐに気付け、着けたままでも自然に会話ができます。日常のあらゆるシーンで一緒に暮らせる“共存”を実現する製品となっています。

ワイヤレスイヤホン市場は拡大傾向にあり、2025年度には約4兆円の市場規模（世界）に成長するとの予測もあります。また、NTTソノリティが2023年6月に、全国の男女2165人を対象に実施した「イヤホン・ヘッドホンの長時間使用に関する調査」では、「イヤホンの使用時間が増えた」との回答が3割を超えており、イヤホン自体が生活必需品に変化しつつあることも裏付けています。さらなる自社調査では、ワイヤレスイヤホン市場においてユーザの約10%が、耳を塞ぐ形状のイヤホンにペインを感じており、潜在的なオープンイヤー型イヤホンのニーズがあると推察しています。

■ nwmの展望

nwmの耳スピーカーによる新たな音響体験の提供をめざし、エンタテインメントやアート、新旧カルチャーとのコラボレーションも展開しています。2023年9月には筋萎縮性側索硬化症（ALS）当事者のクリエイターによる、最先端テクノロジーを活用した拡張身体パフォーマンスの音響技術として、有線モデルのnwm MWE001が採用

されました。パフォーマンスに不可欠な脳波検知の音漏れなしに、会場の音が聴けて観客と一体になれる近未来的DJパフォーマンスを実現しました。エンタテインメントにおいては、ミリ波による高速大容量通信を駆使したイベントにて、来場客が同時に体験できる参加型AR（Augmented Reality）ゲームの音響技術にも採用されました。ゲームコンテンツの音も周囲との会話も楽しめるプレイヤーどうしの一体感の演出を大きくサポートしました。2023年12月には、伝統文化である歌舞伎と最先端のICTが融合した「超歌舞伎 Powered by NTT『今昔饗宴千本桜』」において、nwm MWE001が同時解説イヤホンガイドサービスデバイスとして採用されました。舞台上の生の音の臨場感と、ガイド解説をも同時に楽しめる新たな鑑賞体験を提供できました。

現在の活用事例からしても耳スピーカーは、現状のコミュニケーションのかたちを超えた、リアルとバーチャルが融合する新たなコミュニケーションに欠かせないデバイスになれると確信しています。今後、より進化した「耳スピ」を披露していきたいと思っています。

PSZ技術の原点である自動車メーカや航空機メーカを筆頭とした個別音響空間のニーズにもこたえるべく各業界とのパートナーシップも強化しており、事業化をめざしています。

一方、NTTコンピュータ&データサイエンス研究所のマイク技術であるMagic Focus Voice搭載製品もNTTソノリティ名義ブランドで展開しています。2023年10月、会議用高音質スピーカ「ビームマイクスピーカ『LinkShell』」の一般発売を開始しました。周囲の雑音をカットして必要な声だけを相手に届けることができるため、生活音が気になるリビングでのリモートワーク、雑音のするオフィス自席やワーケーション



図5 Magic Focus Voice搭載ビームマイクスピーカー『LinkShell』

中のオンライン会議などでも、オンライン環境においてストレスフリーなコミュニケーションを提供しています（図5）。

ネクストステップとしての法人サービス事業

ネクストステップとして2024年、PSZ技術とMagic Focus Voiceを駆使した法人向けの次世代音声DXサービスを開始し、法人向けサービス市場に参入しました。NTTソノリティ初のサービス事業として、デスクワーク以外に従事するデスクレスワーカーを抱える業界をターゲットに、現場コミュニケーションのワンストップソリューション「BONX WORK」を提供する国内スタートアップの株式会社BONXとともに展開していきます。

デスクレスワーカーは、小売・宿泊・介護・建設業界などにおいて国内推定4000万人以上とされ、声によるコミュニケーションが主流となっています。トランシーバが必須アイテムですが、長時間に及ぶイヤホン利用による耳疲れ、トランシーバを複数携帯する辛さ、高騒音下によるコミュニケーションの断絶といった課題を抱えています。PSZ技術およびMagic Focus Voiceはこのニーズに最適な技術とみています。



図6 BONX intro knot 3.5M



図7 Magic Focus Voice搭載プッシュトゥトークデバイス（仮称）



図8 「次世代トランシーバサービス」の利用イメージ例

BONXは、「一緒に滑っている仲間との一体感を高めて、もっとスノーボードを楽しみたい」という創業者の熱意から生まれ、どんな場所でもコミュニケーションを大切にするというビジョンは、人と人のコミュニケーションの進化をめざすNTTソノリティともマッチします。

2024年4月には耳スピーカーをはじめとするNTTソノリティの音のテクノロジーとBONX WORKアプリを掛け合わせた次世代トランシーバサービス「ゼロからはじめるNTTの現場DX」を開始します。人の声とそれ以外を瞬時に判別する発話検知の技術が組み込まれたBONX WORKアプリは、シンプルな操作性で大人数でも限られた人数でも通話が可能です。文字起こし、テキストや写真の共有もできます。さらに、BONXとともに、各業界のユースケースを元にした有線耳スピーカーの片耳モデル「BONX intro knot 3.5M」も共同開発しました（図6）。アプリ、イヤホン、ネットワークだけで労働環境における劇的なコミュニケーション改善が期待されます。そして、2024年秋には、高騒音下でのクリアな通話を実現するMagic Focus Voice初搭載となるプッシュトゥトークデバイス（仮称）（図7）も発売する予定です。これらを「次世代トランシーバサービス」に取り

入れることで、ユースケースのさらなる拡張が期待できます（図8）。

NTTグループ企業を窓口としたエントリーキャンペーンも企画しており、デスクレスワーク業界へのサービス拡大につなげます。AI（人工知能）の発展を踏まえ、音声データ分析などの現状の機能を拡充させ、同時翻訳やガイドといった新機能も開発していきます。サービスのオンプレミス化、他社システムサービスとも連携した業界別ソリューションの提供も検討しています。

おわりに

共存をコンセプトに人と人のコミュニケーションを大切にするnwm、個人のアイデンティティである声を大切にして、心の機微まで伝え合えるソリューションをめざす音声DXサービス、いずれもNTTの推進するIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）の世界観に通じるものがあります。設立から3年、音のテクノロジーによってさらなる人と人のコミュニケーションの進化に貢献していきたいと考えています。

参考文献

- (1) <https://ntt-sonority.pr-asy.com/release/84>
- (2) <https://ntt-sonority.pr-asy.com/release/87>
- (3) <https://ntt-sonority.pr-asy.com/release/10037>
- (4) <https://ntt-sonority.pr-asy.com/release/10211>
- (5) <https://ntt-sonority.pr-asy.com/release/10213>
- (6) <https://ntt-sonority.pr-asy.com/release/10257>
- (7) <https://ntt-sonority.pr-asy.com/release/10264>
- (8) <https://ntt-sonority.pr-asy.com/release/10287>
- (9) <https://ntt-sonority.pr-asy.com/release/10598>



佐々木 香理

バックグラウンドの異なる人材が集まった組織ですが、社員1人ひとりに共通する技術への敬意と、失敗を恐れないチャレンジ精神、成功へのパッションをお伝えできれば幸いです。

◆問い合わせ先

NTTソノリティ
マーケティング&コミュニケーショングループ
E-mail sonority-pr@ntt.com



主役登場

人と現実世界と仮想世界をつなぐ、次世代音響デバイスをめざして

千葉 大将 Hironobu Chiba

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所
研究主任



イヤホンやヘッドホン、小型スピーカのような音響デバイスは、今日では単に音楽を聴くためだけでなく、通話やビデオ会議、ゲーム、フィットネスなど多様な用途で使用されています。そして近年ではAI（人工知能）や空間コンピューティング技術の進化がすさまじく、デジタル化された情報が現実世界に重ねられた中で当たり前前に生活する時代が迫っています。それは音においても例外ではないことから、音響デバイスはますます私たちの身体の一部のような存在になり、常時着用が当たり前となると考えられます。そのような世界では、ユーザが現実空間と仮想空間の両方で自然に溶け込みながら活動できるように、ユーザと一体化する音響デバイスが求められます。そこで私たちのグループでは、長時間利用しても負担が少なく、自分の聴きたい音を自分だけに届けながら、自然な音質で周囲の音も聴くことができるという要求を満たす音響デバイスとして、耳を塞がないイヤホン（オープンイヤー型イヤホン）やスポット再生を実現するスピーカアレイの研究開発に取り組んできました。

ここで、私が研究開発にかかわった、音漏れが少ないオープンイヤー型イヤホンの設計技術を紹介します。オープンイヤー型イヤホンというアイデアや製品は以前から

ありますが、音漏れが大きく、周りの人に迷惑がかかるため公共の場で利用しにくいという問題を抱えていました。従来の音漏れ低減技術として、スポット再生用のスピーカアレイのように音漏れとは逆相関係の音波（逆相波）を放射するスピーカを追加して音漏れを打ち消す技術はありますが、製品設計の観点でイヤホンでの利用は困難でした。そこで、イヤホンのようなサイズのデバイスでも利用できるスポット再生技術として、スピーカの背面から放射されている逆相波を誘導し、音漏れを打ち消すイヤホン設計技術を開発しました。原理を述べるだけなら簡単ですが、試しに適当な設計でイヤホン筐体をつくってみると、筐体の形状によっては音漏れとの逆相関係が崩れてしまい、逆に音漏れが増えてしまうことがありました。そこで、机上の議論やシミュレーションだけでなく、3Dプリンタを用いて100を超える形状のイヤホン筐体を設計・造形し、各筐体の音漏れの大きさを測定・評価しました。その結果、逆相波を制御するのに有効な筐体設計パラメータとパラメータ設定方法を見つけることができました。特に音漏れが小さい筐体設計方法を発見し、造形して実際に音漏れが小さいことを体感したときの喜びは今でも鮮明に覚えています。また、誰でも試聴可能なプロ

トタイプ機をつくってグループや研究所内の方にデモをしたところ、音漏れが聴こえないことへの驚きの声をたくさんいただき、研究開発の成果を五感で体感できるかたちにするの大切さを学びました。現在、この技術を利用したイヤホンがNTTソノリティで製造販売されており、この技術を多くのお客さまにご体験いただいています。

このオープンイヤー型イヤホンの設計は、音漏れの問題を解決するだけでなく、立体音響などに関して新たな発見が続いています。また、この設計技術が利用されたオープンイヤー型イヤホンの製品は、舞台のリアルな音を聴きながら耳元で解説音声や効果音を再生する空間音響演出で利用されています。今後は私たちのグループの音響デバイスが人間と現実世界と仮想世界をつなぎ、時間や空間、環境、文化などの垣根を越えた音のコミュニケーションを可能とする次世代音響デバイスに進化するのに必要な技術の研究開発に取り組んでいきたいと考えています。これは、電話の時代から音によるコミュニケーションを長い間支え続けてきたNTTグループだからこそできる取り組みだと思います。



期待高まる国産生成AI (前編)

——AIの歴史的変遷と大規模言語モデルの動向

2022年11月に登場した「ChatGPT」に代表される生成AI（人工知能）は世界を熱狂させ、ビジネスや生活に変革をもたらしています。その要素技術の1つが大規模言語モデル(LLM: Large Language Model)で、米国のビッグテックをはじめ、各国で研究、開発が進んでいます。特に昨年来、規模の大小に加え、特定言語に対応したタイプや、金融、医療といった特定領域に適したタイプなど多様化と細分化が加速しています。本稿では前後編2回にわたり、LLMを中心にAIの歴史や現行のさまざまなモデル、国内外の法制度、開発・規制の動向を紹介していきます。



AIの誕生、そして現在

■繰り返すブームと冬の時代

AI（人工知能）という言葉は半世紀以上前、1956年に米ダートマス大学で開かれたワークショップ、通称「ダートマス会議」を機に誕生したといわれています⁽¹⁾。AIの名付け親で後に米スタンフォード大学のAI研究所を立ち上げたジョン・マッカーシー氏が開催を呼び掛け、「AIの父」と呼ばれるマービン・ミンスキー氏らが参加したこの研究会で現代AI研究の基礎が築かれました。人間の思考や論理、学習の仕組みをコンピュータによる機械的操作、記号処理での解明、再現を試みます。

会議は1カ月に及びました。この研究会において、数学の定理をコンピュータで自動的に証明することに成功し、史上初のAIプログラムとして実を結びます。研究会では、「コンピュータへの言語のプログラム方法」や「神経細胞（ニューロン）網」などが課題に挙げられました（表1）。自然言語処理、ニューラルネットワーク、機械学習、抽象概念と推論、創造性といった今なお研究が続く今日のテーマの基礎が、このとき整理して定められたのです⁽²⁾。

出席者らはAIの実現を楽観視していました。1960年代初頭、マッカーシー氏は「完璧な知能を持つ機械」の10年以内の実現をめざし、スタンフォード人工知能研究所を設立しました。MIT人工知能研究所を設立

したミンスキー氏も「一世代のうちにAIの実現に向けた問題点はほぼ解決されている」と予測していました。

しかし期待とは裏腹に、AIはさまざまな課題に直面、希望は失望へと変わっていきます。AIをめぐる期待と失望は、これまで幾度となく繰り返されてきました。

概説すれば、1950～1960年代、ダートマス会議の後にAI研究への楽観論が広まり、政府や企業はAI関連の投資を増やしました。この時期、基本的なAIプログラムが開発され、機械が簡単な問題を解決できることが示されました。ただ、過大な期待に反し、AIが直面する問題の複雑さと、計算資源の乏しさを背景に、研究は停滞、政府なども資金を引き揚げてしまいます。

停滞期を経て、1980年代を中心に、AIは再び第2次ブームを迎えます。医療分野などの専門家の知識を教え込んだ「エキスパートシステム」が、その牽引役でした。ただ、人間が情報を与え続ける必要があるといった制約が足枷となり、AIは高まる期待にこ

たえられませんでした。

ただ、その冬の時代を経て、2000年代以降にAIはみたび脚光を浴びます。総務省の2019年版情報通信白書の言を借りれば、「AIは期待と失望を繰り返しつつも関連の研究が進んでいた中で、近時目覚ましい研究成果を出すようになってきた」といえます⁽³⁾。

その第3次AIブームは萎むことなく、生成AIによるリポートを受け、現行の3.5次とも第4次ともいわれるかつてない盛り上がりを見せています（表2）。

■第4次ブームは生成AI

第2次AIブームの機運が萎え、冬の時代を迎えていた間にも、第3次ブームの萌芽となる技術は静かに胚胎していました。すなわち、1990年代から2000年代前半にかけて世界的に広まったインターネットと、その上で蓄積された多種多様かつ膨大な情報です。ネットとビッグデータが、AIを大きく進化させていく起爆剤となりました。

第2次ブームのエキスパートシステムの

表1 ダートマス会議で扱われたAIの課題

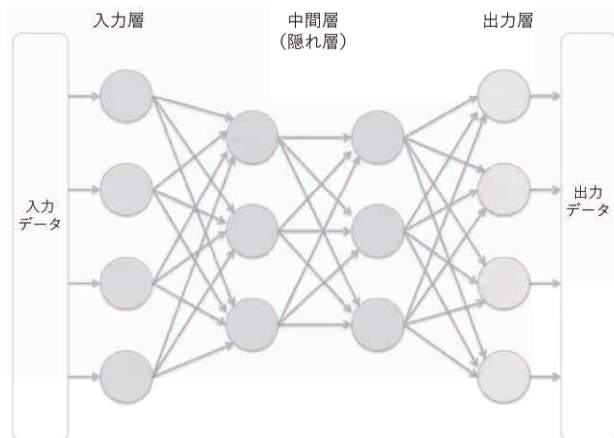
| |
|-----------------------|
| 1. 自動計算 |
| 2. コンピュータへの言語のプログラム方法 |
| 3. 神経細胞（ニューロン）網 |
| 4. 計算量理論 |
| 5. 自己改善 |
| 6. 抽象化 |
| 7. 無作為性と創造性 |

情報通信総合研究所作成

表 2 AIの歩み

| | | | |
|----------------|--------|----------------------|--|
| AI 草創期 | 1940年代 | 1945年 | 世界初のコンピュータ (ENIAC) 登場 |
| | | 1947年 | チューリング、AI の概念を提唱 |
| 第 1 次 AI ブーム | 1950年代 | 1950年 | アイザック・アシモフが著書『われはロボット』でロボット 3 原則を提唱 |
| | | 1956年 | ダートマス会議で AI の言葉が登場 |
| | | 1958年 | フランク・ローゼンブラットが「パーセプトロン」を論文で発表 |
| | 1960年代 | 1964～1966年 | ジョセフ・ワイゼンバウムが「ELIZA」を開発 |
| | | 1965年 | エドワード・ファイゲンバウムが「Dendral」を開発 |
| 1970年代 | 1972年 | スタンフォード大学で「Mycin」を開発 | |
| | 1979年 | 米人工知能学会 (AAAI) が設立 | |
| 第 2 次 AI ブーム | 1980年代 | 1982年 | 日本で「第 5 世代コンピュータプロジェクト」が開始 |
| 冬の時代 | 1990年代 | 1986年 | 日本人工知能学会が設立 |
| | | 1997年 | 「ディープブルー」がチェスの世界チャンピオン、ガリリ・カスパロフに勝利 |
| 第 3 次 AI ブーム以降 | 2000年代 | 1999年 | ソニーがペットロボット「AIBO」を発売 |
| | | 2005年 | レイ・カーツワイルが著書『ポスト・ヒューマン誕生』にて、コンピュータが人類の知性を超えるときを予測 |
| | 2010年代 | 2011年 | 「Watson」が米国テレビクイズ番組「Jeopardy!」で人間のチャンピオンに勝利 |
| | | 2012年 | アップルが iPhone 4S にバーチャルアシスタント「Siri」を搭載 深層学習アプリケーションが画像認識コンテストで人間に圧勝 グーグルが AI による猫認識の精度を公表 |
| | | 2016年 | 「アルファ碁」が、囲碁の世界チャンピオンである李世乭九段に勝利 |
| | | 2017年 | グーグルの研究者らが深層学習モデル「Transformer」を発表 |
| | 2018年 | 2018年 | OpenAI が大規模言語モデル「GPT」を開発 |
| | | 2022年 | 各社が相次いで画像生成 AI をリリース OpenAI が対話型 AI サービス「ChatGPT」を発表 |

各種資料より情報通信総合研究所作成



情報通信総合研究所作成

図 1 ディープラーニングの構造

難点として、総務省の2016年版情報通信白書は「当時はコンピュータが必要な情報を自ら収集して蓄積することはできなかった」と指摘しています⁽⁴⁾。第3次ブームでは、その克服がカギになりました。

その期待を受けて登場したのが、1990年代以降に加速した機械学習、そして2000～2010年代に全盛期を迎えたディープラーニング（深層学習）です（図1）。ニューラルネットワークを発展させて入出力の間に隠れ層を組み込んで複数構造にした、このディープラーニングが3度目のブームのブレークスルーとなりました。

機械学習で賢くなったAIは、次々と人間を凌駕する能力を發揮していきます。IBMの特製コンピュータがチェスの世界王者を1997年に下し、世界を驚かせました。その後も、韓国のプロ棋士、李世乭（イ・セドル）九段を破ったGoogle傘下のディープマインド「アルファ碁」や、米国の人気クイズ番組「Jeopardy!（ジヨパディ）」で優勝したIBMの「Watson（ワトソン）」など、AIによる面目躍如の快進撃が続きます。

その後もAIの進歩は目覚ましく、課題とされていた「必要な情報を自ら収集して

蓄積する」ことができるようになりました。さらに、収集データを基に「生成」まで可能となった——。それがAIの現在地といえるでしょう。そして、生成コンテンツの種類はテキストに限らず、画像や音声、音楽など拡大を続け、1つのモデルで複数の種類に対応する「マルチモーダル化」が進んでいます。

■マルチモーダル化の追求

我が世の春を謳歌する生成AIですが、一口に「生成」といっても、LLMに基づくテキスト生成AIから、画像生成AI、音声・音楽生成AI、はたまたスライドや3DCGを生成できるモデルまで多岐にわたります。

今はPCやスマートフォンを通じてテキストで入力し、やはりテキストや画像で出力するといったタイプが主流です。一方、入力に音声や画像を組み合わせるモデルも出始めています。テキスト生成AIや画像生成AIのハイブリッド型など異種混合のケースが増えつつあります。

いずれは、そうした境目が消失し、あらゆる情報がデータ化されて入力要素となり、出力形態もテキスト、イラスト、図表、音声、動画など多様に選べる「マルチモーダル」型のモデルへと取れんしていくと見込まれます（図2）。

取れんするにしても、現行のテキスト生成AI、画像生成AI、音声生成AIが実現するまでに辿った道のり、それを支えてきた技術は異なり、それぞれ別個の構成要素のうえに発展してきた歴史があります。ただ、テキストも画像も音声も、それらを識別したり、分析したりする技術はここ10年ほど、特にディープラーニングの発達によって加速してきました。

(1) 画像認識技術

画像認識の技術としてもっとも歴史が古く、かつもっとも身近な例として、バーコードがあります。1940年代から実用化され、広く普及している技術です。

その認識技術に対するディープラーニングの革新性を印象付けたのが、カナダ・トロント大学教授のジェフリー・ヒントン氏らによる発明でした。教授らが開発した「AlexNet」は2012年、AIによる画像認識の精度を競うコンテスト「ILSVRC」で、2位以下のチームに大差で優勝しました。以来、ディープラーニングへの注目度が格



段に高まってきました。

(2) 音声認識技術

ディープラーニングは音声認識技術の進化も急加速させました。

最も初期の音声認識の研究は1970年代、米国で始まります。米軍など政府の野心的研究に続き、企業として世界初となる音声認識技術をIBMが開発しました。その後、綿々と発展を遂げながら、特に2010年代に米AppleのスマートフォンiPhoneに搭載された「Siri(シリ)」や米Amazonの「Echo(エコー)」など、音声デバイスが普及期に入りました。

現行の一般的な音声認識の仕組みは、4つの要素から成ります。すなわち、アナログの音声情報をデジタル化する「音響分析」と、そうしてつくられたデータから音素を抽出する「音響モデル」、その音素ごとにモデル化された膨大なデータベースを指す「発音辞書」、そして「言語モデル」です。

その言語モデルこそ、ChatGPTをはじめとするテキスト生成AIの中核技術となっています。なお、GPTは「Generative Pre-trained Transformer(事前学習済み

生成トランスフォーマー)」を表し、末尾の「T」のTransformerが言語モデルの大規模化を促し、今の生成AIブームを支える革新的発明でした。

LLMの仕組みと特徴

■言語モデルの仕組み

LLMの構造を理解するには、その大本となる言語モデルを理解する必要があります。

言語モデルとは、テキストを生成したり理解したりするために使用される確率モデルです。テキストの過去の使用例に基づいて、テキストの次の単語を予測し、文章にしていく仕組みです。言語モデルはさまざまな方法で構成されますが、現在は脳の構造を模したコンピューティング技術「ニューラルネットワーク」を使うのが主流です。

AIにおける言語モデル発展の歴史、その始まりは1950年ごろまでさかのぼります。当初は文法規則に基づくモデルなど、主に「ルールベース」と呼ばれるアプローチが主流でした。1980年代になると、統計的

手法が導入され、単語の並びや文脈から言語のパターンを学習するようになりました。

時代が下り、1990~2000年代初頭に主流はその統計的な手法へと移りました。大量のテキストデータから言語のパターンを学習するモデルが開発されるようになります。

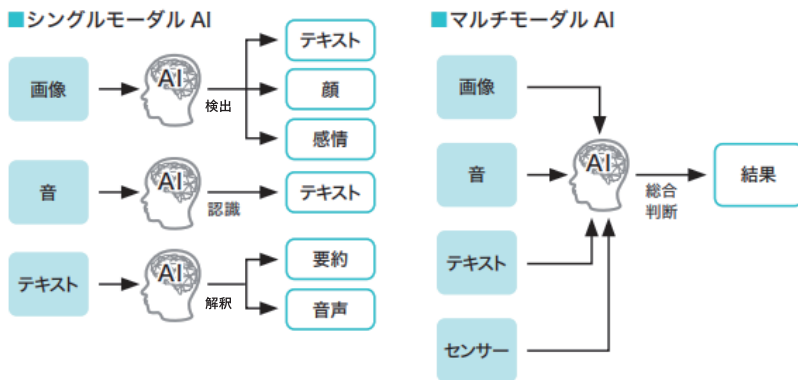
2000年代後半以降はインターネットの普及に伴いデータ量が急増するにつれて言語モデルが発展しました。ニューラルネットワークに基づくモデルの開発が加速し、より複雑な言語の特徴をとらえ、精度の高いモデルが実現されるようになりました。

さらに2010年代には、後述の「Transformer」が革新を起こし、それを活用したOpenAIの「GPT」シリーズをはじめとした事前学習モデルが登場しました。大量のテキストデータを用いた事前学習モデルは、特定のタスクに微調整(ファインチューニング)を加えることで、さまざまな言語処理タスクにおいて高い性能を発揮しています。

この言語モデルの構造を図式化すると図3のようになります。大まかに、言語モデル構築の基本プロセスとして、「生データ」の収集に始まり、そのデータに「クリーニング・正規化」を施し、トレーニング用のデータセットを作成、トークン化を経て、パラメータやアルゴリズムを加えたものが基本構造となります。

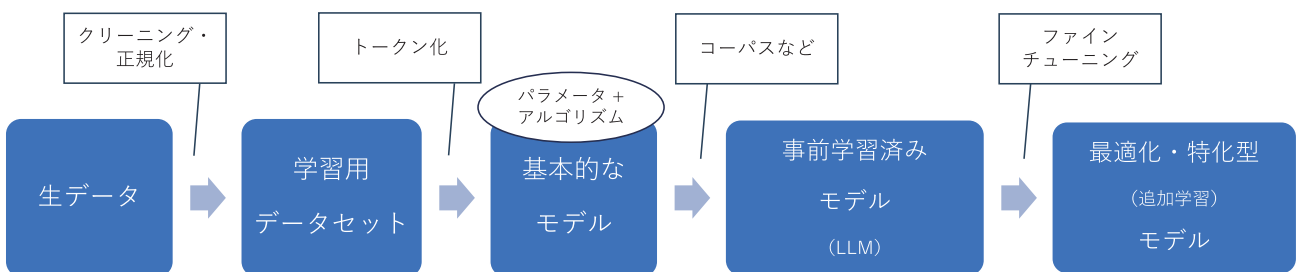
「パラメータ」は、モデルの構成要素であり、モデルの挙動を定義し、エラーを最小限に抑えるためにトレーニング中に調整されます。

まず生データは、誤字脱字など不純物が混じっているため、誤字の修正や日付形式の標準化といったかたちでノイズや不整合を取り除く作業が必要となります。これにより、トレーニングデータの品質が高まり



情報通信総合研究所作成

図2 シングルモーダル・マルチモーダル違い



情報通信総合研究所作成

図3 LLM構築のフロー

ます。さらにそのトレーニング用データを「トークン化」します。

トークンとは、テキストデータを処理する際に基本となる単位であり、生成AIを支えるLLMによるテキストの理解や生成に不可欠な要素です。一続きのテキストを個々の単語、文字、サブワードなどの小さな単位のトークンに分割して構成され、その手法は言語やモデルの要件に応じて異なります。

例えば、単語トークン化はテキストを単語ごとに分割する方法であり、「I like apples.」という文を["I", "like", "apples", "."]というトークンに分割します。一方、テキストを個々の文字に細分する「文字トークン化」や「句読点トークン化」といった方法など万別です（表3）。

この時点で一定規模の語彙が集まり、そこに言語モデルのアルゴリズムやパラメータを付加することにより、体系化された基本的なモデルが出来上がります。

■言語モデルのスケールアップ

まだ粗削りともいえるこの序盤の言語モデルを、大規模モデルへ進化させるためには、トレーニングをする必要があります。

一般的に、このパラメータ数のほか、「計算量」「データ量」を巨大化させることで、言語モデルは、ChatGPTのように正確で自然なテキスト生成が可能なLLMとなります（図4）。ChatGPTを開発したOpenAIが2020年に発表した論文で、その効果が明らかになり、各社で大規模化をめざす競争が過熱していきました⁵⁾。

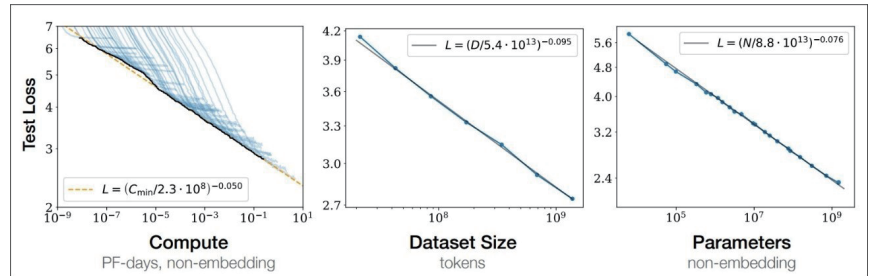
ただ、規模を追うこうした開発は、コンピュータの処理量の増大に伴う電力の大量消費などの問題をほらみ、持続可能性の観点から課題も少なくありません。そうした中、NTTの「tsuzumi」のようにパラメータ数を小さく抑えながら、高性能なモデルの重要性が高まっています。

粗削りのモデルを大規模化するためには、まずネット上の記事や論文、WikipediaなどのオープンソースやSNSの投稿など、多種多様なデータセットに基づいた事前学習を行います。事前学習は、言語モデルが最初に大規模なコーパス上でトレーニングされるプロセスです。これにより、特定のタスク向けのデータで微調整される前に、幅広い言語の特徴を学習します。

表3 トークン化の種類と差異

| 種類 | | トークン化された結果 |
|----------|---------------------------------|---|
| 単語トークン化 | 句読点を無視して、意味を持つ最小単位の単語に、文章を分割 | ['今日','は','いい','天気','です','ね'] |
| 文字トークン化 | 文を、句読点も含めて個々の文字に分割 | ['今','日','は',' ',' ','い','い','天','気','で','す',' ','ね','!'] |
| 句読点トークン化 | 文を単語に分割すると同時に、句読点を独立したトークンとして認識 | ['今日','は',' ',' ','い','い','天気','です',' ','ね','!'] |

情報通信総合研究所作成



大規模化に伴い乗数が増える法則性を示したグラフ。左から「計算量」「データ量」「パラメータ数」で、それぞれの規模の巨大化により言語モデルの性能が格段に向上することを示している。

出典：“Scaling Laws for Neural Language Models”

図4 言語モデルのスケールアップ

その「コーパス」とは、AIが人間の言葉を理解するうえで欠かせない辞書のようなデータ集です。自然言語の文章や使い方を大規模に収集し、コンピュータで検索できるよう整理されたデータベースです。コーパスは「言語全集」とも呼ばれ、自然言語を扱うAIにとって最重要ツールの1つです。

コーパスは、新聞や雑誌、本、インターネット上のテキストなど、さまざまなメディアから収集された自然言語によって構成されています。これらのデータは構造化され、品詞や文法情報も付与されています。AIが非構造化データとして存在する無数の自然言語を「読む」ための辞書のような役割を果たします。

図3の最終工程にあるファインチューニングは、パラメータの微調整などによりモデルを最適化します。あるタスクに特化して性能を高めるためのプロセスといえます。

まとめれば、LLMは、膨大なテキストデータから、単語やフレーズの出現パターンを学習し、一定の回数をこなした後、検証用データでテストし、その結果を踏まえて微調整する2段階のプロセスを経て完成します。

こうした一連のプロセスは、自然言語処理と総称されます。

■日進月歩の自然言語処理

自然言語処理（NLP：Natural Language Processing）は、人間が日常で使う言葉「自然言語」をコンピュータが識別、抽出する技術を指します。

コミュニケーション上の話し言葉や、行政文書や論文のフォーマルな書き言葉などが自然言語処理の対象であり、言葉の意味を多面的に解析します。「言葉」をコンピュータが理解する技術である自然言語処理は、近年飛躍的に進歩し、生成AIの台頭に結び付きました。

自然言語処理では、文章の構造や全体像を読み解く「形態素解析」、単語どうしを結び付ける「構文解析」、フレーズごとの相関性を表す「意味解析」、文章の流れの整合を確認する「文脈解析」といった各工程で自然言語を処理します。

自然言語処理技術の進化は、深層学習の進歩に支えられています。最先端のシステムは、数千億にも及ぶパラメータを持つ「LLM」を学習させることで、高度な言語処理能力が備わっています。自然言語処理技術が進化することで、質問やリクエストへの違和感のない応答、機械翻訳やWeb検索がより高い次元で可能となりました。

そして、自然言語処理において革新的な役割を果たしたのが、「Transformer」でした。



■Google発の革新的技術, Transformer

Transformerとは、「Attention Is All You Need」というGoogleの研究者らによる2017年の論文で紹介されたディープラーニングモデルです⁶⁾。従来の言語モデルが単語の出現確率を学習していたのに対し、Transformerは単語の順序を考慮した「自己注意」のAttention層のみを用いた点が最大の特徴です。

このAttentionのメカニズムは、例えば人間が見聞きした情報の特定個所に「注意(Attention)」を払うように、その仕組みを模倣し、AIが入力データの一部に注意、着目するよう学習させる技術です。例えば、人間が猫を認識する際、「顔」や「体形」から「これは猫」と判別する、あるいは英文の穴埋め問題では解答個所の周辺の単語に特に注意を向けます。それらと同様の行為を機械的にプログラムし、入力データの一部に対する注目度を高め、相対的に他の部分では低める効果を持たせることにより、人間に近いかたちで画像や文章を認識可能

としました。

以前のニューラルネットワークは、AIの学習に必要な正解ラベル付きデータを大量に用意しなければなりませんでした。Transformerではラベル付きデータがかなり少なく済みます。その結果、ラベルが付いていないような、Web上の膨大なデータや企業のデータベース内の情報も、効果的に利用できるようになりました。さらに、Transformerの計算は並列処理に適しているため、高速なモデルの実行が可能です。このモデルは、GoogleやMicrosoftの検索エンジンをはじめ、多くのAIのアプリケーションやサービスに採用されています。また、2018年にGoogleが発表した自然言語処理モデルであるBERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) やGPTといったTransformerを基盤とした発展形のモデルが生まれ(図5)、LLMの開発をめぐる各企業が切磋琢磨しています。一方、Transformerのさらなる効率化やシンプル化をめざす研究も進められており、よ

り少ないパラメータで最大の性能を引き出すことをめざしています。

なお、Transformerは、言語モデルとして使用されるだけでなく、画像認識や音声認識などのタスクにも適用されています。自然言語処理の多くのタスクでモデルのベースとして使用されるTransformerのように、高い汎用性を示すLLMは、「基盤モデル (Foundation Model)」とも呼ばれます。

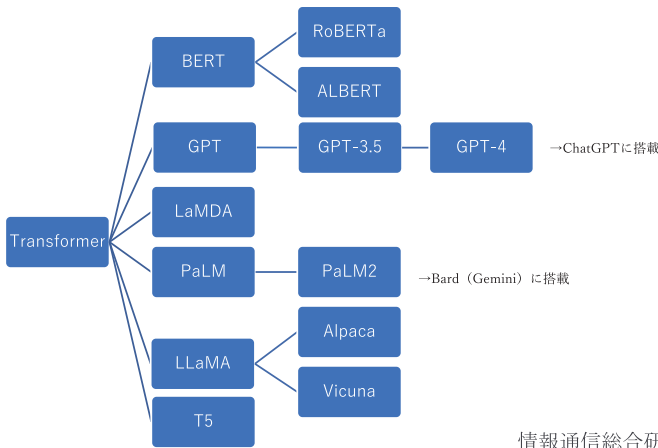
■増えるプレイヤー、広がる市場

こうしたLLM全般にわたり、新聞社や雑誌社をはじめとするメディアなどのデータを保有する企業や、それらを整理して構造化データにまとめ上げる企業、それを指南するコンサルティングファームやプラットフォームサービスを提供する企業など、プレイヤーの裾野は広がっています。さらに、AIの高機能化、高速計算に欠かせないGPU (Graphical Processing Unit) の供給源である、NVIDIAに代表される半導体メーカーが最重要プレイヤーとして注目度が高まっています(図6)。

多国籍調査会社QYリサーチによると、LLMを取り巻く市場は、2022年の105億ドルから、2029年には408億ドルまで、年平均成長率21.4%で大きく伸長すると予測されます。

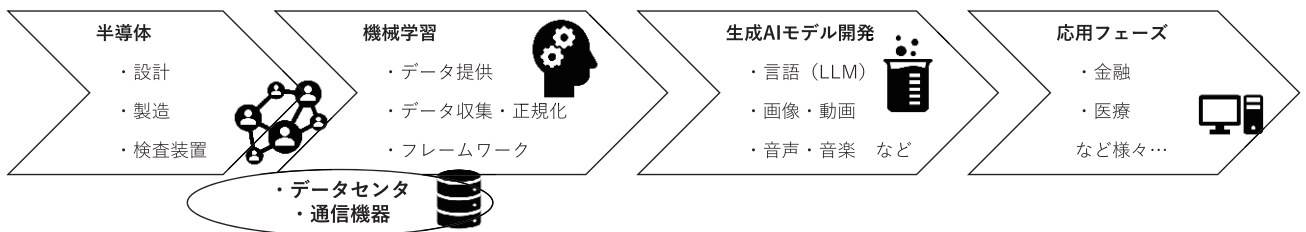
生成AIの普及・拡大による波及効果でもっとも潤う市場の1つが半導体産業です。米調査会社ガートナーの2023年12月4日の発表によると、同年の世界半導体売上高は前年比10.9%減の5340億ドルだったのに対し、2024年は同16.8%増の6240億ドルまで伸長し、過去最高を更新する見込みです⁷⁾。

関連して半導体の製造装置や検査装置の需要も大きな伸びが予想されます。製造過



情報通信総合研究所作成

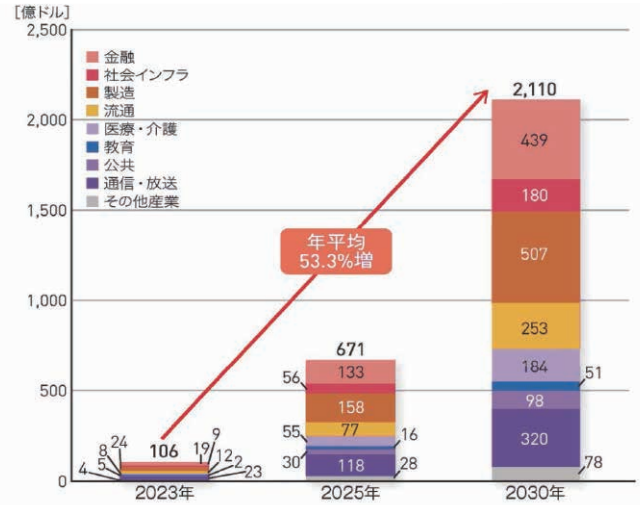
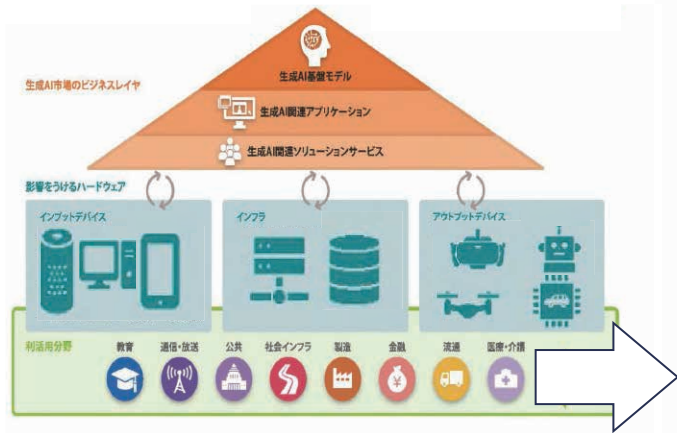
図5 Transformerから派生した言語モデルの例



※半導体産業の主要関連企業は「For The Future: “世界中が熱い！半導体政策・動向を紐解く—前編—」, NTT技術ジャーナル, Vol.35, No.7, pp.10-15, 2023」を参照

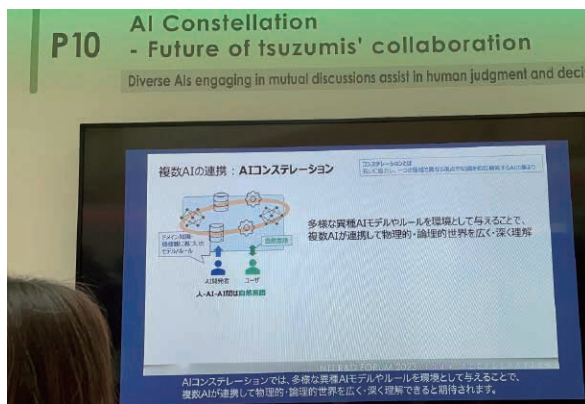
情報通信総合研究所作成

図6 生成AIブームが波及する主な関連市場



出典: JEITA:“生成AI市場の世界需要額見通しを発表”を一部加工

図7 生成AIの世界需要額見通し



複数のAIが連携して議論を深める「AIコンステレーション」
(2023年10月、筆者撮影)

図8 AIコンステレーションの展示

程において欠かせない薬剤フォトレジストなどの原材料も需要増が見込まれます。例えば半導体計測および検査装置の市場規模は、2024年に約105億ドルと推定され、2029年までに約135億ドルに達すると、調査会社モルドールインテリジェンスは予測しています⁽⁸⁾。

当然ながら世界中で扱われる情報量が急増し、データセンタの需要も増します。インドの市場調査会社ストレーツリサーチによると、世界のデータセンタ市場規模は、1926億ドル強だった2021年から、2030年には5544億ドルに達すると予想されます⁽⁹⁾。

このほか、生成AIの応用フェーズではありとあらゆる分野が影響を受けます。米コンサルティングファーム、マッキンゼー・

アンド・カンパニーによると、教育やアート、法務など多岐にわたるジャンルで、生成AIが業務の効率化に資するとの見通しを示しています⁽¹⁰⁾。

生成AI全体としては、2023年の106億ドルから、2030年には2110億ドルまで急速に成長すると電子情報技術産業協会 (JEITA) は予測しています⁽¹¹⁾ (図7)。

■新たな職業の創発

LLMを実装した生成AIの普及に伴い、新たな職業も生まれつつあります。代表例として、テキスト生成AIへの指示文「プロンプト」を、最適化して出力の精度を高める「プロンプトエンジニア」のスキルが重視されています。その職種において「年収5000万円」といった好待遇からも、いか

に重要なスキルが分かるでしょう⁽¹²⁾。

今後は記事を書いたり、スライドを作成したりといった作業も、AIが担う割合が増えてくるはずですが、生成AIは事実に基づかない回答をするケースが少なくありません。そうした真偽のチェック、誤字脱字の校正や文章の校閲といった新聞社のデスクのような仕事、「ファクトチェッカー」の仕事が増えると思えます。

また、出力された内容が事実だとしても、倫理観にもとるような出力をしてしまうことが想定されます。そうした問題を招かぬよう温かな表現にとどめる、手心を加えるスキルも今後一層求められるでしょう。「経営倫理士」ならぬ、「AI倫理士」といった職種ができるかもしれません。非倫理的、差別的な表現の発信は企業のレピュテーションリスクに直結し、ややもすれば「炎上」しかねないため、「防災請負人」といった役目を担いそうです。

AIの生成物をめぐっては、入力から出力の間の因果関係が見えにくい「ブラックボックス問題」が長年課題となってきました。XAI (Explainable AI: 説明可能なAI) の発展が期待される中、入出力の過程、そのブラックボックスの中身を、説得力のある根拠とともに示す「仮説構築力」、論理的思考を持ち合わせた人物の役割は一層高まりそうです。いうなれば「仮説検証士」「立証士」といったところでしょうか。

さらにAIの未来の姿として、「AIどうし

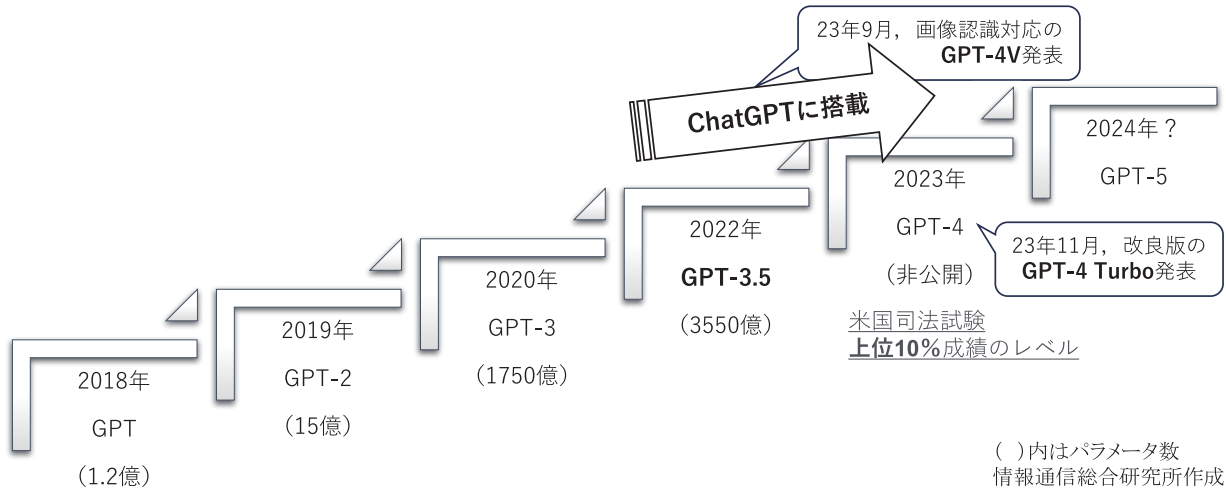


図9 ChatGPTの進化

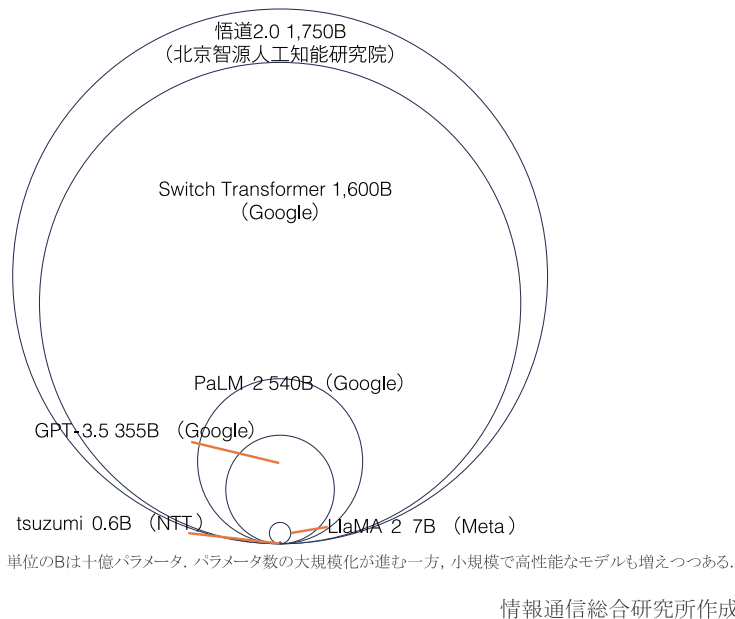


図10 主な大規模言語モデル

この大規模化がChatGPTの成果へつながらる突破口となりました (図9)。

海外の主だったLLMのうち、ChatGPTに搭載されたGPT-3.5は3550億のパラメータ数です。さらにはそれを大きく上回る1兆超えの言語モデルをGoogleなどが相次いでリリースしています (図10)。

ただ、1兆を超えるLLMが、相応の成果を上げ、評価を得られるかは未知数です。また、GPT-3の1回の学習に要する電力量は1300 MWhで、原発1基の1時間分に相当し、省電力化が課題とされています。それをしのぐ兆単位のモデルは推して知るべしです。

むしろ、パラメータ数を抑えつつ、高精度の出力を発揮する手法が、持続可能性の観点からは支持されつつあります。とりわけ、OpenAIやGoogleといった米企業が席巻する生成AI市場にあって、日本勢の勝機はまず英語ベースのLLMが適応しきれていない、日本語に特化した生成AIの充実こそ見出せるといえます。中でも専門用語や専門知識が多い医療や金融といった特定領域に絞るほうが価値を生みやすいと見込まれます。そうした観点から、パラメータ数が6億の「超軽量版」と70億の「軽量版」をそろえ、金融や医療といった特定分野に強い、NTTのLLM、[tsuzumi]は1つの勝ち筋になり得るかもしれません。実際、米中をはじめ生成AIで先行する各国でも業界特化型の生成AIは続々登場しています。さらに、Sakana AI社へ出資したNTTドコモ・ベンチャーズによる次世代

の対話」が繰り広げられる将来像も浮かんでいきます。2023年10月にNTT武蔵野研究開発センターで開催された「NTT R&D FORUM 2023」においても、生成AIの展示が注目の的となっていました。その1つに、将来的なイメージとして「AI コンステレーション」が紹介されていました (図8)。あるテーマについて、法律家や教員、政治家など専門家の知識を持った複数のAIどうしが議論し、望ましい方向性を導き出していくといったAIの活用法です。とはいえ、最終的に結論を下す、判断するのは人間です。そのため、AIどうしの議論を見守り、まとめ上げていく「ファシリテータ

「モデレータ」のような役割も一層重要視されるようになるでしょう。

代表的な言語モデル

■海外勢、パラメータ数1兆超えも

LLMについて、その区分はさまざまありますが、パラメータ数1000億を1つの基準として分ける分類法があります。

GPTシリーズでいえば、2019年リリースのGPT-2のパラメータ数が15億だったのに対し、翌2020年に出たGPT-3は一気に1750億となり、性能も格段に向上しました。

表 4 生成AIの各国市場トップ5 (10億ドル)

| | 2020年 | 2023年 | 2025年 | 2030年 |
|--------|-------|----------|----------|----------|
| 1. 米国 | 2.33 | 米国 16.14 | 米国 30.25 | 米国 65.71 |
| 2. 中国 | 0.49 | 中国 5.45 | 中国 11.61 | 中国 29.55 |
| 3. 英国 | 0.28 | ドイツ 1.90 | ドイツ 3.65 | 日本 8.68 |
| 4. ドイツ | 0.26 | 英国 1.82 | 日本 3.62 | ドイツ 8.31 |
| 5. 日本 | 0.23 | 日本 1.79 | 英国 3.39 | 英国 7.38 |

出典: Statista

表 5 日本の主な LLM

| サービス名 | 提供元 | パラメータ数 | 特徴 |
|-------------------------|-----------------------------|---------|--|
| tsuzumi | NTT | 6億/70億 | 日本語処理に特化した軽量モデル。金融や医療など特定領域に強み |
| japanese-large-lm | LINE (現LINEヤフー) | 17億/36億 | 日本語に特化したオープンソースとして公開、商用利用も可 |
| CyberAgentLM2-7B | サイバーエージェント | 70億 | チャット形式にチューニングされたバージョンも、2023年5月の進化版 |
| Japanese StableLM Alpha | Stability AI Japan | 70億 | 学習データは主に日本語と英語、加えてソースコード約2%。画像生成と連動も |
| Weblab-10B | 東京大学松尾研究室 | 100億 | 日本語と英語のデータセットを用いた高精度多言語モデル。事前学習済みモデル・事後学習済みモデルの商用利用不可 |
| PLaMo | Preferred Networks | 130億 | 自社スーパーコンピューター「MN-2」を利用して学習 |
| cotomi | NEC | 130億 | 1回最大30万文字の長文プロンプトに対応。ことばにより未来を示し、「[「こと]が[みる]」ように」という想いを込めた名称 |
| (開発中) | NICT (情報通信研究機構) | 400億 | 350GBの日本語テキストを用いた高品質な日本語特化型モデル。さらに大規模な1790億パラメータのモデル開発中 |
| LLM-jp | 産業技術総合研究所, 東京工業大学, 国立情報学研究所 | 1750億 | 日本語特化の大規模モデル構築に着手。産総研の計算資源であるAI橋渡しクラウド(ABCI)を使用 |

発表年はいずれも2023年、会社名等は2024年2月1日時点
情報通信総合研究所作成

生成AI基盤モデル開発など、「tsuzumi」を有効活用しようとする動きは始まっています⁽¹³⁾。

日本語の市場のみとって、過小評価されるべきではありません。ドイツの調査会社スタティスタによると、生成AI市場は拡大し続けており、日本市場は2023年時点で米国、中国、ドイツ、英国に次いで5番目に位置付けられています(表4)。注目すべきは、2024~2025年までには英国を抜いて4番手につき、2030年には3位に浮上すると見込まれていることです。予測の不確実性は常に付きまといつつも、有望視されている以上、今後海外プレイヤーの攻勢は必至でしょう。そうした中、日本企業が自らの市場を守る、あるいは新たに築く意味でも国産生成AIの意義は決して小さくないはずで

なお、日本勢が海外で抗戦するにはさらなる工夫や戦うべき市場の精査が欠かせません(表5)。ChatGPTや2023年に発表さ

れたGoogleの対話型AIサービス、Bard(現Gemini)のような大規模で総花的なマルチモーダルをめざすのか、あるいは後塵を拝している先駆者の台頭に伴って新たに生まれる市場、ビジネスチャンスに先鞭を付けるのか。選択を見誤ると、すでにレッドオーシャンで血みどろの争いをしているプレイヤーから返り討ちに遭うだけかもしれません。

■参考文献

- (1) <https://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/Alttopics5.html>
- (2) <https://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>
- (3) <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd113200.html>
- (4) <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/hc142120.html>
- (5) <https://arxiv.org/pdf/2001.08361v1.pdf>
- (6) <https://arxiv.org/pdf/1706.03762.pdf>
- (7) <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2023-12-04-gartner-forecasts-worldwide->

semiconductor-revenue-to-grow-17-percent-in-2024

- (8) <https://www.mordorintelligence.com/ja/industry-reports/semiconductor-inspection-equipment-market>
- (9) <https://straitresearch.com/jp/report/data-center-market>
- (10) McKinsey Global Institute: "Generative AI and the future of work in America," 2023.
- (11) <https://www.jeita.or.jp/cgi-bin/topics/detail.cgi?n=4724&ca=1>
- (12) <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20230518/k10014071011000.html>
- (13) <https://kyodonewsprwire.jp/release/202401175415>

株式会社 情報通信総合研究所
主任研究員 南龍太

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
上席特別研究員

岩田 具治 Tomoharu Iwata

少数の学習データで 高い精度を達成する「メタ学習」

大規模言語モデルや画像生成AI（人工知能）などが急速に世の中の注目を集めるようになってきました。これらは、膨大な量の文書や画像を使って学習することでその精度を高めています。しかし、大量のデータが手に入らない場合、高精度のAIを実現することは困難です。この問題に対処するアプローチとして少量データでの学習で高い精度をめざす「メタ学習」が近年注目されてきています。NTTコミュニケーション科学基礎研究所 岩田具治上席特別研究員に、「学習の仕方を学習する」メタ学習、研究のトレンドと今後の方向性、興味を持ち研究を楽しむ思いを伺いました。



「学習の仕方を学習する」メタ学習で、 機械学習の適用領域を拡大する

現在、手掛けていらっしゃる研究について教えていただけますでしょうか。

機械学習において、少数の学習データにおいても高い性能のAIをめざす「メタ学習」の研究に取り組んでいます。

私は2003年にNTTに入社して以来、機械学習に関する研究をしており、その中で2018年ごろからメタ学習の研究に取り組んでいます。メタ学習の概念は以前からあったのですが、2018年ごろになって深層学習の研究が著しく発展してきたこと、コンピュータの性能が向上したこと、各種の深層学習用ライブラリがそろってきたことから、メタ学習の研究が徐々に注目されてきました。

深層学習は自然言語処理や画像処理において広く活用されているのはご存じかと思いますが、大量のデータを使って学習させることで高い性能を実現しています。大量のデータが必要という深層学習の問題に対して、メタ学習は、関連する他のデータから「学習の仕方を学習する」ことで、新しいタスクにおいて、少数の学習データしかなくても性能を高めることが可能となります。

基本的なメタ学習のフレームワークについて画像分類タスクを例に説明します。メタ学習では、さまざまなタスクのデータを用意します。例えば、犬と猫を分類するタスク、車と自転車を分類するタスクなどです。これらの各タスクにおいて、少数の学習用データでタスクに特化したモデルパラメータを学習したときに、評価用データでの性能が向上するように、タスクに共通するモデ

ルパラメータを更新していきます。これが、「学習の仕方を学習する」こととなります。これにより、メタ学習の際に使っていない新しいタスク（例えばりんご・みかん分類タスク）に遭遇した場合でも、少数の学習用データを使ってタスク特化のモデルパラメータを学習するだけで、高い性能を達成することが期待できます（図1）。これはほんの一例ですが、ほかにも例えば、音声データから誰がしゃべっているかを当てるような話者認識において、新しい人がいきなり登場してきても分類する場合や、今までデータがほとんどなかった言語を解析する場合、これまでの本の分類とは違う新しい分類体系において少数のデータだけで自動分類する場合などで、メタ学習が活用できます。

メタ学習の研究を進める中で、既存のメタ学習では、同じ特徴量空間のタスクからのメタ学習を前提としていたものを、異なる特徴量空間のタスクからのメタ学習を可能とする深層学習モデルを提案し（図2）、機械学習のトップ会議であるNeurIPS2020において発表しました。また、大規模言語モデルとメタ学習を融合させることにより、人間が蓄積してきた知識を機械学習に活用可能にする深層学習モデルを提案し、NeurIPS2022において発表しました。そのほかにも、クラスタリング、不確実性推定、空間解析、因果推論、異常検知、特徴選択などの多様な機械学習問題に対してメタ学習を活用し性能向上させる研究を行ってきました。

メタ学習により深層学習の弱点を克服できますね。今後のような方向に研究・応用は進んでいくのでしょうか。

前述のとおり、機械学習やAI（人工知能）が顕著な進展を遂げ

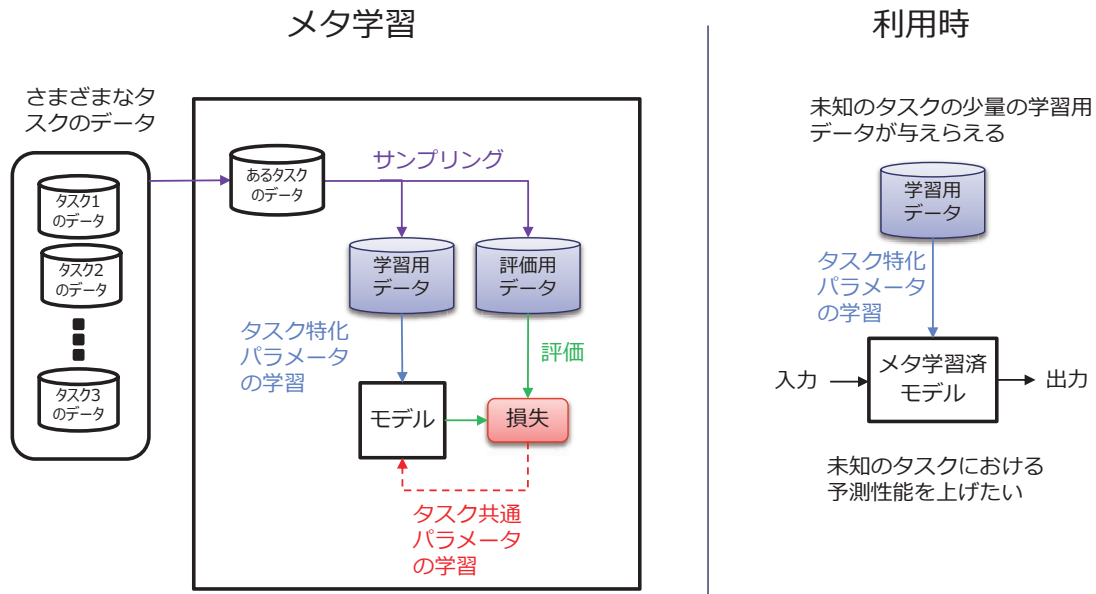


図1 メタ学習フレームワーク

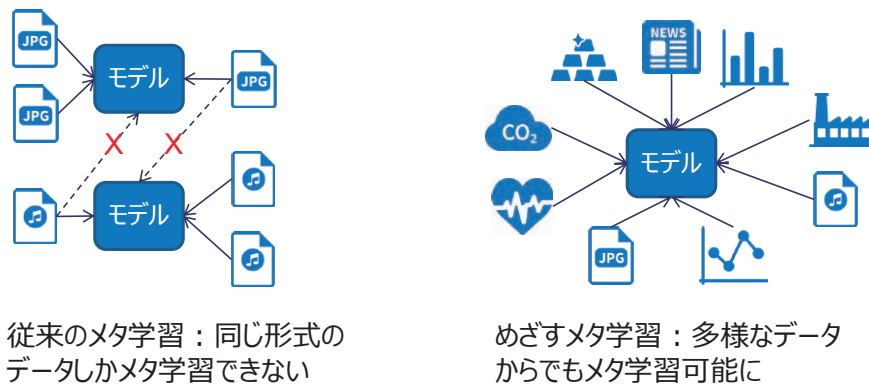


図2 異なる特徴量空間のタスクからのメタ学習

ており、ChatGPTのような生成AIも登場していますが、それが成功しているのは学習するためのデータが大量にあることが前提になっています。しかし、医療画像のように専門家の知識を必要とする場合にコストが高いため十分なデータが得られない、プライバシー保護がネックとなってデータを得ることができない、新商品・新サービスを推薦したいが新しいためにデータがほとんどない、というような状況はしばしばあります。メタ学習により、このような少ないデータしかないような応用領域でも機械学習を使えるようにで

きます。

現在のところ、表形式で表現できるさまざまなデータに対応できるようになりましたが、工場で得られるデータや生体情報など、より複雑なデータにまだ対応できていないといえないので、対応可能なデータの拡張を継続して研究しています。これにより、応用分野の拡大ができると考えています。前述の大規模言語モデルを活用したメタ学習の研究とも関連するのですが、人間のようにさまざまな経験や知識を活かすことで新しい課題に対応できるよ

うなAIをめざして、メタ学習の研究に取り組んでいます。

興味を持って研究を楽しむ

どのようなことを意識してテーマ選定を行っているのでしょうか。

自分の好奇心を大切にテーマを選んでいきます。現在取り組んでいるメタ学習は、学生時代に興味を持ち研究していた生命の進化とも関連しています。AIがさまざまなタスクから学習の仕方を学習するメタ学習を研究することで、人間はどのようにしてさまざまなコトから学習できるように進化してきたか、の理解にもつながれたらと思っています。興味ある分野の論文を読んでそこで問題点を見つけて新しい研究テーマにすることや、近くの人が得意になっているものと自分の得意なものをうまく組み合わせることで新しいテーマにつながることもありました。また、新しいデータを見たときに課題を見つけてそれをテーマとすることもありました。以前レコメンデーションの研究に取り組んでいたときの例ですが、基本的にレコメンデーションは、商品をより多く買ってもらい、サービスをより多く利用してもらおうよう推薦するのですが、これをサブスクリプション型のサービス、定額制のサービスの場合に当てはめると、多く買ってもらうのではなく、満足してもらうことが目的となり、従来とは違った観点が出てきます。

他の人の論文を読む際に、どのように拡張できるか、自分の得意技のメタ学習、以前手掛けていた確率モデルやトピックモデルと組み合わせることができないか、と自然に考えています。自分の得意技を軸に、他の人の論文や研究を見ると、新しい見方、新しい研究テーマを思いつくこともあります。10年ほど前に、会社から1年間英国に客員研究員として派遣されたのですが、せっかくの機会なのでその人と一緒に研究したいと思い、学生やポストドクの人に取り組んでいる研究を聞いて、うまく自分の得意技と組み合わせることができないか、ということを考えました。これにより、新しいことを勉強できましたし、新しい研究テーマで多数の論文が書けましたし、いろいろな人と一緒に研究することで英国の生活も楽しめました。

研究者として心掛けていることを教えてください。

いろいろ試してみることを常に心掛けています。新しい手法を考案することも実装することも好きなので、たくさんアイデアを出し、実験し、試行錯誤を繰り返しています。もちろん失敗する

ことも多いですが、新しいことに挑戦することで多くのことを学べますし、思いがけない知見もたまって、その後の研究につながっていると思います。

また、機械学習を研究するうえで、できる限りシンプルな考え方で綺麗に問題を解きたいと思っています。解きたい問題に対して、目標を明確にし、それに対応する定量的に評価できる損失を決め、損失を最小化します。確率論などの理論に則って綺麗に問題を解くことで性能が向上することもありますし、また、発展性、拡張性が高くなるので、その後の研究や、他の人の研究につながったりします。理解もしやすいので、なるべく必要最小限でしっかりと性能が出るような、重要なポイントだけを見極めてモデルをつくることを心掛けています。

私がNTTに入社したとき、機械学習のグループに配属されました。大学院生のときと全く異なる研究分野で、はじめは機械学習のことも分からなかったのですが、指導者に手取り足とり指導してもらい、2年目にトップの国際会議で発表することができました。その中で問題設定から手法考案、実装、実験、論文執筆、発表まで機械学習研究の型を学ぶことができました。その後、何度も自分自身でアイデアを出し指導者に聞いてもらいました。はじめのうちは駄目出しされてばかりでしたが、それを繰り返すうちに、主体的に研究できるようになっていました。この指導者との出会いは、私の研究者としての人生に大きなインパクトを与えてくれたので、私も、人に影響を与えるような出会いができればと思っています。他の研究者を参考にして自分にあった研究の型をつくりつつ、自分なりのアイデアを出し率直な研究議論を繰り返す中で、成長してもらえたら嬉しいと思います。

後進の研究者へのメッセージをお願いします。

興味を持って研究を楽しんでください。興味を持って楽しんでいるからこそ、研究しているときは集中することができ、疲労困ぱいしてしまっても、やりがいを感じられると思います。興味がある新しいことを学ぶことは楽しいですし、まだ解かれていない問題に取り組むことでまだ誰も知らないことを知れる機会があることは研究者にとって素晴らしいことだと思います。私は、NTTに入社して20年を超えていますが、研究する中で新しいことを学ぶことを楽しむことで、研究を続けられているかなと思います。興味を持てるテーマを選び、研究の中で、知らないことを知ること自体も楽しむことができれば、次なる興味・楽しみを見つけることもできると思います。

NTTデータグループ
技術開発本部 シニア・エキスパート

加藤 拓己 Takumi Kato

ビジネス課題の解決を 量子技術開発により行う

従来に比べて極めて高速な処理が可能な量子コンピュータは、1982年に概念や原型となるアイデアが提案され、その後さまざまな概念、量子回路モデル、アルゴリズム等が提案され、1999年に初のハードウェアが登場し、2023年に初の国産の実機が稼働しました。こうした動きと連動するように、近年、課題とされていた処理規模拡大や、実現困難といわれてきた誤り訂正が条件付きで可能となり、その変化・進化は目まぐるしいものがあります。こうした量子コンピュータについて、NTTデータグループ技術開発本部 加藤拓己氏に、量子コンピュータの概説、課題、課題解決に向けた取り組み、そして、楽しいことに興味を持って発信するという思いを伺いました。



量子の性質を利用したアルゴリズムを 評価するソフトウェア開発

現在、手掛けている技術の概要をお聞かせいただけますか。

NTTデータグループでは、PoC（実証実験）の支援、コンサルティングやセミナーの提供、ビジネス課題ベースでのソリューション提案を行っています。これまでのシステム開発の実績に基づき、要件定義からクラウド等での実装まで幅広く対応できることを強みとして、将来的なシステム化に向けた準備、技術的な用途開拓に取り組んでいます。量子技術活用による「ビジネス課題の解決」が私たちのミッションです。その中で私は、「量子ゲート方式で問題を解いた場合、どれくらい時間がかかるかを推定するソフトウェアの開発」「量子化学計算を量子ゲート方式で解く

アルゴリズムをシミュレーションするソフトウェアの開発」「量子アニーリングを用いて問題を埋め込む新手法の開発」「量子アニーリングや数理最適化を用いた、物流、香り、製造、レコメンド分野の効率化やデータ分析」に取り組んでいます。

量子コンピュータには、基本的に量子ゲート方式と量子アニーリング（イジングモデル）方式という、大きく2種類の方式があります（図1）。既存のコンピュータ（古典コンピュータ）では「1」「0」で状態が記述されるn個のビットを「AND」「OR」「NOT」といった論理ゲートを用いて計算することで解を得ていますが、量子ゲート方式では、量子が複数の状態を同時に取る（量子の重ね合わせ状態）という、量子力学の性質を利用した「量子ビット」に量子ゲートを適用することで計算することで解を得ます。概念的に、n個の量子ビットを用いて 2^n 個の状態を同時に処理できることになり、古典コンピュータで行うには難しい処理が極めて高



FTQCの用途

物理・化学シミュレーション、線形代数・連立方程式、モンテカルロ計算、探索、数理最適化、巨大文字列パターンマッチ、素因数分解・離散対数問題

図1 量子コンピュータの種類とFTQCの用途

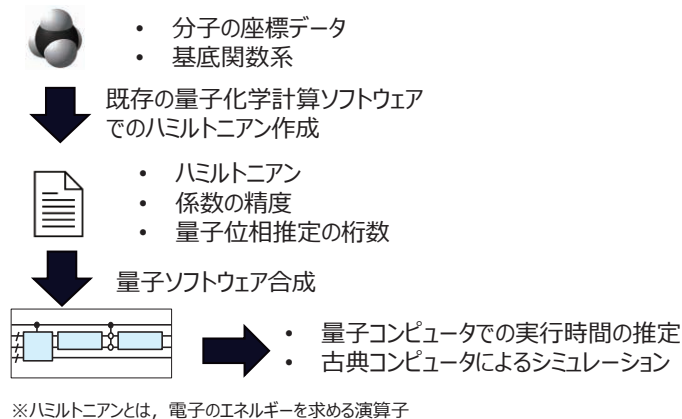


図2 量子ゲート方式での量子化学計算

速で実行可能となります。しかし、どのような計算でも高速に処理できるわけではありません。膨大な数の状態から、不要な状態を消して所望の状態だけを取り出せるようにする、つまり欲しい答えが高確率で得られるような、量子コンピュータ専用の特殊なアルゴリズム（量子アルゴリズム）が必要になります。また、量子ビットには、状態を観測した瞬間に2個の状態のうちどちらか1つに収束した結果となる、といった性質があり、量子アルゴリズムでは、計算の途中で量子ビットの状態を収束させないまま計算を行うことも求められます。また、量子ビットはわずかな外的な刺激により状態が変化し、これにより量子ビットの誤りが発生します（誤り耐性がない）。量子コンピュータのハードウェアは外部の刺激を極力少なくするために0 K（絶対零度）に近い極低温で動作していますが、それでも誤りが発生し、それらが蓄積され、また、他の量子ビットに伝搬されるため、実用的な問題を解くうえで大きな課題となっています。

さて、「量子ゲート方式で問題を解いた場合、どれくらい時間がかかるかを推定するソフトウェアの開発」というテーマについては、具体的にどのような大きさの計算がどのような規模の量子コンピュータで計算できれば、古典コンピュータよりも高速になるのかを見積もるためのソフトウェアを開発しました。これを行うためには、量子コンピュータ向けのソフトウェアの処理時間を評価する必要があります。ところが、評価に使えるレベルの量子ゲート方式のコンピュータがまだ実在しないので、実際に動かしてみることができません。そういった中で処理時間を評価するためには、ある程度適切な仮定を設定して、量子アルゴリズムを命令の列に分解してそれが何個あるかを数えます。そのため、妥当な仮定を設定し、また、量子アルゴリズムをつくるスキル等が必要になります。評価に使えるコンピュータがないことに加えて、こういった能力が必要とされることが、このテーマの難易度を高いものとしています。

「量子化学計算を量子ゲート方式で解くアルゴリズムをシミュレーションするソフトウェアの開発」については、どのようなアルゴリズムがどの量子化学計算に適するのかを評価するためのソフトウェア開発になりますが、処理速度推定ソフトウェアと同様なスキルが必要となり、難易度も高いテーマです（図2）。これらは、第3回・第4回量子ソフトウェアワークショップの講演およびポスターセッションで発表しており^{(1),(2)}、どちらも、私自身がこういったスキルを駆使して開発を行っています。

現在は、量子ゲート方式のハードウェアが商業用に公開されて日が浅い中で、ノイズが多いことにより計算途中で結果に誤りが発生すること、そして、その誤り訂正を行うためには相当多数の量子ビットが必要となることから、実用的な問題を解くうえでの課題となっています。そういった状況で、こういった規模のハードウェアがあれば、こういった問題が解けるのか、また、そのためにはどのような量子アルゴリズムを用いればいいのかを探索することが量子コンピュータの実用上、大変意義があると考えています。

量子アニーリング方式についてはどうなのでしょう。

砂粒が入った容器を何回か振動させると、砂粒表面の凹凸がそれぞれうまく組み合わさることで、最終的に全体の体積が小さくなり、砂粒が押し固められたようになり安定します。この砂粒が量子ビットに相当し、非常に弱い磁場の変化により（容器を外側から振動）、量子ビットどうしの相互作用により最終的には量子どうしが安定した状態に収束します（個々の砂の凹凸がうまく重なって空間を埋め合うことで安定した状態）。これが量子アニーリング方式の概念です。量子アニーリング方式は、複数の量子ビット（の組合せ）が安定的（最適）な状態で収束する性質を利用しているので、例えば最適な配送ルートの決定等の組合せ最適化問

題に適用されます。古典コンピュータで組合せ最適化問題を解くことに比べ、良い解が得られない場合も多いのですが、それぞれの量子の相互作用により一瞬で安定状態となることから、解の候補を高速に多数選択するには優れています。また、量子ゲート方式と比べて、構造がシンプルなためハードウェア開発がしやすく、量子ビットの数も大規模にすることができるため、すでに数千量子ビット級のハードウェアが商業的に提供されています。

「量子アニーリングを用いて問題を埋め込む新手法の開発」については、実際に解く問題をイジングモデル*として表現してハードウェアに乗りやすいようなかたちにする（埋め込む）ための新しい手法を開発するもので、広島大学と共同研究で取り組んでいます。同じ問題であっても、その表現方法によりイジングモデルに埋め込んだときのサイズと要求分解能が異なります。一方で、量子アニーリング方式ではハードウェアの規模と計算精度には制限があるため、大規模な順列型組合せ最適化問題を解くには、イジングモデルのサイズと要求分解能をハードウェア仕様の制約以下まで小さくする必要があります。こうした課題に対して、「dual-matrix domain-wall法」という新手法を開発しました。巡回セールスマン問題を例として、無向グラフの頂点数（訪問する都市数）を $n = 300$ とした場合、一般的な「one-hot法」に比べてイジングモデルのサイズを25分の1以下に削減しました。この手法を用いると、問題の表現に必要な変数の数は約3倍になりますが、イジングモデルのサイズをone-hot法の「 n^3 」のオーダーから「 n^2 」のオーダーへ、要求分解能も「 n 」のオーダーから「定数」へ大幅に削減できるようになりました⁽³⁾。

「量子アニーリングや数値最適化を用いて、物流、香り、製造、レコメンド分野の効率化やデータ分析」については、さまざまな応用分野におけるデータ分析や業務効率化を行うものです。私たちのチームでは、NTTおよび株式会社香味醗酵と共同で、香味醗酵が保有する数千種類の匂い成分から最適な組合せを計算することで、少数の匂い成分でさまざまな匂い・香りを瞬時に再構成する実機検証を2022年11月から実施しています⁽⁴⁾。また、数値最適化技術を活用した独自アルゴリズムを開発し、広島大学、株式会社伸光製作所と共同で、伸光製作所の製造ラインへ同アルゴリズムを適用し、プリント基板の量産を2023年4月より4カ月間実施・検証し、製造効率化および安定運用を確認しました⁽⁵⁾。

📍 仕事のオン・オフをしっかり区別して、 📍 オフは興味のあることにチャレンジ

技術者としてスキルの維持、スキルアップはどのようにしていますか。

量子コンピュータは、1982年に概念や原型となるアイデアが提案され、その後さまざまな概念、量子回路モデル、アルゴリズム

等が提案され、1999年に初のハードウェアが登場し、2023年に初の国産の実機が稼働しました。その意味ではまだまだ発展途上の技術分野なので、従来のスキルの勉強というよりも今後勉強しなければならない部分のほうが多いと思います。

私は、2022年にNTTデータグループに入社して、技術開発本部において量子コンピュータ関連の開発を担当していますが、大学卒業後はプラントエンジニアやITエンジニアをしており、2018年に量子コンピュータの仕事をするために、量子コンピューティングライブラリ「blueqat」を提供しているblueqat社に移籍しました。ですので、通算すると5～6年は量子コンピュータに業務としてかかわっています。

量子関連のスキルについては、前述のとおり今後も継続してスキルアップを図る必要もあり、量子コンピュータそのものはもちろんですが、科学の問題を解く場合はその科学分野の知識も必要になってきますし、知識とかスキルがあればあるほど困らない状況なので、私は何に対しても興味を持ってスキルアップに取り組んでいます。また、私は具体的な開発を担当しているのですが、社内の各種のお客さま関連のプロジェクトへ技術的な立場で上司とともに参画している中で、数値最適化であればお客さまのビジネスへの適用も多く、そこで何を問題としているのかということを見抜く力も必要になり、これはプロジェクトの活動を通してスキルアップを図っています。

とはいえ、スキルの維持・向上を意識しすぎてしまうと重荷に感じて義務的になってしまうこと、スキルアップの対象が非常に広範であることから、どちらかという個人的に面白いと思った方向にスキルアップを図っていくようにしています。

開発において大切にしていることは何でしょうか。

IT系のエンジニアは、開発納期や品質の関係から、どうしてもプライベートな時間でも頭の中ではシステム等に関する事を考えがちになります。これが続くとモチベーションが低下する、または、仕事の壁にぶつかったときに客観的に壁を見ることができないために、突破口を見つけないことができず、そこで行き詰ってしまう、ということもあります。

そこで、私はオン・オフの切り分けをはっきりさせ、オフのときは仕事のことは一切考えず、自分の興味があることを行うように心掛けています。とはいえ、私にとって量子は1つの大きな興味の対象なので、仕事では見ていないような量子の世界を見てみ

* イジングモデル：格子状に配置された膨大な個数のマイクロ要素が相互作用し合い、またそれぞれのマイクロ要素に強制力が与えられているとき、全体（マクロ）としてどのような振る舞いを示すかを表現する、統計力学のモデル。量子アニーリング方式では、組合せ最適化問題をイジングモデルとして表現することで問題を解きます。

ようとか、普段つくっているものとは違うものをつくってみよう等思っており、それに関する勉強をしています。例えば、量子コンピュータのアルゴリズムを、Python（パイソン）というプログラミング言語で書いたものに、Webのインタフェースをつけてみようと思い、TypeScript（タイプスクリプト）や React（リアクト）というWeb関連のプログラミング言語やライブラリの勉強をしました。また量子機械学習関係の記事をコミュニティ等へ投稿することもあります。

こうやってみると、オン・オフの区別があいまいになっているようにみえますが、仕事とは直接関係のない部分で量子にかかわっており、頭の中では完全に切り離されているので、自身としては区別がついていると思っています。ただ、こうした活動が仕事に反映されることもあり、その結果スキルや仕事の幅が広がることにもつながり、いい循環になっています。

面白いモノ・コトに興味を持って取り組み、発信していく

将来的に何をめざして開発を続けるのでしょうか。

前職で量子コンピュータに関するプログラムをいくつか開発してオープンソースで公開していました。また、技術記事の投稿を普段から行っているほか、最近ではIBMの量子コンピュータのオープンソースライブラリのユーザコミュニティで活動を行っています。また、2020年に独立行政法人情報処理推進機構（IPA）の「未踏ターゲット」という事業に採択され、終了後もOBとしてさまざまな意見提起をしていたこともあり、この世界に多くの人脈を持っています。

量子コンピュータ自身も、近年はハードウェアが急速に発展し、誰でも無償で利用できるものも公開されています。さらに、実現が非常に困難といわれていた量子誤り訂正が、小規模ながら誤り訂正が実現したというニュースもあり、目まぐるしく変化し、進化しています。一方、古典コンピュータで量子コンピュータをシミュレーションする技術も進展しており、以前は古典コンピュータでは計算不可能とされていた規模の問題がシミュレーションできるようになり、量子コンピュータを通じて古典コンピュータの技術も進歩しており目が離せない状況です。

今後も、私の財産でもある人脈やコミュニティ等も活用して、実用化も視野に入れながら、こうした変化・進化の先にあるものをめざして開発を続けていきたいと思っています。何より、私自身、開発が好きなのです。そして、いずれはチームを技術で引っ張っていくような存在になりたいと思います。

社内外の技術者、パートナーへのメッセージをお願いします。

技術者の皆さんには、面白いものを見つけてそれに対して興味を持って深掘りして、得た結果や知見を世間に発信してほしいと思います。

私自身も、人が興味を持って結構な熱量で書いた文献を読み、それを面白いと思って興味を持ってきましたし、それを真似して発信していくことで他の人に興味を持ってもらう、あるいは、これを書いた人だと認知していただくことで可能性が広がった経験があります。単に面白い、興味を持つだけではなく、発信にまでつなげてほしいと思います。

パートナーの皆さんには、量子コンピュータは最近の流行で、そこにはビジネスの匂いがするように思う人もいるかもしれませんが、実際、実用化は意外と遠い技術で、実用化に向けた課題もかなり多くあります。そういった状況を理解しつつ、実用化に向けて、量子そのものの面白さを感じ取りながら、未来につなげられるようなことを一緒にしていただきたいと思います。

■参考文献

- (1) <https://qsw.phys.s.u-tokyo.ac.jp/workshop202308>
- (2) <https://qsw.phys.s.u-tokyo.ac.jp/workshop202312>
- (3) <https://www.nttdata.com/global/ja/news/topics/2023/101301/>
- (4) <https://www.nttdata.com/global/ja/news/release/2022/110200/>
- (5) <https://www.nttdata.com/global/ja/news/topics/2023/080100/>



NTTアクセスサービスシステム研究所
特別研究員

内田大誠 Daisei Uchida

新たな無線周波数帯の可能性に挑戦する 「高周波数帯分散アンテナシステム技術」

データの大容量化は進歩を続け、さらなる高速・大容量伝送に向けた通信の要求が高まる現在、2030年ごろに実用化予定の6G(第6世代移動通信システム)無線では、「1ユーザの無線伝送速度を100 Gbit/s以上」の超高速大容量無線伝送が議論されています。この実現には新たなブレイクスルーを引き起こす無線技術が求められています。そのような中で今回は、高周波数帯での移動通信への快適な適用を可能にする無線技術について、内田大誠特別研究員にお話を伺い、次世代通信に向けた「高周波数帯分散アンテナシステム技術」について語っていただきました。

◆PROFILE：1994年東京工業大学卒業。1997年同大学大学院修士課程修了(応用物理学)。同年、日本電信電話株式会社入社。2022年より特別研究員。高周波数帯分散MIMO技術、自営無線の高速移動対応技術の研究に従事。2012年 電子情報通信学会ユビキタスセンサーネットワーク研究会研究賞、2023年 第34回電波功績賞 一般社団法人電波産業会会長表彰、2024年第69回前島密賞等を受賞。



より快適な通信社会に向け、 「新たな無線の周波数帯」の技術へ

■「高周波数帯分散アンテナシステム技術」とはどのような技術でしょうか。

昨今需要が高まっている無線の高速大容量化に対応するため、1基地局から張り出すアンテナを分散配置させることによって、ミリ波・サブテラヘルツ波(高周波数帯)を用いても安定した高速大容量の無線伝送を実現する技術が「高周波数帯分散アンテナシステム技術」です。

今後もデータの大容量化については、高精細非圧縮映像・3D情報・XR(Extended Reality)データ・五感情報などとどまるところを知らず、2030年ごろに実用化が予定される6G(第6世代移動通信システム)無線ではこれらのユースケースに対応するため、「1ユーザ100 Gbit/s以上」という無線超高速化・大容量化が議論されています。この達成手段として、無線の信号帯域幅を従来の数100 MHzから1~10 GHzまで拡大し、その信号帯域が確保可能なミリ波・サブテラヘルツ波といった高周波数帯を移動通信にも適用できるようにすることにより、今まで困難であった超高速無線伝送の実現をめざしています(図1)。

■「高周波数帯分散アンテナシステム技術」での具体的な取り組みを教えてください。

本技術を実現するにあたって最初の課題となったのが、高周波数帯無線の「途切れやすさ」です。広帯域信号が確保できる高周

波数帯の無線は従来の低周波数帯と比較して、電波が通る場合には安定して高速・大容量無線伝送が提供できるといったメリットを持つ一方で、遮蔽物によって電波が遮断され、無線通信が途切れやすく使いにくいというデメリットを抱えています。このような一得一失の中で、「電波さえ通れば、すなわち、エリア内にこの電波を満たすことができれば、必ず社会に役立つ」「世の中の役に立ってほしい電波」と強く想い、何か方法はないかと模索を続けていました。

そこで用いたのが「無線を飛ばすアンテナを分散させてさまざまな方向から電波を送る」という、2010年代ごろから低周波数帯で検討されていた分散アンテナ技術です。1カ所の基地局アンテナから電波を飛ばすと、高周波数帯の「途切れやすい」というデメリットの影響を受けやすく、屋外や屋内大規模環境など全方向からの反射波が期待できない環境では、移動通信環境下で、安定した高速・大容量通信の実現は困難でした。しかし「1つの基地局から多数のアンテナを分散させて配置し、移動する端末に対して随時適切なアンテナへと瞬時に切り替える」という分散アンテナ技術の仕組みがあれば、高周波数帯の「途切れやすい」問題は理論上解決できると考えました。具体的には、アンテナを1つの集約局から分散させて電波の死角となる場所を減らし、遮蔽物による影響を最小化して電波の「通り」を良くすることをめざしています。これによって、高周波数帯の超高速無線伝送ポテンシャルの安定提供をめざしています。

この技術のポイントの1つとして、従来のように電波を飛ばす基地局を切り替えて通信するのではなく、どの分散アンテナから

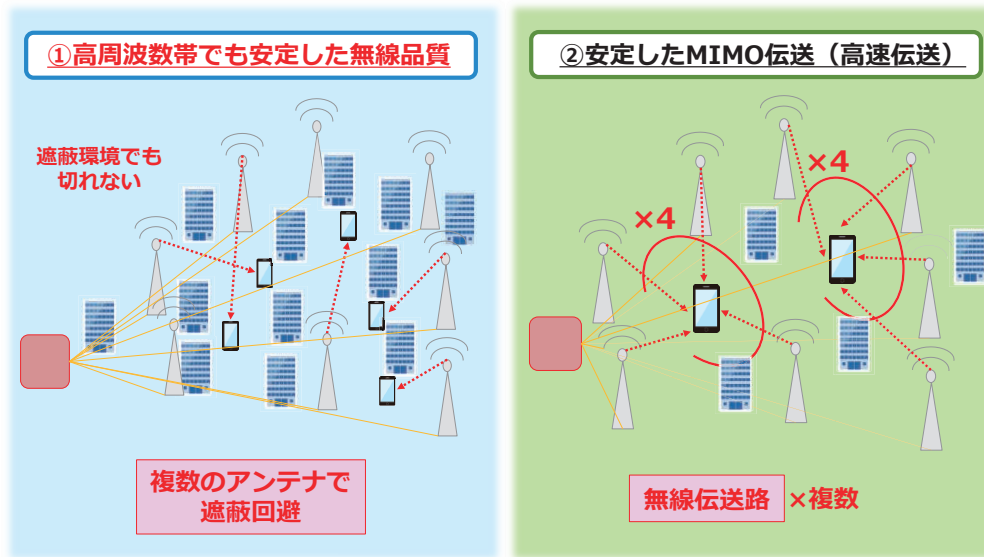


図1 高周波数帯分散アンテナシステム技術のメリット

送受信しても1つの基地局と通信する形態である点が挙げられます。通常、基地局を切り替える場合はハンドオーバーという上位レイヤが絡む制御が必要ですが、本技術のアンテナ切替はLayer1という物理レイヤで切り替える方法をとっており、どのアンテナで送受信しても1つの基地局につながり続ける仕組みを取っています。これによって、周囲の人や車の通過が原因による瞬時遮蔽の際にも、物理的制御で電波が遮蔽されない最適アンテナに無瞬断で切り替えることが可能です。また、これらのアンテナ切替制御は基地局に閉じて行われるため、ネットワーク側と端末側にはシームレスに負担なく行うことが可能です。

現在の研究ステージでは、すでにNTTドコモとの連携などを通して実証実験を進めています。最終的には工場やイベント会場など、端末がたくさんあり大容量データが飛び交う広いエリアで、機械や人などの遮蔽物に影響を受けずに高周波数帯を使えることをめざしています。

■そのほか、どのような技術の研究に取り組まれているのでしょうか。

上記技術と並行して研究を進めているものが「WiGig (60 GHz帯無線LAN) 移動対応技術」です。WiGig (Wireless Gigabit) と呼ばれる60 GHz帯の無線LANが、移動ユースケースでも安定した高速・大容量通信を提供できることをめざしています。そのねらいは、移動通信だけでは提供が難しいイベント会場や工場など超多数の端末が密集するエリア内において、電波免許不要で誰でも基地局設置ができる無線LAN、特に1.76 GHzという超広帯域信号を有するWiGigを移動通信のオフロードとして貢献することです。この研究を開始したきっかけは、初めてWiGigに触れた際に「こんなに伝送速度の速い無線があるのか」と衝撃を受けたことに端を発します。その速度は2時間の映画コンテンツが数秒でダウンロードできるほど、さらに小型・免許不

要で誰でも利用できるなど従来の無線LANと同じ多くのメリットを持っており、これを社会に普及させたいと思ったのです。

しかし、やはりこの無線も高周波数帯分散アンテナのときと同じく、遮蔽物があると「途切れる」ため使いづらく、一般的には「無線中継用の固定通信用で、移動通信に活用するには難しい電波」として認識されていました。そこでこれを移動ユースケースにも使えるものにするために、課題打破に向けた研究開発に着手しました。

その課題解決の糸口は、高周波数帯分散アンテナと同じです。エリア内全体において、電波を遮るものがない環境（あるいは1回反射）であらゆる場所へ届ける仕組みができれば、移動ユースケースにも安定して活用できるはずと考えました。しかしWiGigのアンテナは、60 GHz帯という高周波数帯のため、ケーブル損失を抑えるために基板の中に含まれている構造となっており、分散アンテナの仕組みを用いることが困難です。したがって、たくさんの基地局で遮蔽物対策をして、かつ基地局間移動しても無瞬断伝送できる仕組みを、無線LANの枠組みでつくる必要がありました。こうした課題を解決するために打ち出したのが、「端末が複数の基地局を移動するときに適切なタイミングで基地局を切り替える仕組み」(図2)と、「端末側に複数の無線端末を装備し、これらが異なる基地局への接続を制御」(図3)の2つの技術です。これらによって、遮蔽環境でも、移動環境でも、適切な電波の切替を可能とし、WiGigを移動ユースケースへ提供できることをめざしています。

■実際に研究を進める中で、どのような点に苦労されましたか。

研究を進めるにあたって、もっとも苦労したのは「WiGigの必要性を周知する」ことです。WiGigは、2016年ごろに世界的な盛り上がりを見せたものの、その後はトーンダウンして「日影の存在の無線」として扱われ、「無線中継以外には使えない」というレッ

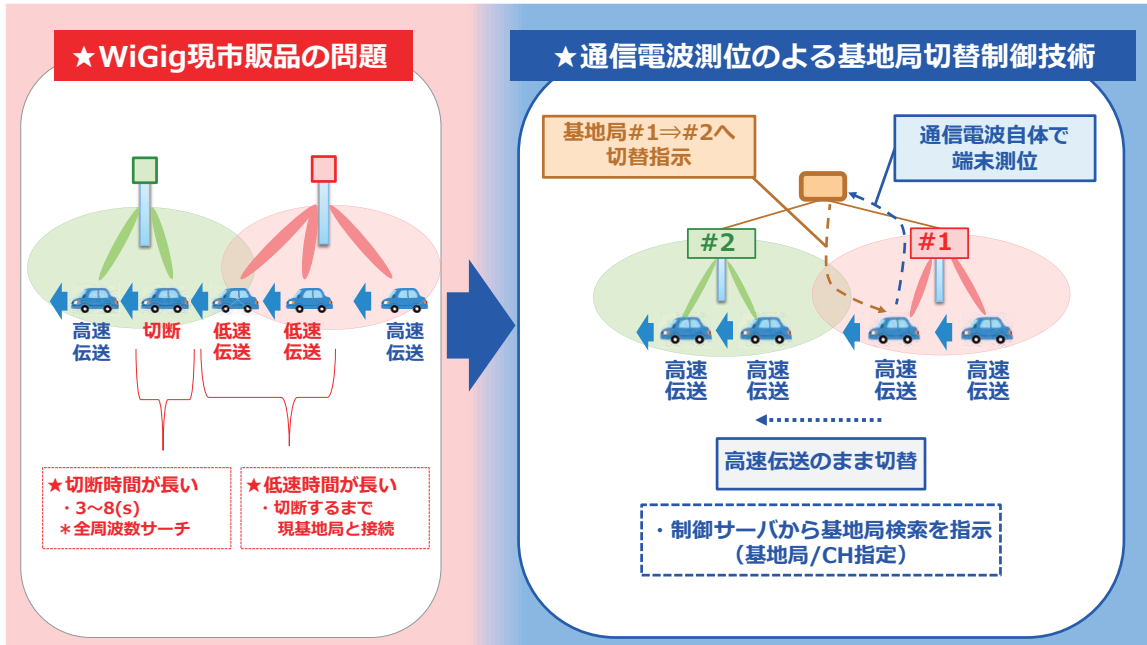


図2 WiGig移動対応技術① 「基地局切替制御」

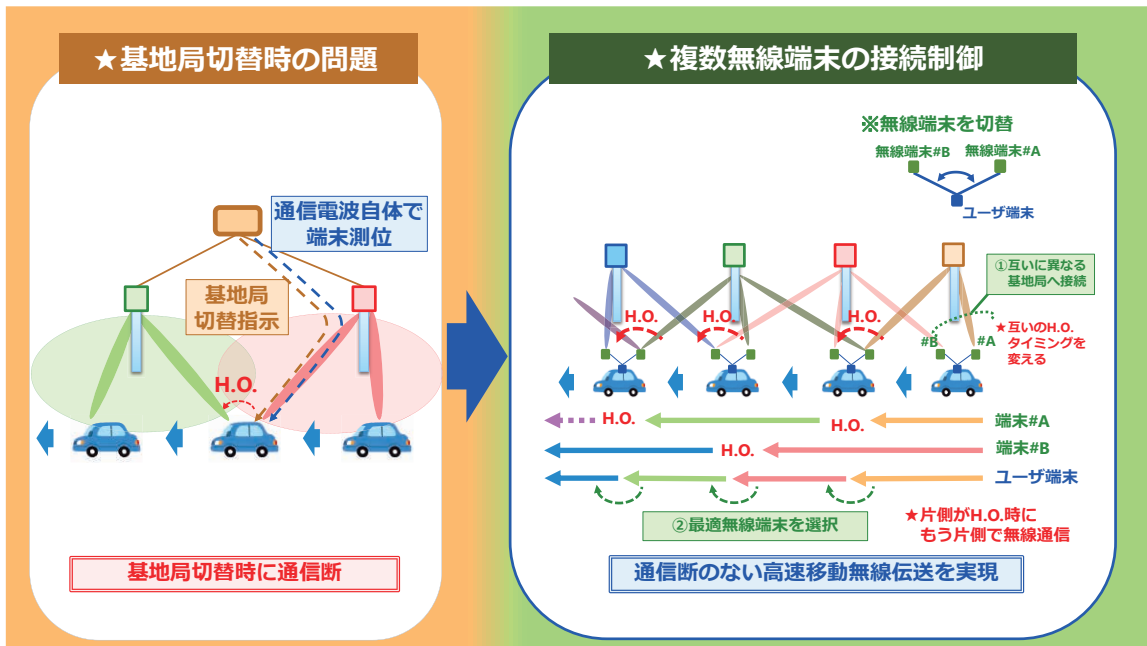


図3 WiGig移動対応技術② 「通信断のない高速移動無線伝送」

テルが張られていました。私も実際に多くの人から、「4G/5Gと無線LANがあるにもかかわらず、なぜこの無線が必要なのか」と言われ続けていました。しかしこの無線の素晴らしさを体感した私は、これを多くの方に周知して使ってもらうことも自分の研究使命の1つだと思いました。そこでまずはWiGig自体について興味を持ってもらい、必要性・貢献性に共感してもらうことにも力を入れました。特に、2016~2019年の期間は、WiGig自体を知ってもらうために多くの方への説明活動・外回りを行う等、本

研究開発の半分以上はその周知活動に費やしました。

何度か研究継続が難しい状況にも遭遇する中で、状況を大きく変える起点となったのは2020年のサーキット実験です。高速で移動する車に接続すること自体が初挑戦で危険度の高い実験でしたが、理論的には成功するはずと考え挑戦しました。共に取り組んだメンバやベンダ様にも恵まれた結果、実験はある程度の成功を収めました。そしてこの成功によって技術的にWiGigの移動活用の道が拓かれ、また実験結果の報道発表によって多くの方に

WiGigの存在自体を知っていただくきっかけになりました。その後も研究を続け、サーキット実験だけでなくドローンやロボットなどいろいろな移動端末の活用シーンで実証実験を進めており、2023年には電波産業会からも表彰をいただくなど着実に歩みを進められていることを実感しています。

無線アクセスの新たなフロンティアを開拓し、IOWN実現へと貢献

■これからのご研究の展望を教えてください。

まだ解決していない課題として、遮蔽で切れるWiGigの電波は「環境依存性が非常に大きい」というものがあります。今後は屋内・屋外問わずさまざまな環境で実証してこの課題の解決に取り組み、ロボット・ドローン・XR端末・車・電車など「今後高度な無線導入が期待されている端末」をターゲットとして、WiGigの実用化を1～2年後にめざしたいと考えています。

またこれらで得た技術ノウハウや実環境で経験した無線伝送の体感は、同じ高周波数帯無線の「高周波数帯分散アンテナシステム技術」にも水平展開できると信じています。

そして来たる6G無線での超高速無線大容量に対応するため、高周波数帯自体の研究が進んでSub-THz（サブテラヘルツ）帯と呼ばれる1～10 GHzクラスの信号帯域幅を持つ電波が使えるようになれば、本研究の分散アンテナの仕組みを適用することで100 m×100 mのエリア内でどこでも100 bit/s以上提供可能になり、無線アクセスの新たなフロンティアを開拓できると考えています。

さらに本技術とNTTが提唱するIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）とのかかわりとして、基地局から分散アンテナをIOWNの高速大容量・低遅延・低消費でつなぐことによって、多数のアンテナを経済的に展開可能になるのではないかと検討しています。加えてAnalog-RoF（Radio over Fiber）という技術を用いることで、基地局からの電波をそのまま光回線を介して遠隔まで届けることが可能となるため、本技術がIOWNのナチュラル伝送のユースケースの1つになり、IOWNにおける光電融合の世界観を具現化する無線基地局形態となります。またIOWNの高速伝送・低遅延に対して、WiGigが免許不要かつ高速大容量の足回りの良い無線として助け、IOWNにつなげる移動端末・移動ユースケースの拡大に貢献していきます。

■最後に研究者・学生・ビジネスパートナーの方々へ向けてメッセージをお願いします。

私が所属しているNTTアクセスサービスシステム研究所は、NTTネットワークとお客さまをつなぐアクセス回線を研究開発している組織です。線路技術・光技術・無線技術・オペレーション技術・アクセス通信技術など、幅広い分野を研究開発しています。またNTT研究所の全体像でとらえても、通信のあらゆる分野の研究開発に取り組んでおり、またアカデミックな基礎研究から実用に近い応用研究まで、多様研究フェーズを持っている点も魅力

です。そしてこうした環境では、分からないこと・連携したいことがあるときにも組織内に相談相手が多数いるため、とても恵まれている環境だと思います。

その中で私自身は、研究開発のモチベーション・起点に対して「一人称の信念を持つこと」を心掛けています。すべての研究のきっかけは「自分が使いたいと思うか」ということが重要で、そのモチベーションによって、自分自身の研究に責任を持ちながら情熱的に多くの人を巻き込むことができると考えます。そしてもしそれが、周りからの反対意見を受けるものや突飛なものであったとしても、自分が信念を持てることであれば、チャンスであり取り組む価値はあると思います。確かに多くの人と違うことに取り組む道程は非常に苦しく不安が付きまとうものですが、最大のリスクは挑戦しないこと、という側面もあると思います。もし挑戦しないと「やって良かったのか、やらなくて良かったのか」、その答えが一生分らず後悔として残り、次へのフィードバックにつながらないこともあります。そのため、私が迷ったときは「今やらないと一生できないがそれでも良いか？」と自分自身に問うようになっています。

またそれと同時に「利他の心で判断する」ということにも注意しなければいけません。実際に自分視点で進めている研究を客観的に判断することは非常に難しいのですが、研究進行中にも途中立ち止まって「貢献したい方々の幸せに本当になっているのか？」と考えを巡らせたほうが、結果的に研究がうまく進むことが多いというのが私の経験則です。そしてこうした相反する「情熱」と「冷静な判断」は、どちらが欠けてもいけない大切なものです。特に多数を巻き込んでプロジェクトを推進する際には、ともに研究を進める人の心を動かす情熱が必要な一方で、技術的な視点で冷静な分析と判断を持ってうまく研究を動かさなくてはなりません。

現在NTT研究所はIOWN構想の下で、社会にパラダイムシフトを引き起こす可能性を秘めた数多くの研究開発に取り組んでいます。そしてそれを実現するために多くの人・設備がそろっており、たくさんの道が用意されています。これから一緒に技術・研究開発の可能性・社会貢献にチャレンジしたい方がいらっしゃれば、ぜひ一緒にできるのを楽しみにしています。



（今回はリモートにてインタビューを実施しました）



株式会社NTT ExC パートナー

<https://www.nttexc.co.jp/>



ヒューマン・キャピタル分野を中心にEXの向上を通じてCXの高度化に貢献する会社

NTT ExC パートナーは、ヒューマン・キャピタル改革の知見を余すことなくお客さまへ提供することを目的に、NTT ビジネスアソシエとNTT ラーニングシステムズが経営統合することで、2023年7月に誕生しました。「Employee Experience (EX) の向上」を通じ、「Customer Experience (CX) の高度化」等への貢献を社名に託し、お客さまの持続的成長、ひいてはSDGsやサステナブルな社会の実現をめざす思いを矢野信二社長に伺いました。



NTT ExC パートナー
矢野信二社長

BPOからコンサルティングまで幅広い分野でNTTグループの共通系業務を支えつつ、お客さまおよび社会課題の解決に貢献

■会社の概要について教えてください。

NTTグループの新しい人事制度改革、人的資本に関する社会課題の変化、人材分野におけるテック企業の躍進など激変する事業環境の中で、新しい価値創造の実現をめざすことを目的として、2023年7月1日にNTT ExC (エクシー) パートナーをスタートさせました。

NTT ビジネスアソシエの持つ人事制度・システム設計構築・オペレーションに関する企画・実行力等のケイパビリティと、NTT ラーニングシステムズが強みとする教育研修の設計・調達のサービスを組み合わせるなど、新たな体験や感動 (EXでCXを創造) につながる高付加価値サービスやトータルソリューションを提供することで、お客さまのエンゲージメント向上を支援していきます (図1)。

■具体的にどのような事業展開をしているのでしょうか。

ヒューマン・キャピタル分野における各種BPOやコンサルティングに加えて、調達DX、学校向け教育ICT、年金・健康保険関連業務をベースとした健康経営、ならびに自律的キャリア形成やリスキリング等の研修育成事業など、幅広い側面からNTTグループの共通系業務を支えとともに、一般市場のお客さまおよび社会課題の解決に貢献することをめざしています。2022年12月に設立したHRコンサルティングのNTT HumanEX (エヌ・ティ・ティ・ヒューマネクス) やNTT ビジネスアソシエ東日本などNTT ExC パートナーグループでは約2300人が働いています。また、さらに

保険サービスなどの関連会社とともにヒューマン・キャピタル全般におけるサービスをNTTグループと一般市場のお客さまに広く提供しています。

お客さまに寄り添い、新たな体験や感動を届けることで「価値あるパートナー」となることをめざす

■事業を取り巻く環境はどのような状況でしょうか。

ヒューマン・キャピタル分野においては、企業の人材、とりわけ事業変革や新たなビジネスモデル構築をリードするデータサイエンティストなどデジタル人材等のニーズが高まる中、いわゆる「ジョブ型の人事・評価制度」や「専門性教育・研修」、「人材データドリブン」が、企業の持続的成長におけるKSFとして経営戦略上の重要性が増しています。人材の流動化が進む中で、個人が働く、また会社を選ぶうえで、生き生きと働くことができるか、ということが重要視されています。人的資本経営の取り組みとその開示の動きも本格化しており、企業の持続的な成長や価値向上において、エンゲージメントの向上は重要な経営課題に位置付けられており、そのため企業の視点と従業員の視点双方のエンゲージメント向上が必要となります。

さらに、持続可能な社会の実現 (SDGs) の観点からも、多様な働き方や社員等の能力開発支援、健康経営などヒューマン・キャピタル・ソリューションの提供を通じた社会的課題解決への期待や意義が高まっている状況です。

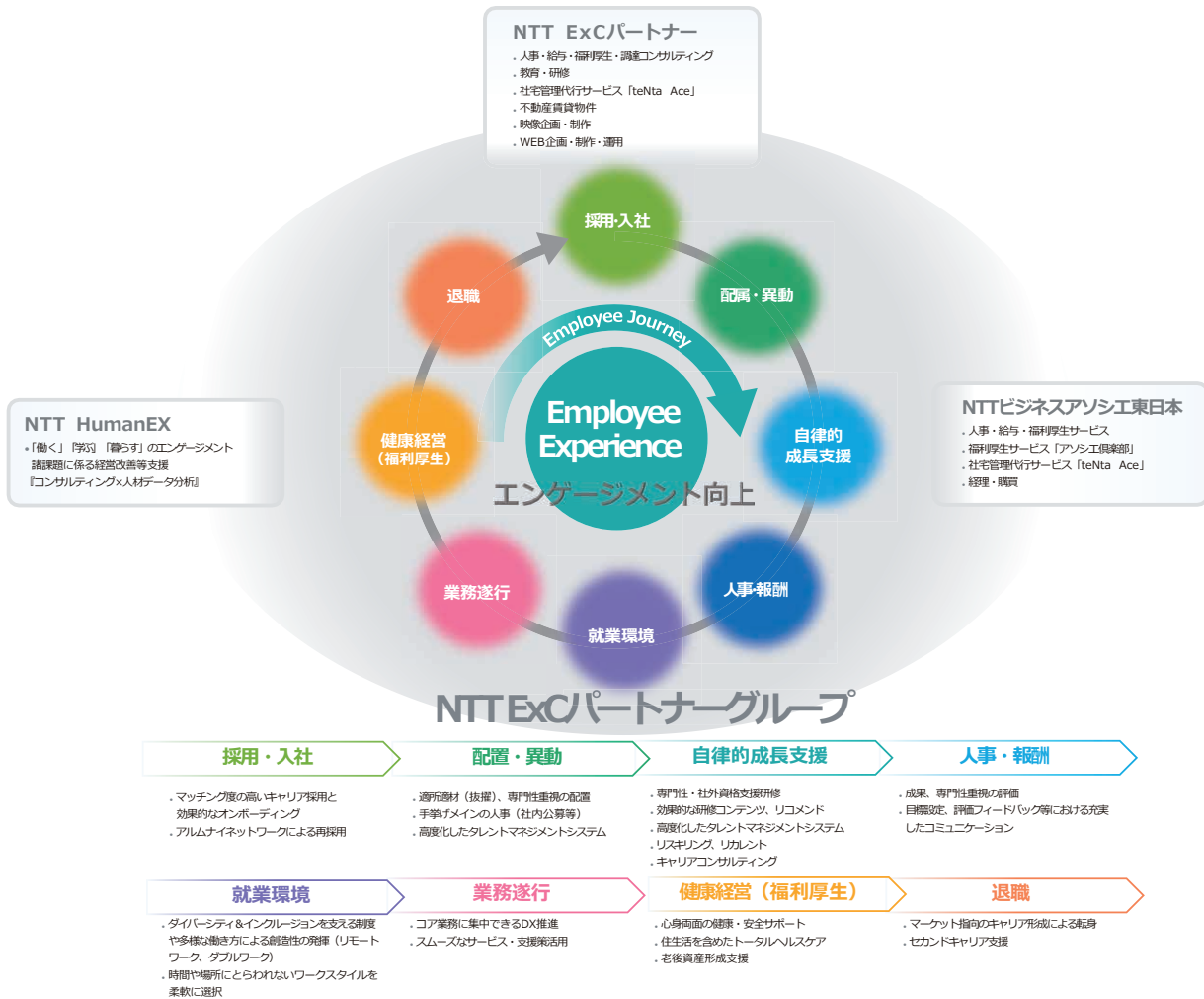


図1 NTT ExCパートナーグループのビジネス

■今後の展望についてお聞かせください。

お客さまが抱える事業課題に真摯に耳を傾け、EXやCXの価値向上に資するサービスを幅広く提供することで、社員と企業双方の持続的な成長を支援します。その実現に向けたキーポイントは、「働く」「学ぶ」「暮らす」の幅広い分野におけるシステム・制度にかかわる運用等の知見とデータを活用したデジタルトランスフォーメーション（DX）ソリューションです。

例えば、「働く」では、働きやすさ・働き甲斐・働き方の観点からジョブ型人事制度、エンゲージメントサーベイ、ダブルワークなどのコンサルティングを、また「学ぶ」においては、自律的なキャリア形成・能力開発・リスキリングの観点から、育成支援コンサルティング、キャリア・ジャーニープログラムなどを、さらに「暮らす」においては、安心・安全に働ける環境の観点から、健康経営支援やビジネスリワーク（休職者復帰プログラム）など、NTT ExCパートナーグループ総体でお客さまへ高付加価値をご提供いたします。

また、BPOもシナジー発揮に重要なポイントとなります。人事部門はDX等によるオペレーションの効率化、品質向上を図り

ながら、経営課題と連携した戦略性を発揮することが求められています。社宅管理代行や財務、契約購買、人事給与、総務厚生など幅広いBPOの受託を通して、お客さま企業の業務改善やDX、コンサル、課題解決に向けた「打ち手」を裏方からご支援して参ります。

このように時代を先取りして事業変革へチャレンジすることが、お客さまの持続的成長、ひいてはSDGsやサステナブルな社会の実現に貢献することであり、まさに私たちの使命そのものだと考えています。NTT ExCパートナーグループは、この使命を果たすべく総力を挙げ、お客さまに寄り添い新たな体験や感動を届けることで、皆さまにとって「価値あるパートナー」と感じていただけるよう努めていきます。

グループ共通IT(調達)をスマートに使うNTTグループ各社へバリューを提供

DX調達事業部
業務システム部門 担当課長

浜野 大介 さん

■担当されている業務について教えてください。

私は、DX調達事業部 業務システム部門で、NTTグループの契約関連業務の標準化・効率化を図り、Fit to Standardの基本方針に基づきDXの推進を目的とした「グループ共通IT(調達)」の運用に携わっています。主にグループ共通IT(調達)に必要なマスターデータである、サプライヤ情報や商品情報を入力するための「業務運用ツール」の開発と保守運用を行っています(図2, 3)。

業務運用ツールはグループ共通IT(調達)の仕様に沿ってつくらなければなりません。仕様が確定する前に開発をスタートする必要があったため、柔軟な開発が可能となるアジャイル開発を採用しました。開発中盤になっても、グループ共通IT(調達)の仕様が変更になることがあり、仕様変更に対応した開発と品質のチェックが追いつかないという問題が発生したため、一部機能を制限して2023年4月に暫定運用を開始しました。その後、必要な要件とのギャップを埋めつつプログラム品質の向上に取り組むこ



とで全機能を提供することができました。

課題解決においては、利用いただくNTTグループ各社へのヒアリングを重視し、持株会社や社外の技術者および上長の支援により、チーム一丸となって開発を完遂することができたと考えています。

■今後の展望について教えてください。

運用は開始しましたが、サプライヤ情報や商品情報を投入する際に、記載項目が多く、業務負担低減に向けた改善要望もあります。これらに対する改善検討は継続して実施することで、グループ共通IT(調達)全体の利便性は向上していくと考えております。今後もより使いやすいものとしていくために検討を重ね、業務効率化に貢献していきたいと思っております。



図2 業務運用ツールの操作画面イメージ図

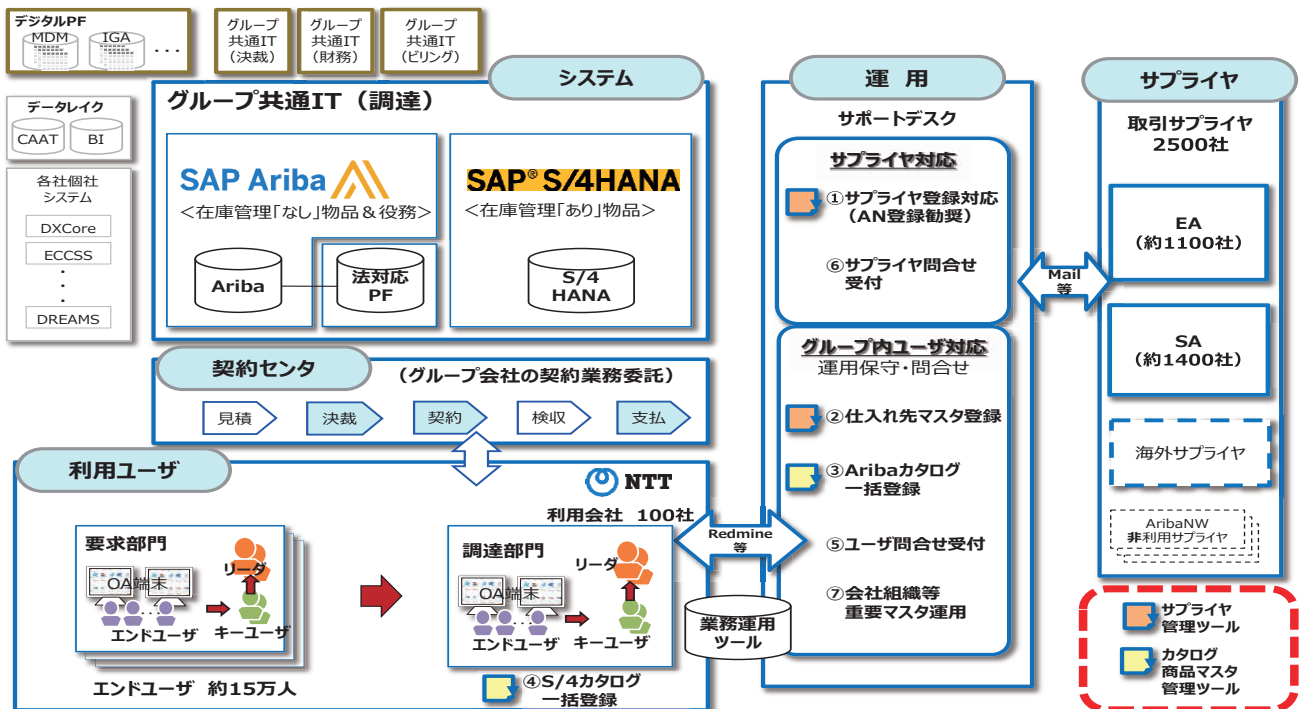


図3 グループ共通IT(調達)の概観構成図

コミュニケーション可視化ツールでオンラインコミュニケーション参加者の対面的雰囲気を感じる

HRソリューション事業部
業務・システムコンサルティング
部門 担当課長

田中 慎也 さん

■担当されている業務について教えてください。

HRソリューション事業部で、コミュニケーション可視化ツールの開発に取り組んでいます。



働き方の多様化に伴い、オンラインコミュニケーションが普及していますが、対面のときに相手の表情や雰囲気から感じ取っていた心身の健康状態やその変化が分かりづらくなるとともに、コミュニケーションの密度、質も変化してきました。特にチームで業務を行う際には、こうした心身の状態やその変化を迅速に感じ取り、対応していくことが、パフォーマンスを上げていくための重要なポイントになります。

そこで、チームメンバーの心身の状態・変化、多忙度、孤立感等を、オンラインコミュニケーションの量、音声や表情等の質から分析・可視化することで、マネージャーのラインケア業務を支援する機能を開発し、ラインマネージメント支援ツールとしてサービス化しました(図4)。

開発においては、NTT研究所が開発した、音声音響処理・画像映像処理・自然言語処理などのさまざまな機能をオールインワンで統合的に扱うことができるAI(人工知能)を活用し、TeamsやWebex等によるオンライン会議の情報を、会話時間や会話時の「表情」「声(音声)」から、ポジティブ・ネガティブ・ノーマルの感情分析を実施します。そこで得られた結果を可視化し、日次・週次等でレポートするとともに、急激な変化や変化がない状態が長期化した場合にアラートを発出します。これによりマネージャーは、メンバーの状況変化の早期発見が可能となり、気付きの漏れや遅れによるメンバーの心身不調等の重症化を防止することができます。

■今後の対応について教えてください。

今後はNTT研究所と連携しながら、ツールを意識させずに情報収集する機能、対面形式の会議における複数名識別判断と情報取得機能、対面・リモートのハイブリット会議の情報取得機能等を追加していくことを計画しています。また、ラインケアの分析情報として、「勤務情報」や「ヘルスケア情報」等のクロスチェックが行えるサービスや、コミュニケーション力向上につながる改善アドバイス、「セルフケア」「チームビルディング」につながるコミュニケーション可視化等をサービス化し、サービスラインアップの充実を図っていく予定です。そして、AIの活用シーンをさ

リモートワーク等、働き方の多様化に伴い、部下やチームの状況を把握することが難しくなっている。本ツールで、社員の状況(音声・表情)を可視化・分析することにより、上司のラインケアを支援する。

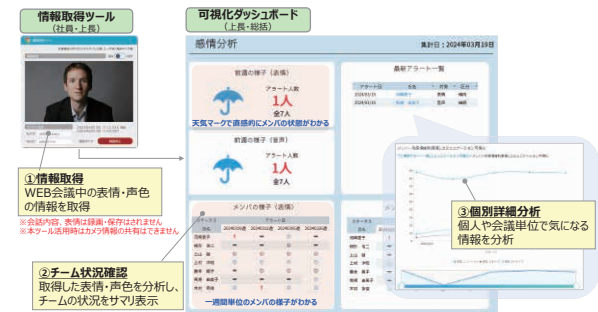


図4 コミュニケーション可視化サービスのイメージ

らに広げて、議事録機能も開発し、業務の効率化・生産性向上をめざしたいと思います。

「カオナビ」社との協業で、データドリブンな人的資本経営の推進に貢献

ラーニングソリューション事業部
ビジネス戦略推進部門 担当課長

山岡 啓介 さん

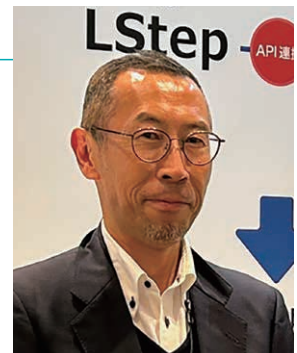
■担当されている業務について教えてください。

新会社のミッションとして、「[ヒューマン・キャピタル (HC = 人的資本) 分野へのソリューションやテクノロジー等の価値提供]」が掲げられ、これを加速させるため、タレントマネジメントシステムシェア8年連続No.1約3000社の顧客基盤を持つHRテック企業「カオナビ」社との協業に取り組んでいます(図5)。

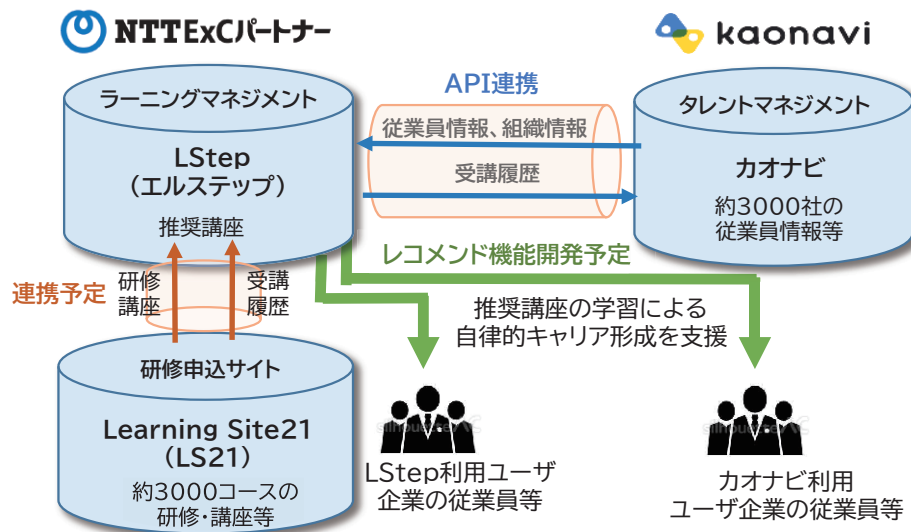
「専門性を重視した研修等」をeラーニングにて提供可能な、ExCのクラウド型学習管理システム「LStep (エルステップ)」とタレントマネジメントシステム「カオナビ」をシステム連携させ、ワンストップでサービスを提供することで、人事部門における人事戦略策定、利便性向上や業務の効率化、従業員の自律的なキャリア形成支援など、企業等におけるデータドリブンな人的資本経営の推進に貢献できると考えています。

■今後の展望について教えてください。

NTTグループを中心に利用されている、研修申込サイトのLearning Site21 (LS21) と連携し、NTTグループの「18の専門分野」「グレード基準」に合わせた推奨研修講座を含む約3000講座について、LStep利用ユーザ、カオナビユーザが受講、申込できるような仕組みを構築し、さらに上長、育成担当者等からの推



タレント情報の把握・活用促進 従業員1人ひとりのキャリア形成向上に向けた環境をご提供



企業等のお客さまへ、NTT専門分野推奨講座を含む約3000講座の中からDX・リスキリング等お客さまの課題・ニーズに合わせた研修をご提案

図5 サービスのイメージ

奨講座のレコメンドまでできるような機能の開発を予定しています。

こうした取り組みにより、多様な社員の多様な働き方をフォローしながら自律的に多様なキャリアを構築・成長できる仕組みを実現し、EXを向上させ、お客さまへの新たな付加価値の創出につなげることをめざしています。

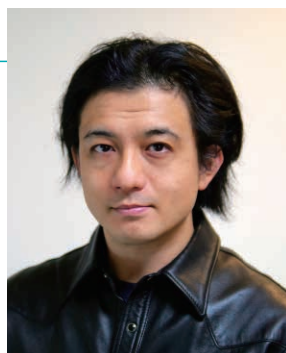
XRを活用したNTTバーチャルステージングソリューションを提供

DXソリューション部
ソリューション制作部門

藤本 翔 さん

■担当されている業務について教えてください。

主な業務として、ヒューマン・キャピタル分野における映像制作を担当しています。具体的には、クロスリアリティ (XR) を活用した教育・研修用映像コンテンツや、プロモーション・各サービス紹介の映像等が挙げられます。また、新型コロナウイルス感染症の影響により、オンライン入社式や式典のライブ配信の案件が急増したことを受け、2021年からはライブ配信に付加価値をつけたバーチャルプロダクションの企画・制作・配信まで一気通貫で内製・提供できる体制を確立しました (図6)。



バーチャルプロダクションの大きな特長は、3Dで作成したCG背景と被写体をリアルタイムで合成できる点で、ゲーム制作で使用される「Unreal Engine (アンリアル・エンジン)」を利用することで、高度なグラフィック処理によるバーチャル背景のリアルタイム化が可能となり、映像演出、アニメーション付き3Dテロップの制作、立体的で美しいグラフィックスにより、入社式やセミナー、プロモーションなど新たなコーポレートブランディングの手段として好評をいただいています。

■今後の展望について教えてください。

ヒューマン・キャピタル分野における映像制作において、一段レベルアップしたバーチャルプロダクションサービスを提供していくうえで、「オプションサービスの充実」と「提供価格」は重要なファクターであり、サービスの面ではXRの技術を融合させ没入感の高いコンテンツを企画から参画していくことで、新たな付加価値を生み出すきっかけにもなると考えています。

オプションとしては、発言した言葉を即時に自動で字幕テロップ化する技術の検証を進めており、音声を出力できない環境下や、聴覚障がいの方でも視聴可能なコンテンツの開発を進めています。

また提供価格の面では、スタッフの人員数や稼働時間削減の経験を活かして、今後はキャリアバッグに必要な機材をパッキングして全国各地へ出向き、そこからバーチャル配信できるスモールサービスとしてパッケージ化もめざしています。



図6 NTTバーチャルステージングソリューション

NTT ExCパートナー ア・ラ・ワ・ル・ト

■大宮アルディージャ VENTUSの林選手が所属

ExCパートナーには、女子サッカーWEリーグの大宮アルディージャ VENTUSの林みり選手が所属しています（写真1, 2）。「仕事とサッカーの両立は大変な所もありますが、周りの皆さんのおかげで楽しく、前向きに業務を行うことができ、社会人としても少しずつではありますが、成長を感じることができています」とのことです。

2022-2023 yogibo WEリーグでは、全22試合中19試合に出場しましたが、目標であった3ゴール3アシストを達成できなかったため、次シーズンは3ゴール5アシストの目標を達成できるように日々トレーニングに励んでいるそうです。

そんな林選手からメッセージをいただきました。「いつも大宮アルディージャ VENTUSの応援ありがとうございます

、私たちが楽しく真剣にサッカーと向き合っているのは、サポートいただいている方々のおかげです。サッカー選手としても社会人としても、さらに成長していけるようにこれからも頑張っていきたいと思います！」頑張れ林選手 Ole !



写真1 ©1998 N.O.ARDIIJA



写真2 ©1998 N.O.ARDIIJA

NTT西日本の通信サービスを支える ゼロタッチオペレーション

NTT西日本グループの通信サービスを「24時間365日」監視しているNTTフィールドテクノネットワークサービスオペレーションセンター(NSOC)では、ネットワーク故障時の対応を迅速化しサービス品質を高めることを目的に、人手を介さず運用を行う「ゼロタッチオペレーション」の実現に向けた取り組みを進めています。作業単位で自動化するツール群と、各ツールを連携させる判断エンジンを開発・導入し、ネットワーク装置故障の約5割に対して自動化を実現しました。

NTT西日本グループの通信サービスのオペレーション

NTT西日本グループが提供する通信サービスは、人々の生活を支える重要インフラであり、自然災害の頻発や社会環境の変化により、その重要性はますます高まりつつあります。このため、通信サービスの安定性・信頼性確保はNTT西日本グループにとって最優先事項と認識しています。

NTT西日本グループの通信サービスの安定性・信頼性確保を行ううえで欠かせない、ネットワーク設備の構築にかかる開発・検証、ソフト工事、保守（監視・保全）までの業務を幅広く担っているのが、NTTフィールドテクノネットワークサービスオペレーションセンター(NSOC)です。特に保守の観点では、NTT西日本グループが提供する通信サービスを安心して使っていただけるよう、「24時間365日」の体制で、リアルタイムに通信サービスの状況を一元的に監視・制御するとともに、予期せぬトラブルが発生した際にも迅速かつ的確に回復措置がとれるよう努めています(図1)。

通信サービスがあらゆる社会活動の基盤となっている中で、NSOCでは「NTT西日本グループへの収益貢献および安定的な事業運営の実現に向けたオペレーションのさらなる付加価値向上と品質・基盤強化」を目標にさまざまな取り組みを進めています。特にNTT西日本グループでは、2022～2023年にかけて複数回、



図1 NSOCの保守業務の様子

故障や不具合等によりサービス影響を発生させました。これを受け、品質・基盤強化が急務と考えており、各取り組みを強化、加速しています。ここではNSOCが注力している取り組みの1つである、人手を介さず運用を行う「ゼロタッチオペレーション」の実現に向けた取り組みについて紹介します。

故障対応業務のめざす姿

NSOCの保守業務のうち、特に重要なものの1つに故障対応業務があります。故障対応業務とは、通信ネットワークの装置の故障や通信サービスが利用できない状況の発生といった異常に対し、いち早く復旧に努める業務です。装置からのアラーム検知を契機として、サービス影響の確認や事象の見極めを行い、故障が特定された装置に対して遠隔で再起動を実施するなどの措置を行います。遠隔措置で故障が回復しない場合は、ラックに搭載された装置等の交換などを行うため、予備機と現地作業員を手配し、現地作業員と連携して復旧を行います(図2)。

ゼロタッチオペレーションの実現に取り組む前は、故障対応業務は人手による作業が中心でした。装置に対する遠隔措置は、手順が多く煩雑な作業があるほか、単純であってもこれを誤ると重大な影響が起り得るので、複数人で相互確認をしながら実施している作業もあります。これらの作業を自動化することで、人手による煩雑な措置手順の実施や相互確認にかかっていた時間を排除でき、故障対応の迅速化によるサービス品質向上が達成できると考えました。

ゼロタッチオペレーションの取り組み

NSOCによるゼロタッチオペレーションは、作業単位で自動化するツール群と、各ツールを連携制御する判断エンジンによって実現しています(図3)。

まず、各作業の定型化を検討し、定型化した作業に対して、作業単位での部分自動化に着手しました。具体的には、装置へのコマンド投入を行うツール、装置ベンダに対して予備機を手配するツール、地域の拠点に対して現地作業員を手配するツール、故障情報のメールを配信するツール等を導入しました。一例として、装置へのコマンド投入を行うツールは、装置の正常性確認や故障

に関するログの収集、再起動や設定変更といったコマンドを、オペレータに代わってシナリオどおりに自動実行します。コマンドの入力が不要になるだけでなく、コマンドの入力誤りを防止できるため、ツールの導入により作業誤りの防止と作業効率化を実現しました。

しかし、各ツールはオペレータによる操作が必要で、さらにツール間で連携していないため、一連の故障対応業務を行うには各ツ

ルの実行管理をオペレータにて行う必要がありました。このため、故障対応業務の完全自動化をめざして、NTTネットワークイノベーションセンターが開発した技術も活用し、各ツールを連携動作させる判断エンジンを導入しました。

判断エンジンは、他のシステムや自動化ツール群との連携を行うための汎用的なインターフェース（REST API：Representational State Transfer Application Programming Interface）、定型化

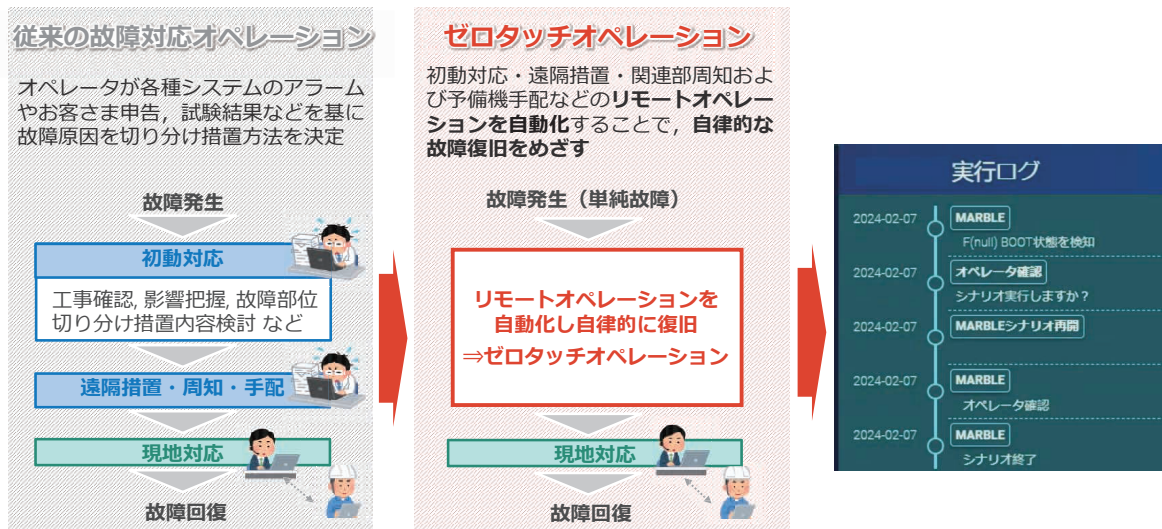


図2 故障対応業務フローとゼロタッチオペレーションの取り組み領域

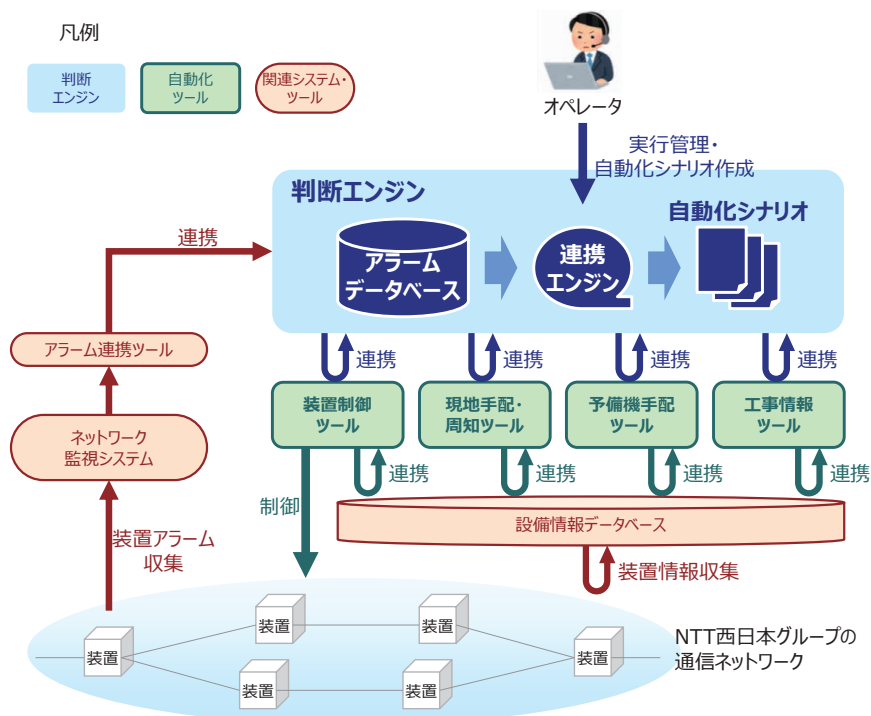


図3 NTT西日本のゼロタッチオペレーションシステム構成

した故障対応業務を自動実行するための自動化シナリオ、シナリオに基づいて自動化ツール群を連係動作させるシナリオ実行管理機能を具備しています。はじめに、装置監視を行うシステムから装置アラームを収集します。装置アラームが発生した場合、装置アラームを契機として、自動化シナリオの起動を判断します。装置アラームはさまざまな種類があり、自動化対象外のアラームも含まれるため、自動化対象か否かを判断し、自動化対象外であればこの時点で処理を終了します。そして、自動化シナリオを起動すると、REST APIを介して自動化ツール群と連携し、自動化シナリオの内容に沿って自動化ツール群を順番に操作し、一連の故障対応業務を自動的に実施します。

自動化シナリオはあらかじめ作成し登録しておく必要があり、シナリオの作成は故障対応業務に精通した現役のオペレータ自身が担当しています（図4）。オペレータによるシナリオ作成の負担を軽減するため、シナリオ作成を支援するツールも具備しています。シナリオ作成ツールでは、業務プロセスを体系的に表記する標準的な方法であるBPMN（Business Process Model and Notation）によってシナリオのフローを定義し、フローの中での具体的な動作（タスク）は人にとっても扱いが容易なデータ記述形式であるJSON形式で記述します（図5）。

BPMNとJSON（JavaScript Object Notation）を採用する

ことにより、プログラミングに関する専門的な知識がないオペレータでも、わずかな学習を通じてシナリオ作成を行えることを可能としています。また、シナリオはタスクの組合せとすることで、記述したタスクを他の処理にも流用することも可能になっています。加えて、作成したシナリオは変更履歴を含むバージョン管理を行っています。これにより、過去に作成したシナリオから処理を流用して、効率的にシナリオを作成しているほか、他者が作成



図4 オペレータによる自動化シナリオ作成の様子

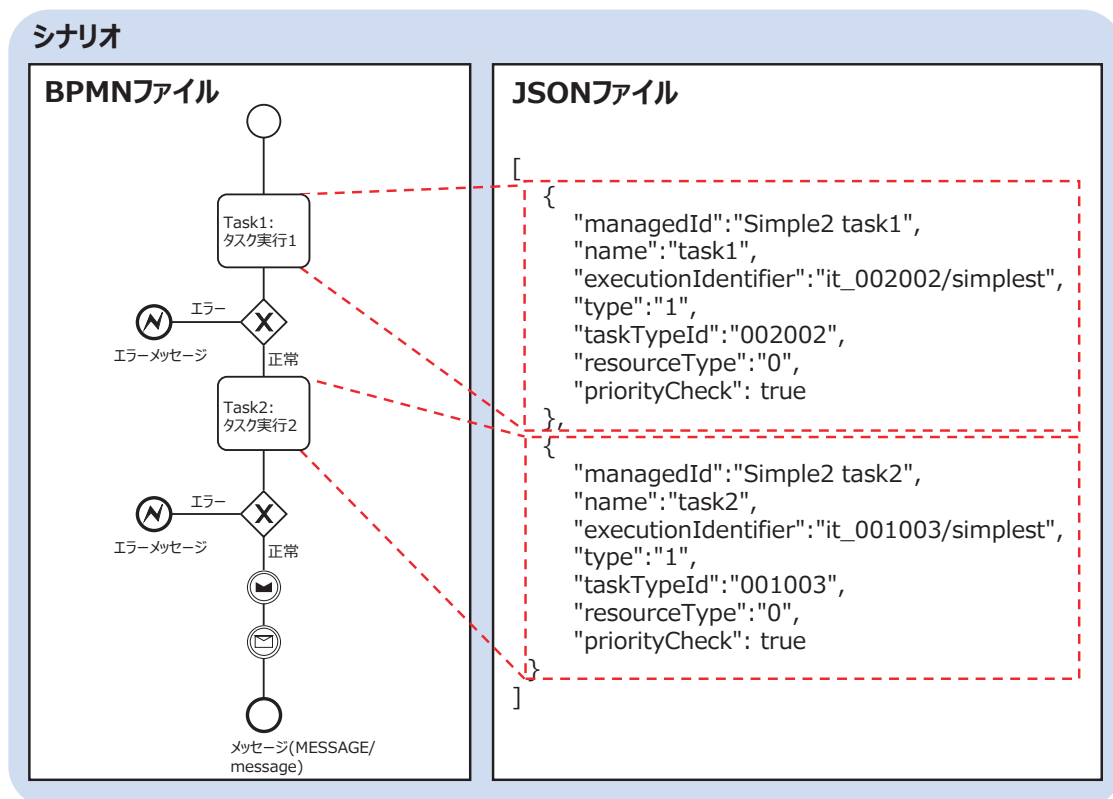


図5 自動化シナリオのイメージ

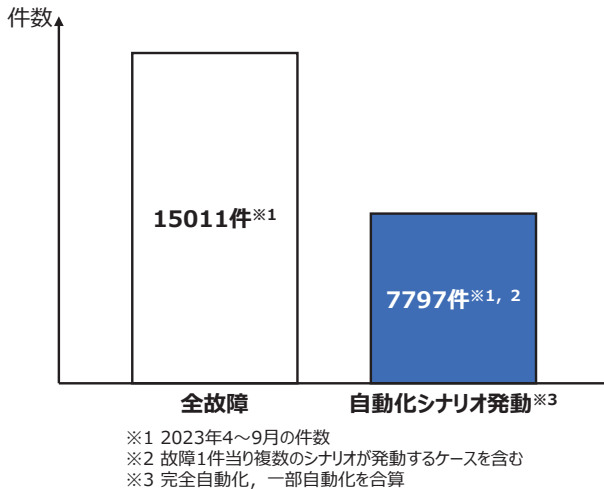


図6 故障件数と自動化シナリオ発動件数

加入者収容装置故障(2023年10月)

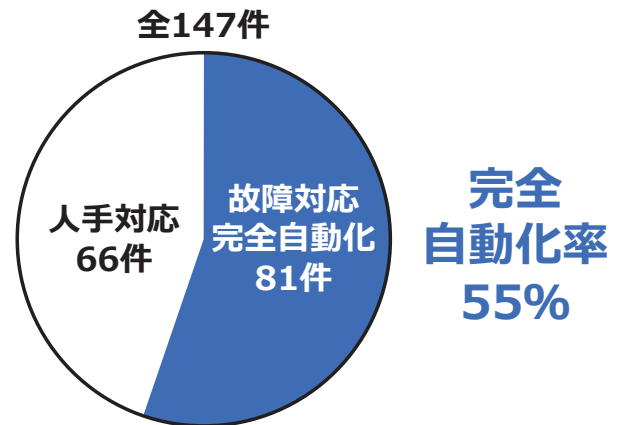


図7 一部装置（加入者収容装置）の完全自動化率



図8 ゼロタッチオペレーションワーキンググループメンバー（一部）

したシナリオを参考に自身のシナリオを更新する、他者のシナリオの誤りや改善点を指摘するなどして、スキルアップを図っています。

判断エンジンは2020年度より導入し、順次自動化シナリオの拡充を進めてきました。現在、NTT西日本エリアで発生するネットワーク装置故障のうち、約5割の故障に対して、故障対応すべて、あるいはその一部で、判断エンジンによる自動化を行っています(図6, 7)。

おわりに

ここでは、NTTフィールドテクノNSOCによるゼロタッチオペレーションの取り組みについて紹介しました。NSOCではゼロタッチオペレーションのワーキンググループを立ち上げており(図8)、さらなる自動化対象の拡大をめざして、業務の定型化と自動化シナリオの作成を継続していきます。また、自動化シナリオ

の作成等、オペレータの自動化スキルの維持・継承に関する取り組みにも力を入れていきます。このほか、自動化が困難で人手に頼らざるを得ない作業があることが分かっています。これらの人手による作業に対しては、自動化以外のアプローチとして、通信ネットワークを含むさまざまな情報の可視化、機械学習や生成AI(人工知能)といった最新技術の目利きと導入にも着手しています。これらの取り組みを通じ、通信サービスの安定性・信頼性確保に努めていきます。

◆問い合わせ先

NTTフィールドテクノ
 サービスエンジニアリング部 ネットワーク設備部門
 ネットワークサービスオペレーションセンタ 企画担当
 TEL 06-6490-1162
 E-mail nsoc-plan-o-zero-maintenance@west.ntt.co.jp