

NTT 技術ジャーナル

7

JULY
2025
Vol.37 No.7

特集

NTTグループの医療・ヘルスケアへの取り組み
つくばフォーラム2025に見る
アクセスネットワークの研究開発

グループ企業探訪

NTT Landscape

from NTTドコモビジネス

認知症で不安になる本人・家族・企業が少なくなる社会へ。
電話×AIによる「脳の健康チェック」サービス



4 特集

NTTグループの医療・ヘルスケアへの取り組み

- 6 データ活用によるスマートヘルスケアの実現
- 10 スマートフォンログから免疫力のセルフケアを実現する免疫力推定AI
- 15 「睡眠後進国 日本」の課題解決をめざす、NTT東日本グループが取り組むスリープテック事業
- 19 AIとデジタルバイオマーカーが切り拓く未来
——高齢者の生活のクライシスを予防しWell-beingに導くリスクコントロール技術
- 24 遠隔診療の実現に向けた身体遠隔化技術
- 28 環境変化・身体変化に伴う転倒防止に向けた姿勢バランストレーニングの研究の概要と将来像
- 33 感覚依存性に基づく姿勢バランストレーニング実現に向けた感覚依存性誘導技術

36 特集

つくばフォーラム2025に見る アクセスネットワークの研究開発

- 38 世界を変える価値創造を 持続可能な社会を支えるアクセスネットワーク技術
- 42 IOWN誕生から5年 さらにその先へ
- 46 つなごう。驚きを。幸せを。
～6G時代のWell-beingな社会の実現に向けて～
- 51 ネットワークロバスタ化・業務自動化に向けたAI活用によるオペレーション技術の研究開発
- 55 社会インフラ維持管理の新時代へ ～AI活用&シェアリング～
- 59 社会インフラの運用イノベーションと新価値の創出に向けた研究開発について



64 特別企画

2025 IEEE Jagadish Chandra Bose Medal in Wireless Communications受賞記念

技術の本質を徹底して追求。パッションは好きなことにしか注げないものである



68 挑戦する研究者たち

東中 竜一郎

NTT人間情報研究所 客員上席特別研究員

古くて新しい課題「共通基盤」を、最先端技術を活用して
解明し、コンピュータと人のコミュニケーションに挑む



特集

73 挑戦する研究開発者たち

正野 勇嗣

NTTデータグループ 技術革新統括本部

AIエージェントが自律的に対象業務のタスクを抽出・整理・
実行する、生成AI活用コンセプト「SmartAgent™」



For the Future

特別企画

78 明日のトップランナー

笹木 裕文

NTT未来ねっと研究所 特別研究員

無線通信システムの高速度・大容量をめざして、
テラビット級無線伝送技術の実用化へ



挑戦する研究者たち

82 グループ企業探訪

株式会社NTT Landscape

フィールドDXを通じて、地域経済活性化に貢献する会社



挑戦する研究開発者たち

86 from NTTドコモビジネス

認知症で不安になる本人・家族・企業が少なくなる社会へ。
電話×AIによる「脳の健康チェック」サービス

明日のトップランナー

90 Webサイト オリジナル記事の紹介

8月号予定
編集後記

グループ企業探訪

本誌掲載内容についてのご意見、お問い合わせ先
NTT技術ジャーナル事務局
問い合わせページ <https://journal.ntt.co.jp/contact>

本誌ご購入のお申し込み、お問い合わせ先
一般社団法人電気通信協会 ブックセンター
TEL (03) 3288-0611 FAX (03) 3288-0615
ホームページ <http://www.tta.or.jp/>

NTT技術ジャーナルは
Webで閲覧できます。
<https://journal.ntt.co.jp/>



from

NTTグループの医療・ヘルスケアへの取り組み

NTTグループでは、生活習慣の改善や健康寿命の延伸のため、

医療・ヘルスケア分野においてさまざまな取り組みを展開している。

具体的には、スマートフォンをはじめとするデータの利活用やAI(人工知能)技術の開発、遠隔診療などを進めている。

本特集ではNTTグループの医療・ヘルスケアの取り組みを紹介する。

データ活用によるスマートヘルスケアの実現 ————— 6

データ利活用が重要といわれている中でデータ利活用が進まない課題に対して、NTTドコモビジネスが提供する秘密計算や同意取得・認証認可を利用したアプローチを紹介する。

スマートフォンログから免疫力のセルフケアを実現する免疫力推定AI — 10

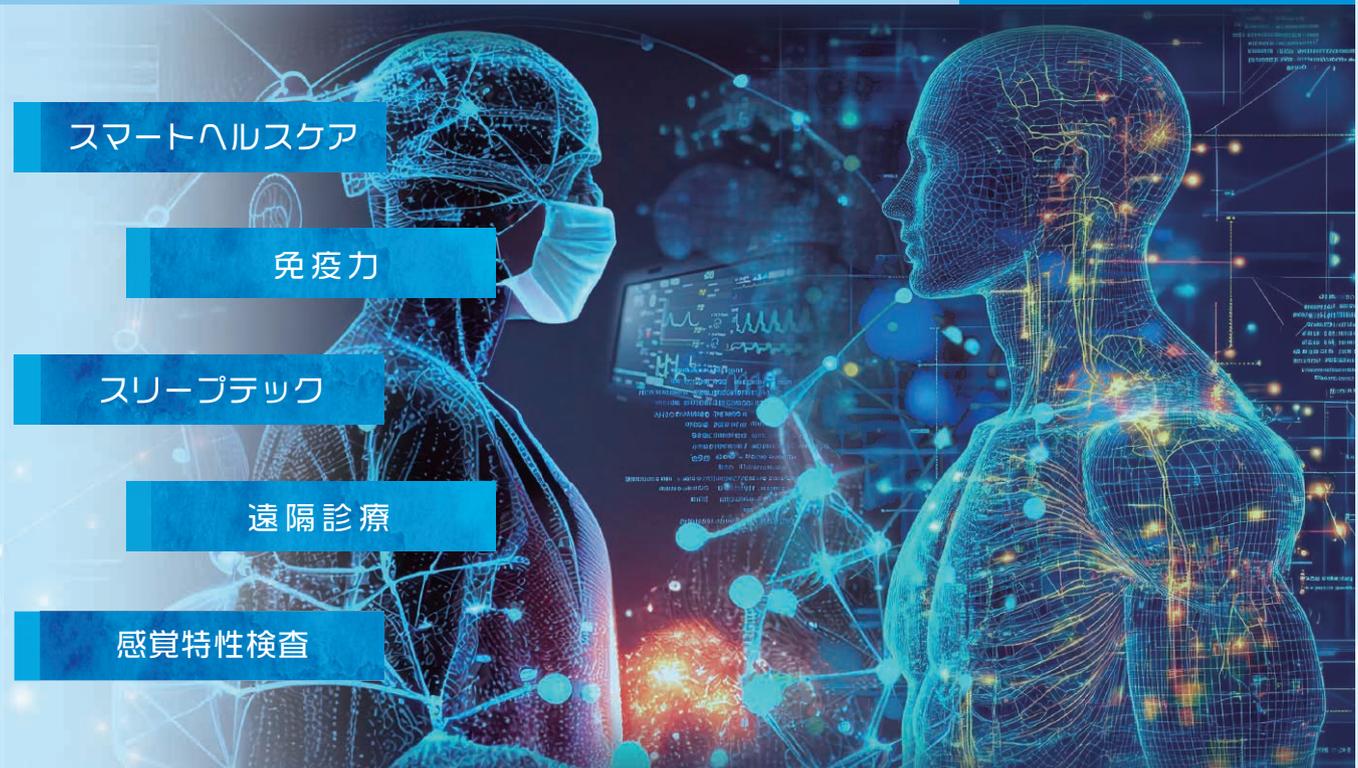
NTTドコモが開発した、生活習慣と免疫力との関係に着目したスマートフォンログを用いた免疫力推定AIの概要、および商用サービスへの機能実装について紹介する。

「睡眠後進国 日本」の課題解決をめざす、NTT東日本グループが取り組むスリープテック事業 ————— 15

経済産業省が進めるPHRを活用した未来のユースケース創出プロジェクトに採択された「ZZZN SLEEP APPAREL SYSTEM」をはじめとするNTT DXパートナーのスリープテックソリューションを紹介する。

AIとデジタルバイオマーカーが切り拓く未来—— 高齢者の生活のクライシスを予防しWell-beingに導くリスクコントロール技術 ———— 19

NTT西日本が開発した、高齢者が抱える転倒や認知症のリスクに対処するためのAIとデジタルバイオマーカーを活用したスクリーニング技術について紹介する。



スマートヘルスクエア

免疫力

スリープテック

遠隔診療

感覚特性検査

遠隔診療の実現に向けた身体遠隔化技術 24

NTT人間情報研究所が研究開発を進めている、身体的な能力・技能を遠隔でも発揮可能とする「身体遠隔化技術」を、医療サービスの提供が困難な地方や医療過疎地域に適用する取り組みを紹介する。

環境変化・身体変化に伴う転倒防止に向けた姿勢バランストレーニングの研究の概要と将来像 28

健康寿命の延伸のため、姿勢バランス時の感覚依存性に着眼点をあてた姿勢バランストレーニングに関する研究の概要と将来像、およびNTT東日本伊豆病院との共同実験の内容について紹介する。

感覚依存性に基づく姿勢バランストレーニング実現に向けた感覚依存性誘導技術 33

NTT人間情報研究所が推進している、普段使い慣れていない感覚による姿勢バランストレーニングを実現するための感覚依存性誘導技術について紹介する。



データ活用によるスマートヘルスケアの実現

本稿では、医療ヘルスケア分野におけるデータ利活用の重要性とその課題を整理し、NTTドコモビジネス（旧NTTコミュニケーションズ）が提供する秘密計算や同意取得・認証認可の機能によってその課題に対して、どのようなアプローチを取っているかを紹介します。さらに個人情報のプライバシー保護とデータ安全性を担保しつつ、医療ヘルスケア領域で実施している具体的なデータ利活用事例とともに、今後の展望について述べます。

キーワード：#データ利活用，#秘密計算，#スマートヘルスケア

くのせいじ さくらい よういち
久野 誠史 / 櫻井 陽一
さわだ まさし いずみ ひろあき
澤田 匡史 / 泉 博明
たむら ゆうこ たけうち よしこ
田村 祐子 / 竹内 佳子

NTTドコモビジネス

はじめに

さまざまな場面でデータが電子化され、また技術の進展とともにウェアラブルデバイス端末が小型化されたことで、多様なデータが取得されるようになっていきます。また、いくつかの社会課題解決のために、データを有効的に活用することがその解決方法の1つとして取り上げられています。

一方で、こういった必要なデータは取得元でそれぞれ分散した状態で保管されており、個人情報の扱いが難しいことから利活用が進んでいないのが現状です。本稿ではデータ利活用の課題と解決方法、またさまざまな事例を紹介します。

が進んでいます。例えば、「医療DX令和ビジョン2030」で謳われている電子カルテ情報の標準化や全国医療情報プラットフォームの整備、PHR（パーソナル・ヘルス・レコード）の推進などがその一環です。一方で、医療情報に対するプライバシー意識の高さや、規定上の制約から、データ利活用が思うように進んでいない現実もあります。個人情報保護法、次世代医療基盤法等により、医療データの取り扱いは厳格に規定されており、二次利用する場合に慎重な対応が求められています。情報漏洩への懸念も強く、安心・安全なデータ利用をいかに担保するかが大きなテーマとなっています。

このような背景のもと、本稿では、通信事業者として医療ヘルスケア分野に取り組む立場から、「データ利活用によるスマートヘルスケア^{*1}の実現」に向けたアプローチを紹介します。

個人のプライバシーを守るうえで非常に重要な役割を果たしていますが、その一方で、データの利活用を迅速かつ柔軟に推進するうえでは大きなハードルとなっています。

医療データを二次利用する場合、原則として同意を取得することが必要です。さらに、匿名加工情報を作成して取り扱うか、統計処理を行い個人が特定されないデータに加工する必要があります。匿名加工化や統計化を実施する際に、十分に配慮した安全管理措置を施さないと、情報漏洩に対するリスクを常に負うこととなります。データ利活用を推進するために、プライバシー保護と安全管理措置をいかに実現するかが大きな課題となっています。

データ利活用への期待と現状

日本は高齢化社会に突入しています。2025年には団塊の世代が75歳以上となり、後期高齢者の割合が急増すると推計されています。これに伴い、医療費はますます膨張し、社会保障制度の持続可能性が深刻な課題となっています。厚生労働省によると、2022年度の国民医療費は46兆円を超え、限られた医療資源をいかに効率的に活用するかが喫緊の課題となっています。

このような状況下で注目されているのが、医療ヘルスケア分野におけるデータ利活用です。診療データ、健康診断データ、ウェアラブルデバイスデータ、遺伝子情報やライフログなど、多様なデータを適切に収集・分析・活用することで、疾病予防、早期発見、治療精度の向上、医療資源配分の最適化などが期待されています。

日本国内で、さまざまな政策の取り組み

個人情報のデータ活用と課題

医療ヘルスケア分野におけるデータ利活用を推進するうえで、1つの障壁となるのが個人情報の扱いとプライバシー保護に関する課題です。医療情報は極めてセンシティブであり、ひとたび漏洩が発生すれば個人の生活や社会的信用に重大な影響を及ぼします。そのため、日本では個人情報保護法などによって医療情報等の個人情報の取り扱いが規定されています。

個人情報保護法においては、病歴、検査結果などは要配慮個人情報に分類され、本人の同意なしに取得・利用することが原則禁止されています。このような制度設計は、

秘密計算技術の活用

データ利活用を推進するために、プライバシー保護と安全管理措置の対策を実施することは非常に重要であり、これらを実現する手段として昨今注目されているのが、ISO（International Organization for Standardization）で国際標準化されている秘密計算技術の活用です。秘密計算については、NTT研究所においても長年研究開発を進めており、このISO国際標準化に大きく貢献しています⁽¹⁾。秘密計算とは、データを秘匿化^{*2}した状態で統計解析や機械学習等の計算処理を行う技術であり、

*1 スマートヘルスケア：ICTを活用して健康管理や医療サービスを効率化・高度化する取り組みのこと。

*2 秘匿化：元のデータから、それ単体では元のデータを復元することが極めて困難であるデータの組に変換すること。

元のデータを開示することなく、必要な分析結果だけを得ることが可能です。

医療データの分析等において秘密計算技術を活用することで、患者データ等を秘匿化したまま分析処理を行い、個人情報を一切明らかにすることなく統計的な結果だけを取得できます。これにより、プライバシーリスクや情報漏洩リスクを大幅に低減しながら、データ活用を推進することが可能となります。

例えば、複数の医療機関の希少疾患等の診療データは秘匿性が高いため、それぞれの院内にだけ保管され有効活用が進んでいないケースが多く存在します。1つの医療機関では、希少疾患であるため患者数が少なくデータの数には限度がありますが、複数の医療機関のデータを組み合わせることができればデータ数が増え、統計的に意味のある分析ができ、病態の解明などの臨床研究、診療に有効活用することが可能です。

秘密計算技術を活用することで、プライバシー保護が強化され、今まで有効活用できなかったデータを複数の機関・組織から収集し、有効活用することが可能となります。診療データを活用することで、効率的な医療につなげることが期待されています。

現状の個人情報保護法では、暗号化された個人情報は個人情報として扱われているため、秘密計算技術を活用した場合でも、個人情報を収集・利活用する場合には本人の事前の同意が必要となります。現在、個

人情報保護委員会にてAI（人工知能）モデルの開発や統計化などを行う場合の本人同意取得のあり方が検討されており⁽²⁾、さらに安全管理措置として秘密計算技術を活用していくことの重要度が高まる可能性があります。

NTTドコモビジネス（旧NTTコミュニケーションズ）では、この秘密計算技術を活用できるクラウドサービスである「析秘（せきひ）」（図1）を2021年から提供を開始しており、複数の医療機関のデータを収集し、統計処理、機械学習結果を活用することで医療の効率化につなげていく取り組みを進めています。また、金融、化学業界など医療領域以外の領域においても、データ利活用を推進するために「析秘」の活用が進んでいます。

データ活用における「同意取得」と「認証認可」の重要性

データ利活用の基盤となるその他機能として、利用者本人の「同意取得」と、情報に対する適切なアクセス制御を行う「認証認可」があります。

まず、同意取得についてです。個人情報保護法において、本人の明確な同意を得ずに医療データを収集および利活用することは原則として禁止されています。さらに、近年のヘルスケアサービスはデータ連携の範囲が広がっており、一度の同意ではカバ

りきれないケースも増えています。そのため、利用者の意思を反映させた動的な同意取得、いわゆる「ダイナミックコンセント」が注目されています。ダイナミックコンセントを行うことで、利用者はその都度、自らのデータの使い道を選択でき、安心してデータ提供を行うことが可能になります。

次に、認証認可についてです。医療データにアクセスできるのは、厳格に認可された者に限られる必要があります。また、不適切なアクセスを防ぐためには、データの閲覧・アクセスを正確に把握およびコントロールする仕組みとして本人認証が必要です。政府は、マイナンバーカードの活用を推進しており、マイナンバーカードの公的個人認証サービス（JPKI）を活用した本人確認は今後重要になってきます。

当社では、これらの機能を「SmartLiTA」（図2）によって実現しています。同意取得・撤回などの管理と生体認証等による多要素認証、マイナンバーカードによる本人確認、OpenID Connect等による認証認可、SMS・LINE等のメッセージ通知を連携させることで、安全かつ柔軟にデータの利活用を推進し、さらにさまざまなサービスの機能の向上に寄与しています。

「SmartLiTA」は、大規模国際イベントでの活用や個人向けサービスに活用されています。2025年3月末時点で、マイナンバーカードの保有枚数は約9770万枚（人口の約78%）になり、公的個人認証サービス

Point 1

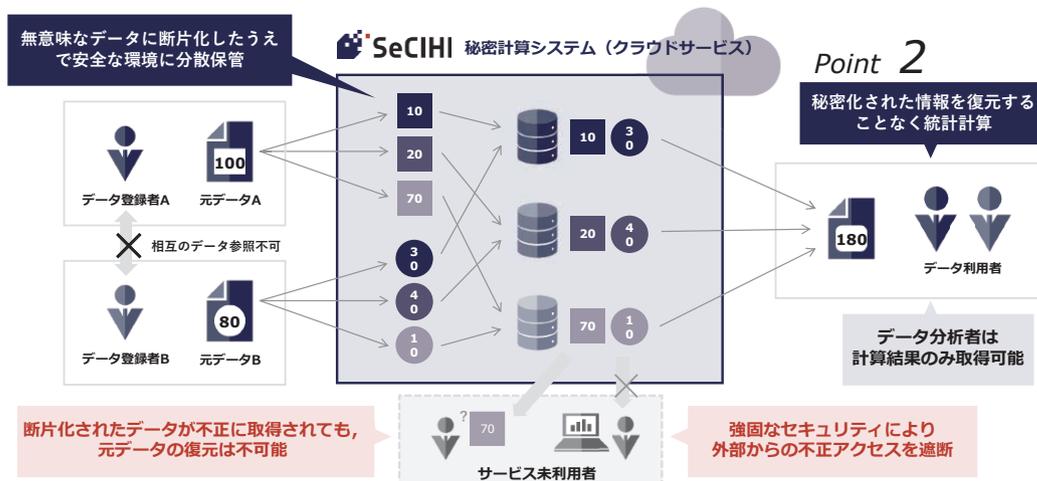


図1 析秘（せきひ）サービス概要

Point 2

秘密化された情報を復元することなく統計計算

データ分析者は計算結果のみ取得可能

断片化されたデータが不正に取得されても、元データの復元は不可能

強固なセキュリティにより外部からの不正アクセスを遮断

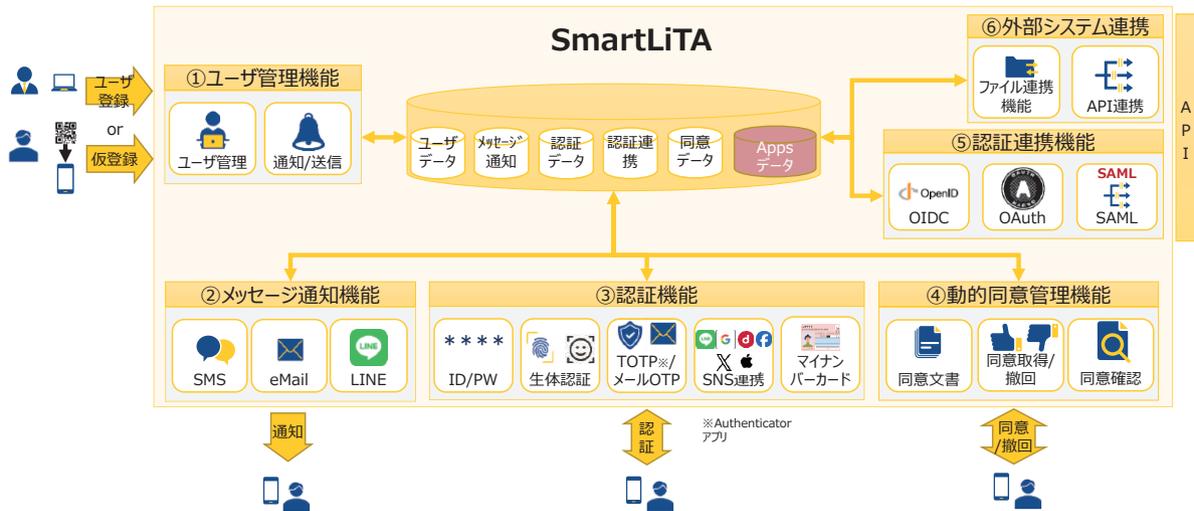


図2 「SmartLiTA」サービス概要

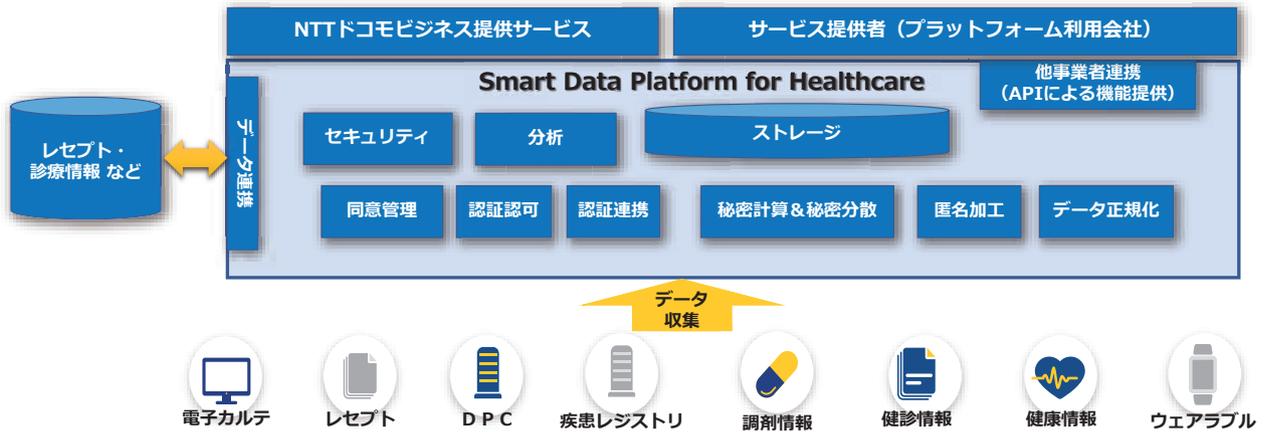


図3 Smart Data Platform for Healthcare全体概要図

(JPKI) に対応する「SmartLiTA」は、マイナンバーカードを本人確認だけでなく、サービスやイベントの年齢確認等にも活用する試みを実施しており、今後ますます活用が広がることが期待されています。

Smart Data Platform for Healthcare

当社では、今まで紹介してきた「秘密計算 (析秘)」「認証認可同意管理 (SmartLiTA)」の機能を具備し、データ活用が可能なプラットフォームであるSmart Data Platform for Healthcare (図3) を提供しています。

Smart Data Platform for Healthcare を活用することで、今まで難しかったさまざまなデータを組み合わせた高付加な利活

用や安全な統計処理等のデータ利活用が進んでいます。社外のお客さまに提供するだけでなく、後述する社内の各事例でもこのプラットフォームを活用しています。

データ活用の事例紹介

Smart Data Platform for Healthcare に具備された機能を利用して、さまざまな医療ヘルスケアデータの活用を展開しています。以下に、データ活用の種類に分類していくつかの事例を紹介します。

■データマッチング

臨床試験 (治験含む)、製造販売後調査等において、電子的な同意取得やデータ収集が可能な「SmartPRO (eConsent/ePRO)」のサービスを提供しており、新薬開発業務の効率化、臨床研究の推進を支

援しています。

製薬企業には、治験に参加する対象者が集まらず、治験に関する時間とコストが膨らむという課題があり、日本における新薬開発を遅延・減退させる課題 (ドラッグラグ*3、ドラッグロス*4) の原因の1つといわれています。

私たちは、この課題を解決するため、「dポイントクラブ*5」の会員基盤を活用し、会員の同意許諾のもと、アンケートや会員

*3 ドラッグラグ：海外で使われている医薬品が日本で承認されて使えるようになるまでの時間差のこと。

*4 ドラッグロス：海外ですでに使われている医薬品の開発・承認が日本で行われず使うことができない状況のこと。

*5 dポイントクラブ：NTTドコモが提供するポイントプログラムで、dポイントを貯めることが可能。

プロフィールと治験参加要件とのデータマッチングを行ったうえで、適合者に治療の情報を提供しています。結果として、治験参加者を集めるための期間が今までは数カ月要したところを、数週間に大きく短縮することができ、治験業務効率を大きく改善することができました。同意取得やアンケートを電子的に取得し蓄積するだけでなく、データ利活用の1つのあり方である「データマッチング」を通じて、製薬企業の業務効率化、広くは日本の医療環境の改善に貢献できた事例です。

■AI活用

医療ヘルスケアデータ等のデータを活用して、AIによる推定およびフィードバックの事例を紹介します。

1番目は、健康増進を支援する「健康マイレージ」サービスの事例です。「健康マイレージ」は、楽しみながら健康習慣を継続できる仕組みを提供しています。歩数記録や写真投稿、自治体のクーポン取得などの機能を提供することで、ユーザの日常的な健康活動を支援しています。2024年時点で、累計151自治体に導入され約75万人が利用しています。この一部の機能として、利用しているスマートフォンから自動的に取得されるログを活用して、NTTドコモが提供するフレイル推定AI、血圧上昇習慣推定AI、免疫力推定AIを利用者にフィードバックをしてより健康的な生活を支援できる機能を提供しています。

2番目は、脳の健康状態を把握することができる「脳の健康チェック」サービスの事例です。「脳の健康チェック」は、電話をしていくつかの質問に回答するだけで、脳の健康状態を把握することが可能です。脳の健康状態を把握することで、利用者に認知機能の変化に気付きを与え、早めの行動変容につなげることで、認知症の予防につなげていくことをめざしており、一部の自治体での活用が開始されています。

上記の2つの事例は、取得したデータを活用して、AIによって推定し利用者にその結果を返すことによって行動変容につなげ、健康寿命を延伸することをねらっています。両方の事例の共通した特徴として、利用するためのハードルを下げる工夫をしている点です。日々の生活を通じて自動的に取得

されるログの活用や利用者にとって使いやすい方法でデータを取得しています。こういった特徴を活かして利用実績を増やしています。

■データ可視化&共有

最後に、ヘルスケアデータ等のデータを活用して、利用者に分かりやすいかたちに変換し、さらに利用者だけでなく関連する人にデータを共有する事例を紹介します。

1番目は、企業の健康経営を支援する「あなたの健康応援団」サービスの事例です。「あなたの健康応援団」では、NTT研究所の技術を使って健康診断結果から生活習慣病発症リスク予測を算定し、その情報を本人だけでなく、企業の保健師等にも共有します。高リスク者を抽出し、該当者にウェアラブルデバイスを使って日々の歩数や睡眠状態などを本人の同意を得て収集および保健師等に共有することで、保健師が伴走しながら日々の改善活動をサポートすることに役立てています。

2番目は、心疾患患者向けの心臓リハビリテーション（リハビリ）を集団でサポートする「遠隔心臓リハビリ」の事例です。「遠隔心臓リハビリ」は、震災のあった能登地方で利用されており、医療従事者が不足している能登地方のリハビリ患者を遠隔の中核病院からサポートする仕組みを提供しています。心臓リハビリ実施時の心電波形や運動時の患者の表情を医師にリアルタイムで共有することで、安心したリハビリを提供することを支援しています。この取り組みは、震災後増えている心不全等の災害関連死を少しでも減らす取り組みとして期待されているとともに、本人のリハビリを継続するモチベーションの向上や、リハビリ中に何か通常と違う状態になった際の早期対応等、病気の再発を防ぐ仕組みをつくることで、医療費の削減につなげることもめざしています。

上記の2つの事例は、ヘルスケアデータを利用者だけでなく、健康や医療をサポートする人に適切に共有することで、健康の改善や本人のモチベーション維持につなげる事例で、データを活用し健康増進をねらっています。

■今後の展望

NTTドコモビジネスは、医療ヘルスケアデータを活用し、日本が抱えている社会課題解決に貢献することをめざしています。医療ヘルスケアデータ等の個人情報を活用するために必要なプライバシー保護と安全管理措置を取ることで、データ利活用の範囲が広がり、データを活用した個人に適した医療ヘルスケアサービスを提供するスマートヘルスケアの実現をめざして取り組みを加速していきます。さらに、医療ヘルスケア領域だけでなく、さまざまな領域で同様の機能は求められており、医療ヘルスケア領域で培ったノウハウ等を活用して、その他領域・お客さまの課題解決に貢献できることをめざしていきます。

■参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/09/15/230915a.html>
- (2) https://www.ppc.go.jp/files/pdf/seidot_ekikadainitaisurukangaekatanitsuite_r6.pdf



(後列左から) 泉 博明 / 澤田 匡史 / 櫻井 陽一 / 田村 祐子
(前列左から) 久野 誠史 / 竹内 佳子

データ活用によって医療やヘルスケアのあり方が変わろうとしています。本稿を通じて、プライバシー保護や安全性を確保しながらデータ活用の新たな可能性に関心をお持ちいただければ幸いです。

◆問い合わせ先

NTTドコモビジネス
ビジネスソリューション本部
スマートワールドビジネス部
スマートヘルスケア推進室



スマートフォンログから免疫力のセルフケアを実現する免疫力推定AI

コロナ禍などを経て、免疫に対する人々の関心や意識が高まっています。免疫力を高めることの重要性は一般に知られていますが、免疫力は唾液や血液の検査により評価されるため、日常生活の中で免疫力を把握することは困難です。NTTドコモは、生活習慣と免疫力との関係に着目し、生活習慣を表現可能なスマートフォンログを用いた免疫力推定AI（人工知能）を開発しました。本技術により、日常的なスマートフォンの使用から免疫力の上昇・低下傾向を把握できるうえ、個人ごとに生活習慣の改善提案を免疫力推定AIが行うことで、免疫力のセルフケアに向けた行動変容につながることを期待されます。

キーワード：#ヘルスケア、#行動変容、#免疫力

こばやし しょうた
小林 昌太
やまうち たかふみ
山内 隆史
ひやま さとし
檜山 聡

NTTドコモ

はじめに

NTTドコモグループは、誰もが健康維持・改善できる社会の実現に向け、ヘルスケア・メディカル領域の事業に注力しており、健康管理・健康増進を支援するサービスとして「dヘルスケア」や「健康マイレージ」を展開しています。NTTドコモでは、大規模な顧客基盤・顧客接点から取得できるスマートフォンログの解析により、ユーザーの健康状態や疾患リスクを少ない負担で日常的に推定して健康行動へと自然に誘導する技術を構築し、サービスへ機能実装しています。これまでもストレス推定、フレイル推定、血圧上昇習慣推定、脳の健康チェック（ヘルスチェックAI）といった、スマートフォンログから人々の健康状態を推定するAI（人工知能）を開発・展開しており、現在もさまざまな健康状態を推定し、健康行動につなげる技術の開発を進めています。

昨今のコロナ禍などを経て、世代を問わず、人々の間で、免疫力に対する関心や意識が高まっています⁽¹⁾。新型コロナウイルス感染症においては、口腔内の粘膜免疫を増やすことが感染予防に寄与する可能性が示唆されており、ウイルスや細菌への感染対策に向け、日頃から自身の免疫力を高め

ることは重要であるといえます。しかし、免疫力を高めることの重要性は知られている一方で、免疫力は唾液や血液の検査により評価されるため、日常生活の中で免疫力を把握することは困難です。

そこでNTTドコモでは、免疫力と、日常の運動や睡眠といった生活習慣との関係や、気象情報との関連仮説に基づき、生活習慣を表現可能なスマートフォンログを用いた免疫力推定AI（以下、本AI）を開発しました。本AIにより、スマートフォンの日常使いから、ユーザーの免疫力が上昇・低下傾向にあるかを把握できます。さらに免疫力の上昇に向けた生活習慣の改善提案を実施することで、免疫力のセルフケアに向けた行動変容をユーザーに促すことが可能となります。

ここでは、本AIの概要、商用サービスへの機能実装について解説し、そのほかのヘルスチェックAIについても紹介します。

免疫力推定AIの概要

■着目した免疫力指標

コロナ禍を経ることで、感染症の罹患を未然に防ぐことが期待できるという観点で、免疫力が広く関心を得たといえます。このような、ウイルスや細菌などによる感染症を未然に防ぐ働きを持つ免疫力指標として、slgA（secretory Immunoglobulin A：唾液中の分泌型免疫グロブリンA）があります。slgAは、さまざまな病原体が体内に

侵入することを防ぐ働きを持つ抗体であり、例えばslgAの量が少なくなると、風邪の罹患リスクが高まることが、slgAに着目した研究で示されています。

slgAは唾液の検査による定量評価が可能であり、採血を伴う免疫検査に比べると、生体への侵襲性^{*1}が少ないです。本AIの開発においては、免疫力指標を継続的に、複数回測定する必要がありますが、slgA量の測定であれば、比較的容易に正解値を収集することが可能です。

このslgAについては、生活習慣とも密接な関係があることが報告されています。例えば、高齢者を1日の平均歩行量でグループ化し、slgA分泌量との関係を示した研究⁽²⁾では、1日の平均歩行量が約7000歩のグループにおけるslgA分泌量もっとも多いことが示されています（図1(a)）。また、睡眠時間とslgA分泌量の関係を示した研究⁽³⁾では、睡眠時間が6～8時間の最適睡眠群のslgA分泌量は、5時間以下の短時間睡眠群、9時間以上の長時間睡眠群と比べ多いことが示されています（図1(b)）。これらの研究により、平均歩行量や睡眠時間に応じてslgA分泌量が変化することが分かります。

そのほかにも、気象条件との関連にも着目できます。特に、気象の変化による受動

* 本記事は「NTTドコモ・テクニカル・ジャーナル」(Vol.32 No.4, 2025年1月)に掲載された内容を編集したものです。

*1 侵襲性：生体に変化をもたらす刺激や行為の度合い。侵襲性が高いと、生体に対する負担や痛みが増します。

的なストレスにより、sIgA量が変化する可能性があると考えられます。

NTTドコモは、このsIgAの定量評価の容易性、また生活習慣や気象条件との関連に着目し、sIgA量を本AIの評価指標として採用しました。

■免疫力推定AIの構築

本AIの概要を図2に示します。本AI構築のためのデータセットである、生活習慣に関するスマートフォンログとsIgA量は、20~60代の男女約160名から同意を得て、約1カ月間継続的に収集しました。スマートフォンログとしては、睡眠情報、歩行情

報、位置情報、インストールされたすべてのアプリの使用状況など、生活習慣に関連すると想定されるログを収集しました。同時に、属性情報や、居住地域の気象にかかわる情報も収集しました。

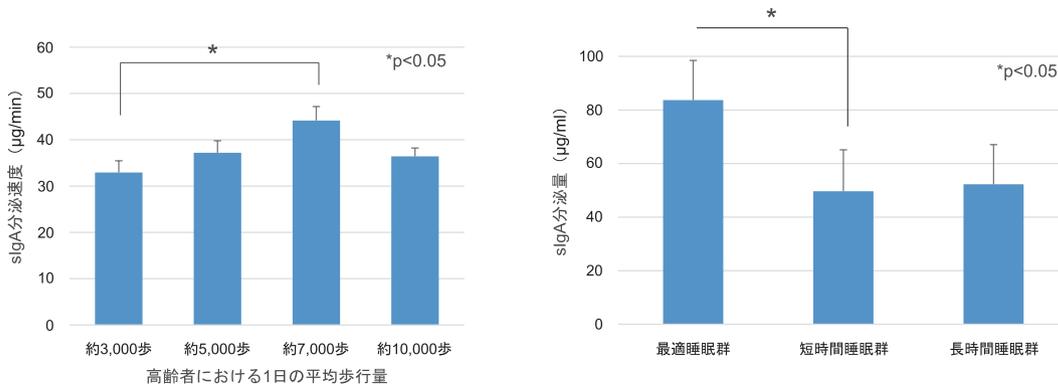
データ収集の後、NTTドコモのデータ分析環境にて、収集したsIgA量やスマートフォンログなどの分析を行いました。

収集したsIgA量データについて、時系列的な変動を分析し、上昇・低下を示すラベル付けを行い、目的変数*²を作成しました。ここで測定したsIgA量の絶対値や、変動の割合には個人差がみられました。そ

のため、sIgA量をどこまで上昇させることができるかについても個人差がある可能性があります。また免疫力のセルフケアにおいては、個人の中での相対的な免疫力の変化をとらえ、生活習慣の改善や感染症などの予防を図ることが重要となることから、sIgA量については、個人ごとの相対変動を評価することとしました。

また、収集したスマートフォンログや気

* 2 目的変数：機械学習*⁴モデルが予測しようとする対象のデータ（例：家の価格や商品の売上）。



“Effect of Free-Living Daily Physical Activity on Salivary Secretory IgA in Elderly.” 参考文献(2)の Fig.2より許可を得て引用

“睡眠時間は主観的健康観及び精神神経免疫学的反応と関連する。” 参考文献(3)の Fig.3より許可を得て引用

(a) 歩行量とsIgA分泌量の関係

(b) 睡眠時間とsIgA分泌量の関係

図1 生活習慣とsIgAの関係を示す先行研究

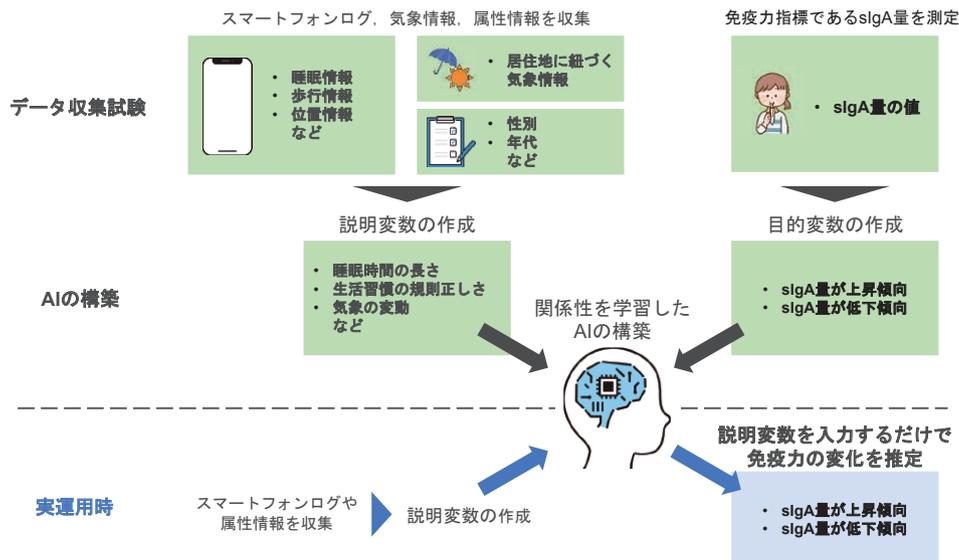


図2 免疫力推定AIの概要

象情報などから、slgA量の変動に関連すると考えられる説明変数^{*3}を複数個作成しました。この説明変数は、例えば睡眠時間の長さ、生活習慣の規則正しさ、寒暖差など、免疫力との変動に関連すると考えられる生活習慣や環境要因を意味するものです。

作成した目的変数と説明変数の関係を機械学習^{*4}によって学習させることで、本AIを構築しました。推定モデルの推定性能の評価を行ったところ、感度^{*5}、特異度^{*6}共におよそ0.7でした。また、歩数や睡眠時間など生活習慣を示す説明変数とslgA量の変動の関係は、参考文献(2)、(3)で示されているような、既知の関係と同等の傾向を示しました。本AIの開発過程においては、独立行政法人日本スポーツ振興センター所属の清水和弘氏に、免疫学の観点から監修いただきました。

本AIの構築後は、唾液の検体採取によって得ることができるslgA量の情報がなくとも、説明変数の作成に必要なスマートフォンログや気象情報を与えるだけで、推定が可能となります。具体的には、スマートフォンログや気象情報から導かれる生活習慣や環境要因のもとで、免疫力の指標であるslgA量が上昇しているのか、低下しているのかを示す情報を、本AIから得ることが可能です。

■行動変容に向けたフィードバック

本AIでは、スマートフォンログや気象情報に基づいて、免疫力が上昇・低下傾向にあるかの情報を出力します。これにより、ユーザは、普段の日常生活によって、自身の免疫力の変動傾向を把握することが可能となります。

しかし、免疫力の変動を把握することだけでは、ウイルスなどへの感染対策に向けた免疫力のセルフケアにはつながりません。免疫力をどのように上昇させるかの情報も必要です。

この点について、本AIは、免疫力が上昇・低下傾向にあるかの情報の出力に加え、ユーザの生活習慣の実態に合わせた、免疫力の上昇に向けた改善行動の提案も実現しています。具体的には、説明可能AI^{*7}の技術を用いることで、ユーザごとに免疫力の低下に影響を及ぼしている説明変数を特



図3 免疫力推定AIのフィードバックイメージ

定します。これらの説明変数のうち、ユーザの行動によって改善が可能な項目を抽出し、もっとも免疫力の低下に寄与している説明変数に基づいた生活習慣について、ユーザに提示を行います。これにより、免疫力のセルフケアに向けた行動変容を促し、ユーザがこの生活習慣を改善することで、自主的な免疫力のセルフケアが期待できます(図3)。

商用サービスへの機能提供

2020年初頭より数年にわたって人々の生活に大きな影響を及ぼした新型コロナウイルス感染症について、2023年5月8日に、「感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律(感染症法)」上での位置付けが2類相当から5類感染症となりました。この移行に伴い、自治体では、新型コロナウイルス感染症の感染対策には自主的な判断が求められるようになりました。NTTドコモグループでは、自治体の地域住民や企業の従業員向けの健康管理・健康増進サービスである「健康マイレージ」を展開しており、このサービスに本AIを機能実装し、2023年10月30日より商用提供を開始しています⁽⁴⁾。これにより、5類感染症への移行に伴う感染症対策の一助となることが期待できます。

この商用提供においては、NTTドコモが構築・運用するHealthTech基盤を活用しています。HealthTech基盤は、本AIや血圧上昇習慣推定AI、フレイル推定AIといった、健康状態や生活習慣を推定する

NTTドコモのAIを集約した基盤です。この基盤とのAPI(Application Programming Interface)連携^{*8}を通じて、NTTドコモグループのサービスやビジネスパートナーへ、搭載されている推定AI機能の提供が可能です(図4)。ビジネスパートナーに向けたHealthTech基盤上のAI提供形態は、NTTドコモグループが提供するサービスやアプリを介する方法、お客さまの自社サービスやアプリと直接API連携を行う方法があります(図5)。本AIは、ドコモグループのサービスにおいては、前述したとおり「健康マイレージ」へ機能提供済みであり、「dヘルスケア」へも2024年12月より機能提供を開始しています。またビジネスパートナーとして、「健康マイレージ」を介して、カゴメ株式会社や株式会社サステナブルパピリオン2025、株式会社ジーンへの機能提供を行っており、

*3 説明変数：機械学習^{*4}モデルにおいて、目的変数を予測するために使うデータ(例：家の面積や部屋数)。

*4 機械学習：事例を基にした統計処理により、計算機に入力(説明変数)と出力(目的変数)の関係を学習させる枠組み。

*5 感度：本稿では、実際にslgA量が低下傾向にあるデータのうち、推定モデルによってslgA量が低下傾向にあると推定されたデータの割合を表します。

*6 特異度：本稿では、実際にslgA量が上昇傾向にあるデータのうち、推定モデルによってslgA量が上昇傾向にあると推定されたデータの割合を表します。

*7 説明可能AI：XAI(Explainable AI)ともいいます。AIの出力に対して、人間が解釈できる理由や根拠を示す技術です。

*8 API連携：あらかじめ定義したインタフェースを介した、異なるプログラムやソフトウェアの連携のこと。

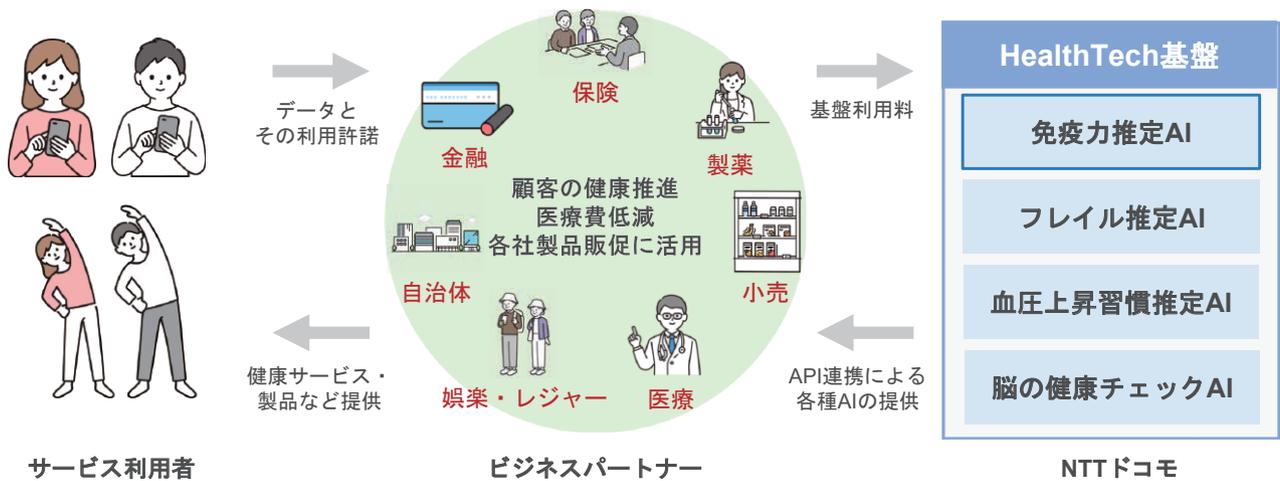


図4 HealthTech基盤を通じたビジネスパートナーへの推定AI提供

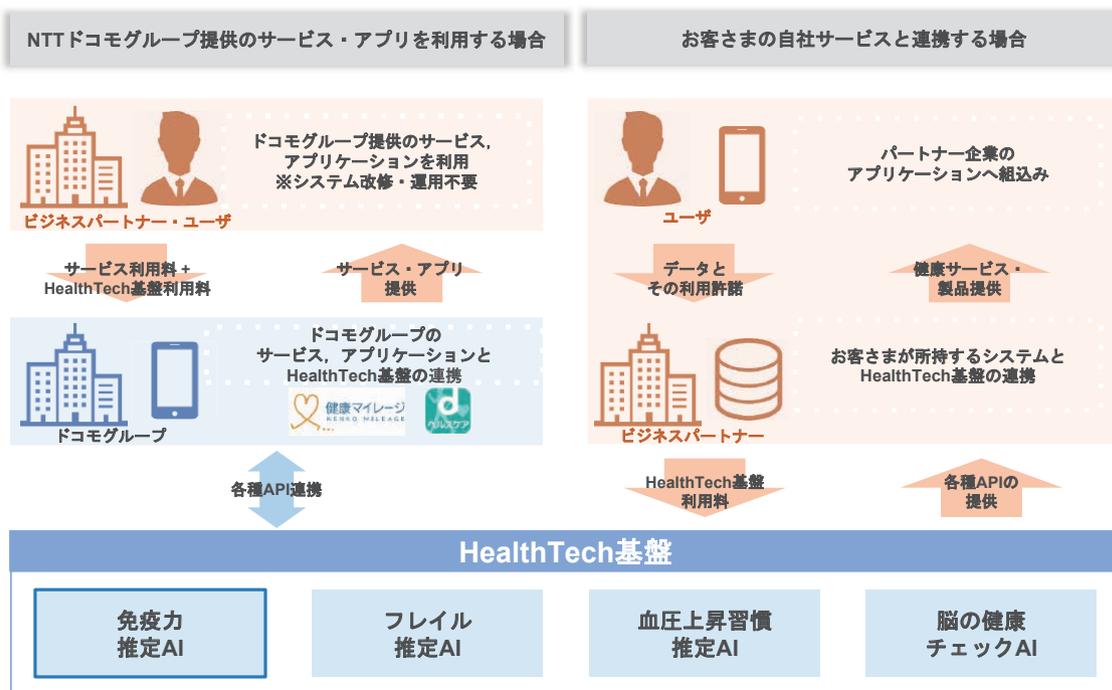


図5 HealthTech基盤の提供形態

大阪・関西万博での出展も行っています。

本AIについては、感染症対策といった価値の自治体への提供のほかにも、感染症の罹患を予防することによるQoL (Quality of Life)^{*9}の向上、免疫対策食品市場への送客といった価値提供が可能であり、さまざまなビジネスパートナーとの連携可能性があると考えています。

その他のヘルスチェックAIの紹介

■フレイル推定AI

フレイルとは、健康な状態と要介護状態の中間で、身体機能や認知機能の低下がみられる状態を示し、プレフレイルを含めると高齢者の49.5%が該当すると報告されています。人々の健康寿命を延伸し、10兆円を越す介護費を抑制するためには、要介護

の前段階であるフレイルをいち早く検知し、生活習慣改善などの要介護リスク低減に向けた取り組みを行うことが重要です。

しかし、現状、フレイルの診断は、対面診断での握力や歩行速度の測定、あるいは、

*9 QoL：生活の質を指し、健康、幸福感、経済状況、社会的な満足度など、人生の豊かさや快適さを評価する概念です。

25項目におよぶ問診票（基本チェックリスト）への回答など、診断対象者に一定の負担を強いるため、シニアへの幅広い調査や継続的な追跡が困難でした。

NTTドコモでは、自社の強みであるスマートフォンという顧客とのタッチポイントを活かし、同意取得のうえ、スマートフォンでユーザの生活習慣情報などを自動的に取得し、それらの情報からフレイルリスクを推定し、リスクや個人の生活習慣に合わせて行動変容を促すフレイル推定AIを開発しました。スマートフォンは60歳代で80%、70歳代で62%とシニアにおいても普及していることから、フレイル推定AIを活用することで、幅広い高齢者へのアプローチが可能になります。

新型コロナウイルス感染症の感染拡大以降、外出や対面交流などを控える暮らしが続く、高齢者の身体や認知機能の低下を懸念する自治体が増加している状況を受け、フレイル推定AIについても、免疫力推定AI同様に、NTTドコモが展開している自治体向けの健康増進サービスである「健康マイレージ」に機能を実装し、商用提供を開始しています。

■血圧上昇習慣推定AI

高血圧は、塩分の過剰摂取や肥満、運動不足、睡眠不足、喫煙、過剰飲酒などの生活習慣が関与する病気で、日本における高血圧患者は約4300万人、さらに高血圧の重症化によって引き起こされる高血圧性心疾患および脳血管疾患による入院患者数は約14万人と推計されています。健康寿命の延伸や医療費抑制には、高血圧を早期に発見し、生活習慣の改善および医師による治療で重症化を予防することが重要です。

しかしながら、血圧は測定タイミングによって変動しやすく、上昇時にはほとんど自覚症状がないため、自身の血圧を正確に把握するのが困難です。このため、高血圧患者の約3割は未治療であるか、自分の症状を認識していないのが現状です。高血圧の早期発見においては、日々の血圧測定が有効ですが、30～74歳の男女で毎日測定する人は約1割と非常に少ない状況にあります。

この血圧は、運動不足や睡眠不足などの

不健康な生活習慣の影響により上昇します。NTTドコモでは、人々の生活に欠かせないスマートフォンのログにユーザの生活習慣情報が多く反映されている点に着目し、スマートフォンを「普段使い」するだけで血圧の上昇リスクを推定できる血圧上昇習慣推定AIを開発しました。本技術により、血圧状態の把握の大きなハードルとなっている日々の血圧測定を行うことなく簡単に血圧上昇リスクを把握でき、リスクを高めている生活習慣の改善アドバイスをユーザごとに提供することで、健康状態の維持・改善につながる行動変容を後押しすることができます。

高血圧の有病率は、地域や自治体によって格差が生じていると推察されます。有病率の高い地域・自治体においては、増加し続けている医療費の抑制のため、住民の高血圧への対策実施が必要です。この血圧上昇習慣推定AIは、免疫力推定AI同様に、「健康マイレージ」に機能を実装し、商用提供を開始しています。

■脳の健康チェックAI

日本の65歳以上の人口は3600万人を超え、総人口の28.9%の割合を占めるなど、高齢化は拡大傾向にあります。2025年には約700万人が認知症になると予測され、大きな社会課題となっています。脳の機能低下は、明確な症状が出るまでは自覚が困難で、重症化してから医療機関を受診される場合も多いのが現状です。

このような課題を解決するために、NTTドコモでは、中高年層にも利用者が増えているスマートフォンとAI技術を活用した「脳の健康チェックAI」を開発しました。「脳の健康チェックAI」は、普段利用しているスマートフォンを通じて日々の生活で得られるデータを分析することで、脳の健康に関連する項目を統計的に可視化して脳の健康状態を推定します。利用者は、スマートフォンを普段どおり利用するだけで、脳の健康状態の変化に気付くことができます。すでに「dヘルスケア」において、このAIを活用した健康チェック機能の提供を開始しています。

今後の展望

ここでは、免疫力推定AIの概要、商用サービスへの機能実装に加え、その他のヘルスチェックAIについても解説しました。免疫力推定AIについて、今後はモデル精度のさらなる向上や、自治体の医療費・介護費の抑制効果などを検証し、本AIに関するエビデンスを蓄積していきます。また、HealthTech基盤を通じたビジネスパートナーへの技術提供や実証実験の実施により、ヘルスケア領域外の業界への価値提供に関するエビデンスも収集し、自治体やその住民向けの免疫カケアという価値提供だけでなく、他業界への価値提供が可能であることも訴求していきます。さらに、ヘルスチェックAIの商用ラインアップを拡充し、多様なニーズに対応することで、より多くの分野での活用を促進していきます。

■参考文献

- (1) https://www.kirinholdings.com/jp/newsroom/release/2021/1214_01.html
- (2) <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318031306d>
- (3) <https://doi.org/10.11331/jjbm.15.33>
- (4) https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/topics/2023/topics_230508_00.pdf



(左から) 小林 昌太/ 山内 隆史/
檜山 聡

免疫力への関心が高まる一方で、日常生活で免疫力を把握することは困難であるという課題に対し、本技術によってスマートフォンの利用ログに基づいた推定を可能にできました。ぜひ一度ご利用いただけたら幸いです。

◆問い合わせ先

NTTドコモ
クロスステック開発部



「睡眠後進国 日本」の課題解決をめざす、NTT 東日本グループが取り組むスリープテック事業

NTT DXパートナー ソリューション事業部のスリープテックチームは睡眠研究の第一人者らをパートナーに迎え、医学的でスマートな解決策を提供し、日本、そして世界の睡眠課題の解決をめざしています。本稿では経済産業省が進めるPHR (Personal Health Record : 健康医療情報) を活用した未来のユースケース創出プロジェクトに採択された「ZZZN SLEEP APPAREL SYSTEM」をはじめとするNTT DXパートナーのスリープテックソリューションを紹介します。

キーワード：#スリープテック、#アパレル、#大阪・関西万博

かわべ みほ
川邊 実穂
なかもら つかさ
中村 元
うめだ たかひろ
梅田 貴大

NTT DXパートナー

NTT DXパートナーが取り組むスリープテックについて

NTT 東日本グループがスリープテック事業を立ち上げたのは2020年のことです。良質な睡眠は心身の健康維持・増進に不可欠であるとともに、日中の生産性向上や生活の質向上にも直結します。当時から日本人の睡眠時間は、先進国を中心とした世界33カ国の中で最下位といわれており、日本全体が抱える課題として着目したのが始まりでした。

当時から5年が経過した現在でも、日本人はいまだに十分な睡眠時間を得られていないとはいえません。経済産業省が発表したデータによると、睡眠休養が十分でないことによる経済損失は、1人当たり年間約33万円ともいわれています⁽¹⁾。これはアルコール摂取による損失コストよりも大きいとされています。

こうした課題に対してNTT DXパートナーでは「睡眠×テクノロジー」を掛け合わ

せてさまざまなソリューションを展開しています。その一環として経済産業省が進めるPHR (Personal Health Record : 健康医療情報) *¹を活用した未来のユースケース創出プロジェクトとして開発されたのが「未来の睡眠」をテーマにしたプロジェクト「ZZZN SLEEP APPAREL SYSTEM」です (図1 (a))。

「持ち運べる睡眠」で気軽に“分眠”を実現

「ZZZN SLEEP APPAREL SYSTEM」のテーマは「持ち運べる睡眠」です。情報技術の進歩により24時間365日オンラインでつながるのが当たり前となった現代において、心と身体が「オフライン」になれる時間の減少に着目しました。ここで言う「オフライン」とは「情報社会との断絶による新たな休息のかたち」のことであり、これをコンセプトとし、身体に1番近い“衣服”から分眠*²を促すシステムになっています。

「ZZZN SLEEP APPAREL SYSTEM」は、指輪型デバイス「SOXAI」で取得したユーザの自律神経バランス、ストレス値、心拍数といったバイタルデータと連動しています。日々の健康データから最適なタイミングで機能が作動し、20分程度の分眠とその後の起床をサポートします。

例えば、「SOXAI」リングで取得したバイタルデータの結果、ストレス値が高い状態だったとしましょう。するとウェアに内蔵された音響設備と照明設備が動作を開始します。まず音響ではヘッドピースに内蔵されたヘッドホンから、ニューロミュージック*³で入眠しやすい周波数帯域の音楽が流れます。音楽は2段階形式となっており、自律神経のバランスから最適な周波数帯の楽曲を選択します。高い密着性能で外界の喧騒を遮断し、睡眠に没入できるオーディオをダイレクトに届け、睡眠へと導きます (図1 (b))。

さらに入眠を促進するのが照明設備です。ヘッドピースには入眠時に最適な夕焼けの色に近い赤色灯照明が具備され、バイタルデータを基にチューニングされた明滅リズム



(a)

(b)

(c)

図1 ZZZN SLEEP APPAREL SYSTEM

*1 PHR: 個人の健康医療情報のこと。日常生活の中で計測または記録するライフログ (カロリー、歩数等) やバイタルデータ・健康診断結果などを指します。

*2 分眠: 1日の睡眠を一度にまとめて取るのではなく、複数回に分けて取る方法。

*3 ニューロミュージック: 「脳波のある帯域を増強・減衰するためにデザインされた音楽」であり、聴取することで、脳波への影響が科学的に実証された音楽。人間の精神・身体に影響することを目的に作曲され、「集中」「リラックス」などの効用があります。

ムを、目を閉じた顔の裏から感じ取ることができます(図1(d))。心地良い入眠にあたっては音楽、そして照明だけでなく、最適な温度や体勢の調整も欠かせません。そのため衣服自体にも細部までこだわりを持たせました。

デザインでは、日本で古来から愛用されてきた防寒着「夜着」に着想を得て、袖や裾のドローコード、袖口タブから圧着感を調整可能に、個人に合った寝やすさを体感できます。さらにコートの中綿には、遠赤外線の効果であたたかさをキープできる高機能素材である光電子[®]繊維を採用したことで、見た目以上に軽い着用感を実現しただけでなく、着用者の体温を利用して内部温度を快適に保つ仕様としました。

ほかにも着脱型エアパックを装着することで首元を支え、分眠中の安定感を向上させています。

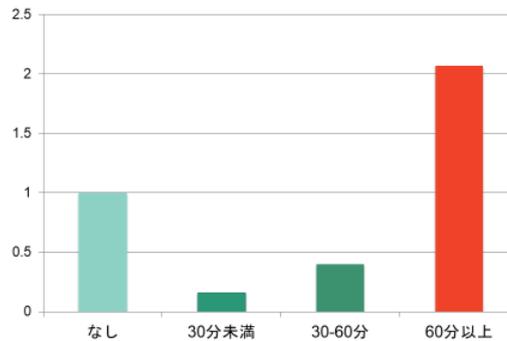
分眠そのものはメリットが大きいという事実がありますが、長ければいいというものではありません。「30分未満の仮眠」をする人は「仮眠の習慣がない」人に比べて、認知症発症率が約6分の1になるほか、糖尿病の発症リスクが低減するといった結果も出ている一方で、1時間以上仮眠をする人は、仮眠の習慣がない人に比べて認知症の発症率が2倍も高いという研究結果があります(図2)。

そのため、「ZZZN SLEEP APPAREL SYSTEM」では分眠からのスムーズな目覚めをサポートする機能を具備しています。スマートリングによって入眠が確認され、約20分が経過すると、心地良く目覚めるための楽曲と、覚醒を促す青色照明が起動します。ゆるやかにオフラインからオンラインへ、日常へと戻ることができる設計となっています。

「ZZZN SLEEP APPAREL SYSTEM」はリリース直後から大きな反響を集め、国内外問わず注目されています。さらには、2025年4月にイタリア・ミラノで開催された世界最大級のデザインの祭典「ミラノサローネ2025」にも出展し、その一環として実施された「Fuorisalone Award 2025」において、TECH(テクノロジー)カテゴリ Special Mention(特別賞) Top 10に選出されました。本アワードは、イノベーションとデザインの融合をテーマに、もっとも

昼寝時間と認知症のリスク

昼寝なしを1とした時の場合の数値



(Asada T, Sleep 2000)

出典 <https://brain-sleep.com/blogs/magazine/napより引用>

図2 昼寝時間と認知症のリスク

革新的で影響力のある展示やプロダクトに贈られるものです。「ZZZN SLEEP APPAREL SYSTEM」は、最先端のテクノロジーとウェアラブルデザインを融合させた、次世代の「眠りの体験」を提案するプロダクトとして高い評価を受け、LEXUSやGoogleといった世界的ブランドと肩を並べるかたちでの選出となりました。

時を問わず、場所を問わず、眠りたいときに眠ることができる新たな睡眠のかたちは、2025年の大阪・関西万博での体験展示だけでなく、NTT東日本グループ施設内および関連施設などでの展示を予定しています。今後も関心のある企業などとコラボレーションを実現し、商用化をめざしています。

スリープテック事業の3本の柱

NTT DXパートナーでは「ZZZN SLEEP APPAREL SYSTEM」だけでなく、NTT東日本グループならではのさまざまな睡眠×テクノロジーで新たなソリューションを社内外に展開しています。以降ではその3本の柱について紹介します。

睡眠市場参入コンサルティング

睡眠は年齢・性別を問わずすべての人に関連しており、その規模の大きさから、睡眠サポート関連のヘルスケア国内市場は2030年に2100億円相当になるともいわれています⁽²⁾。

そうした動向をとらえ、睡眠市場に参入したいという意向を持ちながらも、商品のエビデンス検証やソリューション開発のノウハウを持っていないという企業が多くいらっしゃいます。そこでNTT DXパートナーでは製品開発から睡眠効果検証、プロモーションまでを一気通貫で伴走支援しています。

■事例：製品開発支援の実例「快眠のための家」

2023年から実証を開始した株式会社長谷工コーポレーションが手掛ける「快眠のための家」において、NTT DXパートナーはスリープテックを活用したサーカディアンリズム^{*4}の最適化をかなえるIoT(Internet of Things)アルゴリズムを開発しました。

具体的には、睡眠時の生体データを株式会社ブレインスリープによる睡眠計測デバイス「ブレインスリープ コイン」を用いて取得し、スマートホームシステムと連携しました。利用者の睡眠状態に合わせてエアコン・カーテン・照明・ディフューザー・オーディオが自動的に連動することで、入眠から目覚めまで、居住者のライフスタイルに合わせた良質な睡眠を促す環境を実現しました。

実証の結果、最高の睡眠環境を構築した「快眠のための家」のほうが、睡眠の第一周期(黄金の90分)において、もっとも深

*4 サーカディアンリズム：約24時間周期の体内時計で、生物細胞が潜在的に兼ね備えたリズムの現象をいいます。

いノンレム睡眠ステージ (S3) の割合が高く、また、熟睡度を表すデルタ波が多くなったことから、睡眠の質の向上が示唆されました。

■事例：睡眠効果検証支援の実例「おやすみ書店 みみみん」

2024年12月にリリースされた音声だけの絵本「おやすみ書店 みみみん」(図3)では子どもの寝かしつけの課題解決に向け、日本出版販売株式会社、日本テレビホールディングス株式会社、株式会社ブレインスリープの4社でサービスをリリースしました。

声の5要素(強弱・抑揚・高低・間・音色)を定量的に分析し、複数の朗読パターンを用いて客観指標を用いた検証を行い、睡眠を促す最適な朗読パターンによる睡眠誘導メソッドを確立しました。その結果、「みみみん」を就寝前に聞くことで子どもの入眠時間が約7分短縮されることが示唆されました。

現在では子どもたちの寝かしつけに日々悩む保育園などと連携し、さらなるサービス向上をめざしています。

■事例：プロモーション支援「ZAKONE × ResMed いびきツアー」

2025年3月に世界睡眠デーに合わせて



図3 「おやすみ書店 みみみん」は子どもの寝かしつけをサポートする音声コンテンツサービス



図4 「いびきツアー」参加者は日中の強い眠気に悩む20代~60代。現状を打開すべく各プログラムに積極的に参加

「ZAKONE × ResMed いびきツアー」(図4)のプロモーションイベントを開催しました。

レスメド株式会社は、睡眠時無呼吸症候群(SAS)や慢性呼吸器疾患(COPDなど)の医療機器を製造・販売しています。

日本の睡眠時無呼吸症候群の潜在層は943万人⁽³⁾に及ぶともいわれ、啓発活動が急務とされていました。その状況を改善するプロモーション施策の実現にあたって相談をいただいたのが、NTT DXパートナーが運営するSleep Network Hub「ZAKONE」です。「ZAKONE」は2023年に立ち上がり、今では加盟企業200社を超える日本最大級の企業睡眠コミュニティです。「ZAKONE」に加盟する睡眠関連のサービスと連携することで、お客さまが希望する内容に応じたソリューションの提案が可能となっています。

実際に、本イベントでは睡眠関連のアメニティグッズの提供やワークショップの企画などを通してツアー全体を運営させていただきました。本ツアーには23名のいびきに悩む参加者が集まり、大変好評なイベントとなりました。このようにお客さまごとの希望や課題に対して、柔軟にソリューションを提案、実現しています。

健康経営ソリューション

企業にとって、従業員の健康維持・増進を行う、いわゆる「健康経営」施策は、生産性の向上、さらには企業イメージの向上につながります。そうした取り組みに必要な経費は単なる「コスト」ではなく、将来に向けた「投資」であると考えられる企業も増えてきています。

ただ、健康経営の取り組みとして、社員への運動推奨や喫煙者へのアプローチはしてきたものの、睡眠については知見やノウ

ハウがない、施策が単発で終わってしまい定着しないという課題感を持つ企業が多いのも実状です。

そこで企業、そして従業員が一丸となって睡眠改善を行うために、社内認知や睡眠への関心の最大化、データに基づく最適な改善方法までをトータルで模索し、提供しています。

■専門家によるWebセミナーで社内機運醸成をサポート

「Health Pro Academy」という名称で企業の健康経営をサポートしています。睡眠に関する情報はWeb上に数多く存在していますが、中には古かったりエビデンスがなかったりする情報も含まれているため、「エビデンスのある最新情報」を社員、派遣社員、家族など企業が接している人々に伝えるという、睡眠課題に向き合うための根幹となる取り組みを伴走支援しています。年間12回にわたって医師や学者など各分野のプロフェッショナルを招いたWebセミナーを開催しています。また、単なるWebセミナーだけでなく、参加情報を収集し分析することで、参加率を高めるための参加者動線の分析から改善サポートまで実施しています。

■定性・定量の両面から睡眠の質を可視化し行動変容を促すコンテンツを提供する従業員向け睡眠改善プログラム

会社全体で取り組める、従業員の睡眠状況を定性・定量的な視点で分析し改善提案をする睡眠改善プログラムを提供しています。

スタンフォード大学 西野精治教授はじめ睡眠専門医が監修した独自設問による主観的計測の結果を、有職者1万人のデータと比較することで、個人および組織向けの睡眠状況・課題を提示します。そこから会社全体の課題分析や行うべき施策を提示し、さらに施策の効果をレポートिंगすることで、従業員の睡眠状況向上をめざした質の高い改善へとつなげていきます。

必要に応じて、装着感の良い独自計測デバイス「ブレインスリープ コイン」で測定した客観的計測を組み合わせることで、より深度のある分析を行うことも可能となります。

■仮眠・休息室3.0 ZZZN NATURE

最新エビデンスとテクノロジーを組み合わせ



図 5 睡眠計測API・SDK

大項目	質問数	計測可能な項目
睡眠の質	24問	スコア
		全国10000人のベースデータと比較した場合のスコアの偏差値
		4段階のクラス分けとクラスごとのアドバイス文
日中の眠気	8問	スコア
		全国10000人のベースデータと比較した場合のスコアの偏差値
		4段階のクラス分けとクラスごとのアドバイス文

せることで、「誰もが使いやすい」「効果が高い」仮眠・休息空間をコーディネートしています。

実際に、2025年4月にオープンしたNTT東日本社員などを対象としたライブパフォーマンス向上空間「Wellness Lounge」(NTT東日本本社 低層棟)では、リラックス空間で効率的に休息をとることが可能な「KOKAGE」エリアの空間設計をプロデュースしました。五感からリラックスに導く空間設計をテクノロジーを掛け合わせて実現しています。

視覚ではランドスキップ社のサイネージ窓に北海道釧路トドマツ原生林で撮影した独自の森林映像、嗅覚では日本かおり研究所とコラボし入眠の改善効果もみられた天然アロマオイルを噴霧、聴覚では脳波の特定の帯域を増強・減衰するためにデザインされたニューロミュージックをVIE株式会社と共同で制作し、NTT ソノリティの「耳スピ」デバイスを用いることで、より没入感ある体験を実現しています。味覚や触覚についても、カフェイン量をコントロールしリラックスを促す飲料や触り心地の良いソファなどを提供することで、これまでにない新しい仮眠、そして休息を堪能することが可能となっており、旧来型の仮眠室や休憩室よりも利用率の向上が期待できます。

* 5 API：異なるアプリケーションやサービス間でデータや機能を連携するための仕組み。
 * 6 SDK：特定のシステムやプラットフォームでソフトウェアを開発するためのツール一式。

睡眠データや睡眠エビデンスの活用

NTT DXパートナーでは、これまでの実証プロジェクトなどをとおして得た知見を基に、高精度かつ手軽な睡眠計測が可能なテクノロジーを開発しています。このテクノロジーを基に、アプリケーションのシステム開発者や研究者向けにAPI (Application Programming Interface)^{*5} や SDK (Software Development Kit)^{*6} 連携を用いてノウハウをサービス化し、提供しています。睡眠に関する専門的知識は不要、かつ、低コストで既存アプリケーションやシステムに睡眠計測機能の実装が可能です。

睡眠計測API・SDKの開発と提供

アプリのエンドユーザの利用満足度向上を目的とし、既存のヘルスケアアプリケーションに対して、睡眠計測機能を実装しています。

客観的なデータについては、専用睡眠計測デバイスも含めてお客さまに提供可能なスキームを用いることで「睡眠ステージ」[中途覚醒などの各指標]「寝姿勢」の計測ができます。

主観評価についても、株式会社ブレインスリープと共同で開発した独自の質問票の内容とスコアロジックをAPI提供することで、エンドユーザは自身の睡眠の質を手軽に把握できるだけでなく、「睡眠の質」や「日中の眠気」において全国1万人のデータベースとの比較をとおして今後の改善の道筋を見ることができます(図5)。

睡眠専門AI「nemuso」

生成AI(人工知能)の台頭によって、よ

りユーザに寄り添った回答パターンを開発できる時代に突入しました。当社でも、拡張検索生成技術(RAG)を活用し、ハルシネーションリスクを最大限に下げため、国内外12名の睡眠専門家の知識を詰め込んだ睡眠テキスト本や、関連する論文などの情報を独自学習させたAI睡眠相談アルゴリズムを開発しています。睡眠研究は日進月歩で進んでいるからこそ、エビデンスのある正しい情報だけを回答するAIの開発によって、1人ひとりに最適なアドバイスの実施をめざしています。

参考文献

- 1) https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/healthcare/kenkokeiei-guidebook2804.pdf
- 2) <https://www.fuji-keizai.co.jp/press/detail.html?cid=24093&la=ja>
- 3) DOI : 10.1016/S2213-2600(19)30198-5



(左から) 川邊 実穂 / 中村 元 / 梅田 貴大

今後も、NTT DXパートナーでは睡眠で悩む人をゼロにすべく、活動を続けます。ご興味がある方はぜひお気軽にお問い合わせください。

◆問い合わせ先

NTT DXパートナー
ソリューションデザイン事業部

AIとデジタルバイオマーカーが切り拓く未来 ——高齢者の生活のクライシスを予防しWell-beingに 導くリスクコントロール技術

高齢者の生活は、転倒や認知症などの脅威に曝され、生活のクライシスを招くリスクがあります。NTT西日本では、AI（人工知能）とデジタルバイオマーカーを用い微細な生活の変化をリアルタイムで検知し適切な介入を可能にするため、金融工学のテクニカル指標をデジタルバイオマーカーへ応用したスクリーニング技術を研究開発しました。「後ろ向き観察研究」の結果、スクリーニングとしての有効性が示唆されました。現在は、本技術を活用しリスクコントロールすることで高齢者をWell-beingへ導いていくための社会実装に取り組んでいます。

キーワード：#バイタルデータ、#デジタルバイオマーカー、#スリープテック

うめむら かずひろ
梅村 和弘
どい しんいち
洞井 晋一
こんどう しげくに
近藤 重邦

NTT西日本

高齢社会が直面する課題とデジタルヘルスの可能性

日本をはじめ世界各国において高齢化が進むことで、加齢に伴う病気の発症や骨折、慢性疾患の悪化などにより長期の介護サポートが必要な高齢者が増え、家族や地域コミュニティによるインフォーマルケアの負担も増大しています。加えて、高齢者の約4人に1人が社会的孤立を経験していると報告されています。社会的孤立や孤独は心身の健康や生活の質（Quality of Life）、さらには寿命にまで深刻な悪影響を及ぼし、その影響は喫煙や肥満、運動不足に匹敵するといわれています⁽¹⁾。特に一人暮らしの高齢者は脆弱性が高く、転倒による骨折や認知症の進行、基礎疾患の増悪をきっかけに心身が衰え、セルフネグレクトや孤独死に至るリスクもあります。こうした事態を防ぐには、高齢者の重大な健康危機（生活のクライシス）要因を早期に察知し、医療・介護機関、自治体、民間サービス、家族・地域コミュニティなど関係者が横断的に連携することで、クライシスに適切に介入する体制の整備が急務です。

本研究プロジェクトでは、ウェアラブルデバイスなどICT機器から取得できるバイタルデータを活用し、高齢者の生活上のリスクをコントロールしWell-being^{*1}へ導く新たな見守り技術の研究開発を進めています。中でも着目したのが「デジタルバイ

高齢者自らが主体的に睡眠データを運用することで、社会の共助を得ながら社会一体となり高齢者の生活のクライシスを防ぐ（見守る）共生社会を実現する

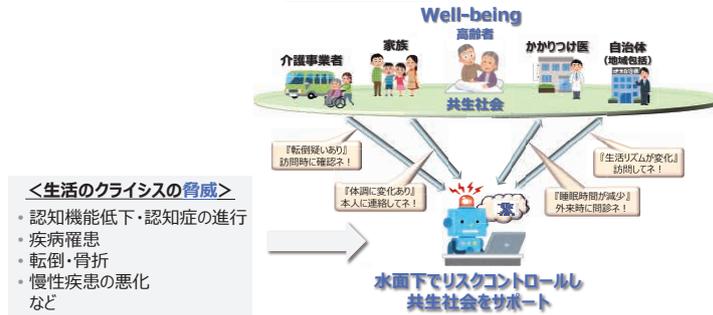


図1 本プロジェクトがめざす将来像

オマーカー^{*2}』と呼ばれるアプローチです。デジタルバイオマーカーとは、従来の病院での検査などでは得られなかった、リアルタイムかつ継続的な生体データを、非侵襲的に取得・解析して健康状態の指標とするものです。例えばウェアラブルセンサを用いれば、血液検査のような負担がなく日々のバイタルデータを時系列で収集でき、大規模で高頻度のモニタリングが可能です。デジタルバイオマーカーは疾患予防や早期診断、治療効果の評価、予後予測、さらには生活の質の向上など幅広い応用が期待されています。

本プロジェクトがめざす将来像は、高齢者がバイタルデータを主体的に活用し、社会全体の支え（共助）を得ながらリスクをコントロールできる仕組みです（図1）。つまり、テクノロジーの力で高齢者の生活の

クライシスを未然に防ぎ、Well-beingを実現する共生社会をめざしています。その第一歩として、日常データの中でも「睡眠」に着目し、睡眠データから生活のクライシスを防ぐ技術開発に取り組みました。

睡眠データから健康リスクをとらえる挑戦と課題

睡眠は健康維持に不可欠な休養活動で、睡眠の乱れや不足は肥満・高血圧・心疾患・

*1 Well-being：身体的・精神的・社会的に良好な状態。特に、社会福祉が充実し、満足できる生活状態にあることをいいます。
*2 デジタルバイオマーカー：デジタルデバイスから得られるデータを用い、病気の進行や治療効果など、生体内の生物学的変化を定量的に把握するための指標。

脳卒中・精神疾患など多くの疾病リスクの上昇に関連します^{(2)~(5)}。また、就寝・起床時刻や日中の仮眠時刻などの時系列パターンを分析することで、生活リズムを推察することが可能です。そこで私たちは、「睡眠データを詳しく分析することで、身体の不調や生活リズムの乱れを間接的に推察し、高齢者の生活のクライシスを予防できるのではないかと考えました。

従来、睡眠評価にはアテネ不眠尺度⁽⁶⁾、⁽⁷⁾などの主観的アンケートが中心でしたが、自己申告によるこれらの結果は個人差が大きく、ときに自分にとって必要な睡眠時間を実際より長く見積もってしまうなどの誤認もあります。その結果、主観的アンケートと客観的な睡眠検査（ポリソムノグラフィ）との相関が低いことも指摘されています⁽⁸⁾、⁽⁹⁾。近年はスマートフォンやウェアラブルデバイスにより、誰もが客観的な睡眠データを得られる時代になっています。これらの技術の進展により、睡眠という身近な日常データが高齢者見守りの新たな鍵になると期待できます。

本研究では、65歳以上の高齢者の同意を得て、シート型の睡眠センサ（ベッドマットレスの下に敷くことで連続計測できる非侵襲センサ）を用いて睡眠データを収集しました。約350名分のデータを用いた「後ろ向き観察研究（レトロスペクティブ研

究）^{*3}」として、1分単位のバイタルデータ（睡眠状態：睡眠・覚醒・離床、心拍数、呼吸数など）と、介護・診療記録にある生活上のイベント情報（転倒・骨折、認知症の症状悪化、基礎疾患の悪化などのクライシス因子）を統合し解析に供しました。さらに日次の睡眠指標（総睡眠時間や入眠・覚醒・中途覚醒時刻など）も算出し、睡眠状態を多角的にとらえました。

解析を進める中で浮かび上がったのは、高齢者の睡眠データが持つ特徴的な変動パターンです。第1に、日々のばらつき（ボラティリティ^{*4}）が非常に大きい点です。ある高齢認知症患者の睡眠時間を観察すると、日によって8時間から18時間近くまで変動し、標準偏差は2時間を超える症例もみられました。このように睡眠時間をはじめ中途覚醒時間、睡眠潜時など多くの睡眠指標においても日ごとのボラティリティが大きく、ある日の変化が日常的な誤差なのか、健康上の異変によるものなのかを見極めるのは容易ではありません（図2）。

第2に、週単位の周期性（週次季節性）^{*5}です。解析すると7日周期で睡眠パターンに規則性が現れるケースが多く、この週次季節性は平日と週末の生活サイクルの違いや、高齢者では週1回のデイサービス利用など定期的な活動が主因と考えられます（図2）。そこで、本研究ではこうし

た7日周期のパターンによるノイズを低減しつつ長期トレンドを把握するため、解析の単位期間（ウィンドウ）を従来の月単位ではなく28日（7日×4週）や91日（7日×13週）といった7日周期に整合する長さで設定することで、週次季節性によるばらつきを平滑化する工夫をしています。

しかしながら、睡眠データのボラティリティが大きくノイズが多いという特性は、従来手法において「クライシスの検知」を困難にする要因となっていました。従来の睡眠モニタリングの例では、「総睡眠時間があらかじめ定めたしきい値を超えた場合」を異常とみなしアラート（警告）を出すことが一般的でした。または「直近n日間の平均値の±20%の幅を超えた場合」など、一定幅のバンドを設定してその範囲外を検知する方法も用いられます。しかし画一的なしきい値では、ボラティリティを十分考慮できないため、大きなボラティリティを示す人では通常範囲内のノイズさえ頻繁に異常と判定されてしまう一方、真に異常な変化との区別が困難であるという課題がありました（図3）。その結果、アラートの頻発による信頼性低下や、重要なサインの見逃しによりシステムの有用性が損なわれかねません。現場で有用な見守りシステムとするには、利用者の身体に生じた異変を的確なタイミングで検知できるアルゴリズムが求められていました。

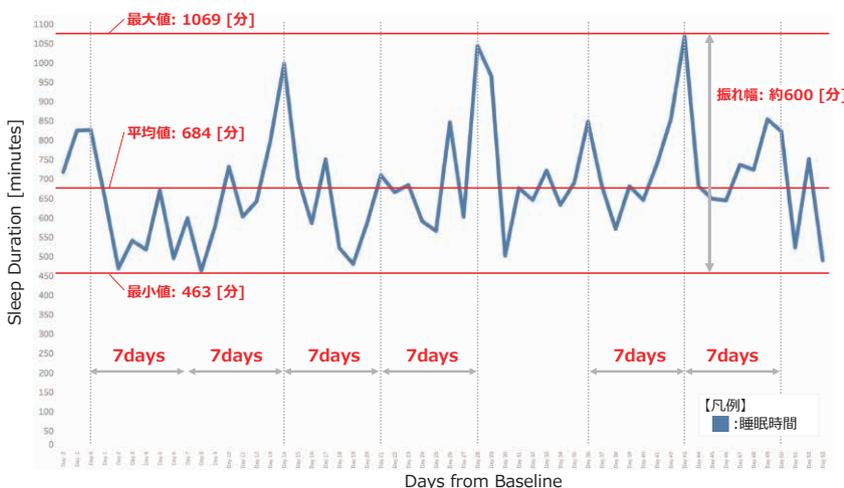


図2 睡眠時間の時系列推移と週次季節性

金融工学の分析手法を応用した新たなアプローチ

こうした課題に対し、本研究が着目したのが「金融工学のテクニカル分析手法」⁽¹⁰⁾を睡眠データ解析に応用するというアプローチです。テクニカル分析とは、もともと

- * 3 後ろ向き観察研究：過去にさかのぼってデータを収集し、疾患や障害の原因を検討する研究方法。症例対照研究ともいいます。
- * 4 ボラティリティ：数値やデータのばらつき具合のこと。
- * 5 週次季節性：週単位で繰り返すパターンのこと。

と株式投機における価格変動のトレンド分析で培われ、長年にわたり体系化されてきた時系列データ分析の手法群です。私たちは、この分析手法を睡眠データに適用することで、睡眠の長期的なトレンドを的確に把握し、かつ生活のクライシスを高い感度と特異度で検出できるのではないかと考えました。つまり、日々揺れ動く睡眠データの中から異常の兆候を逃さずとらえつつ、日常のばらつきに起因する誤検出を低減することをめざしたのです。

本研究の最大の特徴は、AI（人工知能）技術に頼るのではなく、あえて既存のテクニカル分析指標のみを組み合わせて異常検知アルゴリズムを構築した点です。これは「高度な機械学習やディープラーニングを用いずとも、既知のアルゴリズムの工夫だけで有益な健康モニタリングが可能である」ことを示す挑戦でもあります。加えてアルゴリズムがブラックボックスではなく説明性・解釈性が高い点は利用者の受容性向上にもつながります。採用した主なテクニカル指標は以下です。

- ・移動平均 (Moving Average, : MA) : 時系列データを平滑化し、全体のトレンドを把握する指標
- ・ボリンジャーバンド (Bollinger Bands : BB) : 平均値と標準偏差に基づく動的な変動帯域
- ・移動平均収束拡散 (Moving Average Convergence Divergence : MACD) : 短期と長期の移動平均差分によるトレンド変化指標
- ・ゴールデンクロス・デッドクロス : 上昇・下降トレンド転換点の指標

次に、これらの指標をどのように活用したのかを簡単に紹介します。

■移動平均による平滑化

高齢者の睡眠データは日々のボラティリティが大きく、全体の傾向をつかみにくいため、まず移動平均を用いデータを平滑化します。移動平均とは直近の一定期間のデータの平均値を逐次計算するもので、この平均値をつないだ線（単純移動平均線）を見ることで、もとのデータのマクロな推

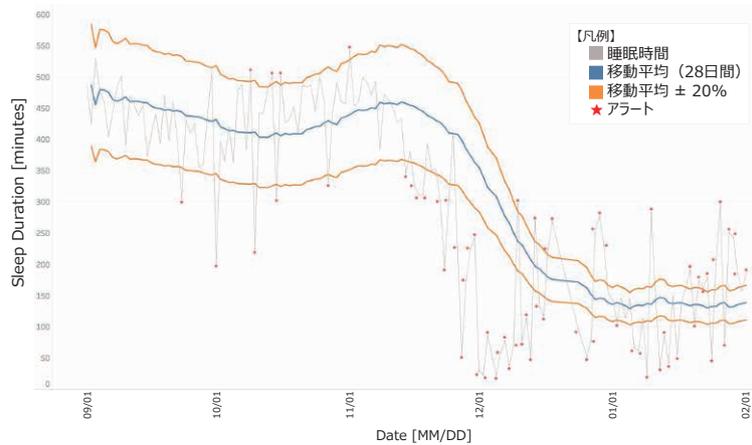


図3 従来手法によるアラート検知

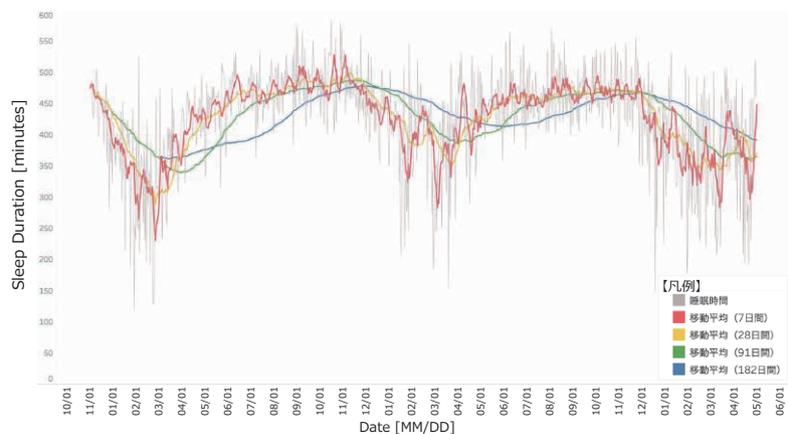


図4 睡眠時間と移動平均線

移を把握しやすくなります。

重要なのは移動平均を算出するウィンドウの選択です。注目する動きが短期的な変化なのか、中長期的な傾向なのかによって適切なウィンドウは異なります。本研究では前述のとおり、人の生活リズムに合わせ7日を一単位とする移動平均を基本に採用しました。これにより平日と週末のリズム差をならしつつ、急な睡眠変化にも追従できるバランスの良い指標となります。さらに3カ月（91日）や6カ月（182日）といった長期の移動平均線も併用し、その差分を見ることでゆるやかな体調変化を観察することも可能にしています。季節性を考慮するには1カ月（28日）や3カ月といったウィンドウ長が適することも分かりました。

このように複数ウィンドウの移動平均を組み合わせることで、睡眠データに潜む短期～長期のトレンドを俯瞰してとらえられるようにしています（図4）。

■ボリンジャーバンドによる動的しきい値

ボリンジャーバンドは時系列データの移動平均線に対し、その上下に標準偏差を基にした帯域（例えば $\pm 2\sigma$ 、 σ ：標準偏差）を描く指標です。データがこの帯域を突き抜けたとき、それは「平常時のボラティリティの範囲を超えた異常な変化」とみなすことができます。ボリンジャーバンドでは、データのボラティリティが小さいと帯域幅も狭く（バンドが「スクイズ」した状態）、ボラティリティが大きくなると帯域幅が広がる（バンドが「エクспанション」した

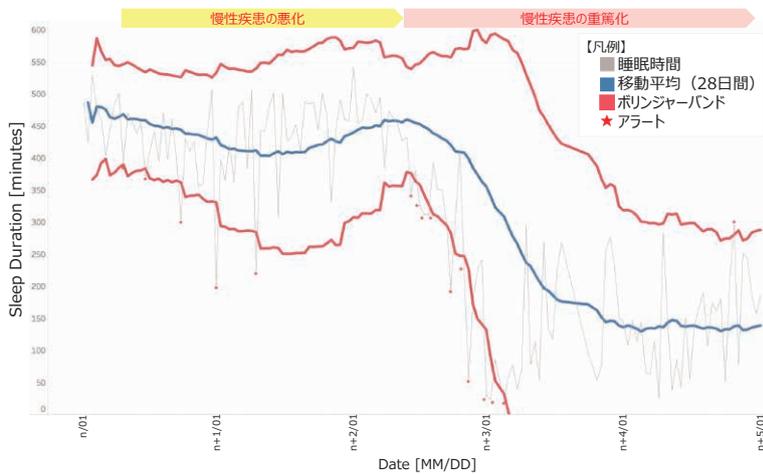


図5 ボリンジャーバンドによるアラート検知

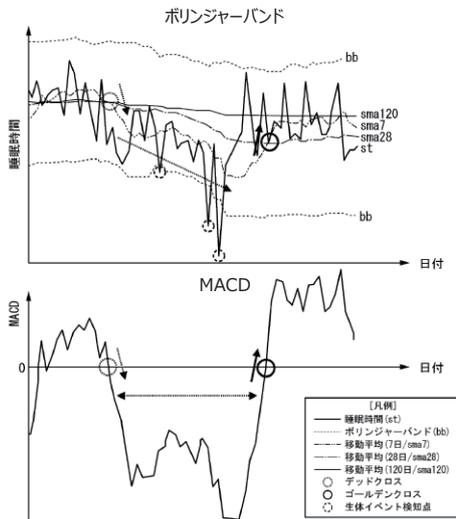


図6 ボリンジャーバンドとMACD

状態)という特徴があります。この自動的に広がり縮まる帯がポイントで、利用者ごとの平常時の揺らぎに応じてしきい値のほうが動的に調整されます。睡眠などバイタルデータの見守りでは、安定状態からボラティリティが急に大きくなるタイミングこそが重要な体調変化の兆候と考えられます。ボリンジャーバンドを用いることで、まさにそのボラティリティ拡大のタイミングでイベントを検知できます(図5)。従来の固定しきい値による方法では、検知の見逃しや不要な警告の増加が確認されましたが(図3)、ボリンジャーバンドでは変動の初

期段階で、重要なイベントを早期に逃さずとらえることが可能となりました。

■MACDによるトレンド変化の把握

MACDは、短期移動平均と長期移動平均の差分をとることで直近のモメンタム(勢い)を表す指標で、金融分野では価格トレンドの転換点を測るのに用いられます。さらにMACDの移動平均であるシグナル線と比較し、MACDがシグナルを下から上へ突き抜けるゴールデンクロスや、上から下へ抜けるデッドクロスといったパターンで売買のタイミングをみることも一般的です。私たちは、このMACDをボリンジャー

バンドによる検知の補助に活用しました。ボリンジャーバンドによって「異常な変化」が検知された場合でも、その後の傾向がどうなっているかを判断することが重要です。例えば「睡眠時間の著しい減少」が検知されたとして、それがそのまま下降トレンドを続けているのか、それとも底を打ち回復に向かいつつあるのかでは対応も変わります。そこで検知時点のMACDの動きを確認することで、検知イベントの妥当性や健康状態の変化をより立体的に判断できるようにし、複数指標を組み合わせることで異常検知アルゴリズムに厚みを持たせています(図6)。

開発したスクリーニング技術の効果

本研究で開発したイベントスクリーニング技術を睡眠データに適用した結果、従来は調整が難しかった動的なしきい値を実現し、以下のような有効性が確認されています。

- ・ イベント検出事例：介護・診療記録に記録のあった骨折、ネフローゼの増悪、新型コロナウイルス感染症、風邪症候群について、イベントを発生当日～数日以内に検出
- ・ 早期対応の実現：特に早期発見・早期対応が肝心なケースにおいて、イベント発生後の初期数日間だけを的確に検出し、迅速なアラート発出が可能
- ・ 不要なアラートの削減：変化が持続した際に、アラートの連発を防止
- ・ 検知精度の向上：ボラティリティに応じてしきい値を適応させノイズを除去することで、スクリーニングの感度と特異度が大幅に向上

さらに、厳選した6種のテクニカル指標だけを用いることで、金融の知識がない利用者でも直感的に理解できるインターフェースを実現しました。画面には移動平均線やボリンジャーバンド、MACDなど必要最小限の情報だけを表示し、情報量を絞って判断を支援します。パラメータも最小限に抑えながら個人の睡眠パターンに応じて調整可能とすることで、専門的な設定なしに

導入・運用が可能なユーザビリティの高いシステムとしました。

残された課題

本技術のさらなる発展に向けて解決すべき課題を示します。

■技術的課題

睡眠は季節や生活環境といった交絡因子*6（ノイズ要因）の影響を受けます。筆者の調査によると、日本では夏の平均睡眠時間が冬よりも30分程度短い傾向がみられました。これらを考慮せずに長期トレンドを分析すると、体調変化との区別が難しくなり、検知精度の低下を招きます。今後は、気象や居住環境などの外部データを統合し、AIで交絡因子の影響度を自動評価・通知する仕組みを検討しています。誰もが「これは季節のせいかも」と直感的に判断できるアシスト機能を実装し、精度および信頼性の向上を図ります。

■社会実装上の課題

開発した技術を現場で幅広く活用してもらうには、専門知識のないユーザにも直感的に使えるユーザインタフェース（UI）の工夫と、現場での運用ノウハウをまとめたガイドラインの整備が不可欠です。現在、介護施設や医療現場で実証実験を行い、以下の点を順次ブラッシュアップしています。

- ・見やすい可視化：現場スタッフや家族がひと目で状況を把握できるダッシュボード表示やレポート形式でのデータ可視化
- ・利用マニュアルの整備：介護現場のスタッフ向けの操作マニュアルやチェックリストを用意し、システム導入時の教育負担を軽減

こうした取り組みにより利用のハードルを下げ、現場への浸透と普及を促進していく計画です。

* 6 交絡因子：要因と結果の両方の変数と関連がある第3の変数のこと。

今後の展望——人と社会をつなぐプラットフォームへ

将来的には、本技術を単なる「異常検知システム」にとどめず、高齢者を見守る関係者をつなぐ「情報ハブ」へと発展させたいと考えています。高齢者の見守りには本人や家族、地域コミュニティ、医療・介護者が協調してかわることが理想です。本技術が最適なタイミングで必要な情報を届け、関係者の連携を促すマネジメント役割を担います。また、WHO（世界保健機関）によれば2019年の認知症による世界経済損失は約1.3兆ドルに上り、その半分は家族によるインフォーマルケアに由来し、介護者の負担軽減は大きな社会課題であり、当事者だけでなく支える側も含めた社会全体での最適化が必要です。

そこで、本技術を対話型の生成AIなどを活用した双方向プラットフォームへと進化させていきます。これによりシステムと利用者・介護者・医療者らが対話しながらリスクを管理し、最適なケアにつなげることが可能になります。高齢者自身も日々センサーから得るバイタルデータを活用し、周囲の支えとテクノロジーの力で自立した生活を送ることができます。そして異変の兆候があれば、システムがいち早く検知して関係者と共有し、適切な介入によって大事に至るのを防ぎます。こうした循環を通じて、誰もが安心して長生きできる共生社会の実現に貢献したいと考えています。

本研究による技術成果は、スリープテック領域を担う事業会社であるNTT PARAVITAなどにおける事業化・事業展開を見据え検討を進めています。

■参考文献

- (1) Fact sheets : "Abuse of older people," World Health Organization, June 2024.
- (2) F. P. Cappuccio, et al: "Short sleep duration and obesity: the state of the evidence and future directions," Sleep Med. Rev., Vol.12, No.4, pp.297-310, 2008.
- (3) F. P. Cappuccio, et al: "Quantity and quality of sleep and incidence of cardiovascular disease: a systematic review and meta - analysis," Eur.

Heart J., Vol.32, No.12, pp.1484-1492, 2011.

- (4) C. Baglioni, et al: "Insomnia as a predictor of depression: a meta-analytic evaluation of longitudinal epidemiological studies," J. Affect. Disord., Vol.135, No.1-3, pp.10-19, 2011.
- (5) 厚生労働省: "健康づくりのための睡眠ガイド 2023," 2024.
- (6) C. R. Soldatos, D. G. Dikeos, and T. J. Paparrigopoulos: "The diagnostic validity of the Athens Insomnia Scale," Journal of Psychosomatic Research, Vol.48, No.6, pp.555-560, 2000.
- (7) I. Okajima, Y. Komada, and Y. Inoue: "A study of the reliability and validity of the Japanese version of the Athens Insomnia Scale," Psychiatry and Clinical Neurosciences, Vol.67, No.6, pp.434-442, 2013.
- (8) K. Tsuchiyama, Y. Kumano-Narita, and M. Ikeda: "Association between Athens Insomnia Scale scores and polysomnographic sleep parameters in community - dwelling older adults," Sleep Biology and Rhythms, Vol.12, No.2, pp.114-121, 2014.
- (9) I. Okajima, Y. Komada, and Y. Inoue: "A study of the reliability and validity of the Japanese version of the Athens Insomnia Scale," Psychiatry and Clinical Neurosciences, Vol.67, No.6, pp.434-442, 2013.
- (10) S. Achelis: "Technical Analysis from A to Z," New York, McGraw Hill, 2000.



(左から) 梅村 和弘 / 洞井 晋一 / 近藤 重邦

バイタルデータからデータドリブンで疾病を検知・予防する世界の実現に向け、大学医学部との医学的な基礎研究から技術開発、事業開発、社会実装までをトータルで取り組んでいます。

◆問い合わせ先

NTT 西日本
ビジネス営業本部 バリューデザイン部
DXプラットフォーム部門 テックデザイン担当



遠隔診療の実現に向けた身体遠隔化技術

本稿では、人の主観的な感覚に立脚し、身体的な能力・技能を遠隔でも発揮可能とする「身体遠隔化技術」を、医療サービスの提供が困難な地方や医療過疎地域に適用する取り組みを紹介し、具体的には、医師や看護師などの医療従事者が遠隔地から患者に対して視診や触診を実施できる新しい形態の提案や、その実現に向けた要素技術である動作指示技術や触感取得技術、触感再現技術について述べます。

キーワード：#遠隔診療、#遠隔視診、#遠隔触診

ごとう みつひろ うちだ そういちろう
 後藤 充裕 / 内田 聡一郎
 いまい りょうた えびな こうき
 今井 良太 / 海老名 光希

NTT 人間情報研究所

遠隔診療実現の必要性

超高齢化社会の進行に伴い、医療ニーズが急速に増加する一方で、医師だけでなく看護職やリハビリ専門職などを含む医療従事者の不足が深刻化しています。この人材不足は、医療サービスを提供する医療リソースの地域的偏在をさらに顕著にし、いわゆる「医療へき地」の拡大を招いています。その結果、必要な医療サービスへのアクセスが困難となる患者が増えつつあり、地域間における医療格差の是正が喫緊の課題となっています⁽¹⁾。

このような状況を踏まえ、限られた医療リソースを有効活用しながら、患者の居住地に依存しない医療サービス提供体制を構築することが求められています。こうした体制の構築に向けて、ICTやロボティクスの活用により、患者が自宅にいながらでもビデオ通話などを介して医療従事者による診療を受けられる「遠隔診療」を試行する動きも生まれつつあります。この遠隔診療

の実現に向けては、患者身体から取得できるバイタルデータを確認するだけでなく、対面では医療従事者が意識せずに行ってきた患者の腕や脚を自らの手で優しく動かしながら、視認しにくい部位（例えば腕の裏側や関節部位など）を確認することや、患者身体の皮膚の硬さ・温度感の変化などを観察するといった身体性を伴う能力・技能を、遠隔においても発揮することが必要になります。

NTT 人間情報研究所では、こうした遠隔診療のベースとなる視診や触診の遠隔化の実現に向けて、医療従事者による身体性を発揮しながら患者への適切な診療を遠隔からも実施可能とする「身体遠隔化技術」の研究開発に取り組んでいます。

身体遠隔化と遠隔診療（視診・触診）への適用

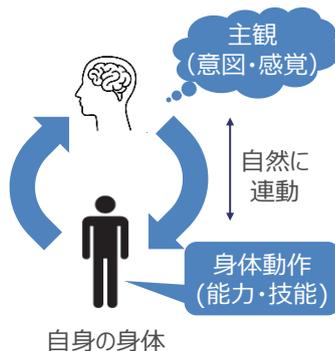
私たちが研究開発を進めている「身体遠隔化」では、自身の身体により発揮してい

た身体性を伴う能力・技能を、地理的な制約を越えて別の身体（ロボットや協働者）を用いても発揮可能とすることをめざしています。これにより、熟練技能者の能力の遠隔地における再現や、身体的制約のある者が他者の身体を介して能動的に環境とかわることが可能になります。

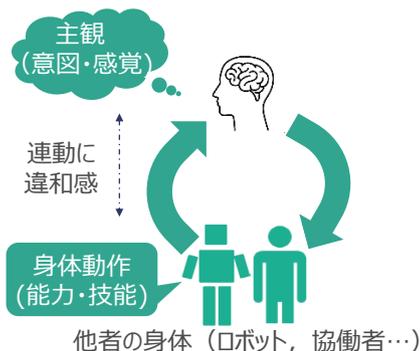
この「身体遠隔化」は、単に自身の身体と遠隔地の別の身体との間で高精度・高解像度な情報伝達を実現するだけでは不十分です。重要なのは、自身の身体と同様に、自らの主観（意図）が身体動作の起点となり能力や技能を発揮し、その結果として得られる主観（感覚）を本人に還元するという主観-身体動作の連動を成立させることにあります。この連動が違和感なく成立してはじめて、ユーザは遠隔にある別の身体を「自分の身体のように」扱い、複雑かつ高度な身体的な能力・技能を発揮することが可能になります（図1）。

そして、私たちはこうした「身体遠隔化」の技術を、視診や触診といった診療行為の

自らの身体で能力・技能を発揮



別の身体@遠隔で能力・技能を発揮



同等に
 同質に
 研究のポイント

図1 身体遠隔化技術の概要

遠隔化へ適用する際の課題探求を行い、医療従事者が患者に対面しなくとも視診や触診を実施可能とする要素技術や、それらに基づいた遠隔化形態の検討を進めてきました。視診は、患者の身体的所見を視覚的に把握する診療行為であり、特に皮膚の色調・腫れ・発赤などの観察を通じて、異常の有無を判断するための基本的かつ重要な手段です。この遠隔化に向けては、医療従事者が自身の視線・注視点・構図などへの意図を遠隔地に伝達し、能動的な観察を成立させることが求められます。これは、遠隔地のカメラ映像の構図を意図どおりに調整し、かつ医療従事者が見たい部位の提示を自律的に誘導して視認できるような「視線の身体性」を伴う能力の発揮であるといえます。

触診は、身体の表面や内部の状態を医療従事者が自らの手指で触れることによって、腫れ、硬さ、温度などを評価する診療行為であり、接触を通じた感覚の取得という「手指の身体性」の発揮が求められます。この遠隔化に向けては、医療従事者の「触れる」という意図に基づいて、遠隔地で手指の能力を正確に発揮するとともに、遠隔地で取得した触感情報を、医療従事者に対して、再現性高くフィードバックすることが必要となります。

このように、視診と触診はどちらも医療従事者が持つ身体的能力と密接に結びついており、単なる情報伝達ではこれらの再現が困難です。そこで、私たちは、視診の遠隔化に向けて、医療従事者が患者とのビデオ

通話中のカメラ映像に対して、任意の身体部位を適切な構図・大きさ・角度で映せるよう効率的に指示できる「提示動作指示技術」を考案しました。また、触診の遠隔化においては、医療従事者が患者の側にいる看護師や家族などの協働者と協調して患者身体への触診を実施する「触診動作指示技術」「触感取得技術」「触感再現技術」の検証を進めています。以降では、これら取り組みについて詳述します。

遠隔視診のための提示動作指示技術

現在、遠隔視診は主にビデオ通話を介して実施されており、医療従事者が問診や症状の聴取など診療に必要な会話を口頭で行いながら、必要に応じて症状の出ている身体部位の所見を画面越しに確認することが一般的です。この際に、身体部位が視診に適した構図・大きさ・角度で画面に映し出されるかは、患者自身のカメラ操作や身体部位の提示動作に依存しているのが現状です(図2(a))。こうした環境においては、医療従事者は診たい部位を的確に画面に収めるために、構図・大きさ・角度などに関する自身の意図を口頭で患者に伝え、患者はその指示に従って身体部位をカメラへ提示することになります。しかしながら、こうした言葉による身体部位の提示動作指示は、両者にとって煩雑なやり取りになりがちで負荷が高くなります。医療従事者に

とっては、意図した構図を細かなニュアンスまで言語化しながら、診療に必要な会話と並行して、指示を出す必要があり認知的負荷が大きくなります。一方、患者にとっても、指示された内容を正確に理解し、求められるかたちでカメラに身体部位を提示することは容易ではありません。

そこで、従来口頭で伝達される動作指示に代えて、医療従事者が意図した構図・大きさ・角度を患者が見ているビデオ通話画面上に視覚的に表現することで、両者の負荷を軽減する提示動作指示を実現します。具体的には、最終的に患者に映してほしい身体部位の構図・大きさ・角度を表現したシルエットを患者画面上に表示し、患者はそのシルエットに自身の身体部位を合わせるように身体を動かすだけで、指示された身体部位を的確に映せるようになります(図2(b))。加えて、このシルエットは、PCやタブレットのようにカメラの位置が固定される機器に限らず、スマートフォンのように柔軟に調節できる携帯機器においても提示可能です。スマートフォンを用いることで、患者自身がカメラの位置や角度を手を持って調整することができ、視診に適した構図の提示がさらに容易になります。特に、足先や太ももといった身体の下部を映す場合に、固定された機器ではカメラアングルの制約から困難になることがありますが、取り回しの良い携帯機器であれば、こうした部位に対しても柔軟にカメラを向けることができ、医療従事者が意図する構図に

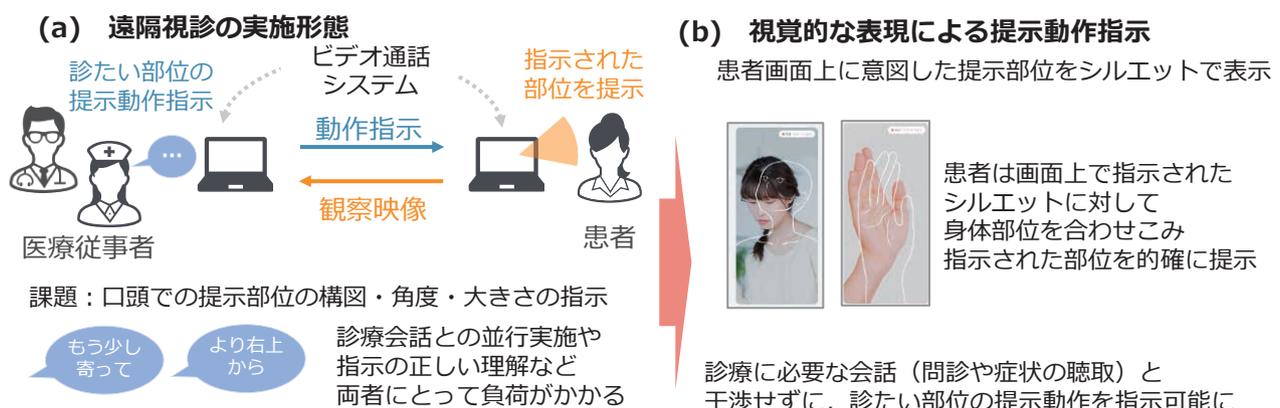


図2 遠隔視診のための提示動作指示技術

沿った身体部位の提示を実現しやすくなります。

また、こうしたシルエット表現が身体部位の提示動作指示に有効であるかを確認するために、遠隔視診と同様に、患者の身体所見をビデオ通話を介して確認するテレナーシング（遠隔看護）に従事する看護師を対象にケーススタディを実施してきました⁽²⁾。ケーススタディの結果、動作指示を出す看護師の立場では、従来の口頭だけの指示と比較して、提案するシルエットによる指示は、動作指示自体の作業負荷の低減、指示を伴うやり取りの主観的な満足度や明瞭さを高める傾向が確認されました。しかしながら、動作指示を受ける患者の立場では、指示を伴うやり取りの主観的な評価は高まった一方で、作業負荷が高くなるケースも散見されました。今後は、ケーススタディ規模の拡大や患者の立場における負荷軽減をめざしたシルエット表現の改良などを検討していきます。

遠隔触診のための動作指示、触感取得・再現技術

触診は、身体の表面や内部の状態を、触れることで評価する医学的手技であり、腫れや硬さ、温度の変化などを確認するために行われます。この触診の遠隔化に向けては、患者身体に触れた際の触感を遠隔地へ正確に伝達する仕組みの確立が必要になります。また、触診では患者が医療従事者に直接触られることで、心理的な安心感が醸成され、診療に対する不安や緊張を和ら

げる効果があるといわれています。その結果、医療従事者と患者間での信頼関係の形成が促進されるという観点もあり、患者が他者に直接触れられている体験を維持したまま、遠隔化することも重要です。しかしながら、従来の遠隔触診の取り組みでは、遠隔操作可能なロボットを医師が操作して、患者身体の触感自体の伝達に焦点を当てたものが多く、患者が他者に触れられている体験の維持を考慮した取り組みは、あまり行われていません。

そこで、私たちは、遠隔にいる医師と患者の近くにいる協働者が連携し、医師に代わって触診実施する「代行型」の遠隔触診形態を検討しています（図3）。この形態では、協働者が、指先の覆われていない指圧力取得センサやAR（Augmented Reality）グラス、スマートフォン（カメラ）などを身につけ、医師からどのように患者身体に触れるべきかの指示を受けながら、患者身体に触れた際の触感データを取得します。そして、その触感を遠隔にいる医師に伝達することで、まるで医師が患者に直接触っているような体験を維持したまま触診を遠隔化します。また、このような協働者が代行する形態は、早期の現場導入の観点からも有用であると考えています。従来の遠隔触診の取り組みでは、現地側に遠隔操作ロボットなどの装置を設置する必要があり、導入できる環境が限定されます。一方で、私たちの提案する形態では、協働者が装着するデバイスが、比較的簡易なウェアラブルデバイスにより構成されており、現地側への特別な装置の設置を必要としま

せん。そのため、限られたスペースや医療リソースでも導入しやすく、現場での早期運用が期待できる点が大きな利点となります。

このような「代行型」の遠隔触診を実現する要素技術として「触診動作指示技術」「触感取得技術」「触感再現技術」についてそれぞれ紹介します。触診動作指示技術は、図4(a)に示すように、遠隔の医師が協働者に対して、患者のどの身体部位を、どのような強さ・時間長で触れるべきかを指示するために、患者部位を撮影したカメラ映像に対して、視覚的なアイコンを重畳表示するものです。協働者は、重畳表示された視覚的なアイコンをARグラス越しに確認し、触れるべき位置や触れる際の強さ・時間長を把握することができます⁽³⁾。遠隔視診の提示動作指示でも述べたとおり、視覚的な表現を用いることで、医師が意図した触診すべき位置やその動作を、単なる口頭伝達よりも正確に伝えることが期待できます。現在は、医師がプリセットされたアイコンから1つを選択することで協働者への指示を決定していますが、今後は、より柔軟な指示を実現するための提示指示インタフェースの検討を進めていきます。

触感取得技術とは、協働者が触診を代行する際に、患者の身体部位に触れたときの硬さを取得するための技術です。今回、図4(b)に示すように患者が他者に触れられている体験を維持するために、指先が覆われていない指圧力取得センサを用いています。そのため、触れた部位の硬さを求めるにあたっては、協働者の指先と患者の身体部位

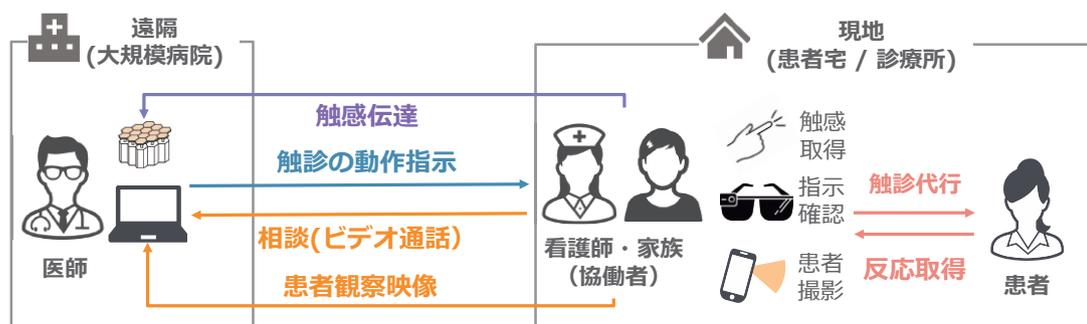


図3 協働者による「代行型」の遠隔触診形態

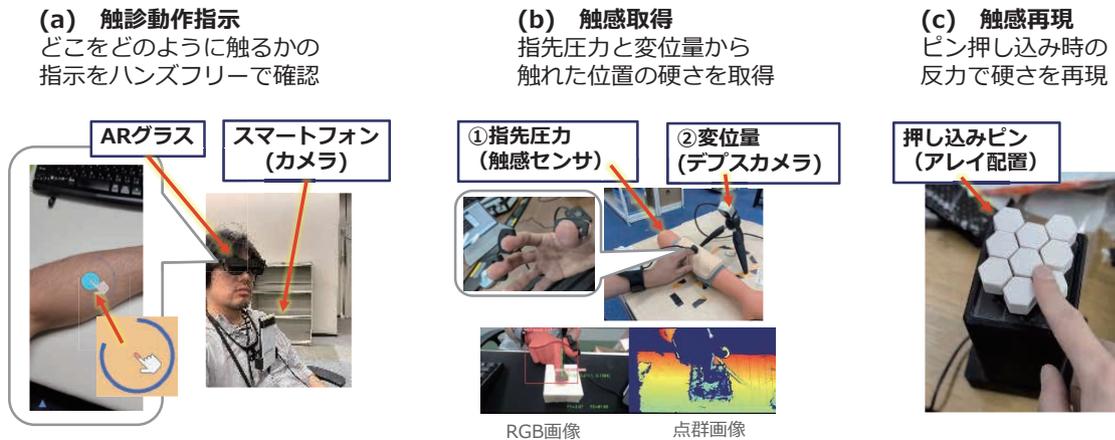


図4 遠隔触診のための触診動作指示、触感取得・再現技術の概要

という2つの弾性体の接触を考慮して、触れた身体部位のヤング率を算出する必要があります。この算出に際しては、センサを用いて協働者の指先にかかる圧力を取得するとともに、デプスカメラを用いてセンサを取り付けた指先の変位量を取得し、ヘルツ接触理論 (Hertzian contact theory) に基づいて、身体部位の硬さを求めています⁽⁴⁾。また、身体部位の直接的な硬さを求めるだけでなく、協働者が患者の身体部位に触れることで、その症例の進行度段階を機械学習を用いて推定する検討も進めています。

触感再現技術とは、協働者が代行して取得した患者身体部位の硬さ情報を、遠隔にいる医師が触覚として確認できるように、物理的に再現するための技術です。図4(c)に示すように、六角形の押し込み型ピンをアレイ状に配置した構造の触感再現デバイスにより、局所的な硬さの違いを空間的に表現します。本デバイスは協働者が触診代行時に取得した指先圧力および変位情報に基づいて、各ピンの押し込み量を制御することで、医師が遠隔にいても、あたかも自分が患者の身体に触れているかのような触感を得ることが可能となります。

現在は各技術共に、初期評価を行っている段階ですが、今後は、多くの疾患が関与する下肢浮腫を具体的な対象と定めて、実際の医療従事者と連携しながら、それぞれの有効性を検証し、対面で実施する触診と

の差異を明らかにします。

今後の展望

本研究では、医療リソースの地域的偏在や医療従事者の不足といった課題に対応するため、視診および触診の遠隔化を可能とする身体遠隔化技術の構築をめざし、遠隔視診における提示動作指示技術、ならびに遠隔触診における触診動作指示技術・触感取得技術・触感再現技術といった要素技術の研究開発と検証に取り組んできました。

今後は、各要素技術について、実際の医療従事者との連携のもとで、対面での診察との比較を通じて、フィジビリティ評価を実施していきます。これにより、本技術の有効性と限界を明らかにし、将来的な遠隔診察の質的向上と社会実装に向けた知見を蓄積していきます。

参考文献

- (1) https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi_kaigo/kaigo_koureisha/chiiki-houkatsu/index.html
- (2) 内田・今井・後藤・瀬下・亀井: “テレナーシング時の療養者アセスメントを支援する身体動作の視覚的ナビゲーション手法とその評価,” 第28回日本遠隔医療学会学術集会抄録集, 2024.
- (3) 今井・後藤・瀬下: “遠隔触診におけるウェアラブルカメラとARマーカーを活用した動作指示方式の検討,” 信学技報, Vol. 124, No. 337, MVE 2024-29, pp. 24-29, 2025.
- (4) K. Ebina, M. Goto, and H. Seshimo:

“Development of a simple softness measurement method using a wearable force sensor and depth camera for remote edema palpation,” Proc. of EMBC 2025, Copenhagen, Denmark, July 2025.



(上段左から) 後藤 充裕 / 内田 聡一郎
(下段左から) 今井 良太 / 海老名 光希

患者の居住地に依存せずに、どこからでも医療サービスを受受できる社会の実現に向け、視診・触診の遠隔化を起点とし、さまざまな診察の遠隔化について研究開発に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
サイバネティクス研究プロジェクト



環境変化・身体変化に伴う転倒防止に向けた姿勢バランストレーニングの研究の概要と将来像

健康寿命の延伸のための取り組みとして、フレイルやロコモティブシンドロームの予防・改善の必要性が日々高まり続けています。立位・歩行の維持には、転倒などの事故を抑制することが重要とされており、運動・感覚機能の予防・改善だけでなく環境変化・身体変化にロバストに対処できる身体の使い方を増やしていかなければなりません。本稿では、姿勢バランス時の感覚依存性に着眼した、姿勢バランストレーニングに関する研究の概要と将来像を紹介します。加えて、この研究には、NTT東日本伊豆病院との間で実施中の共同実験が含まれています。

キーワード：#姿勢、#感覚依存性、#転倒防止

しんどう まさと
進藤 真人
 あおき りょうすけ
青木 良輔

NTT人間情報研究所

はじめに

健康寿命の延伸に向けて、生涯自立して立位・歩行ができる世界の実現を目標としています。骨や関節、筋肉などの衰えが原因で歩行や立ち座りなどの日常生活に支障をきたす状態を示すフレイル^{*1}・ロコモ（フィジカル・フレイル）に対する予防・改善の必要性を一般社団法人 日本医学連合が継続して発信しています⁽¹⁾。この予防・改善は、要介護状態に遷移する原因になり得る転倒などの事故の抑制につながります。近年では、フィジカル・フレイルの初期段階であるプレフレイルに陥る要因の検討も進んでおり、健常な状態のうちに対策していくことが重要と考えられます。

フィジカル・フレイルへの対処はフレイルサイクルに基づいて整理することができます（図1(a)）。特に筋肉量や筋力のような運動器の劣化の観点からの対策（食事改

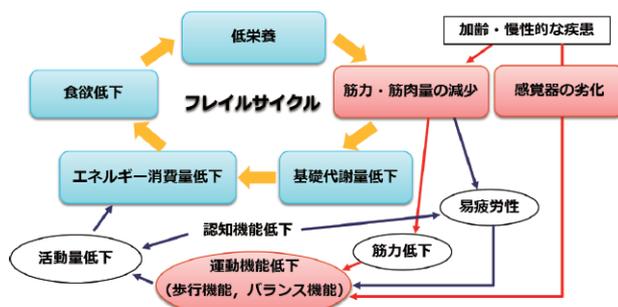
善や運動習慣改善）、目や皮膚などの感覚器の劣化の観点からの対策があげられます。これらの対策は重要であります。立位・歩行時は感覚運動制御モデル⁽²⁾のような運動をすることを考えると別の視点が存在すると考えられます（図1(b)）。つまり、感覚器（視覚・体性感覚・前庭感覚など）を通じて外界から感覚入力を中枢神経系で統合して最適な筋出力を導出し、運動器で動作遂行することから、中枢神経系感覚統合にも目を向けるべきと考えます。特に、感覚統合の多様さが感覚器や運動器の劣化に伴う身体変化に対処する1つの手段ととらえています。そこで着目したのが姿勢バランスを制御するときの感覚統合における感覚依存性です。

感覚依存性と感覚依存性誘導

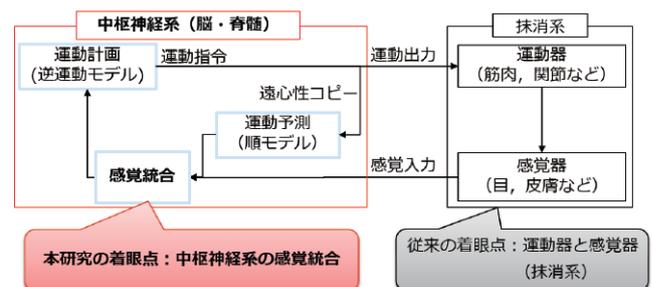
姿勢バランスを制御するときには、主に

視覚・体性感覚・前庭感覚の3つの感覚入力を中枢神経系で統合して利用します。視覚は身体と周囲にある物体との相対的な位置関係の情報を提供し、体性感覚は身体と支持面の相対的な空間的位置関係に関する情報を提供し、前庭感覚は重力加速度の情報から鉛直に関する感覚基準に関する情報を提供します。つまり、各感覚入力に姿勢の位置とその変化を検出するという共通の働きがある一方で、各感覚入力が出す情報源が異なり、環境変化や身体変化に応

*1 フレイル：高齢期に生理的予備能が低下することでストレスに対する脆弱性が亢進し、生活機能障害、要介護状態、死亡などの転帰に陥りやすい状態で、筋力の低下により動作の俊敏性が失われて転倒しやすくなるような身体的問題だけでなく、認知機能障害やうつなどの精神・心理的問題、独居や経済的困窮などの社会的問題を含む概念で、フレイルの早期発見・適切な介入により、生活機能の維持・向上を図れると考えられています。



(a) フレイルサイクルに基づいたフィジカル・フレイルの整理



(b) 感覚運動制御モデルと本研究の着眼点

図1 背景

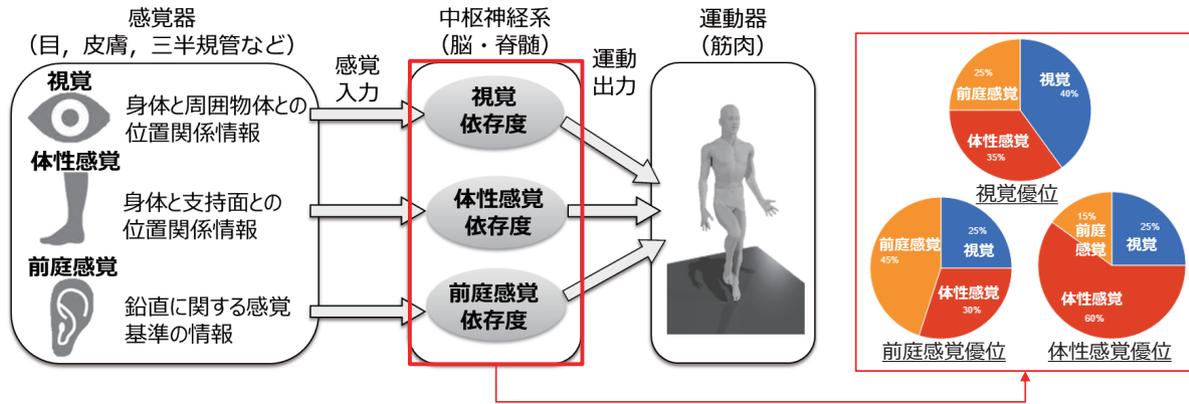


図2 立位・歩行における運動制御の仕組みと感覚依存性の例

じて互いに情報を補うことで姿勢を保ち続けています。しかし、普段の立位・歩行時にバランスをとっているときの3つの感覚入力の相対的な利用率が個々に偏るといふ報告があり、それが感覚依存性といわれています(図2)。

姿勢バランス時に特定の感覚に偏って依存してしまうと、変化に対応できず、転倒などの大きな怪我につながるリスクがあります。例えば、視覚に偏って依存してしまうと、暗い場所などの視覚情報が少ない環境での転倒リスクが高まります。また、足の体性感覚に偏って依存してしまうと、軟らかい床面や雪面などの足元が不安定な環境での転倒リスクが高まります。本研究では、2024年度からNTT東日本伊豆病院との共同実験を開始し、当病院が実施している人間ドックのオプション検査(オプション名:感覚特性検査)と位置付けて、人間ドック受診者を対象に、感覚依存性の検査を実施しています⁽³⁾。2024年8月から開始し、2024年度末で200名の検査を達成しました。この取り組みを通じて、感覚依存性パターンの抽出および各パターンの特徴をとらえる研究を進めています。詳細は後述します。

次に、感覚依存性を変化させる事例も存在します。例えば、感覚に障がいを持つ患者が姿勢バランスのリハビリテーションの過程で、障がいの影響を受けていない他の感覚への依存度が高くなるという報告があります。また、ある特定の感覚入力を用いないと姿勢が安定できない環境を構築し、その環境で姿勢バランストレーニングをすると、その感覚入力への感覚依存度を高めた状態での姿勢バランスの制御に遷移する

方々がいるという報告があります。このような姿勢バランストレーニングに関しては理学療法学分野での臨床研究が盛んである一方で、工学的な研究観点で視覚・聴覚などへの感覚フィードバックを利用した学習支援は発展途上であり、技術開発も科学的な検証も加速させていく価値があります。本研究では、触覚への感覚フィードバックに注力しており、電気刺激提示を用いた姿勢バランストレーニングにより視覚の依存度を強める感覚依存性誘導技術を提案しています⁽⁴⁾。加えて、この感覚依存性誘導技術は、誘導する感覚を普段利用していない対象者に効果的であることも示唆されています。この技術を含め、感覚依存性誘導技術の取り組みを本特集記事『感覚依存特性に基づく姿勢バランストレーニング実現に向けた感覚依存性誘導技術』で紹介します。

感覚依存性の検査方法とNTT東日本伊豆病院との共同実験での運用

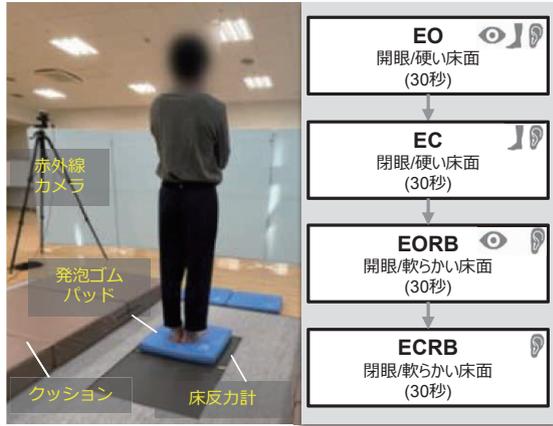
感覚依存性の代表的な検査として、Modified Sensory Organization Test (mSOT)⁽⁵⁾があります。この検査では、4つの異なる姿勢条件下で立位したときの姿勢動揺の指標である、床に対する圧力中心(COP: Center Of the Pressure)を床反力計^{*2}を用いて計測します(図3(a))。各条件は、3つの感覚入力が姿勢バランスに寄与する、固い床で目を開けたままの立位(条件EO: Eyes Open)、視覚入力が排除され、ほかの感覚入力が姿勢バランスに寄与する、固い床で目を閉じたままの立位(条件EC: Eyes Closed)、体性感覚の感覚入力不安定になることで視覚・前庭感覚の

感覚入力が姿勢バランスに寄与する、発泡ゴムパッド(柔らかい床面)上で目を開けたままの立位(条件EORB: Eyes Open/Rubber foam pad)、最後に体性感覚と視覚の感覚入力の両方が不安定になることで前庭感覚の感覚入力が姿勢バランスに寄与する、発泡ゴムパッド上で目を閉じたままの立位(条件ECRB: Eyes Closed/Rubber foam pad)となります。各条件で計測されたCOPに基づいた姿勢動揺の比率を各感覚の重みとして定量化することで推定されます。この結果により各感覚の相対的な利用率が算出され、例えば図3(b)のような結果をフィードバックすることができます。

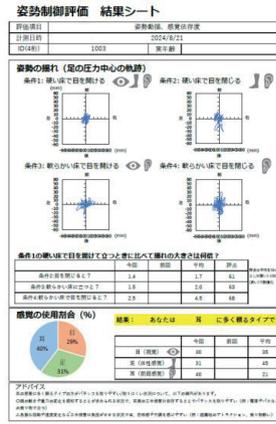
2024年度からNTT東日本伊豆病院との共同実験を開始し、当病院が実施している人間ドックのオプション検査(オプション名:感覚特性検査)と位置付けて、人間ドック受診者を対象とした感覚依存性の検査を実施しています⁽²⁾。一般のmSOT検査では床反力計だけを使用しますが、感覚特性検査では、モーションキャプチャシステム^{*3}を用いて図3(c)に示すような10カ所の身体位置の計測もしており、COPの評価だけでは見えない身体動揺の特徴をとらえる取り組みとなっています。一時的に人を集めて実施する検査とは異なり、日々運用されている人間ドックに組み込まれたため、検査の周知・場所誘導・安全対策・説明動画などの点を病院側と密に議論を重ね、

*2 床反力計:人が動作したときに地面から受ける反力を測定する機器のこと。
*3 モーションキャプチャシステム:身体に取り付けられたマーカの位置を3次元計測し、人やモノの動作を3次元データとして計測する機器のこと。

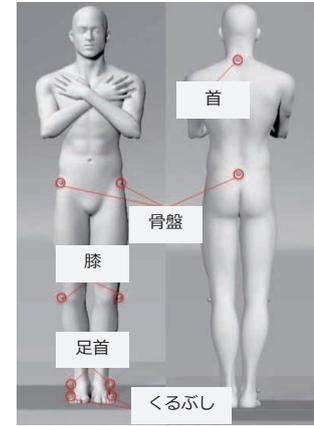
特集



(a) 検査手順



(b) 検査結果シート例



(c) モーションキャプチャマーカ配置

図3 感覚依存性の検査方法

検査の運用負担の軽減、かつ受診者の方々への理解促進となる環境を整えました。環境を整えるのにあたり、院内の各関係者からのフィードバックは、既存の人間ドックの一部として運用していくうえで大変貴重なものであり、検査時間や検査タイミング、安全性等の検討に役立てられました。実際の検査では、説明から検査終了まで1人当りの検査時間は長くても15分程度となりました。2024年8月21日から基本週4日で受け入れる体制を構築し、2025年3月31日までに200名の検査を実施することができました。

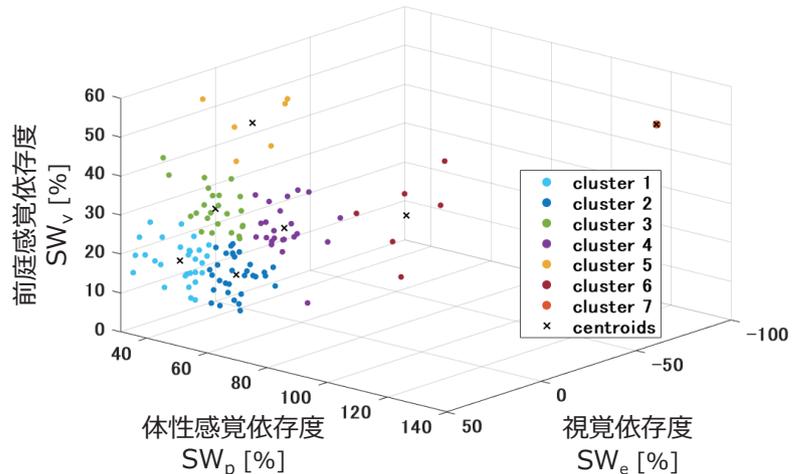


図4 ベイズ情報量基準（BIC）を用いたK-meansクラスタリングの適用結果

感覚特性検査の2024年度成果と今後の展開

2024年8月21日～12月27日までの120名程度の検査結果を基に2つの観点で解析をした結果が生体医工学分野の世界最大規模の国際会議 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC*) にフルペーパーが2本採録^{(6), (7)}となりました。

まず、新たな感覚特性パターンの抽出に関してです。検査で計測された3感覚の利用率を示す感覚依存度（視覚：SWe, 体性感覚：SWp, 前庭感覚：SWv）データに対して、X-meansクラスタリング手法を用いて分類をしました（図4）。その結果、6種類の感覚特性パターンが抽出されました（図5）。全体的に3感覚の中で体性感覚の利用率がほかの感覚の利用率より高い

傾向であるものの、感覚間の利用率の差はクラス間で異なっていました。例えば、クラス4～クラス6は、ある感覚入力が顕著に低く、他の感覚入力がそれに対して高いという感覚特性パターンが確認されました。クラス4と6は体性感覚と視覚の利用率が離れており、特にクラス6は視覚に頼っていない可能性があります。クラス5は視覚よりも体性感覚と前庭感覚を重視している傾向がみられました。次にクラス1～3は感覚入力の利用率の差は小さいものの、相対的な大小の違いが生じたクラスタになります。クラス1と2は視覚が2番目に高く、クラス3では前庭感覚が2番目に高いという特徴がありました。そして、各クラスに世代がばらついたことを考えると、世代間の比較は効果的ではない可能性があります。現段階では、まだ予備的な報告であり、サンプル数が増

加することで、クラスが増えていく可能性があり、加えて各クラスの特徴については詳細な深掘が必要となると考えています。

次に、感覚特性検査の条件ECRBにおいて特異な縦揺れ現象の発見についてです。この条件は、ほかの条件と比較し、姿勢を保ちづらい条件ではあるものの、足首の弾むような縦揺れが確認されました（図6）。この縦揺れは、姿勢の前後方向・左右方向の両方向の姿勢動揺COPに関連していることも確認されています。この縦揺れの対象者はおおむね今回のサンプル数の3割弱を占めると考えており、検査数が多く、か

* 4 EMBC : IEEE (米国電気電子学会) の中で生体医工学を専門とする技術ソサエティが毎年開催している生体医工学分野における世界最大級の国際会議。

つモーションキャプチャシステム導入のおかげで、定量的に把握できたものになります。この縦揺れがなぜ起こるのかについては、前庭感覚の依存度との弱い相関はみられたものの、それだけではないことも確認されており、要因の発見に向けてより詳細な検証を進めているところです。

NTT東日本伊豆病院との共同実験は2025年度も継続しており、より多くの方に検査にかかわっていただけるように運用改善を進めています。そして、感覚特性検査は2024年度で実施した内容を継続するだけでなく、床反力計、モーションキャプチャシステムに加え新たに筋電センサの追加を検討しています。これにより、立位時の筋緊張の個所が分かるため、感覚依存性だけでなく、運動戦略との関係性も深く検証していければと考えています。加えて、人間ドックの受診者は20代後半～50代後半と絞られるため、高齢者向けの感覚特性検査にも拡張できないか模索していきます。今回の受診者の範囲においては、世代の影響がほとんどありませんでしたが、高齢者を対象とするとまた異なる傾向が確認されるかもしれませんし、高齢者も同様に年齢よりも感覚依存性や運動戦略の影響で立位が安定する人とそうでない人で分類されるかもしれません。また、定期的にかつ持続的にこれらの検査を行った対象者がどのような傾向になるのかは知られていません。今後も信頼性の高いデータを大規模に収集し、前述したさまざまな観点での知見を深め、将来の転倒リスクに向けた具体的な対策につなげていくことをめざしています。

感覚依存性誘導技術を活用した姿勢バランストレーニングの将来像

前述のように、NTT人間情報研究所では、「感覚依存性の大規模データ構築を通じた個々の依存パターンの抽出および各パターンの特徴把握」「感覚フィードバックを用いた感覚依存性誘導技術構築」の研究を進めています。私たちは、これらの研究で得られた要素技術を組み合わせた新たな姿勢バランストレーニングの実現をめざしています。図7は、想定する姿勢バランストレーニングの流れのイメージを表したものです。感覚特性検査による個々の感覚依存性の評

価、評価結果に応じた感覚依存性誘導技術によるトレーニング方法の選定とそれを用いた姿勢バランストレーニングの実践、トレーニング前後の感覚特性検査結果の比較による効果の確認といった、評価からトレーニングまでを個人最適化した一連のプログラムとして設計できると考えています。将来的には、この姿勢バランストレーニングを病院や高齢者リハビリ施設、スポーツジム等の多様な環境に適用することをめざしています。現在実施している感覚特性

検査は、床反力計とモーションキャプチャシステムといったゴールドスタンダードといわれる頑健な計測手法を使用することでデータの信頼性を担保している一方、高価で大掛かりな設備を要するためにほかの施設で同様の計測を実施することが困難です。多様な環境へ普及させていくためには、より簡易な評価手法を用いることが必要と考えられます。例えば、加速度計やインソールに圧力センサを配置したスマートインソールといった、身に着けるだけで身体の揺れ

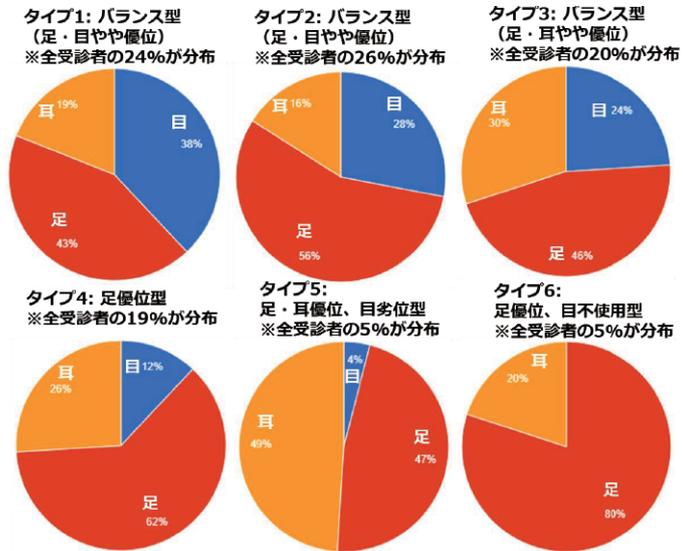


図5 抽出された6種類の感覚特性パターン

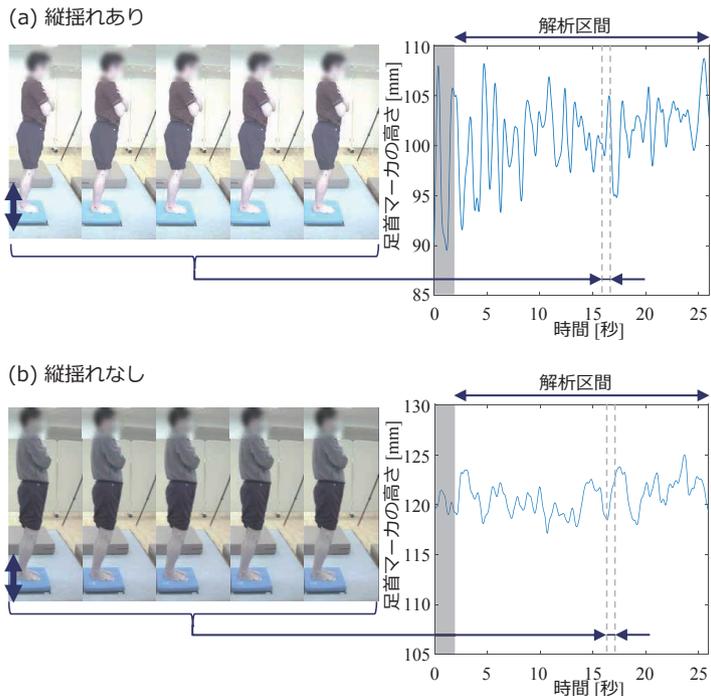


図6 条件ECRBで発見された特異な縦揺れ現象

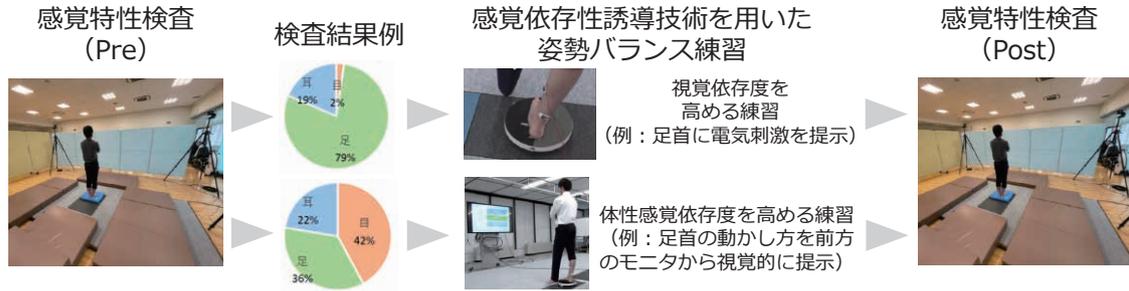


図7 姿勢バランストレーニングの一連の流れ (イメージ)

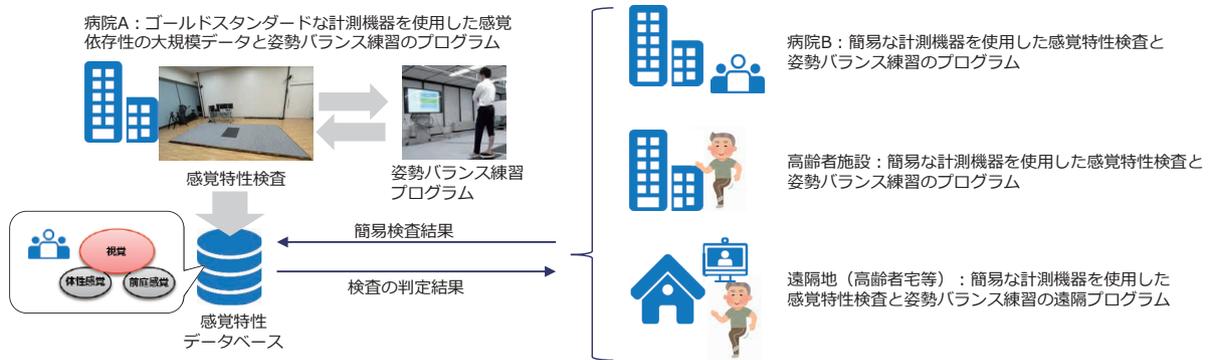


図8 多様な環境での利用を想定した姿勢バランストレーニングの将来像

を計測可能な方法が挙げられます。しかしながら、これらの簡易手法で得られた感覚特性検査結果は、ゴールドスタンダードな手法による結果と異なる可能性があります。そこで、頑健な計測データを大規模化し、簡易評価手法を用いた検査結果との関係性を推定するモデルの検討を考えています。

多様な環境での利用を想定した姿勢バランストレーニングの将来像として、図8のような構想を考えます。基盤となるのは、ゴールドスタンダードな計測機器を備えた拠点施設 (一例として図中の病院A) です。ここでは、感覚特性検査の実施を通じて質の高いデータを多数収集することで、大規模な感覚特性データベースの構築が行われます。また、感覚依存性誘導技術を用いた姿勢バランストレーニングの実践フィールドとしても機能し、検査とトレーニングが一貫して行える拠点となっています。構築された大規模データベースは、個々の感覚特性の相対的なパターン把握、簡易評価手法を用いた検査結果との関係性を推定するモデルの開発、感覚特性のパターン分析に関する研究推進など、多面的に活用されます。さらに、この構想では簡易な計測機器を活用して実践フィールドを多様な環境へと拡張します。例えば、地域の病院や高齢

者施設、スポーツジムなどで、基盤拠点の大規模データベースに基づく検査結果の判定、判定に基づく姿勢バランストレーニングの実践が可能となります。この構想が実現されれば、個々の感覚特性に応じた最適なバランストレーニングが、医療・福祉・予防の多様なフィールドで提供可能となり、加齢に伴う転倒リスクの低減やフィジカル・フレイルの予防に貢献すると考えます。

■参考文献

- (1) <https://files.jmsf.or.jp/uploads/medium/file/270/20220401211609.pdf>
- (2) P. A. Forbes, A. Chen, and J.-S. Blouin: "Sensorimotor control of standing balance," Handbook of Clinical Neurology, Vol. 159, 2018. DOI: 10.1016/B978-0-444-63916-5.00004-5
- (3) https://group.ntt.jp/topics/2024/08/07/ntteast_izu_hospital.html
- (4) M. Shindo, T. Isezaki, Y. Koike, and R. Aoki: "Induced effects of electrical muscle stimulation and visual stimulation on visual sensory reweighting dynamics during standing on a balance board," PLoS ONE, Vol.18, No.5, e0285831, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285831>
- (5) S. R. Lord and J. A. Ward: "Age-associated differences in sensorimotor function and balance in community dwelling women," Age and ageing,

Vol. 23, No. 6, pp. 452-460, 1994.

- (6) M. Shindo and R. Aoki: "Preliminary Investigation of Clustering Analysis for Understanding Individual Sensory Contributions in Human Postural Control," EMBC 2025, Copenhagen, Denmark, July 2025.
- (7) R. Aoki and M. Shindo: "Preliminary Investigation on Vertical Ankle Sway in Static Standing Under Eyes-Closed and Foam Pad Conditions," EMBC 2025, Copenhagen, Denmark, July 2025.



(左から) 青木 良輔 / 進藤 真人

感覚特性検査を受けている方と検査後に検査結果シートを見ながらお話をすると、日常の転倒リスクだけでなく、姿勢バランスがとりやすい環境やそうでない環境が人それぞれ異なることが分かってきます。自身の日々の運動機能の振り返りにもなりますので、お時間がありましたら是非挑戦してみてください。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
サイバネティクス研究プロジェクト

感覚依存性に基づく姿勢バランストレーニング実現に向けた感覚依存性誘導技術

普段使い慣れていない感覚を用いた姿勢バランスをとるように指示をしたとしても、その感覚を利用しているかどうか気付くことが困難です。そこで感覚依存性誘導技術を用いて、その感覚を用いた姿勢バランスに誘導することで、ねらった感覚を使った姿勢バランスのトレーニングにつながります。本稿では、NTT人間情報研究所が推進している感覚フィードバックを用いた感覚依存性誘導技術について紹介します。

キーワード：#姿勢、#感覚依存性、#感覚依存性誘導技術

しんどう まさと
進藤 真人
にいじま ありのぶ
新島 有信
あおき りょうすけ
青木 良輔

NTT人間情報研究所

ヒト姿勢バランスにおける感覚依存性と感覚依存性誘導技術

ヒトが姿勢バランスを制御するとき、主に視覚（身体と周囲との位置関係を把握）・体性感覚（足と地面との接触状態を把握）・前庭感覚（垂直基準や加速度を感知）の3つの感覚入力を脳の中樞神経系で統合し、加齢や障がいなどの身体変化や、足元の不安定さや視界の変化といった周辺環境変化に対し、3感覚の相対的な利用率（感覚依存性）を適切に変化させることで姿勢バランスをとっています。感覚依存性は個々に偏りがあるといわれており、特定の感覚に偏って依存してしまうと、変化に対応できず、転倒などの大きな怪我につながるリスクがあります。したがって、個々の感覚依存性に応じた姿勢バランストレーニング方法に関する技術検討が必要と考えています。

身体変化や周辺環境変化に応じて感覚依存性を適切に変化できる身体の使い方を身につけるために、普段使い慣れていない感覚を用いた姿勢バランスを体験させることが効果的であると考えました。なぜならば、普段使い慣れていない感覚が知覚しづらいため、どのように姿勢バランスを表現してよいか分からないためです。そこで、姿勢バランスをとっているときの個々の感覚依存性を解析し、解析結果に基づいて、異なるパターンの感覚依存性に誘導する技術を「感覚依存性誘導技術」と定義し、個々の感覚特性に基づく姿勢バランストレーニング

ング確立に向けた技術構築に取り組みました。

感覚依存性誘導技術の構築に向けたアプローチとして、身体の揺れに関する情報を外部から何らかの刺激（視覚・聴覚・触覚等）としてユーザに提示する、感覚フィードバックに着目しました。感覚フィードバックは、姿勢バランスをとっているときにユーザがどの程度揺れているのかを補助的に伝えることによって、正確かつ即時に身体の状態を把握しやすくなり、適切な姿勢調整を素早く行えるようになるといわれており、姿勢安定性の向上に貢献します。しかしながら、感覚フィードバックが感覚依存性に与える影響に関する定量的な報告は少なく、どのようなフィードバック方法が感覚依存

性誘導技術として有効であるか検証していく価値があると考えます。感覚依存性誘導技術で誘導するパターンには、図1のような6種類の方向性を考えており、1種類の誘導の方向においても複数選択肢が存在することが理想と考えます。

電気刺激、視覚提示を活用した感覚依存性誘導技術

不安定面（バランスボード）上の立位バランス練習において、感覚依存変化の誘導を示唆する2つの感覚フィードバック技術について紹介します⁽¹⁾。

1番目は、バランス練習中に電気刺激を足首の筋肉に提示することで、姿勢を安定

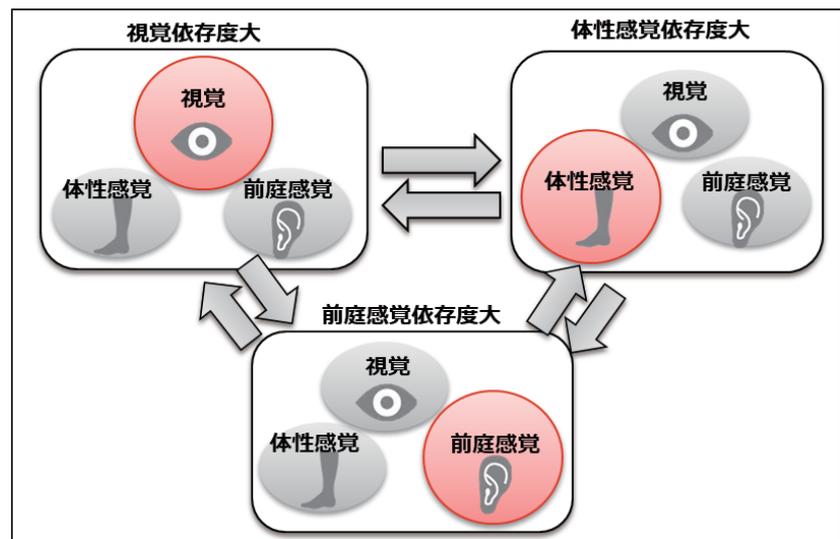


図1 感覚依存変化誘導技術の誘導の方向性

させるためにより視覚情報に頼るように誘導する技術です。具体的には、図2①のように、バランスボードの傾きをリアルタイムに取得し、ボードが一定以上前方に傾くとすねの周りの筋肉に電気刺激を提示し、後方に一定以上傾くとふくらはぎの筋肉に電気刺激を提示します。電気刺激を提示した筋肉は不随意的に収縮するため、すねの筋肉に提示した場合足首の背屈（つま先を持ち上げる動き）が生じ、ふくらはぎの筋肉に提示した場合足首の底屈（つま先を下げる動き）が生じます。つまり、電気刺激提示による足首動作は、前方・後方どちらかに傾いたボードを水平に戻すようにアシストする役割を果たします。練習者は、電気刺激による足首のアシストに合わせて姿勢バランスをとることが必要となります。その結果、足元の感覚以外のほかの感覚に頼って姿勢バランスをとることに注意が向けられ、視覚情報に頼るように誘導すると考えられます。従来研究では視覚や聴覚への感覚フィードバックによる検証報告が多くある中で、電気刺激を用いた稀有な事例になります。

2番目は、バランス練習中に足首の動きの状態を前方のモニターから視覚的に提示することで、姿勢を安定させるためにより足の体性感覚に頼るように誘導する技術です。具体的には、図2②のように、バランスボードの傾きをリアルタイムに取得し、ボードが一定以上前方に傾くと足首の背屈（つま先を持ち上げる動き）を行うように教示し、後方に一定以上傾くと足首の底屈（つま先を下げる動き）を行うように教示します。また、ボードが水平に維持されているときはそれを継続するように教示します。つま

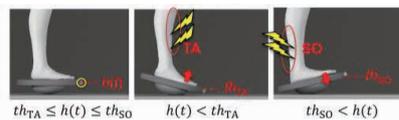
り、足首の動作の教示は、ボードを水平に戻すためにユーザ自身が随意的に足首を動かすことを促します。その結果、足元の感覚情報に頼って姿勢バランスをとることに注意が向けられ（視覚などの感覚情報への注意を減らし）、足の体性感覚情報に頼るように誘導すると考えられます。

上述した電気刺激、視覚提示を活用した感覚依存性誘導技術の効果は、小規模な被験者集団を対象とした基礎検証によって定量的に示されました。実験では、被験者40名が10名ずつ4つのグループに分かれ、足首へ筋収縮を伴う電気刺激フィードバック、筋収縮を伴わない低強度の電気刺激フィードバック、足首の動きを視覚的に提示する視覚フィードバック、何も提示しない条件で、バランスボード上での立位バランス練習を行いました。練習前後で、開眼と閉眼した条件での立位を一定時間計測し、姿勢の揺れの比率を取ることで視覚依存度を計算しました。評価は、練習前と比べてどれだけバランスが良くなったかを示す指標（練習前に何も提示しない条件で立ったときの

ボードの揺れの大きさと、練習中のボードの揺れの大きさの比率）と、練習前後での視覚依存度の変化を示す指標（練習前後の視覚依存度の比率）との関係性を被験者ごとに可視化することで、各グループの傾向を調べました。図3にその結果を示します。

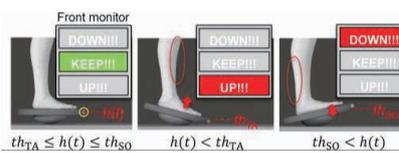
横軸がフィードバック提示によるボードの揺れの変化（1より小さい値はフィードバックによってボードの揺れが低減、つまりバランスが安定している）、縦軸が視覚依存度の変化を表します。同図より、筋収縮を伴う電気刺激フィードバックにおいて、ボードの揺れの低減に伴い視覚依存度が高まる傾向を示す一方、視覚フィードバックにおいては、ボードの揺れの低減に伴い視覚依存度が低くなる傾向を示しました。加えて、筋収縮を伴わない電気刺激フィードバックと何も提示しないグループにおいて相関関係はみられませんでした⁽²⁾。この結果から、筋収縮を伴う強度の電気刺激提示は視覚依存度を高める誘導効果を示した一方で、視覚提示はその逆の誘導効果を示したと、視覚依存度変化を促すためには筋

①足関節への筋電気刺激（EMS）



視覚依存を強めた姿勢制御を促す可能性

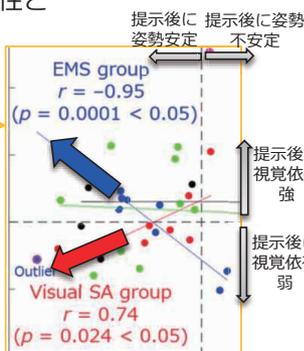
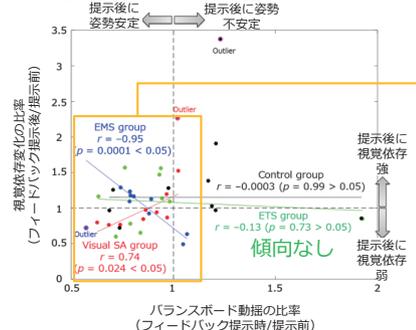
②足関節動作の視覚提示



視覚依存を弱めた姿勢制御を促す可能性

図2 感覚依存性の誘導を示唆する2つの技術

各感覚フィードバック提示時の姿勢安定性と視覚依存変化の関係性



フィードバック手法による感覚依存性の誘導効果
 電気刺激フィードバック（EMS）：
 視覚依存を強めて姿勢安定
 視覚フィードバック（Visual SA）：
 視覚依存を弱めて姿勢安定

電気刺激フィードバックの強度による感覚依存性の誘導効果
 低強度な電気刺激（ETS）では不十分

図3 小規模被験者を対象とした基礎検証結果

収縮を伴う強度の電気刺激が必要であることが示唆されました。これは、それぞれのフィードバック方法によって誘導される感覚依存変化の違いを示した初めての知見となります。さらには、個人が元々使っていない感覚の依存性を高めることに有効であることも分かっています。したがって、個人の感覚依存性の特性に応じたフィードバック方法の選定によって、普段使用していない感覚特性に誘導する姿勢バランス練習が実現できると考えています。例えば、普段視覚に頼らない人には電気刺激フィードバック、足の体性感覚に頼っていない人には視覚フィードバックが効果的であると考えられます。

ほかの感覚フィードバックを用いた姿勢安定化技術からの拡張

ほかの感覚フィードバックを用いた姿勢バランスの安定性向上に関する検証を通じて、感覚依存性誘導技術の種類を広げる試みをしています。

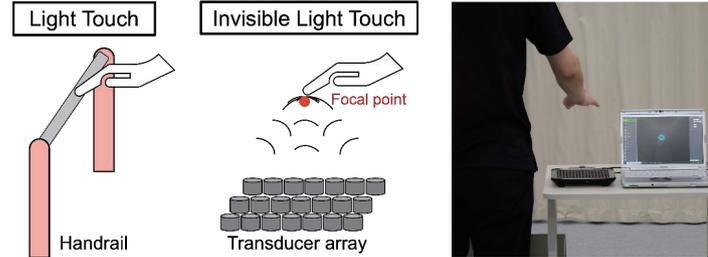
触覚フィードバックの事例において、リハビリテーションで活用されているライトタッチ効果（1N以下の力で手すりなどの固定物に軽く触れた状態が維持されると姿勢が安定する効果）に着目し、超音波を用いることで、非接触でライトタッチが維持される環境を構築し、姿勢を安定させる技術を実現しました⁽³⁾（図4）。さらには、指先を手すりに軽く触れてバランスをとるとき、指を伸ばす筋肉へ電気刺激を提示して接触力とは逆向きの力を引き起こすことでライトタッチを維持し、姿勢を安定させる技術も提案しています⁽⁴⁾。

視覚・聴覚フィードバックに関しては、理学療法分野の専門家と連携し検討を進めています。姿勢バランス練習において、それぞれのフィードバックが感覚依存性に与える影響や、練習後の学習効果について検証を進め、電気刺激フィードバックの知見と合わせた感覚依存性誘導技術の拡張をめざします。

今後の展望

本稿では、普段使い慣れていない感覚による姿勢バランストレーニングを実現する

超音波ライトタッチ技術：超音波集束装置を用いた空中触覚フィードバックにより、立位バランスを向上



ライトタッチ効果が生起するための条件（1N以下の力と参照点の固定）を満たすように超音波集束点を制御することで、立位バランスを改善可能。

図4 超音波を用いた非接触ライトタッチによる姿勢安定技術

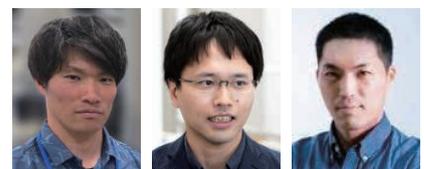
ための感覚依存性誘導技術について紹介しました。触覚を通じた感覚フィードバックによる姿勢バランストレーニングは、研究所が注力している技術として今後も増やしていく予定です。加えて、視覚・聴覚フィードバックを用いた姿勢バランストレーニングは、姿勢安定化技術としてはいくつか存在しているものの、感覚依存性誘導に関する検証としては不足しています。技術を所有する大学との共同研究を視野に入れ、選択可能な感覚依存性誘導技術の種類を加速的に増やしていきます。ラボ実験で検証した技術については、適宜NTT東日本伊豆病院の感覚特性検査と紐付けて体験できるような体制を整えて実践検証できるように進めていく予定です。

参考文献

- (1) M. Shindo, T. Isezaki, Y. Koike, and R. Aoki: "Induced Effects of Electrical Muscle Stimulation and Visual Stimulation on Visual Sensory Reweighting Dynamics during Standing on a Balance Board," PLOS ONE, Vol.18, No.5, e0285831, 2023. DOI : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285831>
- (2) M. Shindo, T. Isezaki, and R. Aoki: "Electrical Stimulation Intensity to Induce Sensory Reweighting Dynamics While Standing on Balance Board," EMBC 2023, pp. 1-4, Sydney, Australia, July 2023. DOI : [10.1109/EMBC40787.2023.10340950](https://doi.org/10.1109/EMBC40787.2023.10340950)
- (3) A. Nijijima, M. Shindo, and R. Aoki: "Invisible Light Touch: Standing Balance Improvement by Mid-Air Haptic Feedback," Proc. of CHI 2025, Association for Computing Machinery, Article No.502, pp. 1-11, 2025. DOI : <https://doi.org/10.1145/3706598.3713396>
- (4) M. Shindo and R. Aoki: "Immediate

After-Effects of Maintaining Light Touch using Electrical Muscle Stimulation to Index Finger Extensor Muscles on Postural Control *," SMC 2024, pp. 3467-3472, Kuching, Malaysia, Oct. 2024. DOI : [10.1109/SMC54092.2024.10831074](https://doi.org/10.1109/SMC54092.2024.10831074)

- (5) M. Shindo, T. Isezaki, R. Aoki, and Y. Koike: "Force Control on Fingertip Using EMS to Maintain Light Touch," EMBC 2021, pp. 4641-4644, Mexico, Nov. 2021. DOI : [10.1109/EMBC46164.2021.9630237](https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9630237)



（左から）進藤 真人 / 新島 有信 / 青木 良輔

普段立っているときの感覚という自身で意識的にとらえることが困難なものを、人機一体となることでその感覚を使用した立位の状況に誘導し、練習後もその効果が継続されていくような技術の研究開発を進めていきます。技術検証に加え、人の感覚の使い方に関するトレーニングの新たな仕組み構築につなげられたらと考えています。そして、加齢によって身体機能が低下しても昔と変わらずに立位や歩行を自立できる世界をめざしたいと考えています。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
サイバネティクス研究プロジェクト

つくばフォーラム2025に見る アクセスネットワークの研究開発

本特集では、2025年5月15～16日に

「世界を変える価値創造を 持続可能な社会を支えるアクセスネットワークへの挑戦」をテーマに開催された「つくばフォーラム2025」で発表されたIOWN (Innovative Optical and Wireless Network)の実用化に向けた取り組み、および最新のアクセスネットワーク技術について紹介する。

世界を変える価値創造を 持続可能な社会を支えるアクセスネットワーク技術 ————— 38

新たな価値創造とグローバルサステナビリティの実現に向け IOWN/6G（第6世代移動通信システム）の具現化を加速するサービスの多様化、運用のスマート化、新ビジネス領域の開拓に資する研究開発の取り組みを紹介する。

IOWN誕生から5年 さらにその先へ ————— 42

IOWN構想の発表から5年、APN（All-Photonics Network）は商用化され、IOWN光コンピューティングは大阪・関西万博において公開された。これまでの進捗を振り返るとともに、次なる展開に向けた新たな価値創出や技術の進化について紹介する。

つなごう。驚きを。幸せを。 ～6G時代のWell-beingな社会の実現に向けて～ ————— 46

AI（人工知能）やビッグデータの活用、6Gの取り組み、2026年に商用化を予定しているHAPS（High Altitude Platform Station）をはじめとする非地上系ネットワーク、そしてAIを活用したネットワークの高度化などについて紹介する。

TSUKUBA FORUM 2025

世界を変える価値創造を
持続可能な社会を支えるアクセスネットワークへの挑戦

IOWN

6G

ネットワークロバスト

社会インフラ

運用イノベーション

ネットワークロバスト化・業務自動化に向けたAI活用による オペレーション技術の研究開発 ————— 51

ネットワークのロバスト化に向けて、人の手を介さずに正確で迅速なネットワーク管理を実現するゼロタッチオペレーションや、業務の自動化領域を拡張する技術、人の作業を支援することでスキルレス化や安全性を向上する技術について紹介する。

社会インフラ維持管理の新時代へ ～AI活用&シェアリング～ ——— 55

インフラ分野において、AI活用を進めるとともに、設備・情報のシェアリングという概念も適用することで、維持管理のあり方が大きく変わろうとしている。AIとシェアリングという2つの軸にかかわる技術を紹介する。

社会インフラの運用イノベーションと 新価値の創出に向けた研究開発について ————— 59

スマートエンジニアリング（設計・施工）やスマートメンテナンス（保守・運用）に関する技術、および通信設備のアセット活用による通信以外の分野も含めた新たな価値創造に向けた技術について紹介する。



世界を変える価値創造を 持続可能な社会を支えるアクセスネットワーク技術

NTT アクセスサービスシステム研究所は、線路、土木、伝送、無線、オペレーションの5つの分野でアクセスネットワークに関する研究開発を行っています。新たな価値創造とグローバルサステナビリティの実現に向け IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) /6G (第6世代移動通信システム) の具現化を加速するサービスの多様化、運用のスマート化、新ビジネス領域の開拓に資する研究開発を推進しています。本稿ではこれらの最新技術を紹介します。

キーワード：#アクセスネットワーク、#IOWN、#6G

えびね たかし
海老根 崇

NTT アクセスサービスシステム研究所
所長

はじめに

25年以上前から現在までを振り返ってみますと、NTT アクセスサービスシステム研究所 (AS 研) は FTTH (Fiber To The Home) サービスの推進に向けて、まだ世の中にないさまざまな光通信に関する技術の研究開発に邁進してきました⁽¹⁾。そして FTTH をはじめとする光通信は、携帯電話の普及とともに私たちの生活をより便利で快適にし、大きな変革をもたらしました⁽²⁾。通信は、つながることが当たり前となり、人々の生活に不可欠な社会インフラの1つとなりました。

そして NTT は 2019 年に IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を掲げ、その構想を実現するべく研究開発を進めています。NTT は新たな価値の創造とグローバルサステナ

ブル社会を支える企業をめざしており⁽³⁾、6G (第6世代移動通信システム) も見据えながら、AS 研一丸となって IOWN/6G の実現へ向けた研究開発を推進しています。

取り巻く環境の変化として重要な観点の1つが AI (人工知能) の急速な発展です。グローバルトレンドが目まぐるしく変化し、将来の予測が困難な時代において、地球のサステナビリティに向けた課題を解決するために AI の活用が大きく期待されています⁽⁴⁾。私たちの NW (Network) 運用に、どう AI を活用するのか「AI for NW」の研究開発を進めるとともに、AI をより効率的かつ効果的に活用できる NW はどうあるべきか「NW for AI」の研究開発を進めることも重要です。今後も AS 研において AI にかかわる研究開発を推進していきます。

また、日本に視点を移すと高度成長期に多くが建設されたインフラ設備の老朽化が

問題となっており⁽⁵⁾、私たちの通信設備も例外ではありません。さらに日本の高齢化と人口減少に伴う労働人口の減少が予測されており⁽²⁾、気候変動に伴う自然災害も増加しています⁽⁶⁾。そこで通信インフラに対する点検や維持・メンテナンスを徹底的に効率化するスマートインフラの研究開発も推進してきました。今後は通信インフラに対して蓄積してきた技術・ノウハウを他のインフラ設備に対しても展開していく取り組みを行い、社会インフラ全体のサステナビリティに貢献していきたいと考えています。そしてこの技術・ノウハウを世界に通用するものに育てていくことをめざしています。

そのような背景を踏まえ AS 研の研究開発方針は、図1に示すように「最先端のアクセスネットワーク技術の研究と実用化により新たな価値創造に挑戦しグローバルサステナブルな社会に貢献します

最先端のアクセスネットワーク技術の研究と実用化により新たな価値創造に挑戦し
グローバルサステナブルな社会に貢献します

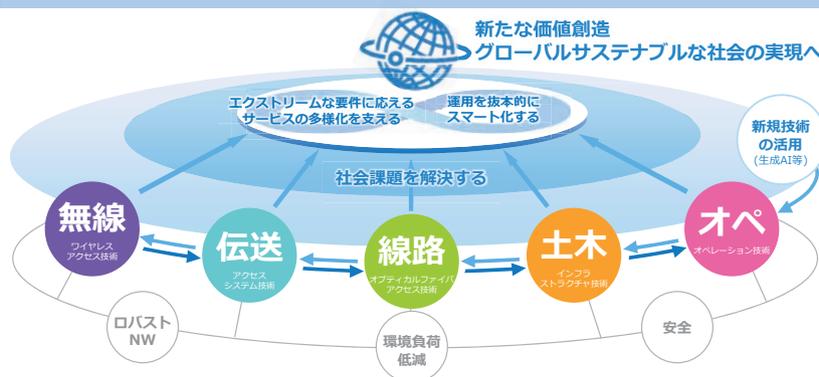


図1 NTT アクセスサービスシステム研究所の研究開発方針

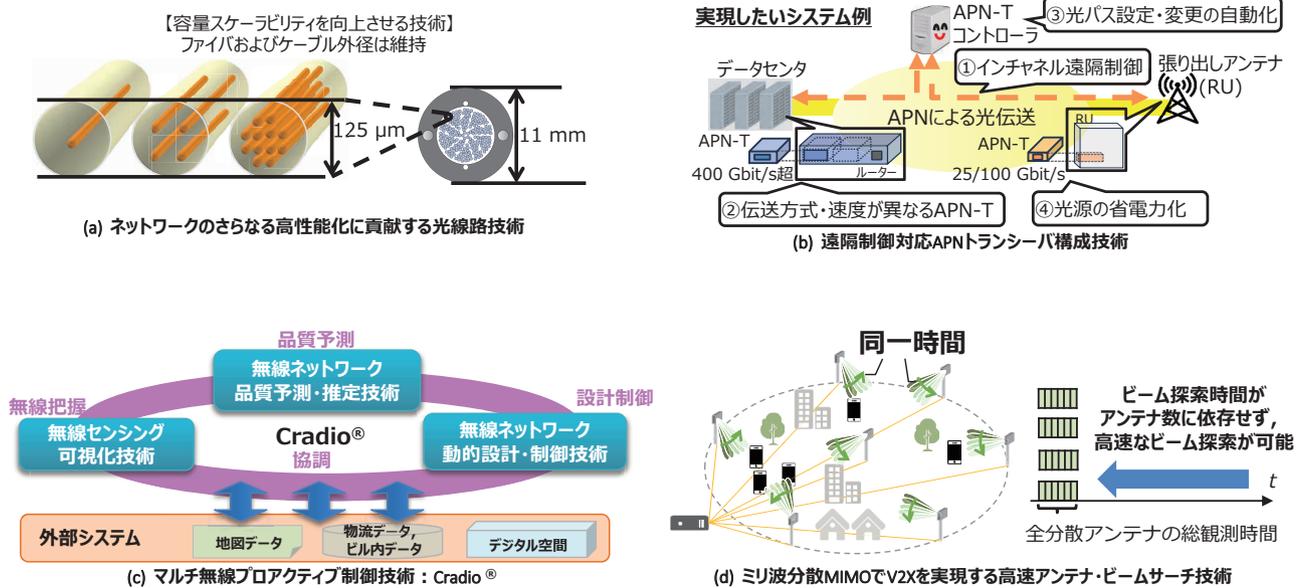


図2 サービスの高度化・多様化を支える技術

ステナブルな社会に貢献します」をミッションに掲げ、ロバストネットワーク、環境負荷低減、安全に関する取り組みを強化しながら、グローバルな視点と新規技術の活用を意識し、アクセスネットワークの5分野（線路、土木、伝送、オペレーション、無線）の最先端の要素技術の研究開発に取り組んでいます。

以降では、具体的な要素技術を、「サービスの高度化・多様化を支える技術」「運用を抜本的にスマート化する技術」「新ビジネス領域を開拓する技術」に分けて紹介します。

サービスの高度化・多様化を支える技術

図2は光および無線の高速大容量化・低遅延化に資する技術、サービスの多様化に資する技術を示しています。

図2(a)のネットワークのさらなる高性能化に貢献する光線路技術は、1本の光ファイバ内に複数のコアを持つマルチコア光ファイバケーブルを用いて超大容量伝送のパケット級の光線路を実現します。海底およ

び陸上ネットワークにおいて心線需要が飛躍的に増大している中、既存設備スペースにおける伝送容量の持続的な拡張が求められています。この技術では、既存光ファイバと同じ径である $125\ \mu\text{m}$ のクラッド径で互換性を維持しつつ、4倍以上の高い空間利用効率を実現します。さらにファイバ構造設計・製造工程を工夫することで、低損失で伝送できる波長範囲をO-bandまで拡大できることをめざします。これにより広い波長範囲の光を低損失に伝送できます。また、マルチコア光ファイバの一括増幅技術により環境負荷低減を実現します。

図2(b)の遠隔制御対応APN(All-Photonics Network)トランシーバ構成技術は、多様なサービスのオンデマンドかつ迅速な提供と効率的な運用保守を実現する技術です。特にデータセンタ間の低遅延な接続サービスや、Beyond5G(6G)時代における無線アクセスネットワークの構築において、お客さまの需要の変化に柔軟かつ迅速に対応することが求められます。この実現のため、お客さまの通信信号(主信号)のフォーマットやプロトコルに依存せず、主信号用光ファイバ内に重畳する監

視制御経路を形成し、遠隔に配置したコントローラからパス設定、開通、監視制御する方式と、その実装技術、省電力化技術の研究を進めています。本技術の研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)の助成事業(JPJ012368G50201)により得られたものです。

図2(c)のマルチ無線プロアクティブ制御技術Cradio®は無線ネットワークの状況の把握・予測、制御をすることで、無線通信を柔軟につなぎ続けます。通信断が許容されないアプリケーションの拡大に伴い、無線通信のさらなる高品質化が期待されています。Cradio®は事業現場での実証実験をおした需要に即した技術の高度化を進めており、高速大容量化・低遅延化・カバレレッジホール解消などの多様な要求・要件が混在するユースケースに対応するため、予測・把握・制御技術の対象範囲の拡大に取り組んでいます。自動運転やスマートシティ、スマートファクトリーなど先進的なユースケース実現を複数無線アクセスの高度な組合せで支えることをめざしています。また、6G時代の先取りとなる無線センシング技術を活用し、セキュリティ支援やサイバー

空間融合への適用、センシングデータや環境変化追従による無線機器制御の高度化も視野に研究開発に取り組んでいます。

図2(d)のミリ波分散MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) でV2X (Vehicle to Everything)*¹を実現する高速アンテナ・ビームサーチ技術は、高速移動・遮蔽環境でもミリ波通信を安定的に提供するために必要となる技術です。6Gの大容量通信に向けては、ミリ波等の高周波数帯の有効利用を実現可能な分散MIMOが有望視されています。しかし自動車等の高速移動体へ分散MIMOを用いたミリ波通信の実現には、その高速な移動に追従するため、高速にアンテナ・ビームを選択する必要があります。従来手法では分散アンテナ間で干渉しないようにビームサーチのタイミングをアンテナで変えるため、アンテナ数が増大するとビームサーチ時間が増加する課題があります。本技術ではOFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)*²の

* 1 V2X：車とさまざまなモノ（車と車、車とインフラなど）の間での通信のこと。
 * 2 OFDM：直行周波数分割多重方式、デジタル変調方式の一種。

特長を活かして干渉を抑えることで、全分散アンテナの同時ビームサーチを可能とします。これにより、高速移動・遮蔽環境でもミリ波通信を安定的に提供することができます。

運用を抜本的にスマート化する技術

図3は保守運用のスマート化に資する技術を示しています。

図3(a)の遠隔光ノード技術は、ネットワークの故障が発生した際に、遠隔からの故障切り分け自動化によって故障時の作業員無派遣化と、早期復旧へ貢献する技術です。線路や装置の突発故障や自然災害の罹災が生じた場合、NW故障要因の早期特定と早期復旧が必要となります。従来は、線路・装置の故障切り分けに現地へ作業員派遣が必要となり、故障要因の特定・復旧に時間や稼働が発生していました。この技術では、通信光の一部を抽出器により抽出し、その信号パワーを遠隔から計測することで、故障箇所の切り分けを実現します。さらに多心の光信号のパワーをイメージセンサの活用により、一括でリアルタイムに計測することで測定時間を短縮することができます。

図3(b)の画像を用いた社会インフラ設備の劣化予測技術は、AI活用により、現行の点検の効率化・スキルレス化にとどまらず設備の維持管理を高度化し、インフラ保守の稼働削減・スキルレス化・点検品質の均一化を実現します。社会インフラの維持管理において設備の老朽化、専門技術者の不足、保全費の増加等の社会課題の解決が急務となっています。私たちは将来の腐食進行を予測した画像を生成できるAIモデルを構築し、車載カメラやドローン等での一括撮影とAI検査による、インフラ設備の劣化診断、劣化予測技術を確認しました。診断・予測技術により点検・補修の時期・方法を最適化し、保全コストを大幅に削減することが可能です。

図3(c)のAI活用によるNWデータ補正と自律的故障分析は、複雑なNWにおける故障事象への対応迅速化・ゼロタッチ化を実現します。大規模NWの故障対処には大量データの解析が必要ですが、AIサービスだけを利用した解析では、必ずしも正しい対処手順が生成されない課題がありました。本技術では、過去の対処手順に基づき対処内容を単純な対処に細分化し、生成AIに正しい対処手順を生成させることで、

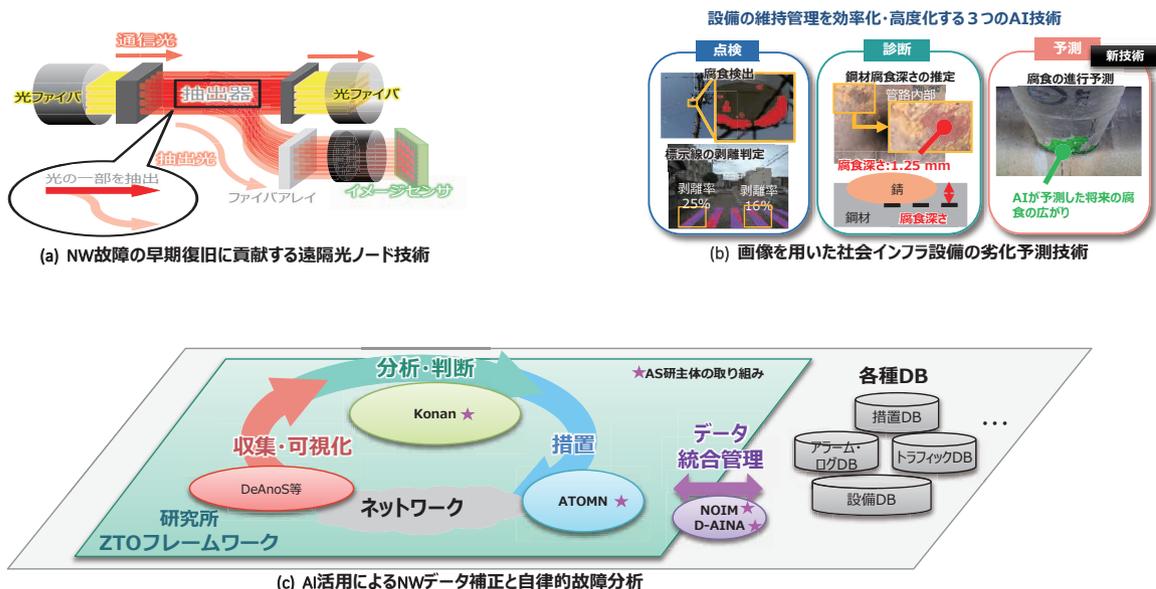


図3 運用を抜本的にスマート化する技術

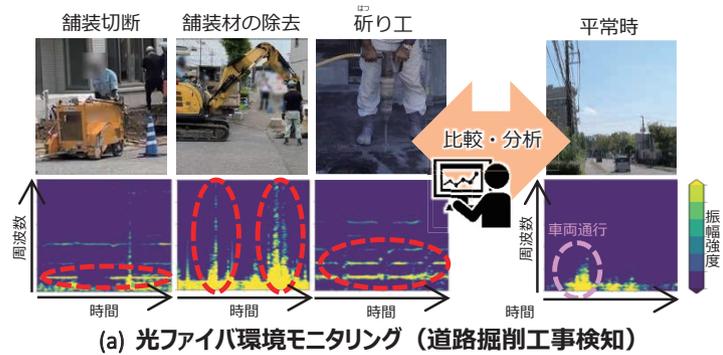
精度の高い対処手順を提示し、故障対応の迅速化・対処の自律化を実現します。また分散管理されたデータ群に対し、NWのつながり情報を活用し、対応付けの精度を向上させるデータ不整合検出・補正AIも活用し、統合管理された高精度のNW情報に基づいたNW保守におけるAI活用を推進しています。

新ビジネス領域を開拓する技術

図4は新ビジネス領域を開拓する技術を示しています。

図4(a)の光ファイバ環境モニタリングは、道路掘削工事の初期工程を迅速・高精度に検知するデータ解析技術です。近年、無届での道路掘削工事が増加傾向にあり、監視稼働やインフラ損傷リスクが増大しています。本技術では、既設光ファイバから収集した環境振動データを解析することにより、平常時と工事時の振動データを比較し、無届の道路掘削を常時自動で検知することができます。また車両や大型施設などによる環境ノイズへの耐性が強いアルゴリズムにより、誤検知を抑制しています。無届工事の自動検知による社会インフラ全体の監視稼働削減および設備損傷事故の防止に貢献すべく、実フィールドでトライアルを実施中です。

図4(b)のインフラ4Dマッピング技術は、曖昧だった点検・撮影位置の高精度化並びに点検画像から点検設備の位置座標を高精度に算出する技術です。ドラレコ（ドライブレコーダ）を活用した点検では、GPS（Global Positioning System）による位置情報の曖昧さから点検画像と設備の紐付けを人が行う必要があり、保守人員減少に伴う稼働増大が課題でした。本技術で点検画像と設備の紐付けを人が行う必要がなくなり、点検の自動化・効率化が図れます。さらに、設備位置ごとに時系列で点検データを蓄積することで、修理・更改計画を最適化することができ、社会インフラ全体の点検稼働を削減できます。



(a) 光ファイバ環境モニタリング（道路掘削工事検知）



(b) インフラ4Dマッピング技術

図4 新ビジネス領域を開拓する技術

おわりに

本稿では、最先端のアクセスネットワーク技術の研究と実用化による新たな価値創造とグローバルサステナビリティの実現に向けて、アクセスネットワークの研究開発の方向性と研究開発における主な技術を示しました。今後もIOWN/6Gをはじめとする研究開発に挑戦し続け、実用化に向けた加速を進めていきます。

参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/as/history/>
- (2) <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/pdf/index.html>
- (3) <https://group.ntt.jp/ir/mgt/managementstrategy/>
- (4) <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/pdf/index.html>
- (5) https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html
- (6) <https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/index.html>



海老根 崇

NTTアクセスサービスシステム研究所は、最先端のアクセスネットワーク技術の研究と実用化により新たな価値創造に挑戦し、グローバルサステナブルな社会に貢献します。本稿ではその最新技術を紹介します。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
企画担当



IOWN 誕生から 5 年 さらにその先へ

IOWN 構想の発表から 5 年、オールフォトニクス・ネットワーク (APN) は商用化され、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 光コンピューティングは大阪・関西万博において公開されるまでになりました。本稿では、これまでの進捗を振り返るとともに、次なる展開に向けた新たな価値創出や技術の進化について紹介します。なお、本記事は、2025年5月15～16日に開催された「つくばフォーラム2025」における、NTT 代表取締役副社長川添雄彦の基調講演を基に構成しています。

キーワード：#IOWN, #光電融合, #量子技術

かわぞえ かつひこ
川添 雄彦

NTT 代表取締役副社長*

IOWN 誕生の背景——光の可能性

ツキミソウの花は、人には可憐な花卉が、ミツバチには蜜腺が印象的に映ります。それぞれの生物が固有の感覚で世界をとらえる「環世界 (Umwelt)」という概念は、現代社会が抱える課題への重要な示唆を与えます。価値観の違いというものをもっと知って、私たちの社会の中で活用していくべきではないか——このことを IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の当初からお伝えしてきました。5 年を振り返ってみると、実はこの視点こそが IOWN の本質だったと感じています (図 1)。

インターネットの登場は、製品やサービスの「質」を磨く競争から、とにかく「数」を集める拡大戦略へと世界を転換させました。TCP/IP という単一のプロトコルを採用し、どれだけ多くの端末とユーザをつなげるかが勝敗を分ける世界です。しかし、すべてを同じ物差しで測り続ける段階はすでに終わりつつあります。これからは互いの価値を認め合い、その多様な価値を取り入れていくことが、Well-being な社会をかたちづくる鍵だと考えています。つまり、「質」でも「数」でもなく、多様な価値そのものを軸にした「価値の論理」への転換が求められているのです。

こうした価値の実装を支えるには、莫大なデータ処理と計算能力が必要となります。生成 AI (人工知能) の急速な発展は、それ

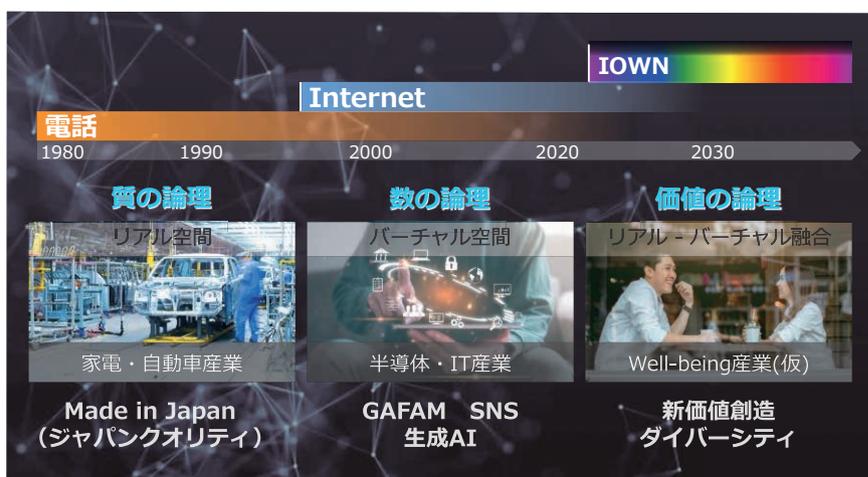


図 1 IOWN 誕生の背景

に伴う電力消費の増加という新たな課題も突き付けています。イノベーションとサステナビリティを両立させるための技術基盤として、2019年に光を中核とした IOWN 構想を提案しました。

電気信号は伝送距離や周波数の増加に伴い電力を多く消費しますが、光信号はその影響をほとんど受けません。NTT は過去 40 年にわたり、光ファイバによって 100 万倍の伝送容量を実現してきました。それでもなお増加する需要に対応するため、伝送だけでなくデータ処理の領域まで光を導入する取り組みが進められています。NTT グループでは、2019年に 1.6 フェムトジュール/bit、従来の約 100 分の 1 の電力で動作するトランジスタを実現できました。これこそが IOWN の起源です。

また、データ処理の光化に向けた取り組みとして、メンブレン (薄膜) で光の半導体をつくる技術の確立にも成功しました。

これは従来の積層構造ではなく、横方向に薄膜を形成する手法であり、より効率的に光の経路を確保できるため、さらなる消費電力削減につながります。こうした光電融合技術に関連して、NTT は世界で約 50 件の特許を取得しています。この技術の確立も IOWN 構想をスタートさせるきっかけとなりました。

5 年間の歩み——構想から実証へ

IOWN は、「オールフォトニクス・ネットワーク (APN)」「デジタルツインコンピューティング (DTC)」「光電融合デバイス」をはじめとする複数の技術領域によって構成されています。DTC は AI を駆動する仕組みの 1 つであり、APN を中心に新しいネットワークを構築し、さらに光電融合技術により光の活用をネットワークからコンピュータの中へと拡張する取り組みが

*現 NTT チーフエグゼクティブフェロー

進められています。その中で、電力効率100倍、伝送容量125倍、エンドエンド遅延200分の1の目標を掲げ、IOWNがめざす未来像を技術として具体化しています。

これを支えるデバイス開発も着実に進んでいます。まずはデータセンタ間を接続する光のモジュールを2020年に完成させ、すでに導入が始まっています。ボード間を接続するデバイスも第一弾の開発を終え、大阪・関西万博で実際に使用されています。さらにチップ間、そして最終的にはチップ内部にまで光の導波路を構築し、従来の電気接続を置き換えることで、電力消費を100分の1に抑える技術を実現していこう

と考えています(図2)。

■ APN：オール光のネットワーク

現在のインターネットでも光ファイバは活用されていますが、その上を流れている通信はすべてTCP/IPという単一のプロトコルによって制御されています。本来、光には複数の波長を使い分けるといった高いポテンシャルがあり、用途ごとに異なる波長を割り当てることも技術的には可能です。NTTグループでも、地上波放送の映像をそのまま届けるサービスが提供されていますが、IOWNでもこうした光の持つ多様な可能性をさらに広げていきたいと考えています。

現状では、光ファイバを通じた通信の途中でルータを通す必要があり、そこでどうしても遅延が発生してしまいます。IOWNでは、こうした課題に対してエンド・ツー・エンドで直接光を接続する構成を可能にすることで、遅延時間が問題となるようなサービスにも十分対応できるネットワークを実現しています。

2023年3月には、IOWNの商用サービスの第一弾として、NTT東日本・西日本によりAPN IOWN 1.0の提供が開始されました(図3)。2024年3月にはNTTコミュニケーションズによる都道府県間接続サービス、2024年11月には世界最速のユーザ間APN接続であるAll-Photonics Connect by IOWNが提供されています。

国際間接続としては、2024年8月に日台間約3000 kmがわずか17 msの超低遅延で接続されました。この回線は大阪・関西万博でも活躍しています。さらにインドムンバイではAPNのデータセンタ間接続の商用導入も実現しました。データセンタ間をAPNでつなぐことで、金融やFinTechなど継続性が必要なユースケースにも対応が可能となります。

医療や放送など複数の分野で、IOWN APNの応用が進められています。例えば、オリンパス様と連携したクラウド内視鏡解析では、内視鏡映像をAPN経由でクラウドに集約し、高精度な解析処理を実現しました。TBS様やNHK様など複数の放送事業者と行ったリモートプロダクションの実証では、従来スタジオなどに設置していた大量の中継機材や人員を削減し、スタジオのカメラから直接放送局へ映像を送信することで、コストの大幅削減を可能としました。すでに複数の放送事業者から高い関心と賛同を得ています。さらに、メディカロイド様と進めている遠隔手術ロボット「HINOTORI」の制御実証では、実際の病院間を接続し、APNのジッタの少なさと安定性が高く評価されました。これらの取り組みは、IOWN APNの特性が実環境で



図2 5年の歩み



図3 国内APN接続商用サービス

も高い効果を発揮することを示しており、今後さらに多様なユースケースへの展開が期待されています。

■DCI：地理的制約を超えたICT基盤

2つのGPU (Graphics Processing Unit) 基盤をAPNで接続し、地理的に離れた環境でありながら、あたかも同一ロケーションで学習が行われているかのように処理できるかを検証しました。その結果、ほとんどロスなく学習が可能であることが確認され、IOWNの低遅延性を活用した代表的な成果の1つとなりました。

このときはGPUとGPU間の接続でしたが、今後はメモリとGPU、さらにはメモリどうしといった構成においても、離れた場所にあるリソースをあたかも1つのコンピュータのように見せることが可能になると考えています。その実現には、遅延時間を考慮して動作する新しいOSの設計・実装など、さらなる技術開発が必要です。これらの課題を1つひとつ解決することで、地理的制約を超えたICT基盤の構築をめざしていきます。

また、総務省・経産省の連携によりワットビット連携の議論が始まっています(図4)。エネルギーを中央に運ぶのではなく、データセンタを地方につくりそこで地産地消のエネルギーを使い、作り出した情報を伝送するという考えです。議論の前提としてIOWNの存在があったと考えています。

■次期APN：光経路を自在に制御

現行のAPNは、主に固定的なポイント・ツー・ポイント接続を前提としています。次期APNでは、任意の場所から必要なときだけタイムリーに光の経路を張り替えるネットワークが構想されています(図5)。Photonic Gatewayによりプラグアンドプレイ接続を実現し、Photonic Exchangeにより波長変換を行い、それらをAPNコントローラが統合制御することで、光のパスをもっとも効率的に活用できる仕組みを実現していきます。



図4 ワットビット連携

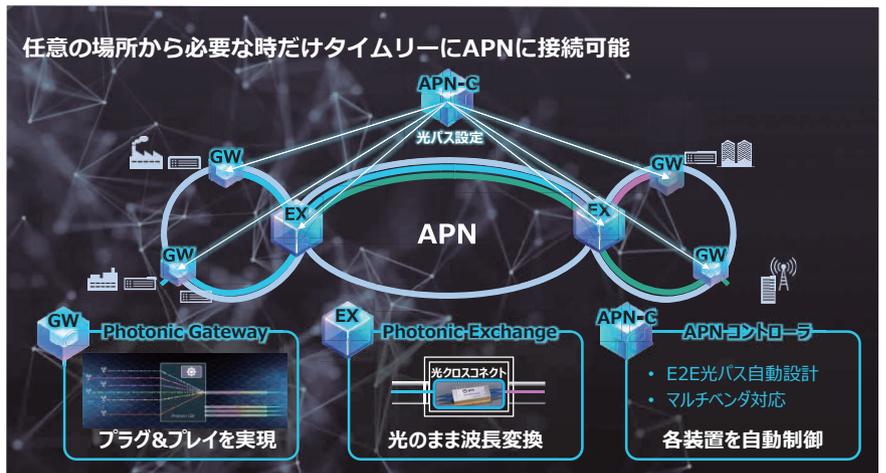


図5 次期APN

■大阪・関西万博：IOWNが活躍

2025年の大阪・関西万博では、IOWNの技術が一般来場者にも体験できるかたちで実証されています。1万人の第九、超歌舞伎、遠隔農機操縦体験、神戸ストークス未来型ライブビューイング、リモートプロダクション、One World, One Planet, ふれあう伝話、自動運転バス支援、Remotouch, newme遠隔接客など多様な演出が展開されています。また、来場者の表情を分析して空間演出に反映するIOWN光コンピューティングによる建築

インタフェースも取り入れられています。

■標準化とエコシステム形成

IOWN Global Forumには、設立から5年で160を超える企業や機関が参加しています。また、ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) との連携を通じた国際標準化も進められており、デファクトとデジュールの両面から技術の共通基盤を整備しています。今後は、Forum参加団体に限らず、より広範な連携と共創を通じて、IOWNをより広く標準として展



図6 光が実現するデジタル超越

開していくことが期待されています。

さらにその先へ——デジタル超越

IOWNの本質は、単なる性能向上だけではなく、既存の常識を超えた新たな価値の創出にあります。IOWNだからできる新しい価値とは何か。それがデジタル超越です(図6)。デジタル化は非常に重要ですが、今のデジタル化は、人間が中心で、人間生活が一番効率化するようにデジタル技術を活用していくという流れに従っています。地球上の真理真実は人間の中だけでなく、宇宙や地球上にあるとすれば、私たちが便利になるために使ってきたデジタル技術を超える営みが必要ではないか。これを担えるのがIOWNのアドバンテージであると考えています。

■高精度クロック伝送

かつてNTTは、全国に設置された交換機を同期させるために64kDCS (Digital Clock Supply) と呼ばれるクロックをネットワーク上で伝送していました。しかし、インターネットの時代になると、各機器が自律的にクロックを保持する方式へと移行し、クロックの伝送は行われなくなりました。

しかし今後、さまざまなシステムが精密に同期し、人間にはとらえきれない現象を

コンピュータが理解・制御するような世界を実現していくには、これまで以上に高精度なクロックの存在が重要になります。光には、こうしたクロックを極めて高精度に伝送できるポテンシャルがあります。例えば、光格子時計は 10^{-18} 秒台という非常に精密な時刻を提供することができ、IOWNの技術を用いれば、そうしたクロックを遠隔地までそのまま光で届け、活用することが可能になるかもしれません。

このような高精度クロックの伝送が実現すれば、重力波観測や分散量子計算など、極限的な精度を要求される最先端の応用分野においても、IOWNが中核的な役割を果たすことができると考えています。

■量子通信

情報そのものを光子のもつれとして伝えることで、盗聴耐性を飛躍的に高め、鍵配送が不要となります。オール光のIOWNによって、情報を量子もつれとして運ぶことができるという世界の到来を想像して準備をすることが必要と考えています。

■光量子コンピューティング

かつて量子コンピュータの実現は2050年ごろと予測されていましたが、現在ではその時期が大きく前倒しされ、2030～2040年の実現も視野に入ってきました。そうした中で、東京大学の古澤明教授とNTTが共

同で取り組んでいるのが光量子コンピュータです。超伝導方式が大規模な冷却装置を必要とするのに対し、光子を利用したこの方式は常温での動作が可能であり、省電力性にも優れています。この特性により、電力という観点からもAI時代の計算基盤における新たな選択肢となる可能性を秘めています。現在のGPU中心のAI計算モデルが、意外なほど早く光量子コンピュータへと移行する未来が見えてきたともいえるでしょう。こうした将来を見据え、IOWNはその計算基盤だけでなく、量子コンピュータどうしをつなぐ通信ネットワークの構築についても取り組んでいきたいと考えています。

結びにかえて

構想から5年、IOWNは本格的な社会実装のフェーズを迎えました。APN IOWN 1.0の提供を皮切りに、多様な実証と共創の取り組みが進み、世界中のパートナーと共に新たな価値の実装に挑んでいます。互いの価値を尊重し理解し合える社会を築くために、光が果たす役割は今後ますます大きくなります。さらに多くの方々と連携してさまざまなかたちのビジネスを展開していきたいと考えています。



川添 雄彦

今後もさらなる拡大に向けて、より多くの方々と連携しビジネスを展開していきます。NTTグループおよびIOWNへのご支援ご指導を引き続きよろしく申し上げます。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
企画担当



つなごう。驚きを。幸せを。 ~6G時代のWell-beingな社会の実現に向けて~

NTTドコモグループのブランドスローガン「つなごう。驚きを。幸せを。」には、私たちの使命である「つなぐ」に真摯に向き合い、「驚きと幸せ」に満ちた価値を社会へ提供するという想いが込められており、その中にはドコモR&Dの6G（第6世代移動通信システム）時代を見据えた取り組みも詰まっています。テクノロジーだけでなく“人間力”も活かしながら、さまざまなステークホルダと共に、「つなぐ」価値を日本から世界へと広げていきたいと考えています。ここでは、AI（人工知能）やビッグデータの活用、6Gの取り組み、2026年に商用化を予定しているHAPS（High Altitude Platform Station）をはじめとするNTN（非地上系ネットワーク）、そしてAIを活用したネットワークの高度化などについて紹介します。なお、本記事は、「つくばフォーラム2025」での基調講演の内容をダイジェストにしたものです。

キーワード：#6G, #HAPS, #AI-Centric Network

さとう たかあき

佐藤 隆明

NTTドコモ 代表取締役副社長

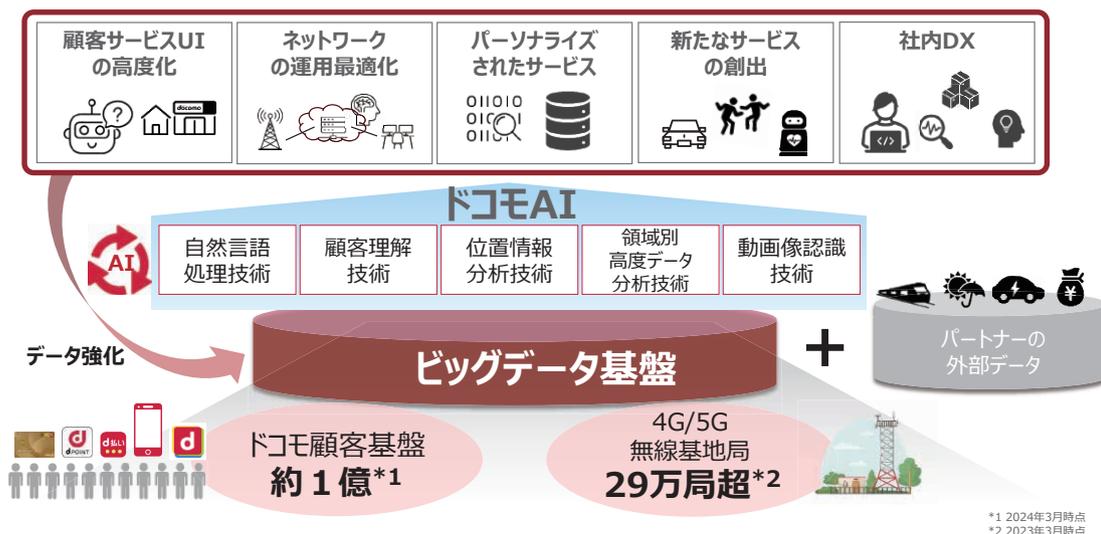
ドコモR&Dの取り組み

NTTドコモグループが掲げる「つなごう。驚きを。幸せを。」には、「つなぐ」を価値創造の源泉として、それぞれの事業の強みをつなぎ、掛け合わせることで、パートナーの皆様と共に新しい価値を生み出し、そこから生まれる嬉しい「驚き」と「幸せ」にあふれた社会を実現していくという想いが込められています。テクノロジーだけでなく“人間力”も活かしながら、さまざまなステークホルダと共に、「つなぐ」価値を、

日本から世界へと広げていきたいと考えています。

ドコモR&Dは、2030年以降の6G（第6世代移動通信システム）時代を見据え、“Well-beingな社会の実現”を中期ビジョンに掲げて、さまざまな研究開発に取り組んでいます。その実現に向け、モバイル通信だけでなく、AI（人工知能）やビッグデータを活かしたプラットフォームやサービスの開発をしており、個人や法人向けのソリューション、加えて社内のデジタルトランスフォーメーション（DX）を推進して

います。顧客会員基盤、ネットワークおよび各サービスの運用データを利用したビッグデータ基盤を構築し、これらにより質の高いデータを収集し、時にはパートナー企業のデータを結びつけ、AI技術を活用することで、顧客サービスUI（User Interface）の高度化、ネットワーク運用の最適化や効率化、よりパーソナライズされたサービスの提供、今までなかった新たなサービスの創出、社内のDX推進などに役立てています（図1）。さらには新しいサービスから生まれたデータをさらに基盤に戻していく



*1 2024年3月時点
*2 2023年3月時点

図1 AIとビッグデータ分析による新たな価値創造



図2 ドコモのAI・ビッグデータ活用の取り組み

ことで、さらなる価値創出に活用できるようになり、価値創出の循環サイクルを強化することが可能になります。この“データとAIの好循環”が、重要であると考えています。

また、6Gは2030年ごろの商用化をめざして、世界中で研究開発が進められています。NTTドコモでは、6Gで実現すべき価値を5つの柱として定義し、これらを基に、国際標準化活動やグローバルパートナーとの共同実証実験を通じて開発を進めています。特に重視しているポイントは、サステナビリティを支える省電力化技術、シンプルで費用対効果の高いシステム構築、収益を生むネットワークサービスの創出です。また、NTN（非地上系ネットワーク）^{*1}などを活用することで、地上にとどまらない「どこでもつながる通信インフラ」の実現もめざしています。さらに、AIやロボットの能力を最大限に引き出せるようなネットワークの実現に向けた取り組みも推進しています。そして、これらすべての価値において不可欠なのが、「AI for Network（ネットワークのためのAI）」です。

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想は、革新的な光電融合技術を用いて、人それぞれが自分ら

しく生きられる Well-being な社会を実現するという構想です。この構想の中で、NTTドコモは技術と価値の社会実装に注力しています。NTT研究所と連携しながら、NTTドコモの強みである移動通信とサービス開発力、そしてNTTドコモグループ全体の実装力を活かして、IOWN構想の実現に取り組んでいます。

AIとビッグデータ活用による新たな価値創造

ドコモR&Dは、多様なAI技術を開発しており、主なAI関連技術には自然言語処理技術、顧客理解技術、位置情報分析技術、領域別の高度なデータ分析技術、動画画像認識技術があります。ここでは、2つの適用技術と、AIとビッグデータを活用した広告・宣伝、デジタルマーケティング・CX、自治体・建設DXの3つの分野における取り組みを紹介します（図2）。

1番目の適用技術である、LLM（大規模言語モデル）^{*2}付加価値基盤は、社内業務のDXにおいて、tsuzumiやChatGPT、GeminiなどさまざまなLLMを共通の機能で一元的にサポートします。この基盤では、RAG（Retrieval-Augmented

Generation）やAI倫理のチェック、セキュリティ機能などが統合されており、NTTドコモの社員に広く利用されています。

2番目の適用技術である、顧客理解エンジン「docomo Sense」（興味関心推定）は、位置や購買履歴など多様なビッグデータをAIで解析し、顧客の潜在ニーズを高精度で抽出します。例えばクライアント企業の店舗近辺に滞在しているユーザー群を位置情報から特定し、顧客の行動や購買傾向などの特徴を多面的に分析したり、店舗に来訪しそうな潜在層を推定して広告配信し、その効果を分析・評価することができます。また、プライバシーを保護しつつ、データクリーニング室を使用してより高度な分析や広告配信を行うことが可能です。安心・安全な環境下で、NTTドコモが保有する位置や購買履歴など多様なビッグデータをカスタマイズした、ドコモデータを活用し、

*1 NTN：衛星やHAPSなどの非地上系媒体を利用して、通信エリアが地上に限定されず、空・海・宇宙などのあらゆる場所に通信エリアが拡張されたネットワークのこと。

*2 LLM：大量のテキストデータに基づいて機械学習により訓練された大規模な人工知能モデルのこと。ここでは特に、文脈を理解して人間らしい自然な文章を生成する能力を持つモデルを指します。

データドリブンなマーケティングを推進できるのが「docomo Sense」の強みです。

続いて、3つの事業適用ユースケースを具体的に紹介します。まず、広告・宣伝事業では、dポイントクラブの会員データを基にしたセグメント化された広告用プロフィールデータの利用が進められており、消費者のライフスタイルを高精度で捕捉し、効率的なマーケティング施策が実現されています。具体的な活用事例として、アウディ・ジャパン様のEV（電気自動車）に関するプロモーションがあり、ここでは来店率が125%になり、アウディ・ジャパン様からも「これまでになかった成果」と高く評価されています⁽¹⁾。

デジタルマーケティング・CX事業では、リアルデータとLLMを組み合わせて仮想顧客を生成し、これまでのようにリアルな顧客にマーケット調査することなく、仮想顧客へのヒアリングを通じて未来の行動を予測するシミュレーション技術の開発と実証を進めています。実際に、無人店舗等での顧客行動に関する実証実験が行われ、従来の方法よりも高い販売率が確認されています。将来的には、テキストシミュレーションに加え、小売りの商品陳列の見えやすさなど、物理空間での顧客行動もデジタル化した売り上げ向上シミュレーションに拡張していく予定です。

自治体・建設DX事業では、「Mobiscan」は大量の映像データを効率的に管理するプラットフォームであり、AIによる道路工事検知ソリューションとして、岡山ガス様に導入されました。このソリューションは、従来の車両による巡回パトロールに代わるもので、保全業務の人手不足解消や巡回車両の維持費削減に貢献します。

これらの事例を通じて、新たなデータがビッグデータ基盤にフィードバックされることで、さらなる価値創出が期待されています。NTTドコモは、これらのAI・ビッグデータ技術を駆使して、より効率的かつ効果的なサービス提供をめざしています。

6Gの展望

6Gに関する国際標準化活動は2024年末から本格化しており、2025年後半から技術検討が開始され、2027年には初期仕様策定の検討が行われる予定です。この過程で、3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release-21の仕様が作成開始され、2029年前半の完成をめざしています。またNTTドコモは、早ければ2030年には商用化を始めたいと考えています。NTTドコモはすでに屋内外で実証実験を複数のパートナーと共に始めており、標準化活動やホワイトペーパー作成にも注力しています。NTTドコモでは、商用化に向けて、6Gの5つの価値を掲げています(図3)。

まず、Sustainability (サステナビリティ) について、カーボンニュートラルを達成するために、IOWNの光電融合技術やAIを活用したネットワーク制御などを活用し、総合的な低消費電力化を追求しています。

次に、Efficiency (効率性) の向上をめざし、システムのシンプル化やAIの適用によって、ネットワーク設計や効率性を飛躍的に高める方向で検討を進めます。高速移動体、特に自動車や列車向けの無線通信では、自動運転の進化に伴い、さらなる高速・大容量化が求められています。これを実現するためには、ミリ波などの高周波数帯無線通信が不可欠です。ただ、高周波数帯は直進性が強いので、車両の走行による

位置変化や他車両による電波遮蔽が発生することから、安定通信の確保が課題となります。この実現に向けたNTT研究所とNECによる高周波数帯分散MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 技術の実証実験では、高周波数帯無線でも連続接続を可能にする“分散アンテナ同時ビームサーチ技術”の実証が行われました。複数の分散アンテナが同時に同じ周波数を用いる際の干渉を抑え、多数アンテナのビーム切り替えが迅速に対応できることを確認しました。

Customer Experience (顧客体験) の向上に関しては、5G (第5世代移動通信システム) では実現できなかったユースケースを追求し、五感による新たなコミュニケーションの導入をめざしています。特にNTTドコモが開発したFEEL TECHは、映像や音声、文字などでは伝えられない感覚(力覚、触覚、味覚など)をデジタルコンテンツとして共有できる技術で、この感覚を通じたスキル伝承を実現しようと、パートナー企業との協業を進めています。これは大阪・関西万博の複数の会場内で、体験が可能となっています。

また、NTTドコモはTOPPAN様と共同で、メタバースアプリ「メタパ」とFEEL TECHの連携企画を発表し、教育や技能伝承、ネットショッピングの分野で新たな体験を提供するコンテンツを開発する計画を打ち出しています。

2030年ごろでの6Gの価値実現に向け、主要技術の標準化・実証実験を推進

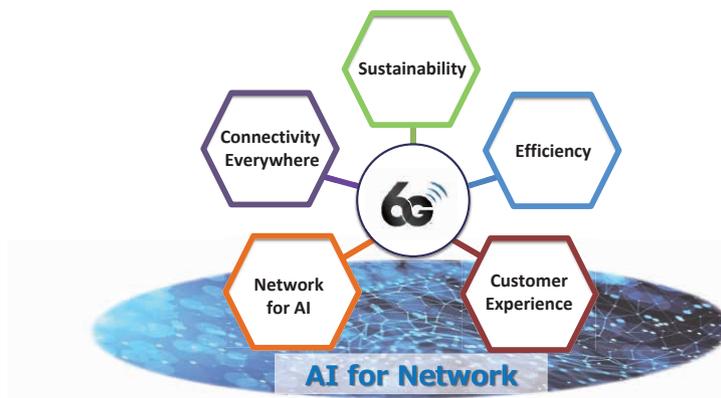


図3 6Gの取り組み

Network for AIは、AIのためのネットワークであり、その取り組みの一環として、6G時代に向けて、ロボットやAIが私たちの日常の一部として共存する未来社会を見据えています。この目標に向けて、AIやロボットの能力を最大限引き出すネットワークサービスの要件を検討しています。2024年、AIやロボティクス分野のエキスパートと共に「6G Harmonized Intelligenceプロジェクト」を立ち上げ、203X年に向けた創造的なアイデアやユースケースを模索しています。Network for AIに関連する技術の1つが、In-Network Computing技術です。この技術は、ネットワーク内のプロセッサへの情報処理のオフロードを実現し、端末側の負荷を軽減します。これにより、省エネルギーが期待でき、国際標準化の場でも多くの企業から提案が上がっています。

Connectivity Everywhereでは、スマートフォンやIoT (Internet of Things) 端末が日本全国どこでも接続可能になることをめざし、衛星通信やHAPS (High Altitude Platform Station)^{*3}などNTNの進展を追求しています。これにより、ネットワークの信頼性向上と、地上ネットワークで電波が届かないエリアでもスマートフォンやIoT端末が直接通信できる環境を整備していきます。

総じて、NTTドコモは6Gに向けた多角的なアプローチを進め、顧客体験の向上、効率的な通信システムの構築、環境への配慮を兼ね備えた未来の通信インフラの実現をめざしています。

NTN技術 HAPS

NTTグループの宇宙ビジネスの統一ブランド「NTT C89」は、「未来に、新しい星座を。」というキーワードのもと、各社の宇宙事業を連携させ日本の宇宙産業の未

来に貢献しようとしています。NTTドコモの宇宙事業の取り組みについて説明します。

日本の地上系ネットワークは99.9%以上の人口カバー率に達していますが、山岳地帯や離島では通信が届かない「圏外」が存在します。この問題を解決するため、衛星通信を含むNTNの導入が注目されています。これにより、地上ネットワークが届かないエリアにも通信サービスを提供し、災害時の通信確保や遠隔地での生活やビジネスでの利便性向上が期待されます。

NTTドコモグループは、静止軌道衛星(GEO)、低軌道衛星(LEO)、HAPSを含む「マルチレイヤーネットワーク構想」を推進しています。これにより、さまざまなサービス特性を活かしながら、ディザスタリカバリも考慮し、「いつでも、どこでもつながる」世界の実現をめざしています。GEOの「ワイドスター」衛星電話サービスや、LEOの「Starlink Business」を提供しつつ、HAPSの商用化もめざしています。

HAPSは、高度20 kmの成層圏に無人航空機を滞在させ、通信やリモートセンシングを提供します。このシステムは、高速かつ低遅延の通信が実現可能で、臨時のエリアカバーや次世代通信の早期展開にも最適です(図4)。HAPSの主な特長としては、スマホとの直接高速通信、サービス柔軟性、高い可搬性、環境に優しいことが挙げられ

ます。特に、100%太陽光発電で運用される無人機により、低環境負荷で持続可能な通信手段を実現します。

2025年初頭にはケニアでの通信試験が成功し、通信速度4.46 Mbit/sが計測されました。この試験ではHAPSが13日間にわたり滞空しました。今後も日本での商用化をめざし、さらなる試験を行う計画です。通信機能だけでなく、カメラやレーダーなど多様なペイロードを搭載できることで、さまざまなユースケースが考えられています。災害時の通信、離島や海上でのサービス提供、さらには上空からの高精細観測など、多様な応用が期待されています。また、IoTシステムとの連携による広範囲でのリアルタイムセンシング機能の実現にも取り組んでいます。現在、ドコモは「能登HAPSパートナープログラム」を開始し、地震や豪雨で被害を受けた能登をフィールドとして、HAPSの特性を活かしたソリューションを共創する取り組みを行っています。このプログラムは自治体、企業、大学などの参加を募集しており、通信の強靱化や産業振興に寄与することを目的としています。

以上のように、NTTグループは宇宙ビジネスを進展させるため、HAPSを用いたさまざまな取り組みを行い、日本の通信環境の向上と安全性の確保をめざしています。プログラムに参加いただける方と新たなビジネスチャンスと一緒に模索していきたいと考えています。

HAPS

High Altitude Platform Station

無人航空機等を利用し、偏西風や大気の大気対流の影響が少ない成層圏の中間域に滞空させ、通信やリモートセンシングサービスを提供

- スマホ直接高速通信
- サービス柔軟性
- 高い可搬性
- 環境に優しい

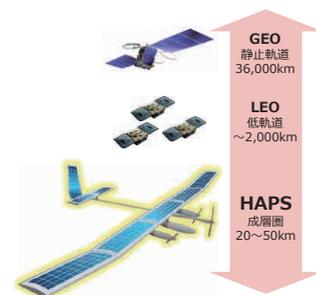
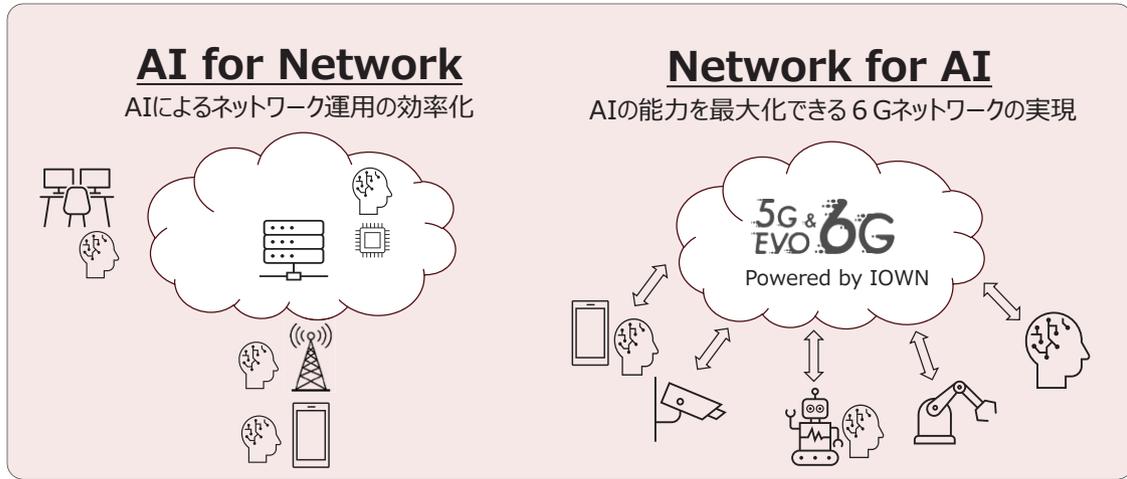


図4 空飛ぶ基地局HAPSの可能性

*3 HAPS：ソーラープレーン型の航空機や飛行船などを利用して、成層圏環境での運用が想定される空中プラットフォームです。



※「5G EVO & 6G」ロゴは、株式会社NTTドコモの登録商標です。

図5 AI-Centric Network

AI-Centric Network

NTTドコモは「AI for Network」と「Network for AI」を融合させた「AI-Centric Network」の取り組みを進めています(図5)。「AI for Network」に焦点を当て、モバイルネットワークの通信制御や保守運用の効率化をめざす方向性について説明します。

NTTドコモはネットワークの制御と保守運用を「AI for Network」によって見直し、次の3つの目標を設定しています。まず「ヒューマンエラーゼロ」は、人間の関与を極限まで削減し、人間による作業を超える安定性と信頼性をめざして、完全な自動化を実現します。次に「ゼロアウトージ」は、大規模災害や予期せぬ事態が発生しても、迅速に影響を予測し、適切な復旧プロセスを導入することで、重大な障害を防ぎます。そして最後に「ユーザエクスペリエンスの最大化」は、ビッグデータを活用して障害や輻輳の予兆を検知し、自律最適化や消費電力の制御を進め、ネットワーク品質を向上させて顧客満足度を高めます。

「AI for Network」の適用領域としては、無線アクセスネットワーク制御、コアネットワーク制御の最適化、ネットワーク運用業務の効率化、通信サービスの高度化があり、4G(第4世代移動通信システム)と

5GでもAIの活用が進められており、6Gに向けた実現性と要求条件を探求し実証実験や標準化を進めていく予定です。

次に、AIを用いてさまざまな伝搬環境に最適な通信サービスを提供する「AI-native Air Interface (AI-AI)」技術の実証実験があります。この実験では、AIによって電波環境を学習し、送受信処理を最適化することにより、6Gの通信性能の向上をめざしています。送信時に最適な変調方式をAIで事前学習し、使用することで通信品質が向上しました。また、受信時にはAIを活用した処理を導入することで、5G方式での通信制御用のパイロット信号受信処理プロセスをなくして通信効率の向上を確認できました。これが商用ネットワークに実装されれば、多様な伝搬環境に応じて最適化された通信システムが提供され、安定した高速・低遅延の通信サービスが実現可能になります。

おわりに

今回、NTTドコモのR&DがめざすWell-beingな世界の実現に向けた核心的な取り組みであるAI・ビッグデータと、これらを支えるアクセスネットワークとしての6Gの展望、HAPS中心のNTN技術、AIを活用したネットワーク制御技術を紹介し

ました。今後も、NTTドコモは私たちの持つ技術を発展させつつ、さまざまなステークホルダーとも共創することで、「つなぐ」価値を広げ、その価値を日本だけでなくやがて世界中に広げるというNTTドコモグループビジョンの実現を推進していきます。

参考文献

- (1) <https://www.dentsudigital.co.jp/knowledge-charge/articles/2024/2024-1021-audi>



佐藤 隆明

「No wow, no life!」が、私の人生のスローガンです。期待を超える体験に出会ったとき、人は自然と「WOW!!」と声を上げますよね。私は、人生の中でそんな瞬間を大切にしたい。仕事もプライベートも、WOWのある毎日を送りたい。そして、多くの人がWOWと感ぜられる社会をつくるために、自分の力を尽くしたい——そんな想いを込めています。

◆問い合わせ先

NTTドコモ
R&D戦略部

ネットワークロバスト化・業務自動化に向けたAI活用によるオペレーション技術の研究開発

NTTアクセスサービスシステム研究所（AS研）では、ネットワークをはじめとしたオペレーションに関する将来技術の研究開発を推進しています。本稿では、ネットワークのロバスト化に向けて、人の手を介さずに正確で迅速なネットワーク管理を実現するゼロタッチオペレーションや、業務の自動化領域を拡張する技術、人の作業を支援することでスキルレス化や安全性を向上する技術についての研究開発の取り組みを紹介します。

キーワード：#ネットワークロバスト化, #業務自動化, #オペレーション

みなみ かつや たかはし げんご
南 勝也 / 高橋 元悟
のずえ はるひさ たかぎ いくこ
野末 晴久 / 高木 郁子

NTTアクセスサービスシステム研究所

オペレーションを取り巻く状況

インターネットのトラフィック量は増加を続けており、IT・デジタルの社会浸透は今後も拡大していくと考えられています。特に通信環境はIT・デジタルの要であり、インフラ・社会基盤としての重要な役割を担っています。一方で、土砂災害の増加や、南海トラフ地震の発生確率の予測値が上昇するなど自然災害が頻発化・激甚化しており、“つながり続ける”通信環境を実現するためには、より強靱なロバスト性を実現することが必要です。さらに、日本は少子高齢化により労働力不足が進み、ネットワーク保守などの人員規模の維持が困難になると想定されます。安定した通信環境の維持のためにも、革新的な生産性向上が求められています。

このような課題が見込まれる中で、今注目されているのがAI（人工知能）技術の進展です。機械学習技術の進歩により、画像

認識、自然言語処理などの性能向上を達成してきました。異常検知などのネットワーク分野への応用、行動推定技術などの人への適用に加え、複数のAIが連携するマルチエージェントも登場しています。今後は、AI技術を最大限活用して、ネットワークのロバスト性向上や生産性の向上に結び付けていくことがキーポイントになると考えられます。

オペレーションの将来像と実現技術

前述の状況を踏まえ、NTTアクセスサービスシステム研究所（AS研）では、オペレーションの将来像を2つ掲げ研究開発を進めています。

1番目としては、人の手を介さずにネットワークの管理を実現するゼロタッチオペレーションです。NTTではIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）の商用化を進めていますが、

IOWNにおけるICTリソース最適化の機能を担うマルチオーケストレータ⁽¹⁾*にてゼロタッチオペレーションを実現します（図1）。具体的には、アラーム情報の収集・可視化、故障箇所や原因の分析と対応方法の判断、復旧措置という一連のサイクルの全自動化をめざしています。これにより故障等に対して正確で迅速な対応が可能となり安定性・可用性向上によるネットワークロバスト化を実現します。

2番目の将来像としては、人が行う業務に対し、より広い領域の業務を自動化し作業支援を拡張していきます。これまではPC端末での定型作業の自動化を行ってききましたが、今後は非定型の作業も自動化できるようになります。また、詳しい指示が

* マルチオーケストレータ：IOWNにおけるさまざまなICTリソースに対し、その配備・構成の最適化を一元的に実施する機能のこと。

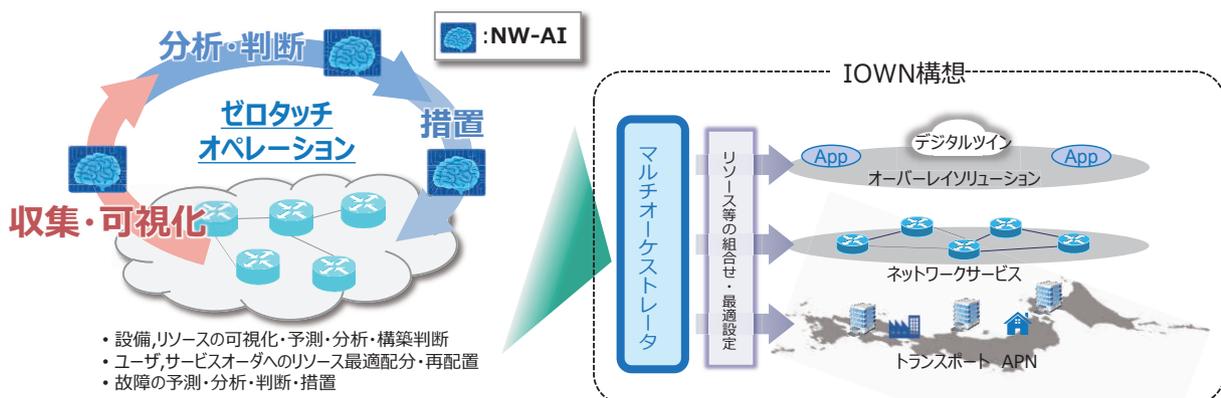


図1 ゼロタッチオペレーション

- 設備、リソースの可視化・予測・分析・構築判断
- ユーザ、サービスオーダーへのリソース最適配分・再配置
- 故障の予測・分析・判断・措置

なくとも作業者の意図を汲み取り、状況に応じた柔軟な対応が可能となります。作業支援としては、屋外作業のように多様な環境で危険を伴う業務にも展開が進みます。現場作業の遠隔支援の技術はすでに導入されていますが、指示内容を直観的に伝達する技術や、作業者の注意状態なども含めた状況把握が可能な技術により、スキルレス化と安全性向上を実現していきます。

ネットワークロバスト化

NTTがめざすゼロタッチオペレーションは、ネットワークのシステム自身が環境の変化を自律的に学習し、未知の状況にも適応できる自己進化機能を持つ点を特徴としています。このため、さまざまな外部情報を取り入れる機構が必要となります。また、情報収集から故障分析、措置までの処理ごとにAIを用いるので、AIどうしを連携させる統制AIも必要となります。さらに、これらのAIを十分な品質で訓練させることが重要なため、学習データ生成のための学習基盤も構築することをめざしています。

現在AS研で検討している研究テーマとして、さまざまな情報を横断的に取り扱うためのデータ統合・整合に関する技術と、故障箇所推定に関する技術を説明します(図2)。

■NOIM

ネットワーク横断的な情報活用・分析を実現する技術として、NOIM(Network Operation Injected Model)というデータモデルを土台としたネットワークリソース管理技術を検討しています⁽²⁾。この技術

では、標準化されたデータモデルを拡張し、ネットワークを構成する要素間のつながり関係や関連性を「点」と「線」を基本とするシンプルかつ統一的形式で表現することにより、マルチレイヤ、マルチドメインのネットワークデータの統合を実現します。ネットワーク構成情報がレイヤやサービスごとに異なる個別のデータモデル、個別のシステム・データベースで管理されている場合、レイヤやサービスを横断した分析を行うためにはそれぞれ個別に分析を行い、結果を取りまとめることが必要となり、大きな稼働がかかっていました。

そこで本技術により、ネットワーク構成情報をレイヤやサービスによらない統一のデータモデルへ統合することで、異なる組織をまたがったネットワーク運用やシステムの統一を促進するとともに、レイヤやサービスを横断したデータ分析にネットワークデータをそのまま活用することが可能となり、故障や災害からの迅速な復旧や正確な影響把握につながることを期待できます。

■D-AINA

ばらばらに管理されたネットワーク情報の不整合を検出・補正する技術であるD-AINA(Distributed data Alignment with Intelligent Network Analysis)を検討しています。本来は同一であるはずのものに関するデータが、異なる表記で複数のデータにそれぞれ登録されている場合があります。そのような不整合のままデータを統合しても正しい分析ができず、前述のNOIMによるネットワーク情報の統合を進めるうえで大きな課題となります。

従来の技術では、文字列の表記を元にし

た比較で不整合を検出することが多く、同一のものが大きく異なる文字列でばらばらに登録されている場合には不整合を検出することが困難でした。そこで、ネットワーク情報の大きな特徴である「つながり情報」を活用することに着目しました。

例えば複数のレイヤからなるネットワークのデータに対して、それぞれのレイヤでのネットワークトポロジーを基にしたグラフ構造を従来の文字列比較と合わせてレイヤ間で比較して最適となる対応関係を探索することで、文字列として大きく異なるデータでも、同一の要素を示していることを検出することができるようになります。このように、データベース間の表記揺れを高い精度で解消することでネットワークデータの統合を促進します。

■Konan

故障発生時の故障切り分けの迅速化を目的として、ルール学習型故障箇所推定技術のKonan(Knowledge-based autonomous failure-event analysis technology for network)を検討しています⁽²⁾。通信技術や設備、サービスの高度化に伴い、発生する故障が多様化・複雑化しており、故障箇所・原因を迅速かつ正確に分析・特定する技術のニーズが高まっています。この技術では、故障時に原因箇所の周辺で発生していたアラームを分析することで、少数の故障事例から故障を特徴付けるアラームを自動抽出して故障箇所・原因を推定するルールを生成(学習)します。運用時にこれらのルールで推定を行うことにより、発生しているアラームから瞬時に故障箇所・原因を推定することができるよ

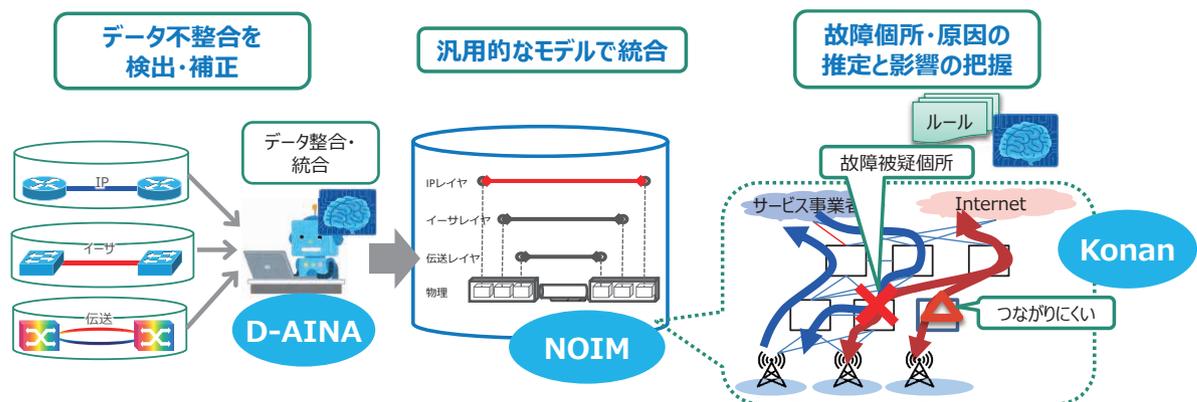


図2 データ統合・整合と故障箇所推定技術

うになります。これにより、多様かつ複雑な故障に対するアラームの分析作業を定型化することにつながり、迅速な故障対応を実現します。

また、ルール生成や推定に用いるネットワーク情報の管理にNOIMのデータモデルを採用することで、複雑なマルチレイヤネットワークにおける故障に対して、レイヤ横断でアラームと故障原因との関連性を考慮した故障推定ルールの生成を実現しています。

業務の自動化

私たちはRPA (Robotic Process Automation) の研究と実用化を行い、PC端末での定型作業の自動化を主導してきました。今後の展開としては、曖昧な意図を汲み取る技術として、ネットワーク利用に関する要望を抽出し、ネットワークの設定変更プロセスへ自動で反映する技術の実現をめざしています。また、PC端末等のログ情報の分析を高度化した非定型作業の自動化の検討と、ネットワークの状況に応じた保守作業が可能な技術も検討しており、これらについて説明します (図3)。

■Intent抽出技術

曖昧な意図を汲み取る技術として、ネットワーク利用に関する要望を抽出するIntent抽出技術を検討しています。ユーザの曖昧なサービス利用要望をIntentと呼び、業務情報等のデータやユーザとの対話的なやり取りからIntentを自動抽出する機能を実現しています。Intentの抽出・分析から、どのような通信品質を必要としているかと

いう具体化の処理をAIが行い、通信要件を出力します。この要件をCradio^{®(3)}等のネットワーク制御機能に入力することで、意図の汲み取りから最適なネットワークサービス提供までの一連の自動制御が可能となります。

Intentの抽出に際しては、当技術が自動的に業務スケジュールやユーザプロファイルに関する外部情報を収集しつつ、不足する情報についてはユーザに対して平易な対話でヒアリングをするため、ネットワーク設定に関する知識やスキルを有さないユーザにとっても、負担が少ない点が大きな利点となります。また、今回のネットワーク品質の最適化というユースケースにおいては、QoE (Quality of Experience) 向上や省電力化といった効果を実現することができます。

このIntent抽出技術をネットワーク運用だけでなく、さまざまな業務における作業者の意図抽出にも適用していくことで、業務の自動化の適用領域を拡大していくことをめざしています。

■ATOMN

作業をAIエージェントにより自律化することで、迅速かつ正確なネットワーク運用を実現する技術であるATOMN (AuTOnoMous agent for Network operation) を検討しています。

例えばネットワーク故障の復旧作業を行う場合、保守者が手順を検討したうえでネットワーク機器等の状況を確認しながら手順を進めていくことがありますが、熟練した保守者のノウハウを基に多様なドキュメントの参照を経て手順を作成し、手順の

実行時には想定と異なる状態に遭遇することもあり、高度なスキル・ノウハウや大きな稼働がかかります。

そこで、このような手順の検討・作成に必要なマニュアルなどの情報を、事前にAIエージェントが解釈しやすい形式に分割・整形・階層化しておくことで、AIエージェントが生成AIを活用しながら、投入すべきコマンドや想定される応答といった実行手順案を作成し、ネットワーク機器の状況を確認しながら自律的に実行することを実現します。また、現場での部品交換のように人手が必要な作業が混在する場合も、AIエージェントが作業者と連携しながら遠隔でコマンド投入等の作業を進めることで、従来は複数の作業者が連絡を取り合い、調整しながら進めていた作業を、現場作業員だけで実現することも可能となります。このように複雑なプロセスの自律実行を実現することで、保全作業を大きく省力化します。

■作業プロセス生成技術

非定型作業の自動化に向けた技術として、作業プロセス生成技術を検討しています。顧客ごとに異なる対応が求められるような非定型業務においても業務全体の生産性向上が強く期待されています。一方で、非定型作業は作業プロセスが変化しやすいため、自動化シナリオの作成やプロセスの標準化が難しく、作業の引継ぎや自動化の障壁となっています。本技術は、作業者のPC端末から取得した操作ログや、業務手順書・仕様書などの文書情報を活用し、AIを用いて現状の作業状況に適した作業プロセスを自動的に生成するものです。これにより、

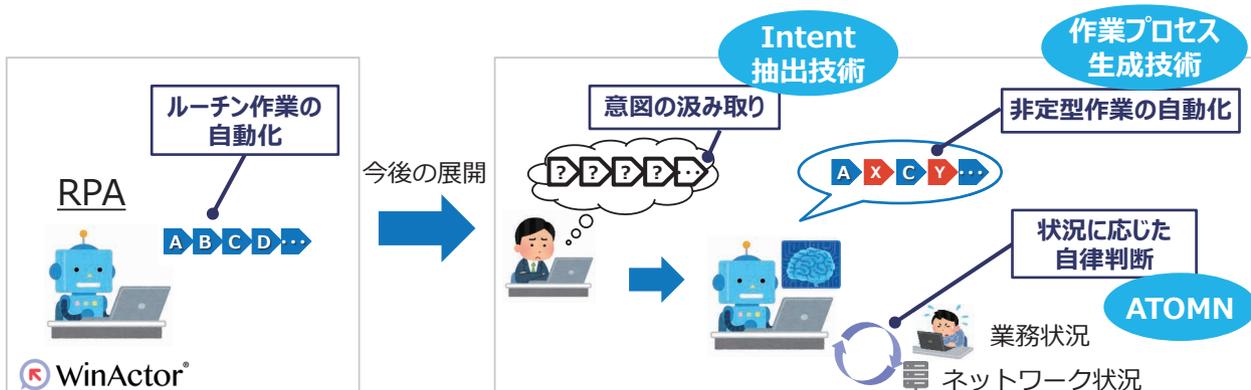


図3 業務自動化技術

オンサイト業務

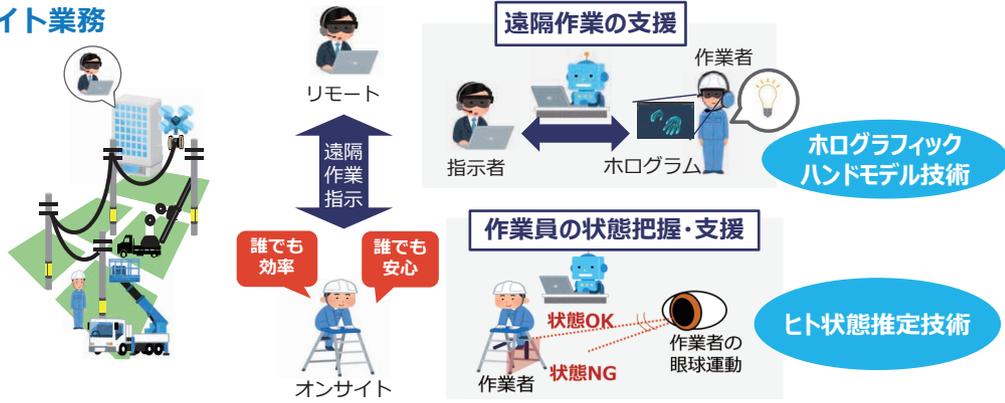


図4 スキルレス化・安全性向上技術

案件や状況に応じたプロセスを形式知として明確化できるようになり、プロセス把握による業務改善につながります。さらに、RPA、DAP (Digital Adoption Platform)、IPA (Intelligent Process Automation) 等の自動化技術と組み合わせることで、非定型作業の自動化が期待されます。

スキルレス化・安全性向上

労働力不足が進む中、オンサイト作業者のスキルレス化と安全向上は重要な運用課題です。NTTは多くのインフラ設備を持つため、現場作業や危険な作業も多く、作業者のスキル依存度の低減と安全性の向上が必要となっています。NTTではスマートメンテナンス技術も研究しており、将来はこれらの関連技術とも連携して検討を行っていくことをめざしています。ここでは遠隔指示を直観的に伝達しスキルの低い作業者でも複雑な作業を実施可能にする技術と、人の生体・内面的な要素を測定し精度の高い作業状態把握により事故を防ぐ技術について説明します (図4)。

■ホログラフィックハンドモデル技術

遠隔指示を直観的に伝達する技術として、ホログラフィックハンドモデル技術を検討しています。NTTの業務には、大小さまざまなインフラ設備の施工・保守を手作業で行う作業が多く含まれます。特に作業経験の浅い作業者にとっては、手や道具を用いた緻密な操作を短期間で習得することが難しいため、熟練者による遠隔での指示・

支援が有効と考えられます。一方で、こうした手作業を音声だけで伝達することは困難であり、作業者の理解を妨げる要因にもなります。本技術は、AR (Augmented Reality) ゴーグル上に熟練者の手の動きを再現したホログラフィックハンドモデルをリアルタイムで表示し、手作業における指示内容や協調すべきポイントを視覚的に提示するものです。これにより、動作や操作の意図を直観的に伝達できるようになり、作業経験の浅い作業者であっても緻密な手作業の遂行を可能にします。

■ヒト状態推定技術

人の生体・内面的な要素を測定し、精度の高い作業状態把握により事故を防ぐ技術として、ヒト状態推定技術を検討しています。オンサイト作業における作業者の事故をなくすためには、作業者自身の認知・判断で生じるミスの予防が必要となりますが、実作業では、作業環境や作業者自身の特性の差などにより、認知状態をリアルタイムに把握することは困難です。本技術は作業者の視線や瞳孔の眼球運動の情報を用いてヒトの集中状態をリアルタイムかつ頑健に推定する技術です。本技術により、所外作業のようなさまざまな状況や作業者の個人差が入り混じる状況でも、作業者の集中状態をリアルタイムに把握可能にします。

短期的なユースケースとしては、ARによる危険体感研修における受講者の内面的な反応や認知特性の評価への活用を想定しています。将来的には実作業における作業者の認知ミスをリアルタイムに予測し、事故の予防につながることで、誰もが安全・安心・安定したオペレーションの実現をめ

ざします。

今後の展望

本稿では、故障に対して迅速・自律的に対処し安定性・可用性を向上するための「ネットワークロバスト化」と、労働人口が減少する中でもサービス品質を維持向上するための「業務の自動化」「スキルレス化」に資する技術について紹介しました。これらの研究開発を進め、オペレーションの将来ビジョンの実現を推進していきます。

■参考文献

- (1) <https://journal.ntt.co.jp/article/489>
- (2) <https://journal.ntt.co.jp/article/23442>
- (3) <https://journal.ntt.co.jp/article/13100>



(左から) 南 勝也/ 高橋 元悟/ 野末 晴久/ 高木 郁子

本稿で挙げた研究開発を通じて、安定したネットワークと社会課題の解決にも資するオペレーション技術を確認し、サステナブルな社会の実現に貢献します。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
アクセスオペレーションプロジェクト

社会インフラ維持管理の新時代へ ～AI活用&シェアリング～

NTTアクセスサービスシステム研究所では、維持管理効率化、レジリエンス向上、環境負荷低減といった社会インフラ事業を取り巻く課題の解決と持続可能な社会の実現に向けて研究開発に取り組んでいます。インフラ分野において、AI（人工知能）活用を進めるとともに、設備や情報のシェアリングの概念も取り入れ、維持管理のあり方そのものを変革する技術の創出をめざしています。本稿では、AIとシェアリングという2つの軸にかかわる技術を紹介し

キーワード：#インフラ, #AI, #シェアリング

ほんだ なつき
本田 奈月

NTTアクセスサービスシステム研究所

シビルシステムプロジェクトの取り組み

NTTアクセスサービスシステム研究所では IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想による革新的ネットワーク (NW) の実現を進めるとともに、途切れることのない社会インフラとしての安心・安全を支えるために、マンホール・管路・とう道などNWを収容する基盤設備にかかわる研究開発に取り組んでいます。シビルシステムプロジェクトでは、これら基盤設備に関する要素技術となる材料分析や構造解析による耐力や信頼性の評価、また設備維持管理に関する抜本的な効率化を実現する技術の研究開発をテーマとしています。さらに近年では、通信基盤設備の構築・維持管理で培った技術を他の社会インフラにも適用拡大し、広く社会全体の課題解決への貢献をめざしています。

■社会インフラ事業全体に共通する課題

社会インフラは設備の老朽化が課題となっており、トンネル崩落や道路陥没など、大規模な事故が急増しています。また、推計によると、2045年には設備保全費が2018年度比で約40%増大し、一方で、生産年齢人口は5600万人まで減少すると予想されており、社会を支えるリソースの急激なひっ迫が懸念されています^{(1), (2)}。加えて近年は、大地震や集中豪雨など、激甚災害も頻発しており、維持管理の効率化とともに、災害に備えたレジリエンス強化も喫緊の課題となっています。

通信基盤設備と電気、水道など社会インフラの共通点としては、その構造物がコン

クリート、鋼、樹脂などの材料で構成されており、経年によって露筋、腐食、ひび割れの劣化が発生し、それらに対して適切な点検・診断のもとに補修・更改を実施していく必要があることが挙げられます。一度障害が発生すると生活に大きな影響を及ぼすため、いかに効率良く、破損や障害の発生を事前に見極めて対策が取れるかということが重要なポイントです。

しかしその一方で、維持管理は国、自治体、各企業などインフラごとに個別に実施されているため、調査や工事が重複し、コストや稼働が増大するほか、情報や作業の分断により、全体最適や効率的な維持管理が難しくなるという課題があります。

■AIとシェアリング

世界のAI（人工知能）市場規模は今後5年で4.4倍に急拡大すると予想され、さまざまな分野でAIを利活用することで、業務の効率化や生産性の向上、コスト削減、顧客満足度向上、労働力不足の解消など、多岐にわたるメリットが期待されており⁽³⁾、インフラ分野でも活用が進んでいます。また近年は、モノ、スキル、時間、空間、情報などをシェアし、利用者は必要なものを

必要なときにだけ利用するシェアリングが社会で普及・浸透しています。そのシェアリングの概念をインフラ分野にも適用し、設備構築や点検の稼働を分割・分担することで効率的な運用が可能となります(図1)。本稿では、通信基盤におけるAI技術活用と他インフラへの適用、ならびにシェアリングの実現に資する技術について紹介します。

「AI活用」によるインフラ維持管理の高度化

■画像認識AIによる点検・診断・劣化予測

設備の状態把握を画像認識AIにより行うことで、従来の目視点検を自動化し、点検の効率化・スキルレス化につなげることが可能となります。図2は画像認識AIを活用したインフラ施設の点検、診断、劣化予測の効率化に向けた取り組みです。従来は、作業員が現地で点検を行っており、オンサイトでの稼働が大きく、また目視による個人の評価では点検品質にもばらつきが生じていました。これに対して画像認識AIによる点検・診断では、構造物における鋼



図1 インフラ維持管理の新時代に向けた研究開発

材腐食や塗装剥離などの発生箇所をマーキングして分布を可視化し、劣化の定量評価が可能となります。さらに構造物の耐力低下につながる鋼材の腐食による減肉についても定量化を実現しました。これまでの減肉量測定は、鋼材腐食部に超音波装置を接触させて行っていたが、本技術では、ドローン等で撮影した腐食部の画像解析により実測と同等の精度での推定が可能となりました。

直近では熊谷市と連携し、ドローンで撮影した道路橋の画像を用いて、鋼材の腐食検出および腐食深さの推定に関する検証を行い、撮影画像から90%の精度で腐食を検出し、誤差0.67 mm以内で減肉量を推定することに成功しました。この技術により、従来必要だった超音波装置の使用や、専用車両や足場の設置といった高コスト作業が不要となり、点検コストを約4分の1に削減することが期待できます。

さらに、将来の腐食進行を予測する新たな技術として、インフラ施設画像と気温・降水量などの環境データ、予測年数を入力することで、数年後の腐食の広がりを高精度に予測できる世界初の技術を確認しました。この予測AIモデルには、深層学習の手法である敵対的生成ネットワーク（GAN: Generative Adversarial Network）を活用しています。過去と現在の画像から腐食の面積や形状、色などを学習し、複数の環境要因を取り込むことで、個々の腐食の進行速度を正確に予測することが可能になりました。茨城県内（沿岸部除く）の道路橋および通信管路設備の鋼材20カ所を対象とした検証では、予測と実測の腐食増加率の相関係数が0.73、平均誤差が9.9%と高い精度が確認されました。本技術により、補修のタイミングを適正化し、コスト削減と安全確保の両立、工事計画の平準化にも貢献します。2025年度には道路橋へのサービス化、他構造物や劣化事象への展開も予定しています。

■通信設備の被災履歴データとAIを活用した社会インフラ被災予測

NTTの電柱は全国の居住エリアを中心に広く設置されており、災害によって損傷

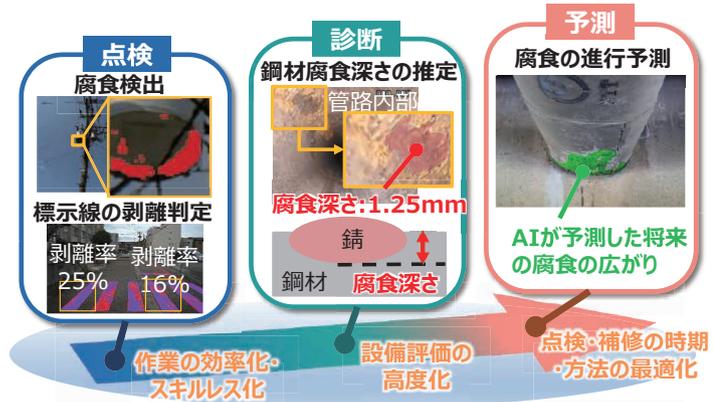
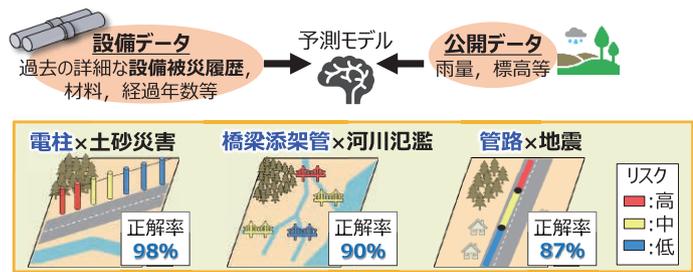


図2 画像認識AIによる点検・診断・劣化予測

(a) 通信設備の被災予測技術



(b) 豪雨に対する道路の被災予測技術

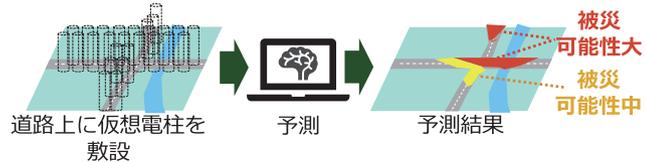


図3 機械学習による社会インフラの被災予測

した事例も確認されています。NTTが長期にわたり維持管理してきた中で蓄積された設備被災時の点検データを活用し、豪雨起因の土砂災害に対する電柱の被災予測AIモデルを構築したところ、被災リスクを98%の精度で予測することに成功しました。また、管路や橋梁添架管などの通信設備についても、地震や河川氾濫に対する被災予測AIモデルを構築し、高い精度での被災リスク予測を可能としました（図3(a)）。

さらに、近年は他の社会インフラへの適用拡大も進めています。山間部などの道路は、災害発生時の支援ルートとして重要な役割を果たしますが、そのリスク評価には一般的にハザードマップが用いられます。

しかし、土砂災害に関するハザードマップは居住エリアを中心に整備されているため、すべての道路を網羅しておらず、場合によっては新たに作成する必要があります。作成にあたっては現地調査や技術者による地形図の判読が求められるため、時間やコストを要するケースもあります。そこで、前述の通信設備の被災予測技術を応用し、地図上に仮定の電柱を10～20 m間隔で配置したデータを用いて、それぞれの被災リスクをAIモデルで推定する手法を構築しました（図3(b)）。この手法を能登半島豪雨における道路被災に適用した結果、ハザードマップと同等以上の予測精度であることが確認されました。また、本モデルは公開デー

タを活用するため、現地調査を必要とせず、ハザードマップが整備されていない地域や、調査に時間やコストがかかる地域においても迅速な被災リスク評価が可能です。

また、地震に対する被災予測技術のインフラ設計への活用も始まりつつあります。これまでの通信ルート設計では、想定地震動や地盤情報を用いたエリア単位でのリスク評価を行ったうえで、最終的には現地調査等によって被災リスクのある場所を確認する場合があります。その際にはベテラン社員のノウハウに頼らざるを得ない部分もありました。そこで、本技術を活用することで、過去の被災データに基づくリスク評価が可能となり、より合理的なルート選定が実現できます。今後はこれらの技術を、道路をはじめとするさまざまな社会インフラや災害パターンに適用することで、災害に強い将来のまちづくりや都市デザインへの貢献ができると考えています。

インフラ分野におけるシェアリング推進

NTTグループでは、同一区間で他事業者の工事が予定されている場合、同時期に共同で施工することでコストを削減する「共同施工」の取り組みや、災害時における自治体・電力・ガス会社との連携を行っています。シビルシステムプロジェクトでは、こうしたインフラ事業者間連携をさらに拡大していくため、データや設備のシェアリング実現に資する技術の研究に取り組んでいます。設備データや点検データのシェアにより、工事前調整や点検の稼働を削減することで、社会全体で運用効率化をめざします。また、設備のシェアにより、設備投資の重複を抑え、資源を有効活用することで、持続可能な社会基盤の構築にも貢献します。

*1 MMS：レーザスキャナやカメラを搭載した車両にて計測走行を行い、取得した点群や画像等の空間情報データから、所外設備の状態を面的かつ効率的に把握するシステムです。

■ 3次元データを用いた地下埋設管路の位置計測

社会インフラ維持管理DX（デジタルトランスフォーメーション）の一環として、地上の設備形状や位置を高精度な3次元デジタル情報として整備する取り組みが推進されており、衛星測位やMMS（Mobile Mapping System）*1などを活用したデータ収集が活発に行われています。しかし、地中に埋設された設備については、実測や目視が困難なケースが多く、通信・電力・ガス・水道など各事業者が建設時の図面を個別に管理しているため、設計・施工時には複数の図面の照合や試掘に多大な稼働を要しています。そのため、地下空間全体のデジタルツイン化を推進し、各事業者が横断的に連携した運用・維持管理によって、効率化を図ることが求められています。その実現に向けて、地下埋設物の位置を高精度に把握するための計測技術の研究開発を進めています。

地下埋設管路の高精度な3次元デジタル化を実現するため、通信管路を対象に、TOF（Time Of Flight：距離計測）カメラやジャイロセンサを搭載した内部走査装置と、取得した点群データの接続処理により、管路全長の3次元形状を再現し、マンホールの位置と結びつけて地理空間上の埋設位置を算出する手法を確立しました。模擬環境での実験では、計測長185 mに対して誤差0.10%以内という非常に高精度な結果を得ています。本技術により、管路の形状や位置を設置環境に依存せず正確に把握できるようになり、調査稼働の軽減、掘削

時の損傷リスク低減、災害復旧の迅速化に寄与します。今後は電力・ガス・水道分野への展開を進め、地中設備全体のデジタルツイン化の実現をめざします。

■ インフラ4Dマッピング

地上の社会インフラ設備（電力柱・街灯・標識等）向けには、3次元位置情報に基づく点検データ管理の低コスト化をめざしています。NTTグループで電柱点検等に使用しているMMSは、高精度な3次元位置情報付きの点検データを取得できますが、機材・システムの費用が高額です。一方で、近年実用化の進むドライブレコーダを用いた点検は、低コストで簡便なものの、ドライブレコーダのGPS位置情報誤差は大きく、ドライブレコーダ点検画像と設備の紐付けに一部人手を要する等の課題があります。

そこで、「ドライブレコーダ点検画像に写る設備の正確な位置を特定する技術」の研究開発に取り組んでいます（図4）。本技術では、事前準備として、NTTがMMS点検で蓄積してきた正確な位置情報が既知の画像を用いて3Dデータを作成します。その3Dデータをレンダリングすることで参照画像を生成し（図4①）、参照画像と点検画像を比較することで、点検画像の撮影位置・向きを高精度に推定（図4②）する技術を構築中です。撮影位置・向きを基に設備位置も算出することで、点検画像と設備の紐付けを自動化し、ドライブレコーダ点検による点検台帳作成を効率化します。また、点検データを設備位置ごとに時系列で蓄積（4D管理）することで、劣化の進

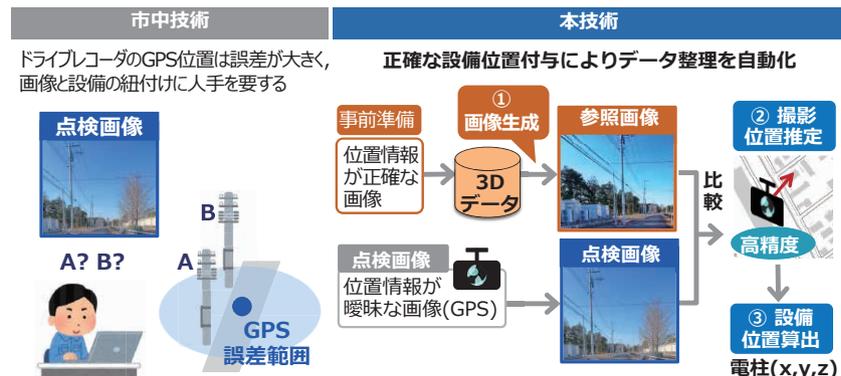


図4 インフラ4Dマッピング

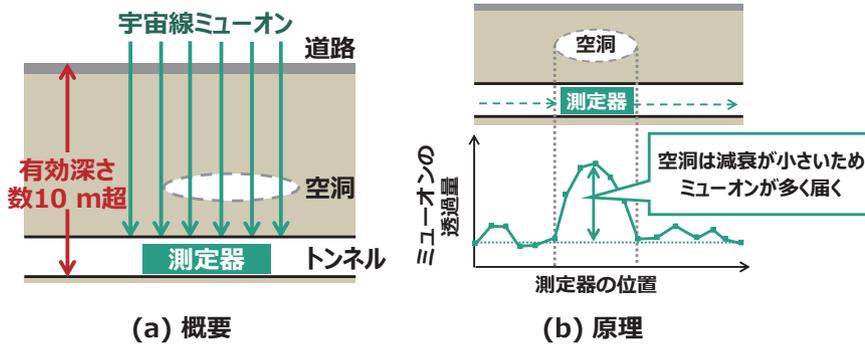


図5 ミューオン計測による空洞調査システム

行状況を把握・予測しやすくし、修理・更改計画の最適化による予防保全の実現にも貢献します。故障修理車・タクシーなど、地域を巡回する車両のドライブレコーダ画像を利用することで画像収集のための走行を不要とし、さらには得られた設備位置情報付き点検データを複数のインフラ事業者でシェアすることで、社会インフラ全体の点検稼働削減が実現できると考えています。

■基盤設備アセットの共同利用

管路やとう道などの基盤設備を共同利用することで、新規投資や維持管理コストを抑制し、効率的かつ持続可能なインフラ運営が可能となります。本テーマでは、他のインフラ事業者との共同利用を見据え、通信基盤設備内に電力および水素の供給設備を収容するための技術検討を進めています。

電力設備の収容検討にあたっては、通信管路やマンホール内における電力ケーブルの施工性、電力ケーブルからの発熱を考慮した高温環境下での通信管路の長期信頼性、さらに通信基盤設備内での漏電・誘電対策や安全性の確保といった観点があります。また、とう道立坑内の空きスペースについても、蓄電設備を設置することで災害時における公共施設や避難所などへのレジリエントな電力供給を支える地域マイクログリッド*2事業への活用が期待されます。こうした可能性を踏まえ、設備のさらなる

利活用について検討を進めています。

一方、水素搬送の効率化は、再生可能エネルギーの普及推進に向けた重要な要素の1つです。そこで本テーマではその一環として、通信管路内への水素パイプライン構築の実現に向けた技術検討を進めています。検討の観点としては、マンホール、とう道・共同溝内や橋梁敷設時におけるパイプラインの保護方法や、マンホール入孔時の水素濃度の確認・検知方法など、敷設および保守時における安全性の担保等が挙げられます。

■地中空洞調査システム

土木分野において地中埋設物（管路等）の位置の把握は重要であり、地中探査技術に関する研究開発に長年取り組んできました。一方近年、道路陥没が大きな社会課題になっており、小さな陥没事象も含めると全国で年間約1万件発生しています⁽⁴⁾。道路陥没は地中埋設物の損傷やトンネル・地下鉄等の地下掘削工事に伴い、周辺の土砂が流出し、道路下に空洞が生じることで発生します。市中の地中空洞調査では電磁波法が広く採用されていますが、電磁波の伝搬特性上、約2mの深さまでの計測が限界になる一方で陥没計測には10m以上の深度が求められます。

そこで、地盤透過性が高い宇宙線ミュオンに着目し、これを用いて数10mの深さまで計測できる技術の確立をめざしています（図5）。ミュオンは、自然界で生成される放射線の一種で地盤に対しても高い透過性を有しており、地盤の密度によって透過率が変化するため、トンネルなどの

地下空間で各地点のミュオンの透過量変化を計測することで、道路陥没の要因となるトンネルより上部の空洞有無を検知します。また、トンネル推進工事の際に地中の状態をリアルタイム観測することで空隙の発生を検知し、工事による道路陥没事故リスクを早期に把握することができます。

今後の展開

通信基盤設備の保守運用を通じて培った技術や知見を基に、AIの活用やシェアリングの概念を取り入れた社会インフラ維持管理に関する研究開発の取り組みを紹介しました。今後、これらの研究開発をより一層推進し、同様の課題を抱える社会インフラ事業へ技術・ノウハウを広げることで社会全体の課題解決へ貢献していきます。

■参考文献

- (1) https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/_pdf/research01_02_pdf02.pdf
- (2) <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/html/nb000000.html>
- (3) <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r05/html/nb000000.html>
- (4) <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/ijikanri/ijikanri.html>



本田 奈月

社会の安心・安全を支えるには、インフラの変化を可視化し、診断や将来を予測可能とする技術が求められています。NTT通信設備の建設保守で長年培った技術とAIデータ分析や最新の計測技術等による革新を早期に実現し、社会課題解決に貢献していきます。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
シビルシステムプロジェクト

*2 地域マイクログリッド：平常時には再生可能エネルギーを効率良く利用し、非常時には送配電ネットワークから独立し、エリア内でエネルギーの自給自足を行う送配電の仕組み。

社会インフラの運用イノベーションと新価値の創出に向けた研究開発について

NTTアクセスサービスシステム研究所では、アクセス系業務のデジタルトランスフォーメーションによる運用イノベーションをめざし、スマートエンジニアリング（設計・施工）やスマートメンテナンス（保守・運用）技術を研究開発しています。また、通信設備のアセット活用により、通信以外の分野も含めた新たな価値創造にもチャレンジしています。これら通信インフラで培った技術を電気・ガス・水道といった他インフラへも展開し、日本全体の社会インフラの維持管理に向けた貢献、社会課題の解決も視野に入れています。

キーワード：#アクセス設備、#運用イノベーション、#運用高度化

さのときひろ
佐野 時裕

NTTアクセスサービスシステム研究所

特集

アクセス系業務における運用イノベーションと社会インフラ維持への貢献

NTTにおいては、これまで、メタルによる固定電話から光ファイバを活用したデータ通信に至るまで、アクセス設備の構築・保守を担いながら、さまざまなサービスを提供してきました。一方で、近年、設備老朽化の加速、激甚化・頻発化する災害、人口の急減による構築保守の担い手不足、粗密化する人口、管理コストの増大等により、長期的使用が前提であるインフラ整備や維持運用への脅威が迫っています。この状況はNTTの通信設備に限らず、他インフラを含めた社会インフラ全体の脅威となっており、日本全体の社会課題ともいえます。私たちのグループでは、これから迎える

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 時代の到来を見据え、運用イノベーションの推進はもちろん、通信設備のアセット活用による通信以外の分野も含めた新たな価値創造に対するチャレンジや、通信インフラで培った技術を電気・ガス・水道といった他インフラへも展開し、日本全体の社会インフラの維持管理に向けた貢献、社会課題の解決も視野に入れています。

日本の社会インフラが抱える現状と課題

私たちのグループでは、まず、通信インフラに対する脅威とその課題を明確化するために、特に、NTTの通信設備のこれまでのあり方と関係が大きく、経営インパ

クトも大きい、「設備の老朽化」と「粗密化する人口動態」に関して分析を行いました。

設備の老朽化については、加入者数が大きく減ってきているメタル設備の維持管理と撤去が事業会社の経営課題として大きくなってきている点、また、粗密化する人口動態については、ユニバーサルサービスの提供義務がある中、自治体ごとに人口の増減や粗密具合が異なり、このまま均一な設備の維持要件を続けた場合、リソース不足に陥り業務運営が立ち行かなくなる可能性が高いため、エリアの特徴に応じたサービス提供や設備の設計～構築～運用が今後の大きな課題になると想定しているからです。

設備の老朽化の一例として、電話柱（電柱）の建設年度別のデータ分析およびシミュレーションを行いました（図1）。図1の左図にあるように、加入電話数のピークで

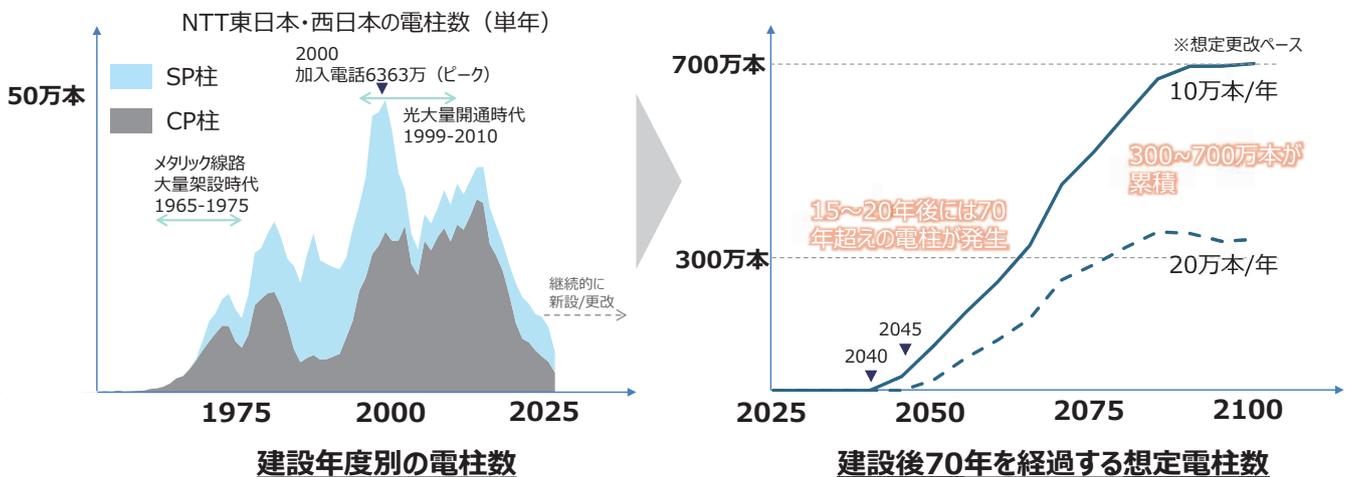


図1 電話柱の建設年度別のデータおよびシミュレーション

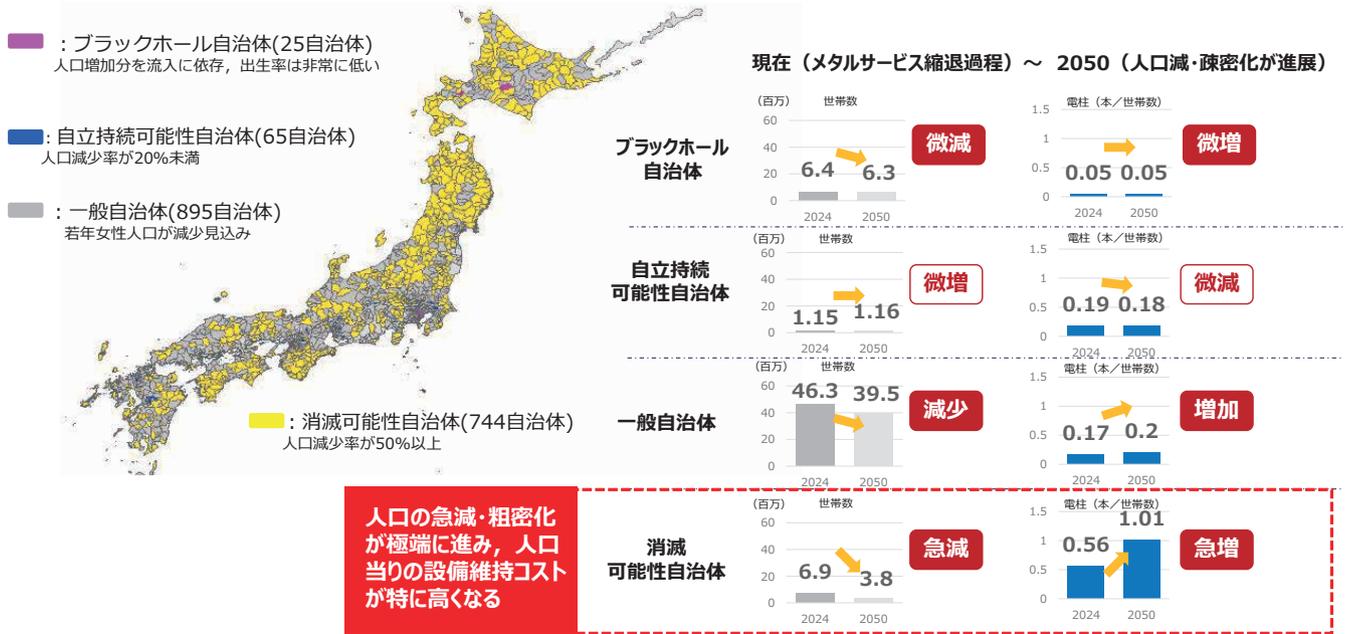


図2 自治体区分ごとの設備状況

ある2000年前後、および光の大量開通時代である1990年代後半から2010年にかけて建設された電柱について、シミュレーション上、仮に建設後の耐用年数を70年とした場合、15~20年後には、NTT東日本・西日本エリアトータルで存在する電柱1200万本弱に対して、約6割に相当する700万本前後が頻繁な点検や建て替え等の対応が必要な電柱になることが想定されます。本結果については、その他アクセス系所外設備全体にも想定され、電柱に限らず、設備の総量は増え続けており、すべてを更改するには、現在の技術や整備方法では限界があるということが分かります。

続いて、粗密化する人口動態について分析した結果を紹介します。今回、人口戦略会議（議長：三村明夫、副議長：増田寛也）における『令和6年・地方自治体「持続可能性」分析レポート（令和6年4月24日）』の分析結果をベースとし、日本全体の自治体ごとの今後の人口推移、またそれに対するNTT設備の状況を照らし合わせ、中長期的なアクセス設備のあり方について検討しました。具体的には、日本の全1729自治体について、その人口状況・動態に関する特性から「ブラックホール自治体」「自立

持続可能性自治体」「一般自治体」「消滅可能性自治体」と分けられますが、その自治体ごとにNTTの電柱がどれだけ敷設されているかを集計し、イメージとして世帯数当りの電柱負担本数を試算しました。結果、図2にあるように、「人口の急減・粗密化が極端に進み、人口当りの設備維持コストが特に高くなる」こと、また、図3にあるように「消滅可能性自治体が4割、世帯数約1割のエリアに約3割の設備が存在」することが分かりました。この結果は、NTTの通信サービスを提供するための設備全体にイえることだと推測されます。

これらの結果から、NTTとして、抜本的な対策を実施しない限り、業務運営に支障をきたし、経営に大きなインパクトを与えることが想像できます。そこで、私たちは、図3にあるように、人口疎密化による将来のアクセス設備のあり方として、業務運営に求められる要件を整理し、前述した自治体区分ごとに濃淡を付けた設備構築、保守のあり方を検討する必要があると考えました。「ブラックホール自治体」「自立持続可能性自治体」については、他社との競争が激しいことが想定されるため、競争力の高いサービスを実現する設備構築を積極

的に進め、「一般自治体」「消滅可能性自治体」については、点検保守の他事業者とのリソースシェアリング、長寿命化・メンテナンスフリー化、光サービスだけを前提とした構造物設計を検討する必要があります。結果として、それらの高度化され効率的な保守運用を「ブラックホール自治体」「自立持続可能性自治体」にも適用することを考えています。また、特に、「消滅可能性自治体」あたりは、収益を生まないメタル設備の効率的な撤去の検討が大事になってきます。私たちのグループでは、これらの人口疎密化による将来のアクセス設備のあり方を念頭に置きながら技術蓄積を進めています。

今回は、「設備の老朽化」と「粗密化する人口動態」を分析しましたが、「激甚化・頻発化する災害」や「人口の急減による構築保守の担い手不足」、「管理コストの増大」についても大きな脅威となっており、私たちが取り組んでいる技術における課題解決のターゲットとなります。

次に、社会インフラ全体の課題解決へつながら、現在取り組んでいる通信インフラにおける運用イノベーション技術、また新価値の創出に向けた研究開発の内容を紹介

します。

運用イノベーションをめざすスマートメンテナンス・スマートエンジニアリング

ここでは、アクセス設備の運用イノベーション技術の一例であるスマートメンテナンス、スマートエンジニアリングについて、現在取り組んでいる内容を紹介します。

■スマートメンテナンス（設備情報デジタルデータ化）

社会インフラ維持管理のDX（デジタルトランスフォーメーション）推進による共通化・省力化に向けた取り組みとして、3D点群データを活用した架空構造物の劣化状況診断の研究を進めています。

これまで、モバイルマッピングシステム（MMS）計測で取得した3D点群データから電柱の劣化状況を診断する「構造劣化判定システム」の開発を行い、NTTグループへ研究成果を展開してきました。しかしながら、市販MMSは路面等の計測を目的に設計されたものであり、特にケーブル等の細径物から点群を計測することは困難であることから、ソフトウェア技術に対するアプローチだけでは抜本的な精度向上は困

難であることが分かってきました。

そこで、所外設備デジタル化のさらなる高精度化実現に向け、市中の座標測位技術および点群測定器の評価を行い、実現性および課題を検討することとしました。結果として、高密度レーザとLiDAR（Light Detection And Ranging）を組み合わせることで、車両搭載条件を適切化し、もっとも細い光ドロップケーブルからも点群データを取得することが可能となりました。また、点群データにモデル化技術を適用することで、さらなる電柱たわみ測定の高精度化による点検の効率化、樹木の建築限界など新たな領域への適用可能性を確認することができました（図4）。

■スマートエンジニアリング（機械置換）

オンサイト作業における安全な作業環境構築に向け、「機械（ロボティクス）」を用いることで、ヒューマンエラーによる事故防止をめざしています。建柱作業中の移動電柱および通信ケーブルといった施工障害物を正確に検知し、それらの距離計測をリアルタイムに実現する施工障害物近接検知技術の開発を行っており、システム開発や物品評価など技術検証を進めています。また、施工障害物近接検知技術とともに、現場空間の3Dデータ取得、物体自動認識技

術、重機動作計画の自動算出技術といった要素技術の高度化、加えてそれらの組合せにより、重機による建柱工事等の遠隔施工・自動施工の実現をめざしています。

■スマートエンジニアリング（工法の高度化）

作業現場の省力化に向けて、張力を緩める作業や昇柱作業を省略しても安全にケーブル撤去を可能とする技術について検討しています。電柱にはケーブルによる数100Kg以上の張力が常に加わっており、張力の極度な不平衡が発生すると電柱が倒壊するおそれがあります。ケーブル全撤去時に張力は大きく変化しますが、定量的にどのような張力変化が発生するかは解明されていないため、現在は張力を慎重に緩めてから撤去することとなっており、張線器や高所作業車の利用することが前提で、非常に労力を要しています。

そこで、作業現場の省力化を実現するため、ケーブルの張力を緩めることなく、かつ昇柱せず、ケーブルを切断・電柱から外す撤去技術の確立をめざしています。具体的には、今後、さまざまな設備種別、設備劣化度合い、線路形態などに対し、瞬間的に発生する不平衡荷重やケーブル落下による衝撃、設備や通信への影響を定量化し、分析することで、適用可能範囲を明確にし

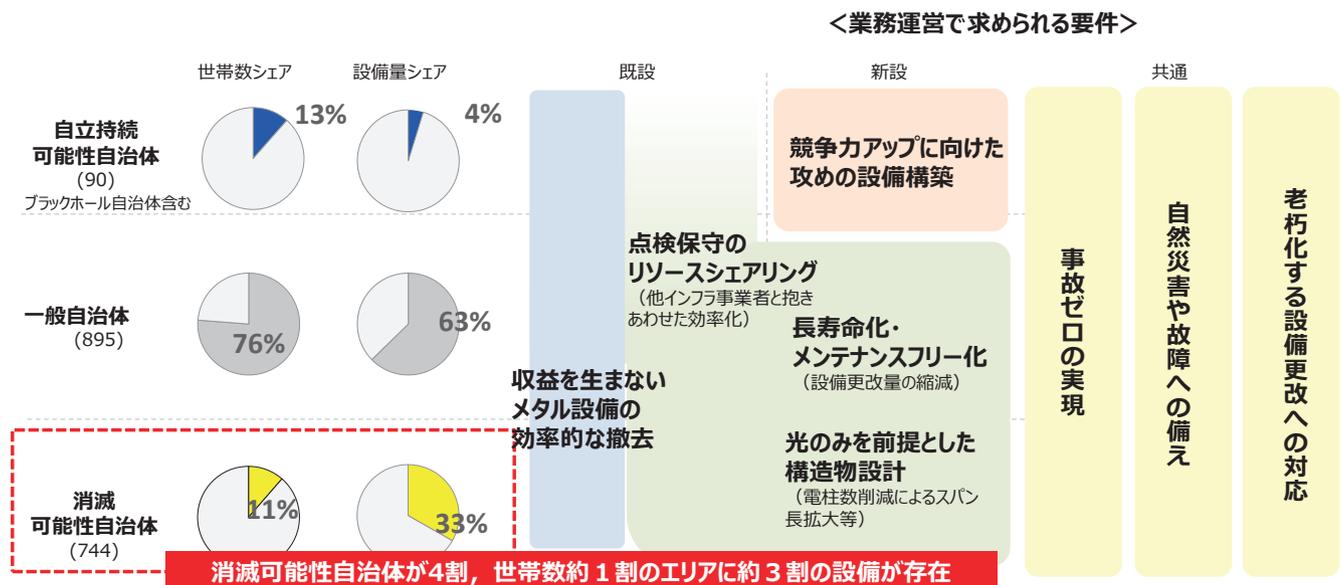


図3 人口疎密化による将来のアクセス設備のあり方

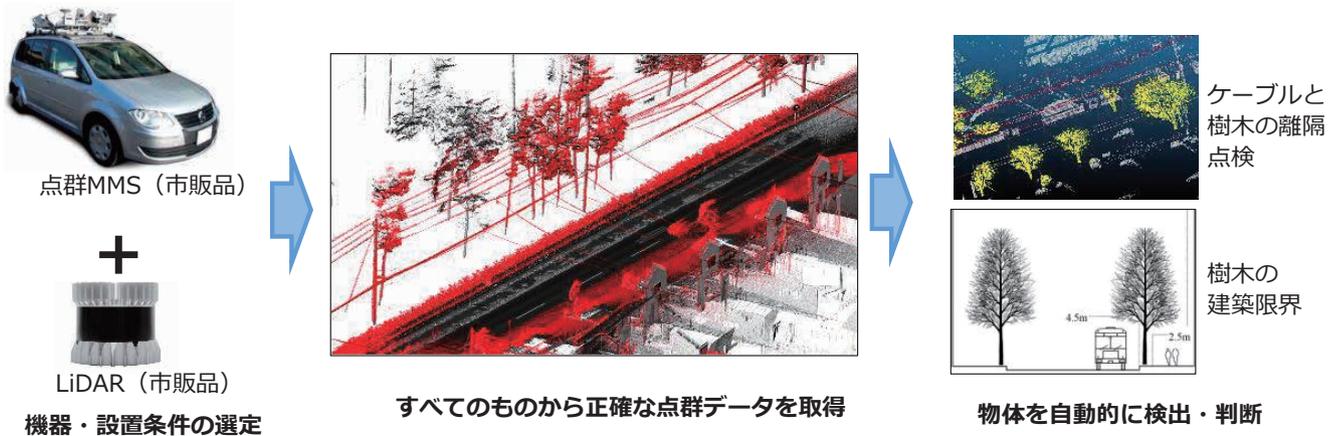


図4 設備情報高度デジタルデータ化による省力化

通信設備保守 (電通役務) での活用

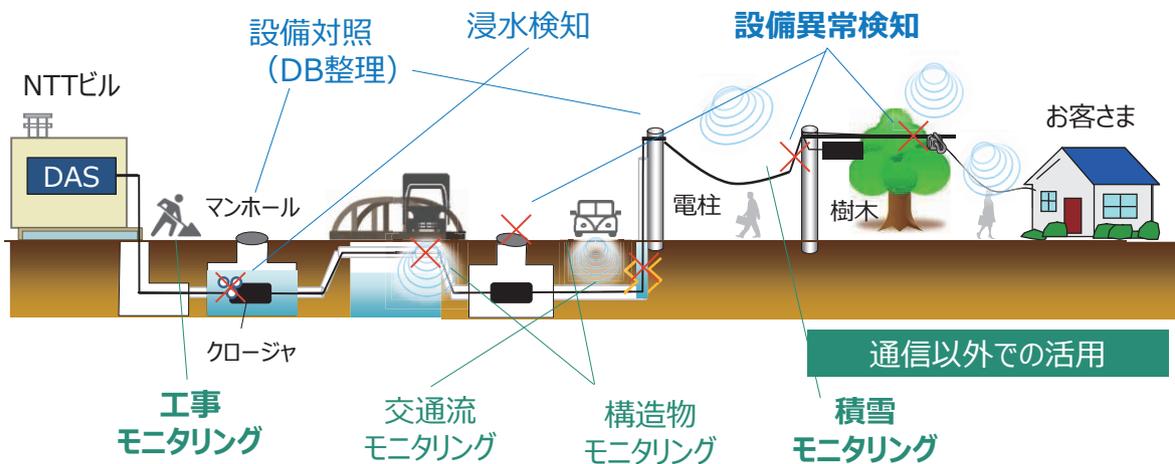


図5 光環境モニタリングのユースケース実証事例

たいと考えています。

光ファイバ環境モニタリングを活用したユースケース

ここでは、新価値の創出に向けた、既存の光ファイバを活用したファイバセンシング技術による環境モニタリングについて紹介します。光ファイバ環境モニタリングとは、通信用に敷設された光ファイバからさまざまな環境情報 (振動、温度、歪など) をデータとして取得し活用する技術です。通信ビルや敷設済みの光ケーブルを利活用するため、新たな光ケーブル敷設、センサ

の多数設置や給電などの追加コストが不要であり、面的な導入展開や保守が容易であることから、さまざまな産業分野において活用することで、社会課題の解決をめざしています。

通信設備から得られる振動データの解析およびユースケース実証

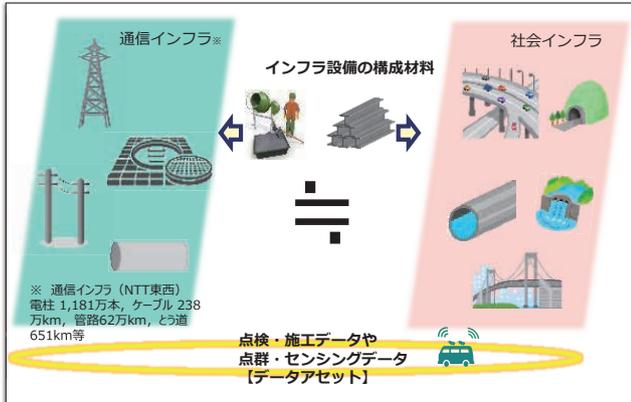
実際に通信設備に振動を与える振動源としては、車等の交通振動や建設機械の工事振動など人工的なものから、風雨や地震による自然現象による振動などさまざまです。NTTの通信設備保守での活用に限らず、

通信以外での活用も視野に入れていますが、ここでは私たちがユースケース実証に取り組んでいる複数事例 (図5) のうち、一部を紹介します。

■工事モニタリング (道路掘削工事検知)

通信、電気、ガス等の地下インフラが埋設されている可能性のある場所の掘削工事では、インフラ事業者間の協議が義務付けられており、埋設調査や工事立会により保安措置が講じられます。しかしながら、無届工事によるインフラ損傷事故は増加傾向にあります。このため、各インフラ事業者には無届工事を低コストで監視したいというニーズがあります。そこで、私たちは道

■通信・社会インフラの共通アセット



■通信・社会インフラの業務プロセス上の共通課題解決



図6 社会インフラ課題に対する研究開発スタンス

路掘削工事の自動検知技術に取り組んでいます。この検知で課題となるのが、多様な建設機械への対応と誤検知率の低減です。一言で掘削工事といっても開始時に用いられる建設機械は場合により、舗装切断に用いるロードカッター、舗装破砕やその除去に用いる斫り（はつり）やバックホウ等さまざまであり、屋外の生活環境には例えばポンプやファン等の類似の機械振動の伝搬も多く存在しています。私たちは高精度DAS (Distributed Acoustic Sensing) によるセンシング技術と多くのフィールド検証から得られた実際のデータを基に特徴解析や機械学習を用い、通信設備から一定の範囲における掘削工事の高い検知率を維持しながら誤検知要因を可能な限り除去した自動検知技術の確立を進めています。

■積雪モニタリング（豪雪地域の道路除雪判断支援）

豪雪地域における道路除雪判断は通常、人が巡回してパトロールを行い、各路線で除雪の必要性を毎日目視しており、限られた除雪予算の中でどの道路を優先的に除雪するかの判断を日々行っています。このため、各自治体も人手不足の中で巡回作業を遠隔化したいというニーズがあります。そこで私たちは、すでに都市における交通流解析として実例のある交通振動を応用した除雪要否判定支援技術に取り組んでいます。地下光ケーブルが受ける振動の測定波形に

おいて、移動する振動軌跡から車両速度と、同時に路面から受ける周波数応答も解析することで、車両通行のしやすさや路面状態との相関関係を利用した機械学習モデルを構築し、このモデルを用いて除雪要否のクラス分けを行います。実際に豪雪地域で行ったフィールド検証では、実際に現地調査員による目視結果と約9割以上の一致を示しており、その有効性が確認されています。

通信インフラから社会インフラへの展開と今後の取り組みの方向性

2025年1月に発生した埼玉県八潮市の道路陥没事故のように、社会インフラのリスクが顕在化しており、通信以外の他インフラを含めた日本の社会インフラに対する脅威への備えは、日本社会において喫緊の課題です。NTTアクセスサービスシステム研究所は、通信インフラと社会インフラでは共通するアセットが存在し、また、業務プロセスにおける課題も共通していると考えています（図6）。そのため、日本全国に展開しているNTTならではの組織形態を活かし、通信インフラにおいて蓄積した技術を他インフラへ展開することで課題解決へとつなげたいと考えています。これは、今後の日本のあり方にも影響すると考えています。今回紹介したスマートエンジニアリング・スマートメンテナンスや光ファイ

バ環境モニタリングに限らず、今後も研究開発を加速し、日本社会の課題解決に資する技術をNTTアクセスサービスシステム研究所から発信していきたいと考えています。

■参考文献

- (1) <https://www.hit-north.or.jp/information/2024/04/24/2171/>



佐野 時裕

IOWN時代の到来を見据え、アクセス系業務における運用イノベーションを推進しています。イノベーションは、新しい技術においてのみ起こるものではなく、既存の技術やアセットの活用が非常に重要になってきます。イノベーションにつながるような研究開発を進めていきます。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
アクセス運用プロジェクト



技術の本質を徹底して追求。 パッションは好きなことにしか注げないものである

元日本電信電話株式会社CSSO (Chief Standardization Strategy Officer)で、現在国際電気通信連合 (ITU: International Telecommunication Union) 電気通信標準化局長の尾上誠蔵氏がIEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) の2025 IEEE Jagadish Chandra Bose Medal in Wireless Communicationsを受賞しました。本賞は分野ごとに21種あるIEEE Medalsの1つで、最高位のIEEE Medal of Honorに次ぐ賞の1つとして、2025年に新設されました。この受賞を記念して、受賞理由の1つであり、4G (第4世代移動通信システム) に向けたLTE (Long Term Evolution) のコンセプトを提唱し、「LTEの父」と呼ばれる尾上誠蔵氏にお話を伺いました。



おのえ せいぞう

尾上 誠蔵

国際電気通信連合 (ITU)
電気通信標準化局長

LTEの父、世界的な影響力を持つ 無線通信技術への貢献を称える新 設賞を受賞

■2025 IEEE Jagadish Chandra Bose Medal in Wireless Communicationsの受賞、おめでとうございます。東京で華やかな授賞式が開かれたと伺いましたが、いかがでしたか。

ありがとうございます。授賞式は豪華ゲストを迎えたガラディナーの一環として行われ、私だけではなく他のIEEE Awardsの受賞者の方々への贈賞も行われました。表彰される際、受賞者を紹介する短いビデオが会場で放映されます。私はそのビデオを当日初めて観ましたが、私が提出した写真などを上手く構成してくださったと感心しつつ、初めて見たと言ったら、皆さん笑っていらっやいました。

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) からの正式な通知は電子メールによるもので、2024年の暮れに秘書から「IEEEから連絡がないか」と聞かれたので、確認したところ、その通知メールをゴミ箱から見つけました。正式な通知を確認して、改めて今回の受賞を実感した次第です。

さて、私はこれまで2014年に文部科学大臣表彰 科学技術分野の功労者表彰、2018年に紫綬褒章等を頂戴しました。こうした

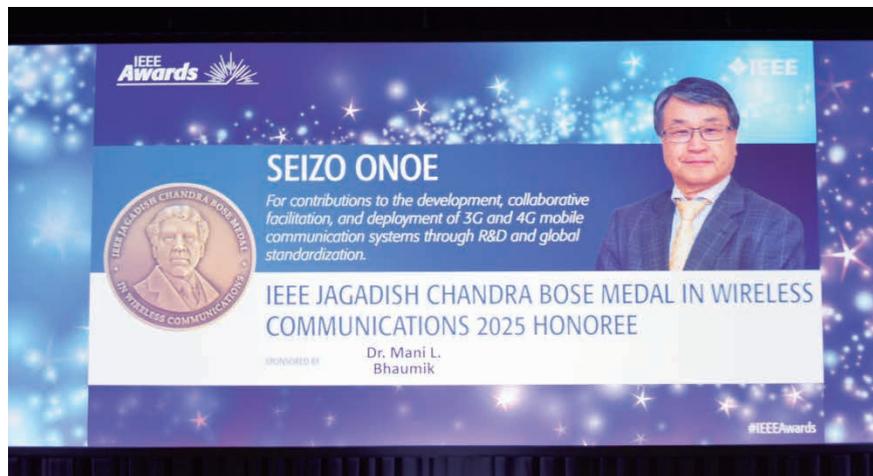
賞をいただくことは嬉しいことなのですが、今回の賞は米国の学会とはいえIEEEからのものであり、グローバルで認めていただけたことに嬉しさもひとしおです。

■本賞は世界最高の同業者表彰プログラムであるIEEE Awards Programにおいて、世界的に大きな影響を与え、無線通信技術の進歩に極めて重要な貢献をした、卓越したリーダーや先見者に授与されると伺いました。尾上さんはその記念すべき初の受賞者ですね。改めてIEEEと本賞、そして受賞理由を教えてくださいませんか。

IEEEは、世界最大の技術専門組織で、人類のために技術を発展させることを目的とした公益団体です。航空宇宙システム、

コンピュータ、電気通信から、生体医工学、電力、家電に至るまで、幅広い領域で信頼される機関で、出版物、会議、技術標準、専門的・教育的活動を通じて、高い評価を得ています。

そして、IEEE Awards Programは、1世紀以上にわたり、科学、技術、工学の進歩に貢献した人物を表彰するプログラムで、IEEEが関心を寄せる21種の分野における貢献を表彰しています。今回、私がいただいたJagadish Chandra Bose Medal in Wireless Communications賞はその中で無線通信技術への貢献をした人物に授与されるもので、2025年に新設されました。無線通信における技術的貢献、新技術の実装、標準化、または商業化、専門分野および、



または社会への影響、目標を達成するためのリーダーシップ、これまでの実績、および出版物や特許などが評価の対象です。私は、受賞理由として、3G（第3世代移動通信システム）および4G（第4世代移動通信システム）の研究開発および国際標準化を世界的に主導し、世界的な普及に貢献したと評されました。

表彰の対象は3Gと4Gであり、セル検索アルゴリズムの開発など技術的貢献も強調されていますが、私にとって、もっとも幸運であり誇りに思うのは、移動通信の1G（第1世代移動通信システム）から5G（第5世代移動通信システム）すべての世代にかかわることができ、現在も6G（第6世代移動通信システム）を仕事の対象にしているということです。このことは受賞のスピーチでも述べたのですが、本当にそう思います。振り返ってみれば、世界統一標準をめざした3G、そしてそれが実現した4Gという、標準化の観点でもっとも重要な時期にあった移動通信世代が対象になったのは大変幸運だったと感じています。

私にとって標準化はシステム開発の一環として取り組んでいたことです。標準化は単なるツールですが、それは非常に重要で強力な手段であり、私はそれを活かすことに努めてきました。技術を標準仕様に盛り込むための議論ではなく、最終的にはその技術が広く普及し、世の中の役に立つことを見据えた標準化こそが重要だと考えてきました。今回の受賞はこのような信条や活動をご理解いただいたのだと思います。

標準化においてもっとも重要なタイミング3G、4G時代の貢献が高く評価された

■3G、4Gの研究開発が表彰対象になっていますが、移動通信システムの技術は各世代どのような特徴があるのでしょうか。

私は、1982年に電電公社に入社して研究所に配属されたときは、日本で世界初の自動車電話サービス開始後3年目で、契約者

数がさほど多くない時期にもかかわらず、大容量方式の開発が大きなテーマでした。1Gは、アナログ方式の移動通信の黎明期であり、各国で異なる規格が乱立していました。自動車電話から始まり、端末の小型化が進むと携帯電話システムに進化しました。2Gでは、欧州が統一標準にしたこともあり、規格の数は少なくなりましたが、日米欧で異なる方式になりました。日米は多少のハーモナイズの努力があり、3チャンネル TDMA (Time Division Multiple Access) は共通ですが互換性のない方式になりました。日本の方式はPDC (Personal Digital Cellular) と呼ばれ、音声もデジタル多重化され2400 kbit/sのデータ通信やファクシミリ通信が可能となりました。1999年にはiモードも登場し、爆発的普及拡大期を迎えました。世界的にはヨーロッパ発のGSM (Global System for Mobile Communications) が地域を越えて世界に広く普及しました。

3Gにおいては世界統一インターフェースをめざして、ITU-R (International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector) で議論して、2 Mbit/sの通信を可能とするといった目標を含むIMT-2000ビジョン勧告をつくり上げました。各国地域から提案されましたが、日本では早い段階でNTTドコモが推進していたW-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 方式が選定され、最終的にIMT (International Mobile Telecommunication) -2000の1つに採用されました。W-CDMAは、後にさらなる進化形のHSPA (High Speed Packet Access) が導入され、2 Mbit/sを超えて最大14.4 Mbit/sのパケット通信が可能となります。

3Gの市場展開が始まった当時、NTTドコモでは4Gの研究が着実に進んでいて、2002~2003年には100 Mbit/s、さらに研究レベルでは1 Gbit/sというデータ伝送を実現していました。その一方で、3Gのビジネスは契約者数が思うように伸びず、決

して順調とはいえない状況の中で4Gの研究成果を市場に出すことは極めて困難に思われました。ここで学んだ教訓は世代間のスムーズな進化/パスが重要ということです。そこで、「スーパー3Gコンセプト」を提唱しました。これは、まず3Gを発展させて、その上に4Gを築き上げようというコンセプトで、そのまず発展させた3Gをスーパー3Gと呼んだのです。これは全く概念的なもので、実際は4G用に開発したOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 直交周波数分割多重) を採用することを狙っていました。この標準化はロングタームエボリューション (LTE) として進められました。LTEでは、複数のアンテナを使ってデータの送受信を同時に行うことで通信速度を向上させる、MIMO (Multiple Input Multiple Output) が採用されています。さらにその後には、音声デジタル信号をパケット通信により伝送する、VoLTE (Voice over LTE) が採用され、クリアな音質の新しい音声コーデックの採用が可能となりました。

■各国・地域の思惑が交錯する国際標準化の舞台ではどのようなご苦労があったのでしょうか。思い出深いエピソード等をお聞かせください。

3Gについては、世界統一標準をめざしたこともあり、各国のプレイヤーが自分の技術を国際標準にしようとする熾烈な論争になりました。各国地域での選定、最終的に世界レベルへの統合と、段階を追って議論が過熱しました。



欧州では標準方式の対象として5つの候補があり、そのうちの1つがW-CDMAです。欧州の標準化団体ETSI (European Telecommunications Standards Institute) の中では、TD (Time Division) -CDMAとの間で1年間ほど激しく議論が展開されていました。これは欧州での議論ですが、日本はNTTドコモが推進したW-CDMAに決めていたため、NTTドコモとしても深くかかわり欧州出張が増えた時期です。ある欧州オペレータとのミーティングでコアネットワークプロトコルはGSMとする前提で、無線アクセスはW-CDMAする方向性に合意するなど進展がありました。それが1998年1月の会合において、W-CDMAを基本として一部にTD-CDMAを取り入れることで欧州提案が決定しました。この過程ではTD-CDMAを推すあるベンダとも個別の技術論争をしましたが、後に、その論争相手の技術者と共著でIEEE Communication Magazineに投稿するという関係にもなりました。

米国ではW-CDMAとは異なるCDMA2000を主要プレイヤーが推進していました。日欧対米国という構図にとらえられますが厳密には国地域間の戦いでなく、W-CDMA対CDMA2000の論争であり個々ベンダやオペレータのプレイヤーどうしの議論です。これが世界統一標準をめざす最後の段階です。単なる技術論争だけでなく、標準化とはある意味背中合わせの関係にある特許等のIPR (Intellectual Property Right) の扱いに関する議論まで展開され、標準化の進展が危うくなり、当時は未来永劫3Gの国際標準仕様ができないのではないかと思ったほどでした。技術的に両方式のハーモナイズを試みた数多くの取り組みがなされましたが、失敗の連続でした。最終的にはオペレータハーモナイゼーショングループ (OHG) で議論したハーモナイゼーション提案が合意されました。共通性を高めるために一部のパラメータを変更するものですが、結局両方式を互いに認め、相互

運用のためのエクステンションを定義するという案で、本当の意味での唯一の世界統一標準ではありませんでした。IPRの問題もベンダどうしの合意で解決し、OHGのハーモナイズ案をベースに標準化が進むことになりました。NTTドコモは2001年3G商用開始に向けてシステム開発を進めていましたが、最終段階でのキーパラメータの変更や標準化の遅延は商用システム開発に大きく影響し、それはそれで大変だったのです。

4Gにおいても、前述のように、3Gで学んだ教訓である、次世代へのスムーズな進化パスが重要でした。先ほどNTTドコモのビジネス上の話をしましたが、実際、欧州を含むオペレータは3Gへの莫大な投資の後、次世代への投資を躊躇し、4Gの標準化に消極的でした。4Gの標準化は標準化を開始しようとする仲間づくりから始まりました。標準化に強い影響力を持つベンダとの個別ミーティングから始め、次第にオペレータを含むマルチラテラルミーティングで標準化開始の機運を高めました。これらのベンダには、対CDMA2000の論争相手だったベンダも含まれており、技術的に先進的で尊敬すべき技術者が多くいると認めていました。まさに昨日の敵は今日の

友のごとく、協力関係を持って進みました。

2004年12月の3GPP (Third Generation Partnership Project) の会合で検討を始めることが合意され、私が取材を受けた内容が、大晦日の日経新聞朝刊一面に「スーパー第3世代」と報じられたのを憶えています。3GPPでの検討が進みワークアイテムの略称がロングタームエボリューションから来たLTEだったので、LTEがよく知られるようになりました。

一方、CDMA2000側もその発展形のUMB (Ultra Mobile Broadband) の標準化を進めていました。CDMA2000は第2世代にとらえられているcdmaOneからのアップグレードが容易でその普及は早かったのですが、W-CDMAはGSMコアネットワークを基盤にしており、2Gで世界的に広く普及したGSMを採用するオペレータが自然に導入するので、W-CDMA契約者数が標準化後何年も経ってから逆転することが明確になりました。この状況で、主要なCDMA2000オペレータがその発展形のUMBでなく、LTEを導入することを発表したため、LTEが唯一の統一世界標準になることが明確になりました。私は後に、このCDMA2000オペレータにおいてこの判断をしたといわれる当時のCTO (Chief



Technical Officer) に会う機会があり、感謝の意を伝えました。標準は標準化の場で決まるとは限らず、このように市場が標準を決めることがあります。市場動向を読む重要性とGSMの成功に乗る判断の正しさが10年後に証明されました。

技術標準の普及のための標準化を進め、技術が安価になり、さらに技術が広がるという世界づくり

■これまでの各世代の移动通信システムの開発者、およびITU電気通信標準化局長という現在のポジションから標準化や研究開発を眺めたとき、今後のBeyond 5G/6G技術発展にどのような思いをお持ちですか。

私は、「偶数世代のみ大成功の法則」を見出したように、分析を基に将来のトレンドを読むことを楽しんでいます。技術の動向や開発の傾向を、なぜこうなるのだろうと常に意識・分析して眺めています。意外なメッセージで人の注意を引くための意図もありますが、同時に重要なメッセージを発信できます。

その視点で、移动通信の技術発展を眺めたときにこの偶数世代の法則がこの先成り立たなくなると気付きました。これは直近のインタビューで経済部の記者からの「なぜ（移动通信システムは）世代交代をするのか」という素朴な疑問を呈された際のことです。これまで約10年ごとに新しい世代が登場してきました。3度も4度もそれが起こるとこれからも10年ごとに新しい世代が出てくると、自然にそう考えてしまいます。4Gまでは、世代交代のたびにアナログFMからデジタルTDMAに、さらにW-CDMA、OFDMAへと、新しい無線アクセス技術が登場してきました。しかし5G以降は、新しいコンセプトに基づく技術というよりも、既存技術の延長といえます。私はこれを、例えばアンテナ数を増やすといった「力業の技術」と呼んでいました。このように技術進化の観点から5G以

降は様相が変わっています。さらに標準化の観点でも、世界統一標準に至る4Gまでと、それ以降の5Gでは局面が変わっています。これらの変化を踏まえると、これまでの「移动通信世代の法則」は、5G以降への適用が危うくなるかもと最近考えるようになりました。

5Gの場合は、他業界からも注目を集めることで業界間のコラボが生まれる良い面がある一方で、過度にマーケティングツールとして使われてしまって市場に混乱を来たす悪い面が出てしまったと思います。

マーケティング、ブランディングに惑わされることなく技術の本質を見極めて、次の10年、次の世代でどのタイミングでどの技術を普及させるかをしっかりと考えるのが重要です。ITUにおける現職の立場からすれば、まだ世界人口の3分の1はインターネットに未接続で、いまだに2Gに頼っている多くの国があることにも目を向けなければなりません。必要以上に早い世代交代はこうした地域との格差を広げるリスクがあります。開発途上国にとっても技術先進国にとっても世界全体のエコシステムが最適になる世代進化を追求していく必要があります。

■最後に今後の抱負と、次世代を担うNTT内外の研究者・技術者へのメッセージをいただけますでしょうか。

NTTの研究所に入所した当時は興味本位で研究開発に取り組んだこともありましたが結果的にそれらは採用されず、研究所はそれらを本当に役に立つものではなかったと、健全な判断をしたのだと今になって思います。そうした経験も含め、私は常に技術への情熱、すなわち“パッション”を持って仕事に取り組んできました。

当時の私は研究開発に夢中で、そのころの私からしたら今回の受賞も、今日のポジションに就くことも想像もつかなかったはずで、本当に私は技術を前に進めること、性能の向上ばかりを追い求めていました。一般に技術進化は人々の生活や社会の幸せにつながりますが、過度なマーケティング

のための技術、技術の本質に根差さない進化は世界全体に悪い影響を与えます。今から思うとこの過去の私の姿勢や業績は世界のエコシステムにプラスに働いたか今の立場で検証が必要ですが、おそらく間違いはなく、技術進化は社会を幸せにすることに貢献したのではないかと思います。

開発者、研究者の皆さんは、興味を持てる、情熱が注げる技術開発に集中するのが一番です。その一方で、世界中の人の役に立つという視点も忘れないでほしいと今の立場で思います。世界中にはさまざまな人がいて、さまざまな文化的・経済的背景をもって生活しています。こういった人たちがすべてに役に立つということは、その技術が世界中どこでも使えるということにほかなりません。そのための重要な役割を果たすのが国際標準なのです。だからこそ、国際標準化の価値を意識して技術開発を進めていただきたいのです。これを進めていくためには、どうぞパッションを大切にしてください。

最後に、現職のITU電気通信標準化局長のポジションは選挙によって選出されます。現在はその際に掲げた技術標準を世界に広げるといったコミットメントの実現に向けて一生懸命実行しています。標準を開発するだけでなく、それが広く普及して初めて国際標準化の価値が出ると考えています。今後も技術標準の普及のための国際標準化をしっかりと行い、それによってサービスが安価になり、さらに技術が普及し、人々や社会の役に立つという世界づくりに努めていきます。

NTT人間情報研究所
客員上席特別研究員

東中竜一郎 Ryuichiro Higashinaka

古くて新しい課題「共通基盤」を、最先端技術を活用して解明し、コンピュータと人のコミュニケーションに挑む

人と人のコミュニケーションにおいて、共通の話題・前提条件・認識等の「共通基盤」が一致しているときにお互いに理解し合えてコミュニケーションが成立します。共通基盤を構築することができれば、コンピュータと人のコミュニケーションもより円滑になります。共通基盤の概念は古くからありましたが、人の認知と深く関連することもあり、いまだに解明されていないことも多々あります。それを一つひとつ解明していくことで、共通基盤構築のプロセスを実現することが可能となります。こうした共通基盤を、生成AI（人工知能）等を活用して解明し、コンピュータと人のコミュニケーション実現に挑む、NTT人間情報研究所 東中竜一郎客員上席特別研究員に、古くて新しい課題に取り組む姿勢と「失敗ではなく成功しなかつただけ」という考え方を伺いました。



 「共通基盤」構築のメカニズムを解明し、コンピュータと人のコミュニケーションの実現をめざす

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。

人と人のコミュニケーションにおいて、共通の話題・前提条件・認識等を理解し合う、「共通基盤」が一致しているときにお互いに理解し合えてコミュニケーションが成立します。私は、この共通基盤の研究をテーマとして、人の共通基盤構築のメカニズム解明、モデル化を行い、それをコンピュータと人の共通基盤に適用することで、コンピュータと人の円滑なコミュニケーションの実現をめざしています。

前回（2022年5月号）では、電気通信大学、静岡大学、慶應義塾大学との共同研究に関連し、①2名の作業者が、配置の異なる共通の図形集合を見ながら、テキストチャットにより図形配置を共同で決定していく「共同図形配置課題」を設定し（図1）、図形集合どうしの距離を測ることで、対話の各時点での共通基盤の構築度合いを可視化可能とした、②共同図形配置課題について、図形配置方法を一般的な物等に例えて説明する（例：自動車の車

輪のように配置する）「名付け」の有用性・重要性を確認した、③テキストチャットで行われた共同図形配置課題の研究を拡張し、音声や映像を用いたコーパス（自然言語等のデータを大規模に集積したもの）を構築・分析し、映像が存在するほうが共通基盤構築が行いやすいことを確認した、④初対面条件よりも知り合い条件のほうが共通基盤構築が行いやすいことが分かった、ことを紹介しました。

その後、研究を継続していく中で、以下の進展がありました。(a) 2人で話し合いの目標を決める「目標名付け」が非常に重要であるということが分かった、(b) タングラム（正方形を分割したピースを用いるパズル）で作成した図形について対話をしながら名前を付けていくタングラム命名課題（図2）において、形全体に名前を付けるような発話（Holisticな発話）と図形の詳細を述べる発話（Analyticな発話）を人は使い分けていることが分かり、それをどのように使い分けているのかについて実験的に明らかにした、(c) 相手と同じタングラムを見ていることを伝える際の、うまくいく場合といかない場合の認知モデルに関する実験を行った。(d) 共通基盤を測るための新しい課題を考案してデータを収集し、マルチモーダル情報がどのくらい共通基盤・相互理解に影響を与えるかの調査を行った。

「目標名付け」については、名付けの効果を検証する中で、ま

だ存在していないものに対して名付けする。例えばある図形集合に対して「運転席と荷台があるように見えるので、これをトラックにしましょう」といったように最初に名付けて（目標名付け）、それをベースとしてどの位置を示すのか（例：荷台の位置）、どのように配置するのか（例：荷台を上に向ける）等のやり取りをすると、2人が同じ図形集合を認識して同じ配置にする（成功する対話）目的に対して有効であることが分かってきました。そして、目標名付けが登場したタイミングを分析し、成功する対話は目標名付けが対話の流れの序盤に出現する、つまり2人の意識を最初に合わせることで成功対話が多くなるということが分かりました（図3）。

Holisticな発話とAnalyticな発話については、実際人間の活動をみると、相対的にHolisticな発話の頻度が高い傾向にあり、最

初はHolisticな発話で、それで問題が生じたらAnalyticな発話になるということが分かりました。さらに、それを生成AI（人工知能）を用い、まずHolisticで話してみて反応に応じてAnalytic発話を行うようなプロンプトに基づくシステムを試作し、システムの精度（タスクの達成度合い）を分析しました（図4）。HolisticとAnalyticを意識して使い分けるP条件では安定した発話数でタスクが達成できていますが、Holisticのみを用いるH条件ではたまたに極端に少ない発話数でタスク達成できるものの分散が大きく、Analyticのみを用いるA条件ではタスクの達成に非常に多くの発話が必要になる（手間がかかる）ことが分かりました。これは、人の対話において、最初はHolisticな発話で、それが分からないとAnalyticな発話になるという順番が安定したやり取りを実現で

オブジェクトを**共通の配置**に移動するデザインタスク

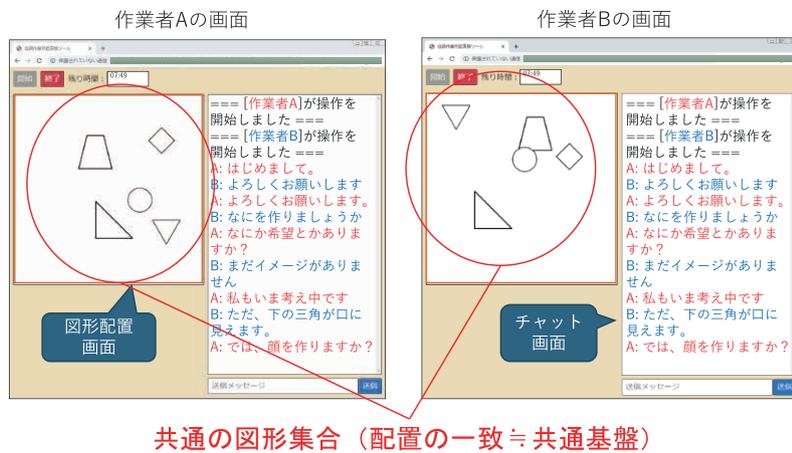


図1 共同図形配置課題

オブジェクトに**共通の名前**を付与する命名タスク

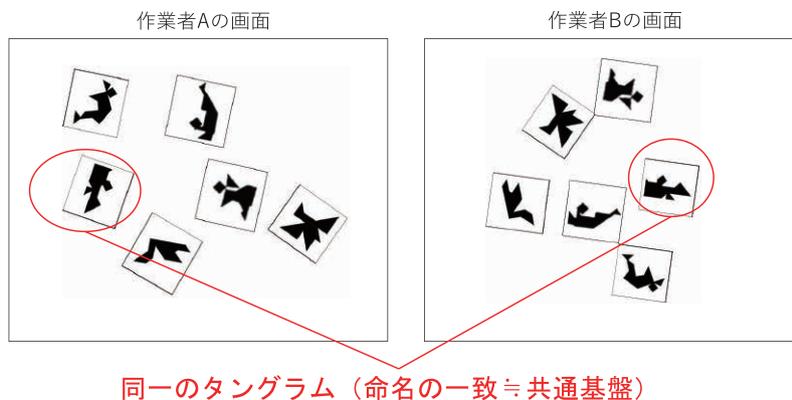


図2 タングラム命名課題

挑戦する
研究者たち

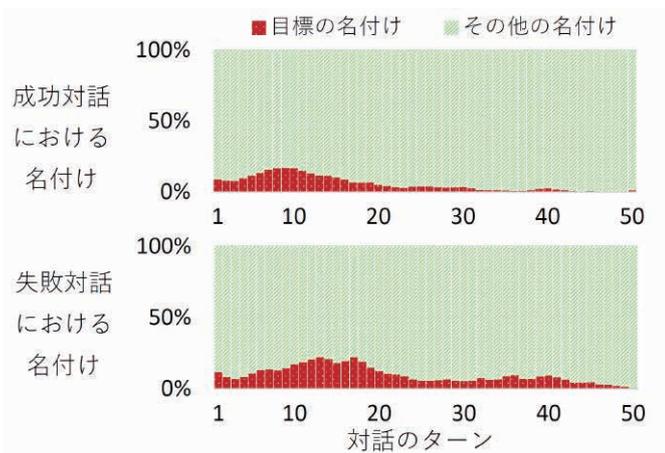
きることを示していると考えられます。

言葉以外ではどのようなことが分かってきたのでしょうか。

タングラム命名課題で人間が行っている処理を認知モデルの視点から説明すると、まず送り手側で伝えたい画像をイメージし、そのイメージを言語化して受け手に伝えます。そして、受け手側は、その言葉からイメージをつくり、そのイメージを手元の図形とマッチングをして選択するという過程を辿ります。そこで、認知モデルのプロセスをコンピュータ上でシミュレータとして実現し、相手がもし送り手側の図形を理解できなかったときに、どのような調整をすれば理解できるようになるのかという点について実験を行いました。具体的には、イメージ化と言語化の両方を調整対象とし、それらのどこを調整すると精度が上がるのかを調査しまし

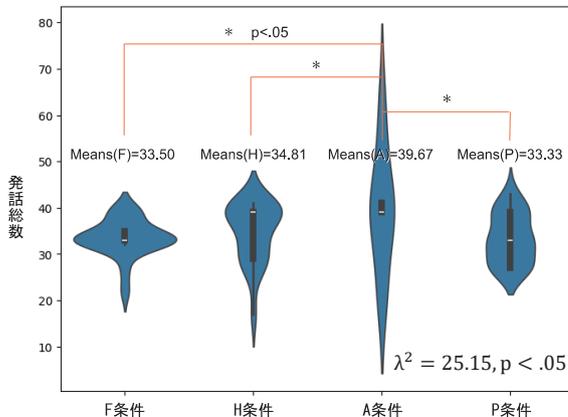
た(図5)。その結果、言語化の調整だけでも精度はよくなるのですが、イメージ化を含めて調整することで多様な表現を生み出し、人間らしいやり取りに近づいている、つまりイメージ化と言語化、両方の調整が重要であることが確認されました。この結果については、2025年のThe 47th Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci 2025)という国際会議で発表されます。

新しい課題とデータ収集については、「共同物語並びかえ課題」を新たに提案してデータ収集を行いました。この課題は、2人と同じ動画から切り出された画像集合(動画を10分割し、それぞれの分割から1枚ずつ切り出したもの。話者によって画像集合は異なり、ランダム順で提示される)が与えられ、身体を使いながら対話をし、それぞれの画像に対してどの順番が正しいかを予測して並び変える作業を行います。そして、画像の並びが一致してい



- ・成功対話では目標名づけが序盤に出現
- ・最初に目標に名前を付けることの重要性を示唆

図3 目標名付け



P条件(使い分け)は安定した発話数でタスクが達成できる

H条件だけだとたまに極端に成功する
A条件だけだと非常に手間がかかる

- F条件: HolisticとAnalyticを意識しない通常の会話
 - H条件: Holisticのみの会話
 - A条件: Analyticのみでやり取りを行う
 - P条件: HolisticとAnalyticを意識して使い分ける会話
- 図の幅はタスク達成までの発話総数の頻度

図4 実験条件ごとの発話総数とシステムの精度

る度合いを共通基盤の一致とみなすことで、表情やジェスチャと共通基盤の関係を分析します。これまでの共同図形配置課題に比べて、時間という軸が増えており、それを身体動作等により表現するので、共同図形配置課題のマルチモーダル版のような位置付けです。動画の並べ替えの時間と動画の説明の時間を分離することで、表情やジェスチャの共通基盤への影響のみを計測できるようにしました。この実験では、セッションが繰り返されるごとに2人間の一致率が上がっており、セッションごとに共通基盤が構築されている様子が確認されました（図6）。この中でどのような表情やジェスチャが共通基盤構築と関連して出現したのかを調査することで、モダリティとの共通基盤の関係が分析できます。

👤 ロボットどうしの対話、人の会話におけるターンテイキングの研究に取り組む

共通基盤以外ではどのような研究をしているのでしょうか。

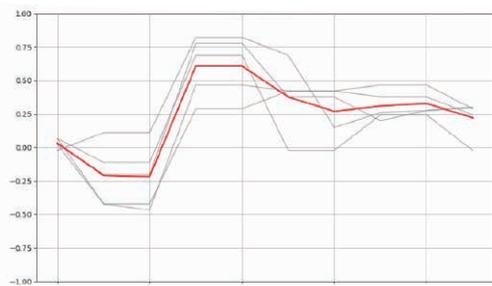
共通基盤以外では、大阪大学、国際電気通信基礎技術研究所

(ATR) と共同で、対話ロボットの研究を行い、複数体ロボットとのインタラクションが話者の意見に与える影響を検証しました。2台の対話ロボットを配置して、それぞれが異なる意見を持って議論する場面で、2台とも同意してくれるパターン、片方が不同意を言い続けるパターン等、いくつかのパターンをつくり、議論している途中で対話ロボットが人に「あなたはどう思うの？」と聞き、その意見にロボットたちが同意するか同意しないかによって、人の意見がどのように変容するかを調べました。一番相手の行動が変わったパターンは、例えば旅行に行くなら北海道か沖縄かという議論をロボットがしているときに、「あなたはどう思うの？」と聞かれ「北海道がいい」と言ったときに、沖縄がいいと言っていたロボットも翻って「確かにそうだ（北海道がいい）」と収束する同意パターンにすると、納得感が増して意見の確信度が高まったと感じることを確認しました。これは、2022年3～8月に日本科学未来館で、「きみとロボット」展としてデモを展示しました。また、『International Journal of Social Robotics』にも採録されました。

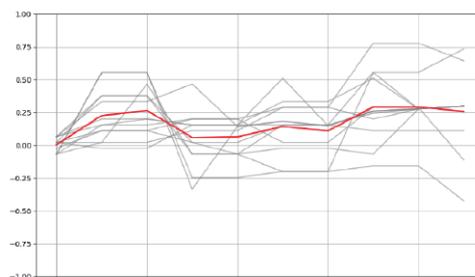
このほか、私が教員をしている名古屋大学とNTTコミュニケーション科学基礎研究所の共同研究で、会話の流れによって主導権



図5 認知モデルをもとにしたモデル化



共通基盤の進みがよい例



共通基盤の進みが不調な例

図6 共通基盤の構築の可視化

が入れ替わる、話者交替のメカニズムである「ターンテイキング」の研究をしています。ターンテイキングでは相手の発話終了を知ることが重要であるため、日本語で相手の発話がいつ終わるかを予測するモデル (Voice Activity Projectionモデル: VAPモデル) の構築に取り組んでいます。深層学習モデルのTransformerをベースとしたVAPモデルについて、日本語、英語、英語+日本語のデータで学習させ、それぞれのパターンでどうVAPモデルの性能が変わるかという基礎的な評価実験を行いました。また、そのVAPモデルを実際の対話システムに組み込んで性能が上がるのかどうかといった影響を検証しました。

そして、これまでの活動をベースとして、2023年2月に分野全体の教科書となる『対話システムの作り方』(近代科学社刊)、2024年6月に『Pythonと大規模言語モデルで作るリアルタイムマルチモーダル対話システム』(共著、科学情報出版株式会社刊)を上梓しました。

チャレンジな古くて新しい課題に、最先端技術を活用して挑む

研究者として心掛けていることを教えてください。

どの分野の研究においてもそうだと思うのですが、古くて新しい課題というものが多いです。それにしっかりと取り組むことが重要ではないかと考えています。私のテーマである「共通基盤」は概念や古典的な理論そのものは以前からありましたが、分からないことがあまりに多い、あるいは研究が進むにつれて次々と新しい課題が出てきているため、まさに、古くて新しい課題なのです。

こうした課題をテーマとすると、データ収集やシミュレーションそしてそのための環境づくり等、地味で根気のいる部分もあり、さらにはそれが問題解決につながるかどうか分からない、やってみなければ分からない場合もあります。こういったことを繰り返しているうちに、何かを発見できてくるのですが、それはある現象のほんの一部でしかない、ということもよくあります。このため、古い課題ではありながら、長期にわたって手が付けられてこなかった課題ということもあり、チャレンジな課題でもあるのです。

最近は大規模言語モデルのような新しい技術、最先端の技術も多々登場してきており、これを活用することでこれまでできなかったようなシミュレーション等を行うことも可能となりました。最先端の技術をウォッチ・キャッチアップし、それにより研究の新たなステップを踏み出すことができれば、それを実用レベルにす

ることができるのではないかと思います。古くから手が付けられずにいた課題であるからこそ、そのインパクトは大きなものでもあります。だからこそ、古くて新しい課題にしっかりと取り組むことが重要なのです。

 **結果が失敗でも何かを得ることができれば、それは成功しなかつただけ。そのために本質をとらえた研究が大切**

後進の研究者へのメッセージをお願いします。

課題・テーマの本質をとらえて研究を進めてもらえればいいと思います。そのために、課題の基礎的な部分をしっかりと押さえることが大切です。前述のように、古くて新しい課題に取り組むときに、最先端の技術をキャッチアップしてそれを活用して研究に取り組むと、新たなステップに踏み出すことができるのですが、最先端の技術を追いかけしているとそれが華やかに見えて、ついそちらに目がいくようになり本質から遠ざかる可能性があります。これは、古くて新しい課題に限った話ではなく、基礎的なことがしっかりと押さえることができていると、最先端の技術との位置関係も理解できるので、逆に効果的な活用方法のアイデアも出てきて、研究を前進させることができます。

そして課題・テーマの本質をとらえたうえで、失敗をおそれずにチャレンジしてもらいたいと思います。本質をとらえることができていると、たとえ結果が失敗だったと思えても、その状況、原因等を理解することで、必ず何かを得ることができます。つまり、それは失敗ではなく、単にその取り組みは成功しなかつただけであり、得られたものを糧にさらなる前進につながるのです。

NTTデータグループ 技術革新統括本部

正野 勇嗣 Yuji Shono

AIエージェントが自律的に 対象業務のタスクを抽出・整理・ 実行する，生成AI活用コンセプト 「SmartAgent™」

2022年11月にOpenAIが生成AI（人工知能）やChatGPTを発表したことで、文書作成の自動化や一部の自動プログラミング等、AI活用の領域は大きく広がりました。この動きを受け、DX（デジタルトランスフォーメーション）を加速させる新たな取り組みとして、多くのSIerが新規ビジネス領域へ進出しています。こうした生成AIの進化とともに、複数のAIモデルが連携し、複雑な業務への適用が可能になる中、重要性を増しているのが、自律的に行動する高度なソフトウェアシステムであるAIエージェントです。今回は、こうしたAIエージェントに関する技術開発を行う、NTTデータグループ 技術革新統括本部 正野勇嗣氏に、生成AI活用コンセプト「SmartAgent™」とその実現に向けた技術、技術的な価値を届けることで社会に貢献していくという想いについて伺いました。



「SmartAgent™」を実現する「AIエージェント構築技術」における5つのコア技術

現在、手掛けている業務の概要をお聞かせいただけますか。

現在、私たちは、利用者の指示に応じてAI（人工知能）エージェントが自律的に対象業務のタスクを抽出・整理・実行し、新たな労働力を提供する生成AI活用コンセプト「SmartAgent™」の実現に向けた技術開発に取り組んでいます。

SmartAgent™では、業務全体を俯瞰しながら動作する「パーソナルエージェント」が、複数の専門的なスキルを持つ「特化エージェント」と連携し、対象業務のタスクを自律的に処理します。これらは、業務アプリケーション、AIエージェント構築技術、AIモデル、インフラの4層で構成されるスタックにより実現されています（図1）。例えば、法務や経理、人事などの業務領域に特化したエージェントや、顧客の行動特性を学習した特化エージェントが協働することで、利用者に最適化された業務自動化を実現します。これにより、業務の効率化とともに、新たな労働力の提供が可能となります。

このSmartAgent™の中核を担うのが、図1のスタックの中の「AIエージェント構築技術」です。この層は、主として5つのコ

ア技術から構成されています。

(1) Task Planning

一連の業務を、複数のタスクに分解し、自律的に整理してワークフローを生成します。各タスクは、適切な特化エージェントに割り当てられ、各エージェントが連携しながら業務を実行します。NTTデータのSI業務モデルに対して簡易検証を行った結果、設計やテストなど、SIの特定フェーズにおいて、その有効性が認められました（図2）。

(2) Multi Agent

複数のAIエージェントが連携しながらタスクを分担し、相互に協調して業務を遂行します。これによりアウトプットの質を高めます。

(3) Advanced RAG (Advanced Retrieval-Augmented Generation)

データの高度な解釈による検索を実現し、情報理解の性能を向上させます。RAGは、より正解文書にヒットしやすくするクエリ変換「Query Rewriter」、検索「Retriever」、検索後の結果の並べ替え「Reranker」、検索結果から回答生成を行う「Reader」、検索結果および回答生成結果を自動評価する「Evaluator」といったプロセスで構成されており、例えば「Query Rewriter」におけるクエリ変換手法に工夫を施す等、各プロセスに最適手法を

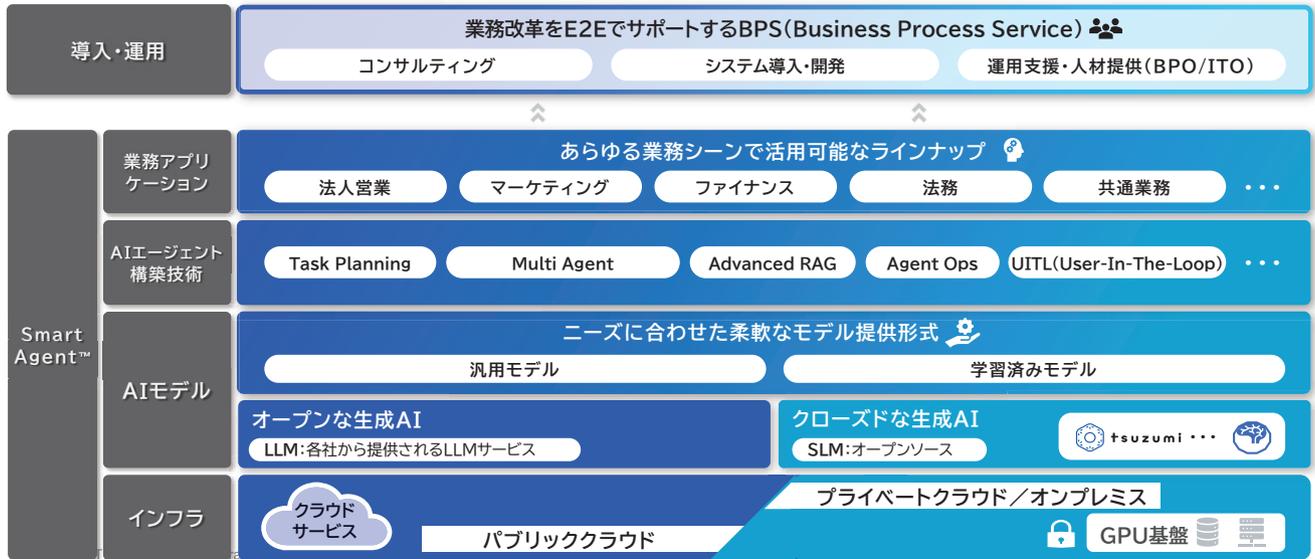


図1 SmartAgent™のフルスタック構成

SIユースケースにおいて、
ユーザからの指示を基にタスクプランニングを実施してどのエージェントにタスクを割り振るかを検証

#	工程	ゴール	想定プラン	結果
1	設計	設計に関するQA (複数設計書の参照)	①設計書検索 ⇒ ②情報集約 & 質問回答	◎
2	設計	設計書のレビューと修正	①レビュー ⇒ ②設計書修正 ⇒ ③情報集約 & 質問回答	△
3	テスト	バグの原因特定と修正	①設計書検索 ⇒ ②原因分析 ⇒ ③設計書修正 ⇒ ④情報集約 & 質問回答	◎
4	要件定義 (改修)	要件の変更による設計の連鎖的な修正	①要件把握 ⇒ ②設計書検索 ⇒ ③設計書修正 ⇒ ④情報集約 & 質問回答	×

◎ : 修正不要 △ : 大きな修正必要
○ : 軽微な修正必要 × : 全面修正必要

図2 Task Planningの有効性検証

適用させることで、最大24%の精度改善が見込まれます。ただし、各手法の適用にはコストが伴うため、業務要件に応じた取捨選択が必要です。

(4) Agent Ops

業務ドキュメントから検証用データを生成し、各種手法の組合せの最適化・評価を通じて、エージェントの導入から運用までをサポートします。また、「LLM-as-a-Judge」と呼ばれるLLMによる自動評価手法もあり、評価精度と運用効率の両面をかんがみて、適切に活用することが重要になります。

(5) UITL(User-In-The-Loop)

業務遂行時スピードや精度を踏まえたユーザのフィードバックを基に、エージェントのワークフローや出力を自律的に改善します。これにより、継続的な改善サイクルの確立が可能となり、時間を要する業務ほど、UITLの効果が大きくなると想定されます。

これらの技術は、生成AIの性能向上に加え、開発・運用・改善というエージェント適用のサイクルを支える仕組みでもあります。中でも、Agent OpsはDevOpsに近い概念で、実験管理など技術を運用面から支え、UITLはハルシネーションを前提とした、人間(ユーザ)との協調的運用を可能にする技術であり、これらの5つ

のコア技術を私たちの価値として提供しています (図3)。さらに、コア技術をベースとして、業界・業務に特化した Expertized Agent を柔軟に組み合わせることで、スピード感をもって価値提供できるサービス・ソリューションの構築が可能になります (図4)。

SmartAgent™ を実現した具体的な事例やユースケースをご紹介します。

SmartAgent™ のサービスとして、営業領域を対象に、「LITRON® Sales (リトロンセールス)」を2024年11月に提供開始しました。

LITRON Sales は、営業領域における各種業務を自律的に支援・

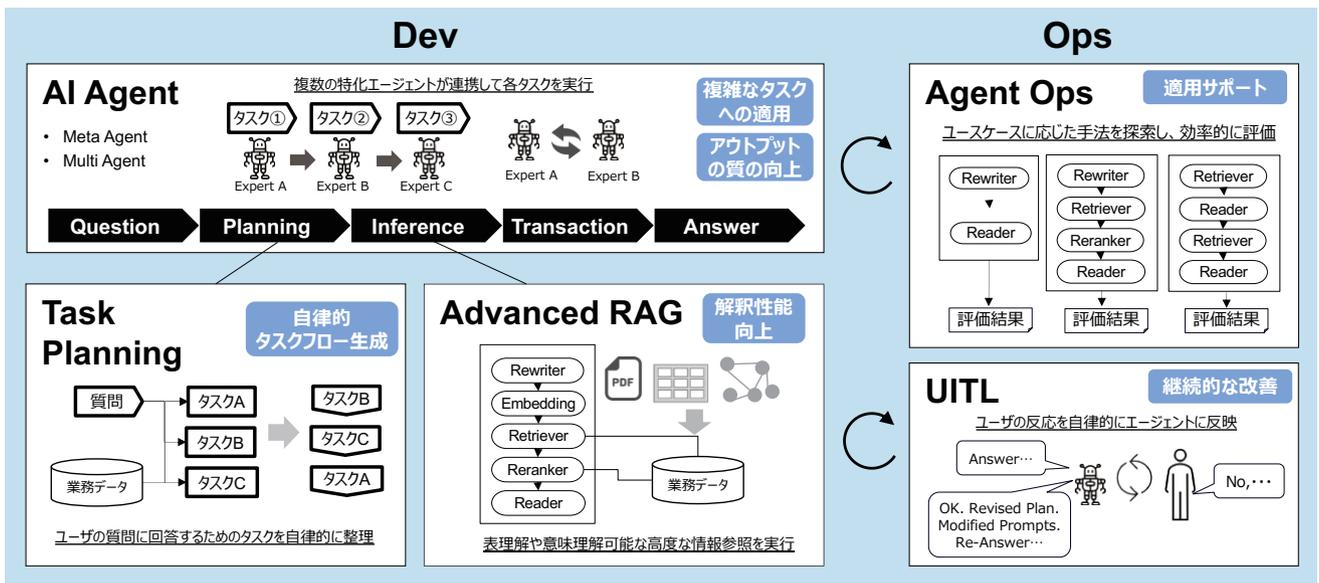


図3 SmartAgent™ コア技術の Overview

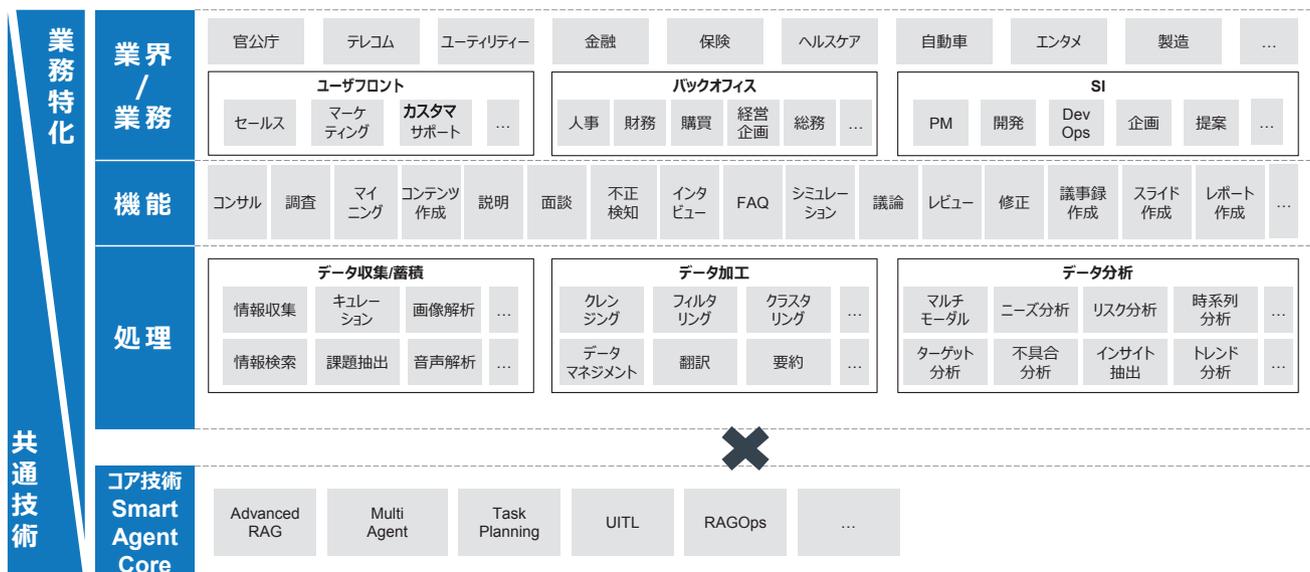


図4 Expertized Agent マップ

挑戦する
研究開発者たち

代行するサービスです。パーソナルエージェントが、特化エージェントにタスクを割り振ることで、データ入力、アポイントメント準備、提案書作成、契約書・社内文書作成などのタスクを支援・代行します。本サービスを活用することで、営業担当者の負担となっている事務処理、資料作成、日程調整などの業務負荷を低減し、お客さまへの提案活動など付加価値業務に充てられる時間を創出します。また、社内外の多様なインプット活用を通じた仮説構築力や提案力の向上を実現します。

LITRON Salesは段階的に機能提供しており、最初に提供したのは、議事録情報（テキスト・音声）から営業プロセスに必要なBANTC*などの重要情報を生成AIで抽出し、営業支援システムに登録されている商談情報を自動で更新する機能です。情報に不足がある場合には、次回入手すべき情報としてレコメンドします。本サービスを活用することで、営業担当者の営業支援システムへの情報登録業務の負担を軽減することが可能となるとともに、営業支援システムへのデータ投入が進むことで、生成AI活用に必要なデータの整備を早期に準備することが可能となります。

さらに2025年3月には、顧客経営課題分析から提案書作成までを実行するアポ・提案準備機能の提供を開始しました。提案先企業名と合わせて提案書の作成をパーソナルエージェントに指示すると、外部情報（IR情報、ニュースなど）や営業活動で得られた情報・議事録を検索し、顧客課題を抽出します。その顧客課題に対し、自社の提供可能なサービスなどの情報も自律的に検索しながら提案資料を作成します。

また、SmartAgent™の応用先として、損害保険業務の変革も視野に入れています。交通事故などの対応においては、経過記録

作成、事実情報確認、事故凡例特定、修正要素特定などの多くの工程がすべて人手によって行われており、高コスト・人材不足という課題を抱えています。これに対し、SmartAgent™に含まれる「保険」「レポート作成」「画像解析」「音声解析」「要約」などの特化エージェントとUITLを組み合わせることで、各工程の自動化が可能になります（図5）。このように、高度な業務領域においても、SmartAgent™は大きな価値を提供できると考えています。

自身の持つ技術的な価値を届けることで、さまざまな人への貢献を意識する

NTTデータにおけるスキルのバックグラウンドはどのようにして形成されてきたのでしょうか。

私は、2005年にNTTデータに入社し、当初はOSやミドルウェアの設定、Webシステム開発の自動化を支援するソリューション「TELASOLUNA」によるソフトウェア開発自動化に関する技術開発に従事していました。その後、金融・保険系や官公庁系などのミッションクリティカルなシステムの開発において、ソフトウェアアーキテクトとして技術支援を行ってきました。2020年から2年間ほどは、グローバル戦略室において、中期経営計画の投資戦略立案やデジタル戦略投資推進等に携わりました。こうした戦略

* BANTC: Budget (予算), Authority (決裁権), Needs (必要性), Timeframe (導入時期), Competitor (競合) の頭文字をとった営業情報。

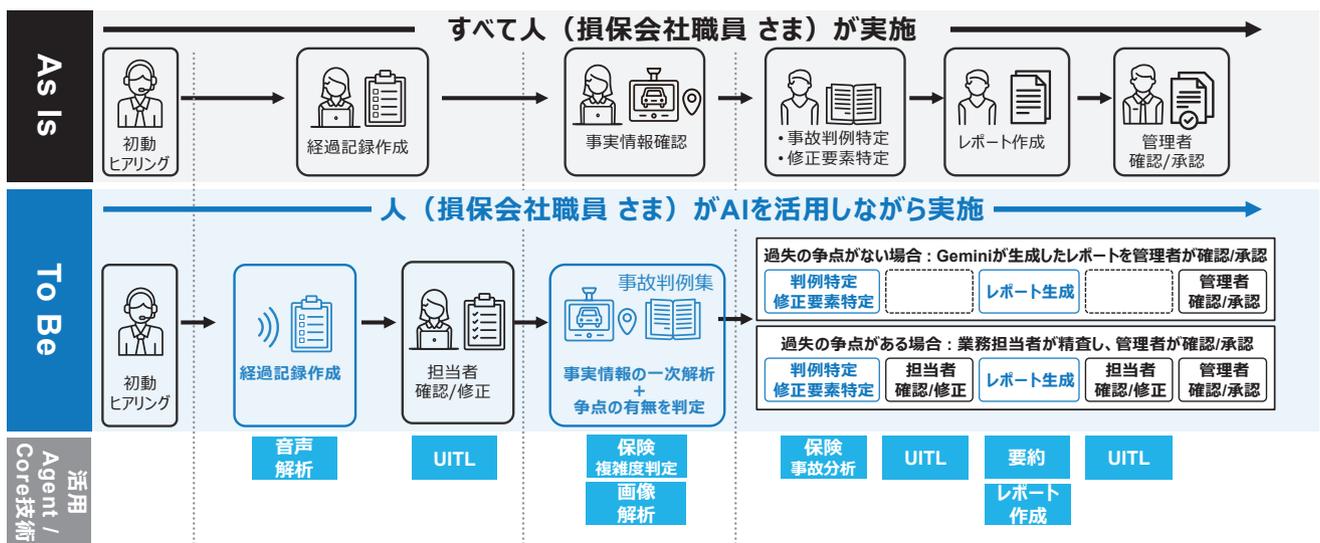


図5 ユースケース例：損害保険の業務変革

立案の経験を経て、2023年にはデジタル戦略を実現する、データ&インテリジェンス (D&I) 技術に関するグローバル技術開発のリードを担当するようになり、現在は生成AIに軸足を移して、SmartAgent™に関する技術開発やビジネス展開を推進しています。

振り返ってみると、私は一貫してソフトウェア開発技術をベースに、システム構築から経営戦略まで幅広くITの最前線で活動してきたと実感しています。AIにも学生のころから着目しており、ディープラーニングによるテスト自動化やプロジェクト管理の高度化に取り組み、実際にお客さま向けの提案にも活用してきました。そうした中で生成AIの登場は、当時抱えていた課題の多くを解決できる可能性を示してくれました。活用範囲も一層広がり、私自身も「技術を社会に届ける」視点で、さらに取り組みを深めていきたいと考えるようになりました。

技術開発においてどのようなことを意識しているのでしょうか。

私が常に意識しているのは、「技術を通じてさまざまな人に貢献する」ということです。ただし、貢献の形は状況や局面によって異なります。例えば、ソフトウェアを開発するにはアーキテクトとしての知見を活かし、トラブルシューティングの場面ではフルスタックな知識を駆使する、というように、それぞれのニーズに応じて適切な貢献が求められます。基幹系システムではメインフレームなど専門的な知識が不可欠ですし、グローバル戦略においてはMBA（経営学修士）的な知識体系も求められます。技術領域に限らず、マネジメントにおいても柔軟な対応力が重要であり、常に多角的な視点から自己研鑽を続けています。

最近では、グローバル化が進んでおり、特にそれを顕著に感じます。たとえ社内であっても多様な文化的背景を持つ人たちがかわるようになっており、相手の立場や商習慣の違いを理解するところから始める必要があります。そのうえで、「相手が何に困っているのか」「何を実現したいのか」といった本質的な課題を見極め、技術という共通言語で橋渡ししていくことが求められます。

そうした課題をグローバルな枠組みに適應させるためには、単に言語や文化を受け入れるだけでなく、自分自身の技術的価値を「相手のプロトコル」に翻訳し、的確に届けるスキルが必要だと感じています。

NTTデータでは、M&Aなどを通じて多様な国籍・文化背景を持つグループ会社が統合されており、グローバル共通の価値観を定義する「Our Way (Clients First, Foresight, Teamwork)」といったビジョンの浸透にも力を入れています。こうした組織的な方向性が、個人の貢献をさらに後押ししてくれると実感しています。

私にとって技術とは、システムやサービスを通じて誰かに価値

を届けるための手段です。以前、当社にとって技術的にも業務的にも極めて困難な案件プロジェクトをバックヤードで支援していた際、カットオーバーの日にお客さまから「NTTデータに頼んで本当によかった」という言葉をいただいたことがありました。その言葉は、開発者としての原点であり、結果にコミットしてお客さまに感謝していただくということが今もモチベーションの源となっています。

自分が活躍していく道を定めて、それを自分で実装していくことめざす

後進や読者へのメッセージをお願いします。

社会や会社において求められるスキルや経験は時代とともに絶えず変化していきます。だからこそ、「現状求められるスキルセット」を必ずしも是とする必要はありません。大切なのは、自分自身が描きたいキャリアの可能性を信じ、それを自ら設計し、実装していく姿勢だと考えています。

私がNTTデータに入社した2005年ごろは、IT業界において「3K（危険・きつい・汚い）」というネガティブな表現が使われたり、「SEの35歳定年説」が話題となったりしていました。しかし、SEという仕事の本質的な魅力は、そうした一時的な風潮に左右されるものではありません。

実際、年齢や役職に関係なく、フルスタックエンジニアやAIエンジニアなどの各分野のエキスパートたちが、今も最前線で活躍しています。社会や組織の変化に応じて、キャリアパスや制度も柔軟にアップデートされてきていることはもちろんのことですが、彼らが今も第一線で活躍されているのは、自身の軸となる想いをぶれさせずにキャリアの道を切り開いてきたからだと感じています。

もちろん、時とともに自分のめざす方向が変わることもあるでしょう。でも、その進路を自分で定めている限り、行き場を失うことはありません。変化を前提に「自分がどう生きていきたいか」「どんな価値を提供したいか」という軸を持ち、その実現のために自ら道をつくっていくことが大切だと考えています。

私自身、エンジニアとしての技術力で人々に貢献したいという想いを持ち続け、それを実現するために今も学び、挑戦し続けています。トライアンドエラーを繰り返しながらも、自分の軸足をぶれさせずに歩んでいく——その姿勢こそが、変化の時代を生き抜くための力になると信じています。

読者の皆さんにもぜひ、自分なりの「道」を設計し、それを自らの手で実装していくエンジニアリング的なマインドを持って、キャリアを築いていってほしいと願っています。



NTT未来ねっと研究所
特別研究員

笹木 裕文 Hirofumi Sasaki

無線通信システムの高速・大容量をめざして、 テラビット級無線伝送技術の実用化へ

5G(第5世代移動通信システム)から6G(第6世代移動通信システム)への発展、AI(人工知能)、AR(拡張現実)、VR(仮想現実)などのさまざまなサービスの普及に伴い、2030年代には無線通信システムのさらなる大容量化が必要となります。こうした将来の無線通信量の爆発的な増加需要に備え、NTTが独自に研究、開発しているのが、「OAM (Orbital Angular Momentum) 多重伝送技術」と「MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 技術」を融合させて、従来を凌駕する無線通信システムの大容量化を実現する「OAM - MIMO 多重伝送」です。今回はこのテラビット級無線伝送を可能にする「OAM - MIMO 多重伝送技術」のトップランナーである笹木裕文特別研究員にお話を伺いました。

◆PROFILE: 2013年大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社に入社。軌動角運動量多重伝送技術および光電融合無線伝送基盤技術の研究に従事。2018年電子情報通信学会学術奨励、2025年電気通信普及財団賞(テレコムシステム技術賞)。



従来の常識を覆した新たな方式が「全量子ネットワーク」の未来を引き寄せる

■はじめに「光電融合無線伝送基盤技術」とはどのような研究でしょうか。

光は電波より1000倍以上高い周波数であり、非常に多くの情報を効率的に取り扱うことができます。今後このような特徴を用いて、現在の無線伝送基盤を支えるエレクトロニクス(電気)技術に、電磁気学やフォトンクス(光)技術、およびその知見を導入し、圧倒的な低消費電力かつ大容量を実現する新たな無線伝送基盤技術の創出をめざしています(図1)。まだ構想段階で光の応用についてはこれから研究を深めていく段階ですが、今回はこのうち、電磁気学をベースに空間モードという電磁波の物理的特徴を用いた無線通信システムの大容量化について紹介します。

無線通信量は年々増大しており、4G(第4世代移動通信システム)・LTE(Long Term Evolution)のサービス開始から現在まで、すでに100倍以上となっています。将来的な無線通信の増大需要に備えて、無線通信の高速大容量化は急務です。無線通信において活用できるリソース(資源)は主に「周波数」「空間」「電力」の3つがあります。

電波の「周波数」についてのリソースは、現在非常に逼迫しているといわれています。しかし実際は、現在の技術やコストなどの要因から利用可能な、数100 MHz~数GHzの限定的な周波数帯域だけが混雑しているという状況です。現状の5G(第5世代移動通信システム)や今後2030年代以降の6G(第6世代移動

通信システム)、さらにその先の需要を見据えると、数10 GHzの周波数帯域(ミリ波)やさらにその上の100 GHz以上の周波数帯域(テラヘルツ波)まで、現在ではあまり使用されていない幅広い周波数資源を高い効率で利用し、活用するためのハードウェアやシステムに関する技術が開発されれば、さらなる無線需要の増大にも備えることができます。

さらに「空間」については、空間的に異なる方向に細いビームを多数形成すると(図1の青いビームのようなイメージ)、同一周波数帯でも互いに干渉することなく同時に信号を多重伝送できることは想像しやすいと思います。一方で、ここ10年ほどで研究が活発になってきた「OAM (Orbital Angular Momentum) 多重伝送」という空間モードの原理を利用して、同一周波数帯における信号の多重化ができれば、空間多重させる信号の数に応じてさらに伝送容量を増大することが可能になるため、周波数資源を余すところなく効率的に利用できるようになります。

私の研究では6Gに代表される新しい通信サービスによって発生する2030年以降の膨大な無線通信量増加需要に対応するため、上記のミリ波・テラヘルツ波などの超広帯域な無線周波数資源を開拓し、さらに空間資源を用いてこれらの周波数資源の利用効率を極限まで高める大容量化(空間モード多重)・多数同時接続(超多密度ビームフォーミング)を高いエネルギー効率で実現する無線システムの完成をめざしています(図1)。

無線通信の大容量化はいつまでも終わりなき技術課題であり、現在飛躍的な進歩を遂げつつあるAI(人工知能)、AR(拡張現実)、VR(仮想現実)などの新たなサービスに必要な膨大な情報を無

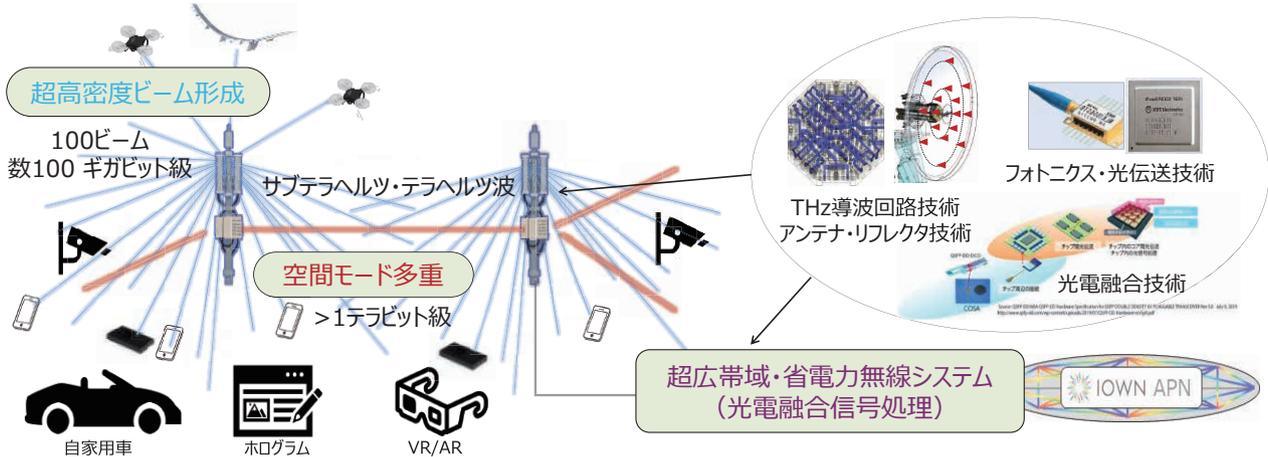


図1 光電融合無線伝送基盤技術の今後の展望

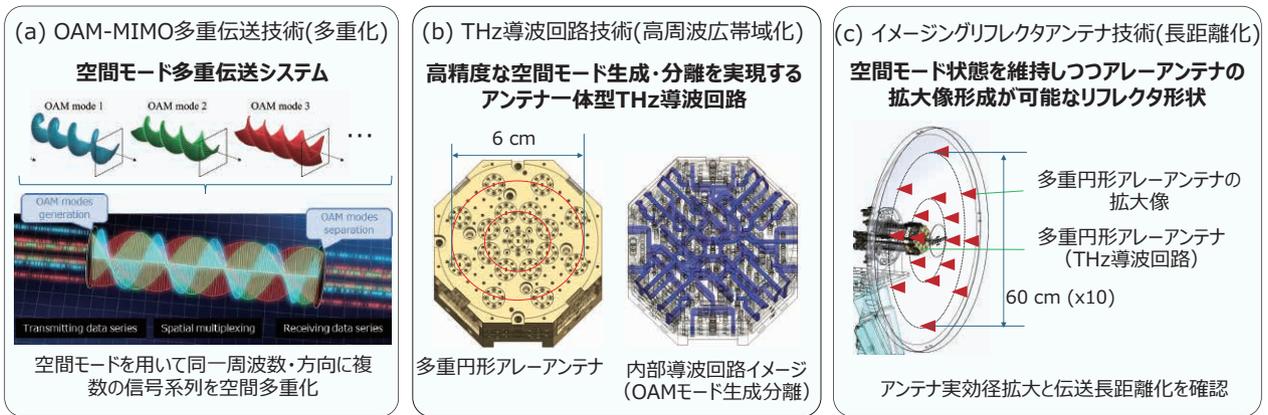


図2 空間モード多重伝送の要素技術

線で一般ユーザーに届けるためには、さらなる高速安定な無線通信システムが必要になります。例えば将来、現在の何100倍、何1000倍、もしくはそれ以上の高速安定な無線通信システムが安価に提供されるようになれば、SFで語られるような未来のサービスが創出できるようになるかもしれません。

■世界初のテラビット級無線伝送の実現に向けて具体的などのような技術研究に取り組まれていますか。

これまでは主に、テラビット級無線伝送の実現に向けて、現在はまだ利活用の進んでいない周波数帯である、サブテラヘルツ帯（150 GHz帯）における空間モード多重伝送技術の研究開発に取り組んできました。具体的には、次の3つの技術研究になります。

(1) OAM-MIMO多重伝送技術

電波の軌道角運動量（OAM）という物理量に着目し、電波の波面を精密に制御して複数の独立な空間モード（OAMモード）を形成するとともに、それぞれを異なる信号で変調することで同一周波数・同一方向に対して複数信号系列の多重伝送を可能とします（図2(a)）。実用にあたっては、まださまざまな課題はありますが、理論的にはOAM多重伝送により、信号の多重数を無限

に増やすことができます。このOAMモードを用いた多重伝送と、従来のデジタル信号処理ベースの空間多重伝送技術（MIMO: Multiple-Input Multiple-Output）を融合し、空間多重数の飛躍的な増大を実現したのが「OAM-MIMO多重伝送技術」です⁽¹⁾。

(2) THz（テラヘルツ）導波回路技術

35 THz帯における帯域幅135~170 GHzという超広帯域にわたって空間モードの波面を精密に制御し、複数の空間モードを同時に形成・分離が可能な「THz導波回路」の設計・試作に成功しました（図2(b)）。私が開発したこの「導波回路」は、8つの異なるOAMモードを高精度に同時生成・分離可能です。各モード内で最大2つ、すなわち合計で最大16の信号系列を空間多重できる機能を備えています。この「導波回路」はデジタル信号処理や外部制御不要の受動素子で構成され、専用の空間モード多重処理にかかわる新たな超高速デジタル信号処理装置の開発や、追加の運用コスト（消費電力等）などの実用化障壁を大きく低減することができます。

(3) イメージングリフレクタアンテナ技術

実用性を考えると、高速伝送可能な伝送距離も重要な課題になります。OAMモードを持つ電波は通常の電波と比較して距離が



離れるにしたがって拡散しやすいため、その拡散に対応するためのアンテナが必要になります。一般的には実効的なアンテナ開口径が大きいほど、より高い効率で電波を集中させることができるため、長距離伝送可能なビームが形成できます。一方で空間モード多重を行う場合、電波の波面は極めて高精度に制御された空間位相分布を持つため、この空間モードを崩すことがないような実効的なアンテナ開口を拡大する必要があります。そのため、小型の円形アレーアンテナの拡大像がメインリフレクタ上に歪みなく形成されるイメージングリフレクタアンテナ技術を考案し、これにより実効的なアンテナ開口径の拡大と伝送距離の長距離化が可能になりました(図2(c))。

例えば、前述の導波回路は6 cmのアンテナ開口径を備え、1 m程度の距離でテラビット級の無線伝送が実現できますが、本リフレクタによって片側(送信側)を7.5倍の45 cmに拡大することで、同等の高速伝送可能な距離を7.5倍まで長距離化できることを確認しました。つまり、送受双方のアンテナ開口径を10倍にすれば、等価な伝送距離は100倍になるということです。

これらの要素技術をシステムとして一体化することで、実験室環境においては1 Tbit/sを超える1.58 Tbit/sの超高速無線伝送を世界で初めて実証できました。また、空間モードを崩すことなくアンテナ実効径が拡大できるリフレクタアンテナ技術により、前述の送信側あるいは受信側のアンテナ実効径に比例して空間モード多重伝送距離が長距離化可能であることも実証しました(図3)。これは、商用の光伝送系に匹敵する超広帯域高速伝送であり、将来の無線基地局間をつなぐ光回線網の補完(無線バックホール・フロントホール)や大容量無線中継伝送など、将来の柔軟な無線ネットワークの構築に貢献できると考えています。今後はこれらの技術を実環境で評価するため、100 m以上の距離でフィールド伝送実験を行う計画です。

■研究で苦勞された点や今後の課題点を教えてください。

学術研究では理論的な革新性や進歩性が重要ですが、私はそれらに加えて、システム全体の有効性・実用性を実証して価値を示すことも大事な要素だと考えています。テラビット級無線伝送の研究では、世界一の成果を出すために必要十分な実験系の構築や自動効率化に加えて、屋外で実証する際には電波法などの法制度への対応など、チーム一丸で緻密な計画と膨大な準備が数多く必要になりました。

また、実験環境は非常に複雑であるがゆえに、理論どおりには動作しないことも当然のように多々あります。逆にそのおかげで、理論にフィードバックできる発見もたくさんありました。実験中は日々迅速かつ臨機応変な判断や理論の修正および仮説検証が当然のように求められるものですが、自分で宣言した目標について、責任を持ってやり遂げるのは日々苦勞の連続だったと記憶しています。

一方で、このような経験は現在進行中の新たな技術検証プロセスだけではなく、例えば少し違う分野も含めた研究の実現性・実用性を異なった視点から評価したり、新規研究テーマを議論した

りするうえで必要不可欠な技術的感覚を磨くための、極めて重要な経験だと考えています。

今後の課題としては、新たな無線伝送基盤(光電融合無線伝送基盤)の確立に向け、前述のとおり、無線伝送技術や光伝送技術に加えて、電磁気学やエレクトロニクス(高周波デバイス等)・フォトニクス(光デバイス等)などを含む非常に幅広い技術分野の知見が必要になるため、自身やチームの知識や感性を向上させることに加えて、これまで以上に組織内外の他分野にわたる連携が重要になると考えています。幸いNTTには各分野で非常に専門性の高い研究者が多く集まっていますし、国際的にも通信インフラを提供する企業として真摯に話を聞いてもらえる土壤があります。今後はさらに他の分野の技術との連携の幅を広げていきたいと考えています。

「エレクトロニクス」に「フォトニクス」を加えて、まだ見ぬ新時代の扉を開ける

■今後の研究の展望を教えてください。

以前実証実験で成功させた7.5 m間の距離を延長して、現在大規模な100 m以上の伝送実験を進めているのですが、これが成功すれば現実的には、まずは無線基地局のバックホールとして使用できるようになります。2020年度に行った40 GHz帯フィールド実験の様子を図4に示します。

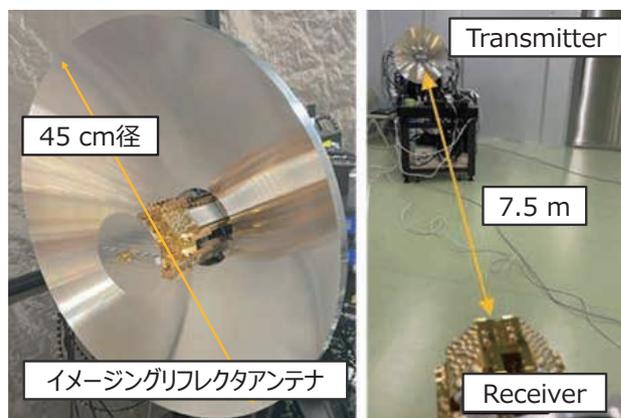


図3 実験室環境における伝送実験の様子

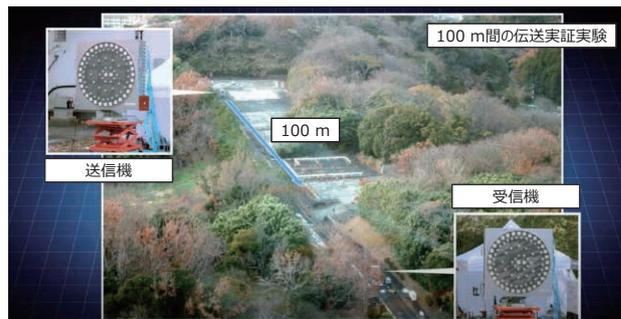


図4 2020年度に行った40 GHz帯でのフィールド実験の様子

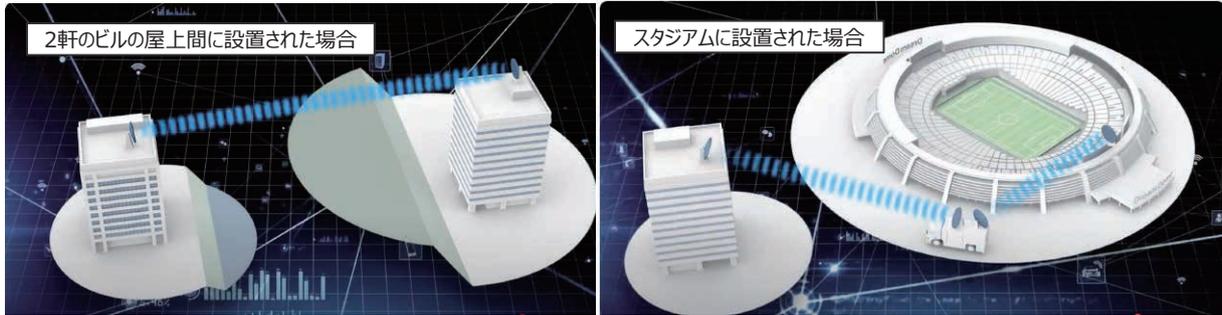


図5 テラビット級無線通信システムの実用化と将来の展望

また、都市部のビルどうしやスタジアム内などの空間での無線通信を高速大容量化して高度なARやVRに活用することも将来は可能になるはずで（図5）。

例えば、ボーカロイドのライブなどのように3Dプロジェクトなどの新しい技術と組み合わせて、海外で行われているサッカーの試合を都内のスタジアムで擬似的に同時観戦することができるようになるかもしれません。海外の有名選手たちが実際にプレイしている様子をテレビ画面に映し出されていない部分も含めて、近隣のスタジアムなどで再現できるようになったら大変面白いと思います。

加えて、電波の1000倍以上高い周波数である「光」を活用することで、非常に多くの情報を効率的に取り扱うことができます。現在の無線伝送基盤を支えるエレクトロニクス（電子）技術にフォトニクス（光）技術を導入し、圧倒的な低消費電力かつ大容量を実現する新たな無線伝送基盤技術創出が目標です。

これらの研究により、超広帯域かつ高エネルギー効率な無線システム制御を実現することによる抜本的な大容量・低コスト省電力化に加え、現在IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）Global Forumを中心に議論されているオールフォトニクス・ネットワークとのシームレスな接続を可能とすることによる実用化障壁の低減、NTT光デバイス技術（光コヒーレントDSP技術・光電融合デバイス技術等）の無線システムへの導入推進などにより、NTTのさまざまな事業に貢献できればと考えています。

■所属されているNTT未来ねっと研究所にはどのような印象をお持ちでしょうか。

私は入社以来ずっとNTT未来ねっと研究所に所属しています。ここでは、光・電波・音波などのあらゆる物理的な波を使用・活用して、未来の情報伝送システムに革新と高付加価値化をもたらすべく、研究開発に取り組んでいます。そのひとつの領域がOAMのような通信大容量化技術です。実際に所属して、基本的なアイデアから独自のビジョンを描き、それが本質的に必要なことだと認められると、中長期的な目線で技術が育つまでさまざまな挑戦をサポートしてくれる環境が整っている場所だと私は感じています。

世界初・世界一になるための壁は一朝一夕で簡単には越えられるような容易なものではありません。現実には、多くの要素技術を考案・ブラッシュアップし、さらにそれらを組み合わせ、実験環境

をつくり出して実証してやっと完遂できるものなのです。これら1つひとつに大変な時間と労力が必要なのは、いうまでもありません。このような新たな挑戦に対する支援が充実しているこの研究所は、研究者にとって大変恵まれた環境であると思っています。

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

私が特に感じていることですが、一線で活躍してイノベーションを創造する研究者たちは、誰にも負けない専門領域の知識と経験を備えていらっしゃいます。しかし、実際にお会いして話してみると、専門以外の分野でも多角的な視点で物事をとらえることに秀でているなと感じることが少なくないです。そして何より、彼らは自分の研究を「面白い」と思って取り組んでいるのではないのでしょうか。このような研究者たちが使う「面白い」という言葉は、単なる学術的好奇心だけにとどまるものではありません。実現性、技術革新レベルや価値、社会に与えるインパクト、実用化後の世界など、多くのことをイメージして出てくる言葉なのです。豊かな感性（センス）が必要な言葉だだと思います。私は大学時代に、世界的に活躍している教授から「それ面白いね！」と言われてもらったとき、とても嬉しかったことを今でも覚えています。普段はとても辛口な言動の方からの言葉だったので、とても印象深く記憶に残っています。

「実現性」や「革新性」「将来の展望」などを兼ね備えたアイデアを生み出せるような、豊かな「センス」を磨くためには、さまざまな知識や経験・議論の積み重ねが必要になると思います。まずは狭い範囲のことからで良いので、自分が「最先端」とであるという自負を持てるように努力しつつ、さまざまな分野の多くの方々と議論を交わし、多角的な視点を持つことがとても大切だと思っています。

現在ご活躍中の研究者の諸先生たちや、これから研究者をめざしている学生の皆さん、そして広範囲の社会的な視点をお持ちのビジネスパートナーの方々とも、ぜひいろいろな議論を積み重ねて、皆さんと共に、今後も新たな「面白い」技術を創っていただければ幸いです。

■参考文献

- (1) <https://www.youtube.com/watch?v=5P6lglgla2krg>

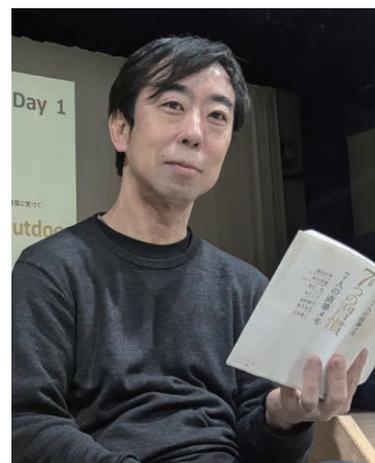
株式会社 NTT Landscape

<https://www.ntt-landscape.co.jp/>



フィールドDXを通じて、地域経済活性化に貢献する会社

近年、キャンプ人気が高まり、「ソロキャンプ」から「グランピング」まで、その楽しみ方は多様化しています。自治体が保有する公営キャンプ場の多くは、トイレや炊事場などの水回りを中心とした設備や建物が老朽化しており、お客さまが訪れないという悪循環に陥っていますが、自治体は売上が上がらないうえに維持に費用をかけざるを得ず、赤字運営している状況です。こうした厳しい現状に対して、DX（デジタルトランスフォーメーション）のノウハウ等を活用して施設の運営効率化、魅力向上による人流創出と周辺施設への送客により、地域経済の活性化に貢献するNTT Landscape 松尾雄大副社長に、本事業と、地域貢献への思いを伺いました。



NTT Landscape
松尾雄大副社長

「自然と、人の知恵と、テクノロジーの融合を通じて、地域に新しいLandscapeを生み出し、世の中にたくさんのワクワクと笑顔を提供する」ことをめざす

◆設立の背景と会社の概要について教えてください。

キャンプやアウトドアの需要が高まる一方で、キャンプ場を中心とした多くの施設はさらなる経営の効率化が求められています。こうした中、NTT Landscapeは、NTT東日本グループが得意とするDX（デジタルトランスフォーメーション）のノウハウ等を活用して施設の運営効率化を図り、施設の魅力向上により域外からの人流創出と周辺施設への送客を実現することで、地域経済の活性化へ貢献することをめざして、2024年11月1日に設立されました。

ミッションステートメントとして「私たちは、自然と、人の知恵と、テクノロジーの融合を通じて、地域に新しいLandscape（環境・資源・コミュニティ）を生み出し、世の中にたくさんのワクワクと笑顔を提供することをめざします」を掲げ、さまざまな地域の皆様やパートナー企業の皆様と手を組みながら、フィールドDX（地域の自然やコミュニティとDXを融合し、新たな価値を創造する事業）を通じて地域の素晴らしい自然や魅力をより多くの人々に伝えるべく、事業を進めています。

◆事業を取り巻く環境・課題はどのようなものでしょうか。

近年、キャンプ人気が高まり、1人で楽しむ「ソロキャンプ」から、充実した設備でゆったりと過ごす「グランピング」まで、その楽しみ方も多様になっています。キャンプ場は全国におよそ5000施設あり、そのうち2000が公営キャンプ場、3000が民営キャンプ場となっています。キャンプ場宿泊市場は、800~900億円規模で、コロナ関連による特需（2022年：1000億円）以降も堅調に推移し、コロナ禍のキャンプ人気を経て、新たなライフスタイルとして定着してきています（図1）。

こうした中、公営キャンプ場の多くは1990年代につくられたものが多く、トイレや炊事場などの水回りを中心とした設備や建物



図1 キャンプ市場の状況

公営キャンプ場を中心に運営権を取得し、リノベーションによる魅力向上とDXを活用した運営効率化を通じた経営改善を実施



図2 キャンプ場運営事業

が老朽化しており、それによりお客さまが訪れないという悪循環に陥っています。しかし、公共サービスの一環でもあるため閉鎖することもできず、自治体は収支が取れないうえに維持に費用をかけざるを得ず、赤字運営している状況です。このため、利用者のニーズに合う施設開発ができていない、老朽化した設備の改修が行き届いていない、といった状況になっています。また、民間キャンプ場も含めて、キャンプ場の運営は人手のみで対応しており、収益を上げるためのキャンプ関連製品や食材等の物販など付加価値の拡充まで手がまわらず、運営スタッフの確保や効率化が課題となっています。このことからキャンプ場はリノベーションやDXのニーズが多く存在しており、さらなる魅力・価値向上の余地があります。

◆どのような事業展開をしているのでしょうか。

NTT Landscapeが展開している事業は、「キャンプ場運営事業」「DX推進事業」「アウトドア研修事業」「トレーラー活用事業」の大きく4つがあります。

キャンプ場運営事業は公営キャンプ場を中心に展開し、公募等により運営権を取得し、リノベーションによるキャンプ場の魅力向上やDXによる運営効率化により経営改善を行います(図2)。キャンプ初心者の方も、熟練の方も、従来と比べてより快適にキャンプを楽しんでいただける施設運営を行います。DXによる運営効率化により、自治体の委託料を軽減することで、自治体の財政改善にも貢献していきます。また、キャンプ場予約時に地域の魅力的な周辺施設の入場券のセット販売や、アプリ等を活用して周辺施設への送客を行い、キャンプ場に訪れた方が回遊することで、地域経済の活性化を図っていきます。NTT Landscapeの最初のキャンプ場として、2025年4月に伊豆市の萬城の滝にある、

「LScamp中伊豆」をオープンしました。また、山中湖にも7月にキャンプ場を開業予定です。

DX推進事業はキャンプ場の運営を効率化するDXサービスを、民間も含む全国5000のキャンプ場へ販売します。DXサービスの販売に関しては協業パートナーであるR.project社が運営する、キャンプ場予約最大手サイトの『なっぴ』を通じて効率的に全国のキャンプ場へ販売していきます(『なっぴ』は全国のキャンプ場とユーザをつなぐプラットフォーム)。現在、キャンプ場の受付業務は運営稼働の30%を占めていますが、NTT Landscapeが提供するスマートフォンアプリを活用することでチェックイン時の受付稼働削減とお客さまの利便性向上に貢献します。従来は対面で15分程度お客さまへ注意事項を説明するため、受付待ちの行列ができていましたが、スマートチェックインアプリを使うことで説明時間や待ち時間がなくなり、お客さま満足度の向上にもつながります。アンケートでは9割以上の方が、スマートチェックインが導入されているキャンプ場を優先して利用したいとお答えいただいています。その他DXサービスとして、24時間買い物可能な「スマートストア」の仕組みやセンサを使った見守り監視、AI(人工知能)カメラやドローンによる鳥獣対策等も展開していく予定です。

アウトドア研修事業は企業や教育機関を対象に、キャンプ場のフィールドを活かして体を動かしながらミッションに取り組むチームビルディング研修を展開します。具体的には世界的ベストセラー『7つの習慣』と、アウトドア社員研修を組み合わせた「7つの習慣®Outdoor*」研修などを提供します。昨今のリモートワークの普及により、コミュニケーションやチームビルディングに課

*7つの習慣®Outdoorは、フランクリン・コヴィアー・ジャパン株式会社、株式会社JTB、株式会社JOWAの共同開発商品です。



図3 防災対応型トレーラーハウス

題を持つ企業が多く存在しており、受講者からは大変ご好評をいただいております。アンケートを見ても研修満足度が高く、約95%の企業がリピートを希望している状況です。研修会場として自社のキャンプ場を活用することで、キャンプ場運営の最大の課題である平日稼働の向上も図ります。

トレーラー活用事業は、建物建設が困難なエリアへの設置や移動できる居住・店舗として、キャンプ場・防災活用に注目が高まっているトレーラーハウスを扱います。平時はキャンプ場内の宿泊利用や店舗として活用し、災害時は従来の仮設住宅より迅速な配備が可能となる、「防災型トレーラーハウス」を自治体や民間企業に販売し、地域レジリエンスの強化にも貢献します(図3)。特に循環型のトイレトレーラーハウスは災害時に活用できると自治体を中心に高い評価をいただいています。

地域への人流創出と回遊による地域経済活性化を実現し、世の中にたくさんのワクワクと笑顔を提供

◆今後の展望についてお聞かせください。

今後は、スマートチェックインだけでなくスマートストアやお子様の見守りサービスなど、NTTグループのDXサービスを全国5000のキャンプ場に広げていきたいと考えています。

キャンプ場の運営については、今後15施設程度まで増やし、NTT Landscapeのサービスのショーケースとして展開していきたく考えています。キャンプ場の利用者は基本的には域外の方となるので、地域に人流を創出できる貴重なコンテンツだととらえています。地域を訪れた方に回遊してもらい地域経済の活性化に貢献するとともに、より多くの地域の魅力を伝えたり、さまざまな体験プログラムを提供していくことで、関係人口の創出につなげ、地域に貢献していくことをめざします。地域に人が集まる新しいLandscapeを生み出し、世の中にたくさんのワクワクと笑顔を提供することをめざしていきます。

担当者に聞く

焚火プログラムをメインイベントとした、大人でも涙を流すほどの強烈な体験によるチームビルディング研修を提供

経営企画部 課長

長田 拓也 さん



◆担当されている業務について教えてください。

経営企画業務として、NTT Landscapeの事業計画、各組織の事業戦略の策定をしています。

2024年度に設立したばかりの会社のため、制度設計や社内ルールの整理など、チームメンバにとって働きやすい環境の構築にも尽力しています。

また経営企画業務だけではなく、アウトドア研修業務も兼務しており、「7つの習慣®Outdoor」認定講師の資格を取得し、アウトドア研修を実際に行う研修講師としても活動しています。アウトドア研修は、企業・学校などさまざまなお客さまに対して、「チームビルディング力」や「コミュニケーション力」を醸成していただくことを目的としています。企業内の20代の新入社員から、50～60代の幹部社員まで対象範囲は広く、また、学校などの教育機関からも多くの引き合いをいただいております。「研修」というと座学をイメージされる方が多いかと思いますが、私たちが提供するアウトドア研修はこれとは真逆のもので、広大な自然の中で身体を動かし、チームメンバどうしで話し合い、「楽しみながら学ぶ」ことをもっとも重視しています。企業等においては、「上司と部下」「先輩と後輩」「部署と部署」といった肩書が付きまといますが、この研修ではそういったものは徹底的に排除し、心理的安全性が高いからこそ生まれる会話や気付きを大切にしています。特に、メインイベントともいえる焚火プログラムでは、肩書を廃して相手の「強み・チャンス(私たちは自身の課題や弱みをそう表現します)」を共有する時間があります。中には大人でも涙を流す人もいるくらいの強烈な体験を提供しています。ぜひ、「チームビルディングに課題がある、新しいチャレンジを行う人間関係の土壌をつくりたい」と思ったら、お問い合わせいただければ幸いです。

◆今後の展望について教えてください。

経営企画部の観点では2つあります。1つは「市場における、NTT Landscapeのプレゼンス向上」です。当社は前述のとおり4つのドメインで事業を行っていますが、それらのドメインでの

影響力を高めていくことです。もう1つは、メンバにとって「NTT Landscapeで働くことが誇らしい会社」にすることです。具体的には、自己成長や自己実現が得られること、やりがいをもって日々業務と向き合っていること、事業とともに社会への貢献を感じられること、何より楽しみながら働いていると実感できる組織にしたいと思っています。当社のミッションステートメントの「たくさんのワクワクと笑顔を提供すること」という部分が私のお気に入りなのですが、その理由は、この部分が社会や関係する人々に対するものであると同時に、チームメンバや自分自身も含まれているところです。それを実現するために、日々メンバとのコミュニケーションから感じる個々人の小さな要望や課題を聞き逃さないことを大切にしていきたいです。そのうえで、前例踏襲の意識を捨てて、知恵を絞って、「たくさんのワクワクと笑顔」があふれる会社にしていきたいです。

アウトドア研修の観点では、1人でも多くの方に本研修を受講いただき、企業・事業者のチーム力向上の助けとなれるように、研修講師としても努力していきます。

スマートチェックインサービス等を提供する、スマートキャンプ場プラットフォームを業界標準として、業界の変革をめざす

事業開発部

土屋 諒 さん

◆担当されている業務について教えてください。

DX推進事業において、スマートチェックインサービスの開発およびプレセールスに注力しています。開発はNTT東日本のデジタル革新本部にご協力いただいております。NTTグループ内製での取り組みとなっています。パートナーであるR.project社の知見や、現



場のキャンプ場スタッフの意見を収集し、より利便性の高いサービスをめざす一方で、開発サイドと連携し実現可能性やコストを加味して仕様策定を行うのが私の業務です。すでにトライアル提供を開始しており、70を超える施設に先行してお試しいただき、確かな稼働削減効果と、お客さまの満足度向上を実感いただいております。

キャンプ業界は特にシステム化が進んでおらず、施設の運営においてまだまだ人手によるアナログな業務が多くを占めています。また、ホテルや民泊と異なり、キャンプ場ごとに細かなルールや運用があり、これらの差分をいかに平準化しシステムで代替するかが難しいところですが、逆にやりがいでもあります。とにかく現場に足を運び、目と耳で運営業務を学ぶことで、より多くのキャンプ場で簡易に利用でき、かつ最大の効果を発揮するためのサービス開発に取り組んでいます。もちろん、実際にアプリを使っていただくキャンパーにとっての利便性も重要なポイントですので、UX (User eXperience) の検討にも深くかかわっています。

◆今後の展望について教えてください。

スマートチェックインサービスの価値は、スマートフォンアプリをベースにしている点だと考えています。このアプリを起点とし、旅マエ（前）から旅アト（後）までを包括的に価値提供できるサービスを付加していくことで、全国のキャンパーが当たり前利用するプラットフォームとしての地位を確立し、「業界のスタンダード」として、業界を変革していくための土台にしていきたいと考えています。

今後は施設の業務効率化や収益拡大、およびキャンパーへの利便性向上や新たな価値提供に注力し、新たなサービス開発へと取り組んでいく予定です。例えば、キャンプ場だけではなく周辺の観光施設への回遊も同時に促し、地域全体の活性化に寄与する仕組みづくりや、場内で24時間買い物可能とするスマートストア、安心・安全を守る技術活用などです。加えて、ルーラルエリアに存在するため、多くのキャンプ場に共通する課題である、携帯電話キャリアのサービスが行き届かず、通信環境が弱いという課題に関して、中継無線や衛星通信、LPWA (Low Power Wide Area) などの無線技術を駆使して解決に取り組んでいきます。

NTT Landscape ア・ラ・カ・ル・ト

■「ぱちぱちラジオ」でチーム力強化

NTT Landscapeは、社員一人ひとりがミッションを遂行する自覚を持ち、一体となって業務遂行をめざすべく、週に1回メンバ全員で仕事に関係のない話をする時間を設けているそうです。焚き火を囲んで年代・職責の枠を越えて話し合うイメージから、「ぱちぱちラジオ」と名付けられ、各人の人生紹介や、カードを用いた価値観の表面化を行っています（写真）。業務では気付くづらい価値観をそれぞれが理解することで、より社内での風通しが良くなり、チーム力の強化につながったとのこと。



写真 ぱちぱちラジオの様子

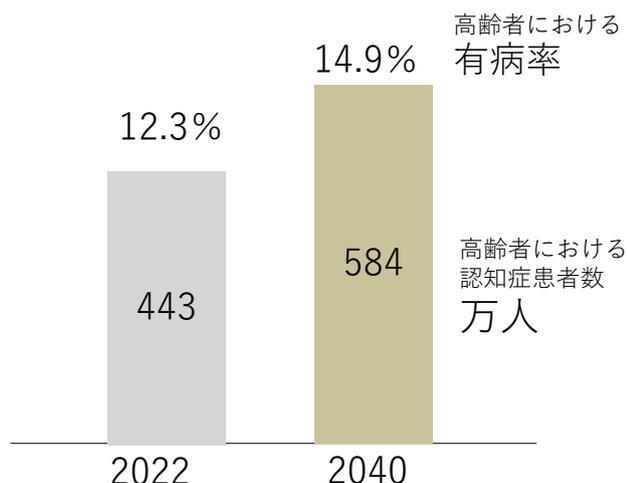
認知症で不安になる本人・家族・企業が少なくなる社会へ。 電話×AIによる「脳の健康チェック」サービス

高齢化が急速に進む中、2040年には高齢者の3人に1人が認知症・軽度認知障害（MCI）になると予測されており、予防や発症後のケアなどへの意識が高まっています。NTTドコモビジネス（旧NTTコミュニケーションズ）は「認知症で不安になる本人・家族・企業が少なくなる社会へ」をコンセプトに、通話によりAI（人工知能）が脳の健康状態を確認するサービス「脳の健康チェック」を開発しました。本稿では、サービスの概要と将来の展望について紹介します。

増える認知症患者

高齢化が急速に進む中、2022年には認知症患者が443万人であったのに対し、2040年には584万人が認知症になるとの予測もあります⁽¹⁾（図1）。認知症患者の増大は高齢者の社会参加において、高齢者本人だけでなく、その家族の負担も含めて労働市場への参加に大きな障害となっていくと予想されています。また、現在の社会は「認知症患者が当たり前存在すること」を前提とした社会設計がされていません。例えば、認知症高齢者の保有する金融資産額は2020年時点では160兆円であったのに対し、2030年には215兆円に達すると予測されています⁽²⁾。これは個人金融資産の実に1割に相当します。現行の制度では、銀行や証券会社の口座は本人の意思確認が難しくなると凍結されるため、認知症高齢者は預金を引き出すことができません。介護サービス費用等への充当が難しくなるなど個人の問題はもちろん、金融資産が経済活動に回らなくなる部分が増えて投資低迷や景気後退を招くシナリオも考えられます。

これらの社会課題の解消には、認知症の有無にかかわらず、「高齢者が健康で自立し、安全な生活を送ることのできる社会」が求められます。高齢者の生活、健康および福祉の向上を目的とする



※令和6年版高齢社会白書 認知症高齢者数推計より抜粋

図1 2040年には約15%が認知症に

革新的な解決策を創出し、それらを社会に実装するための取り組みを進めていく必要があります。また、認知症は誰でもなり得ることから、認知症への理解を深め、認知症になっても希望を持って日常生活を過ごせる社会を創ることも重要です。

認知症の早期発見の重要性

認知症とは、脳の病気や障害などさまざまな原因により、認知機能が低下し、日常生活全般に支障が出てくる状態をいいます。さまざまな病因の中で、もっとも有名なのがアルツハイマー型認知症です。アルツハイマー型認知症を中心に大半の認知症については投薬や治療で完全に回復することは望めないと言われています。一方で、一部の認知症には症状の進行を遅らせる薬が存在しています。また、生活習慣の見直しや認知機能のトレーニングも認知機能の低下を遅らせる効果が期待できるといわれています。これらのことから、「いかに早期に治療や投薬を始められるか」がもっとも有効な治療の鍵となっています。さらに、認知症の手前の状態である軽度認知障害（MCI = Mild Cognitive Impairment）と呼ばれる段階であれば、適切な対策や治療を行うことで認知症の発症を遅らせる、または発症前の状態で進行をほぼ停止させられるといわれています。MCIの段階、または認知症の初期で発見するためには、本人、家族、企業など社会全体が認知症に対する意識を高め、認知機能の変化に気付くことができる環境を整えることが非常に重要です。

時間と手間のかかる検査

「早期発見が重要」とはいえ、認知症のような患者数が数百万人におよび、その候補者は数千万人におよぶ病気において、例えば、「65歳以上全員に年に1回、医学的検査を行う」という対策は現実的ではありません。「認知症の疑い」を検査するためには、現在主に神経心理学的検査^{*1}が用いられています。これらは専門の医療機関でなければ実施できず、非常に手間と費用がかかります。このような検査を「65歳以上全員に年1回」実施することは、

*1 神経心理学的検査：脳の損傷や認知症等によって生じた知能、記憶、言語等の高次脳機能の障害を評価するための質問-回答形式の検査です。

早期発見につながる確実な対策であっても、実現はほぼ不可能と考えられます。そこで、多少精度が低くても簡便な検査で医学的検査をある程度まで代替できないか、という発想で行われているのが、認知症の疑いの有無を判断する「スクリーニング（ふるい分け）としての検査」です。神経心理学的検査には十分な研究とデータの蓄積があり、これをなるべく簡便に行えるよう工夫されたスクリーニング検査手法が存在します。代表的な検査としては「改訂 長谷川式簡易知能評価スケール（HDS-R）」や「日本版 Mini-Mental State Examination（MMSE-J）」があり、多くの臨床場面で利用されています。これらのスクリーニングには高い信頼性と実績がありますが、それでも、①対面方式で30分といった時間を要する、②軽度あるいは初期段階の症例に対する感度が低くなる、③一定の訓練を受けた実施者でなくては結果が不正確になりがち、などの課題があります。

認知機能の変化をチェックするシステムの開発

■AI活用の電話検査システムトライアル「脳の健康チェックフリーダイヤル」

これら既存のスクリーニング検査の課題を解決し、誰もが簡単に認知機能の変化に気付くことができる手法として、NTTドコモビジネス（旧NTTコミュニケーションズ）はAI（人工知能）を活用した電話検査システムを開発しました。「脳の健康チェックフリーダイヤル」と名付け、2022年9月21日より無償トライアルを開始しました。このシステムは日本テクトシステムズ社の認知機能みまもりAI「ONSEI」のアルゴリズムを利用して、時間見当識の質問（西暦で何年何月何日何曜日ですか？）に対して利用者が発話した数秒の音声および年齢から、認知機能に変化があるかどうかを判定します。「ONSEI」は、1008の音声特徴量および3種類の識別アルゴリズムの組合せを解析することで生み出されたAIで、軽度認知症群に対して約98%の正分類率で判定することができますとされています⁽³⁾。フリーダイヤルに電話をかけ、自動音声と通話するだけで1分程度の極めて短い時間で、既存の認知症スクリーニング検査と同等もしくはそれ以上の精度で判定できます。また、高齢者でも使い慣れた「電話」を利用しているため、誰もが日々の生活の中で簡単に認知機能のチェックを実施できます。

■脳の健康チェックplus

「脳の健康チェックフリーダイヤル」は、開始約1カ月で40万コールもの利用があり、簡易に認知機能のチェックができるサービスへのニーズが多いこと、高齢者を中心に社会全体の認知症への関心が高いことが分かりました。その一方で、パートナー企業から

は「認知症になってからでは手遅れになる」「予防のためにも、より早いタイミングで認知機能の低下が分かるようにしてほしい」などの課題も寄せられました。この課題を解決するために2023年9月21日よりトライアルを開始したものが「脳の健康チェックplus」です。「脳の健康チェックplus」は電話・音声にて、短時間で、どこでも、簡単にチェックするという「脳の健康チェックフリーダイヤル」の特徴は変えずに脳の健康状態をより早期に、詳細に変化をチェックすることをめざしたものです。「脳の健康チェックplus」でより早期の認知機能低下領域を検知するために日本テクトシステムズ社と共同開発したアルゴリズムが「M-KENSA」です。「M-KENSA」は「ONSEI」でも採用していた時間見当識の質問に加え、情報をどれだけ覚えられるかを確認するための即時記憶と、頭の中に情報を貯め更新ができるかを確認するためのワーキングメモリの設問を採用しています。本設問の採用にあたってはシルバー人材センターなどを通じて300名以上の参加者を公募し臨床研究を実施しました。MCIと健常を判別する機械学習モデルを構築するための設問を複数用意し、もっともMCIの判別精度が高くなる設問の選出、検査短縮化に寄与する設問の回数を導出しています。このアルゴリズム開発により自動音声と通話することだけ、かつ6分程度の短時間でMCI相当の認知機能低下の疑いを判別できます。「脳の健康チェックplus」はナビダイヤルにより提供され、フリーダイヤルと異なり、利用者の費用負担が発生するにもかかわらず、開始半年で約1.5万コールの利用があり、MCI領域の認知機能低下を判別する高齢者ニーズがあることが確認できました。また、パートナー企業からの問合せも増加し、MCI領域を判別することがサービスとして求められていることの確認ができました。

■法人向けサービス「脳の健康チェック」

「脳の健康チェックフリーダイヤル」と「脳の健康チェックplus」の2回のトライアルを経て法人のお客さま向けのサービスとしてリリースしたものが「脳の健康チェック」です。本サービスは「脳の健康チェックフリーダイヤル」と同等のチェック機能を「かんたんチェック」「脳の健康チェックplus」と同等のチェックを「くわしくチェック」というメニューで事業者専用のフリーダイヤル、または、ナビダイヤルで提供でき、ガイダンスについてもお客さまの要望に合わせたカスタマイズを行います。チェック後はSMSにより脳の健康チェック結果を希望者に送付するとともに、チェック結果に合わせたサービスが案内可能になります。電話によるチェックに加え、ユーザ向けの新たな機能として追加されたものがWebでの履歴確認機能です。ユーザ登録を行うことで、過去のチェック結果を一覧で確認することができ、定期的に脳の健康をチェックするきっかけをつくることに役立ちます。



図2 Webでの履歴確認機能

ユーザインタフェースは高齢者でも使いやすいインタフェースを意識し、また、オレンジ色を基調としたデザインに統一しました(図2)。事業者向けには、履歴管理ができる管理者画面を提供します。「脳の健康チェック」にコールいただいた方の履歴を一覧で確認することができ、利用率や施策継続率を把握することができます。1人ひとりの実施状況も細かく確認ができ、徐々に認知機能が低下していないかの確認を行うことで適切なフォローアップや予防施策が立案可能になります。また、長期間ご利用がないユーザにはSMSによるリマインド機能により管理者から利用者にコンタクトを能動的にとり、利用を促すことができます(図3)。

法人向けサービス「脳の健康チェック」は主要な利用ターゲットとして自治体、生命保険業の顧客を想定しています。自治体では認知症患者の増加による医療費や介護費の増大が財政の負担になっており、認知機能の維持、向上に向けた予防施策を実施しています。加えて、2023年には認知症基本法が可決され、2024年から施行されました。認知症基本法は、認知症の人々が尊厳を保持しつつ希望を持てるような社会をめざす法律です。法律内では基本理念が7つにまとめられており、認知症の人々が基本的人権を享受し日常生活を営むこと、国民が認知症に対する正しい理解を持つこと、認知症の障壁除去だけでなく、彼らの社会参画の機会確保、適切な保健医療サービス・福祉サービスの提供、家族への支援、そして予防・診断・治療等の研究の推進や教育など総合的な取り組みへと広げることが求められます。また、2024年12月に

は認知症施策推進基本計画が策定され、地方自治体もそれぞれの特色に応じた具体的な計画を策定・推進することとなっています。これらの計画達成のために「脳の健康チェック」を活用することで認知症への理解を促進、社会参画の機会を確保し、認知症の予防につなげることができます。具体的なユースケースとしては自治体が主催するヘルスケアイベントなどへの送客が考えられます。自治体の広報誌などへの電話番号の周知などにより脳の健康チェックを実施いただいた後、チェック結果に合わせて認知症セミナーなどのイベントへの来場やウォーキングなどの健康増進施策、既存認知症スクリーニング事業への参加を案内します。これにより今までイベントや健康増進アプリ、マイナンバー活用などのICTサービスに興味を持たなかったユーザの参画を推進することができます。また、健康増進施策後に脳の健康チェックを実施することで認知機能が維持されているかの効果測定に活用することもできます。兵庫県養父市では、パーソナルデータ連携基盤^{*2}に接続するかたちで「脳の健康チェック」が導入されました。養父市施策であるリンクワーカー^{*3}活用に向けて、脳の健康チェック結果

*2 パーソナルデータ連携基盤：LGWAN-ASPサービス内にある養父市の個人情報管理サーバから、パーソナルデータだけを取り出し、サービス間で連携可能とするもので、市民が自身のパーソナルデータの提供先を設定できる同意管理機能なども提供します。

*3 リンクワーカー：投薬だけに頼るのではなく、地域の人やコミュニティにつなげることで健康と福祉の問題の根本原因に対処する橋渡し役のこと。

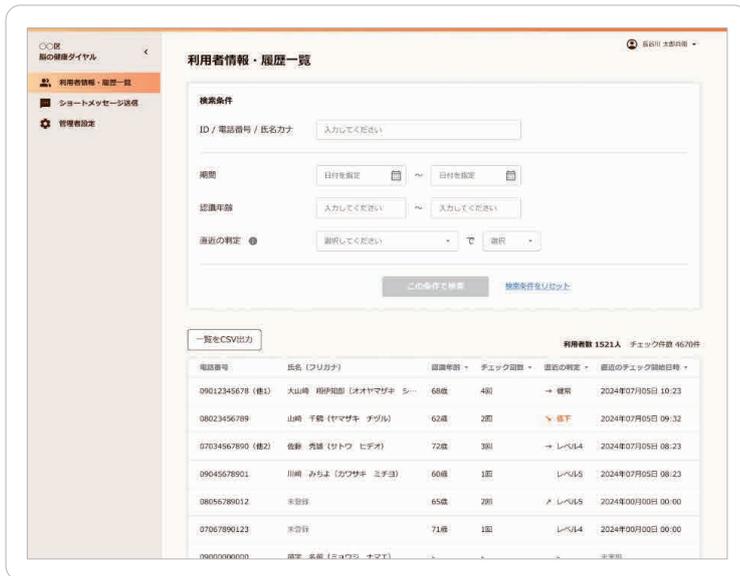


図3 管理者向けダッシュボード

をシステム連携し、認知症施策支援に活用されています。また、一部の自治体では独居の高齢者住民に対して訪問や電話確認による見守りを行っている場合もあります。福島県会津若松市では脳の健康チェックの結果に合わせた職員の訪問など、既存の見守りサービスの効率化や価値向上を目的とした実証実験を実施しました。

生命保険業では保険契約者への付加価値サービスとしての導入が想定されます。多くの生命保険会社では補償前後のヘルスケアサービスに注力しており、認知症保険やMCI加入者に対する認知機能維持、予防につながるサービスとして脳の健康チェックを活用できます。また、今までの対面営業に代わる電話による新たな顧客タッチポイントとしても活用が期待できます。

そのほかの業界においても法制度の整備とともに今後認知機能をチェックするソリューションの導入は進んでいくものと想定されます。具体的には、介護施設やスポーツジムの集客コンテンツ、運輸、建設業界などではアルコールチェックのように業務開始前に認知機能スクリーニングを実施すれば、運転や作業の安全性の向上が期待できます。金融機関での活用についても検討が可能です。高齢者を対象に、ダイレクトバンキングやコールセンターなど顧客との接点で脳の健康チェックを定期的に実施することで、認知機能の低下前に家族信託や成年後見制度など適切な資産管理につながるなどの連携も想定されます。

「脳の健康チェック」は今後も機能拡充を検討しています。より高齢者への気付きを促すサービスとしての技術、連携サービス

管理者画面で確認可能な情報一覧

- ・利用者履歴一覧
- ・利用者履歴検索
- ・チェック履歴詳細
- ・ショートメッセージ送信※
- ・利用状況データダウンロード (csv)

※開発中

の検討や電話以外の対応可能なインタフェースの拡充も検討しています。一例として2024年9月21日よりトライアルを開始したものが「おもいでダイヤル」です。「おもいでダイヤル」はフリーダイヤルへ発信することで、懐かしい思い出話をテーマにAIと雑談し、その内容から認知機能チェックと同時に、脳の健康維持の効果も期待するサービスです。また、チェック後の行動変容サービスとの連携ラインアップも増やしていく予定です。東京都三鷹市では、株式会社CogSmartと共に、「脳の健康チェック」を提供し、住民の認知機能の低下に対して気付きを与え、CogSmart社提供の脳ドックサービスおよび運動習慣取得サービスにつながることで認知機能の維持改善につなげる臨床研究を実施しました。私たちは「脳の健康チェック」が社会に広がることで社会全体の認知症に対する意識を高め、認知機能の変化に早期に気付くことができるようになると考えています。これからもパートナー企業やサービス提供者と取り組みを進め、「認知症で困る本人、家族、企業が少なくなる社会」をめざします。

■参考文献

- (1) https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2024/html/zenbun/s1_2_2.html
- (2) <https://www.dlri.co.jp/pdf/macro/2018/hoshi180828.pdf>
- (3) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38784298/>

◆問い合わせ先

NTTドコモビジネス
BS本部 スマートワールドビジネス部 スマートヘルスケア推進室