

NTT 技術ジャーナル

12 DECEMBER
2021
Vol.33 No.12

特別企画

東京2020オリンピック・パラリンピックと NTT R&D

特集

新たな環境エネルギービジョン

トップインタビュー

高間 徹
NTT アノードエナジー 代表取締役社長

グループ企業探訪

NTTソノリティ

from NTT東日本

デジタル技術を活用した業務変革へのチャレンジ



NTT 技術ジャーナル

12 DECEMBER
2021
Vol. 33 No. 12

CONTENTS

4 トップインタビュー

一期一会。
「おかげさま」の積み重ねが仕事や人脈につながり、
世界を広げる

高間 徹

NTTアノードエナジー 代表取締役社長



8 特別企画

東京2020オリンピック・ パラリンピックとNTT R&D

9 高効率Wi-Fi

12 ネットワークセキュリティ

16 特別企画

2021世界的スポーツイベント とNTT R&D

17 女子ソフトボール × スポーツ脳科学

22 自転車競技 × hitoe[®]

25 競泳 × オンライン指導

29 ネットワーク工事 × 暑さ対策ウェア

31 会場運営スタッフ × CUzo

34 バリアフリールート案内 × MaPiece[®]

39 ゴールボール × 超高臨場感通信技術 Kirari!

42 特集

新たな環境エネルギービジョン

44 NTTグループの新たな環境エネルギービジョン [NTT Green Innovation toward 2040]

48 NTTドコモ「2030年カーボンニュートラル宣言」を発表

52 NTTデータが挑むグリーンイノベーション

56 NTTアノードエナジーのスマートエネルギー事業

60 **from ★NTT DOCOMO**
テクニカル・ジャーナル

6Gシステムレベルシミュレータ
—100GHz帯100Gbpsの超高速通信の実現に向けて—

68 **挑戦する研究者たち**

藤原 聡
NTT物性科学基礎研究所
上席特別研究員



例えば逆風が吹いたとしても環境を整えつつ、
新しい価値があるものを先人たちの成果の上に積み上げていく

73 **挑戦する研究開発者たち**

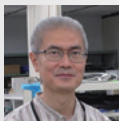
多田 将太
NTT東日本 ネットワーク事業推進本部 高度化推進部
クラウドサーバ技術部門 サーバ基盤技術担当
担当課長



その技術が何の役に立ち、いかにビジネスに資するか、
自らの能力をも含めて積極的に言語化しよう

78 **明日のトップランナー**

キム サンヨプ
NTTアクセスサービスシステム研究所
特別研究員



通信ネットワークの物理層機能を仮想化する
「超高速フルソフトウェアアクセスネットワーク」
の研究

86 **グループ企業探訪**

NTTソノリティ株式会社
世界No.1の音響信号処理技術で、
ビジネスをグローバル展開



81 **from NTT東日本**

デジタル技術を活用した業務変革への
チャレンジ

Webサイト オリジナル記事の紹介 89

1月号予定

編集後記

総目次 90

NTT技術ジャーナルはWebで閲覧できます。

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



本誌掲載内容についての
ご意見、ご要望、お問い合わせ先

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

本誌ご購入のお申し込み、
お問い合わせ先

一般社団法人電気通信協会
ブックセンター
TEL (03)3288-0611
FAX (03)3288-0615
ホームページ <http://www.tta.or.jp/>

企画編集

日本電信電話株式会社
〒100-8116 東京都千代田区大手町1-5-1
大手町ファーストスクエア イーストタワー
NTTホームページ URL <https://group.ntt.jp/>

発行

一般社団法人電気通信協会
〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋2-1-1如水会ビルディング6階
TEL (03)3288-0608 FAX (03)3288-0615
URL <http://www.tta.or.jp/>

©日本電信電話株式会社2021

●本誌掲載記事の無断転載を禁じます●

※本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェアなどの名称は、
各社の商標または登録商標です。

View from the Top

NTTアノードエナジー
代表取締役社長

高間 徹

PROFILE :

1981年日本電信電話公社入社。世界銀行
出向, Verio Inc. 出向, NTTコミュニ
ケーションズ 先端IPアーキテクチャセン
タ所長, NTTコムウェア取締役, NTTテ
クノクロス常務取締役を経て, 2020年6
月より現職。



一期一会。

「おかげさま」の積み重ねが

仕事や人脈につながり、

世界を広げる

NTTグループの保有する資産やICTを活用したスマートエネルギー事業を推進するNTTアノードエナジー。設立から2年を迎え、環境問題や人口問題など避けることのできない社会課題の解決に貢献し、産業の活性化と持続可能な社会の実現をめざして邁進しています。再生可能エネルギーの普及・拡大事業の進捗とトップの心構えについて高間徹NTTアノードエナジー代表取締役社長に伺いました。

再生可能エネルギーの電源確保と販売拡大、スマートグリッドの推進

『新たな環境エネルギービジョン「NTT Green Innovation toward 2040」』はまさにアノードエナジーの活躍の場ですね。

NTTは2021年9月に、「事業活動による環境負荷の削減」と「限界打破のイノベーション創出」を通じて、「環境負荷ゼロ」と「経済成長」といった背反する目的の同時実現をめざした『新たな環境エネルギービジョン「NTT Green Innovation toward 2040」』を発表しました。この中で、①2030年度にNTTグループの温室効果ガス排出量80%削減（2013年度

比）・モバイル（NTTドコモ）、データセンターのカーボンニュートラル、②2040年度にNTTグループのカーボンニュートラルを目標に掲げています。NTTアノードエナジーは、再生可能エネルギーの電源確保と販売拡大、蓄電所を核とした地産地消の推進を二本柱とした事業展開により、ビジョン実現の一翼を担っています。

特に、再生可能エネルギーとしてグリーン電力の開発には、会社設立以来注力しています。グリーン電力の発電所の建設・設置とともに、再生可能エネルギーに価値を感じていただける企業へグリーン電力を提供しています。さらに、2022年3月にサービス開始予定の小売電力サービス「ド

コモでんき」においても、アノードエナジーはグリーン電力を供給させていただきます。

グリーン電力供給には、グリーン電力発電所の余剰電力を蓄積し、発電量低下時の電力供給等のための蓄電池が必要になりますが、全国に点在する約7300のNTTグループの通信建物に蓄電池を置いて、「蓄電所」としてグリーン電力の発電所が送配電網に接続しやすい環境の整備を推進しています。

そして、物理的に近接していない遠隔地に発電設備を設置し、送配電網を通じて電力を供給するオフサイトPPA（Power Purchase Agreement）の形式でグリーン電力をセブ



ン&アイグループ様のコンビニエンスストア等の店舗へ提供するという日本初の取り組みや、需要家の施設が隣接する場所に太陽光発電設備等を設置して電力供給するオンサイトPPAにより第一三共ケミカルファーム様、古河電機工業様にグリーン電力を提供する取り組みも実施しています。

ビジョンの実現に向けて、具体的にどのような展開を考えていますか。

現在、NTTグループでは日本全国の電力の1%強を使用しています。この1%強の電力をグリーン化する取り組みは社会的にも非常に大きな意義があると考えています。さて、NTTグループの電力消費量は現状のまま推移すると、2040年度には2013年度の約2倍になると予測しています。「NTT Green Innovation toward 2040」では、2040年度に向けてIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の導入や省エネルギーにより電力消費量を半減させ、さらに消費電力を再生可能エネルギー化することで、脱炭素化、カーボンニュートラルを実現する構想です。

従来のエネルギーの仕組みは、大きな発電所で発電した電力を送配電網により消費地に届けるという集中型でしたが、これからの時代は分散型の発電やエネルギー流通が進んでいくと考えられます。アノードエナ

ジーでは、全国の通信建物を蓄電所として活用することで分散型への対応を進め、再生可能エネルギーを地産地消する仕組みを推進していきます。これにより、長距離の送配電による電力のロスも軽減されるとともに、需給状況に合わせた供給電力の制御等、エネルギーのより効率的な利用が可能になると考えます。そのためにも、蓄電所および発電設備の整備、および早急な展開が優先度の高いテーマです。

引き継ぎのない仕事ばかり26年、逆境で覚えたチャンスのかみ方

壮大な計画ですね。これまでの仕事で、エネルギーとのかかわりがあったのでしょうか。

エネルギー関連の仕事はアノードエナジーが初めてです。私は1981年に電電公社に入社し、翌年から26年間引き継ぎのない仕事ばかりさせていただくという非常にチャレンジングな会社人生を歩んできました。研修期間が終了して「伝送」関連の技術開発部門に配属され、デジタル伝送技術を担当しました。その当時は通信網がデジタル化される時期で、ネットワーク全体が同期して動作するために、非常に正確なデジタルクロックが必要とされており、これに関する装置開発をテーマとして、日本の標準クロックとなる「D2形標準

クロック発生装置」を開発させていただきました（実物がNTT技術史料館に展示されています）。その後も、商品開発、グローバル関連、技術開発、ソフトウェア開発等の仕事をしましたが、エネルギー関連は今回が初めてです。とはいえ、今まで経験した仕事は、ほとんどが新しいプロジェクトや組織といった、新たな一歩を踏み出すような経験ばかりで、引き継ぎがない世界という意味ではエネルギーも同じです。

さまざまな経験をさせていただいてきた中で特に印象深かったのが、1987年からワシントンD.C.にある世界銀行へ3年半、インドネシアとバングラデシュの電気通信プロジェクトの融資審査、監査を担当するプロフェッショナルとして出向したときのことです。技術開発とは全く関係のない、世界銀行です。ワシントンD.C.へ到着したのは日曜日で、到着したばかりですから当然住む家も決まっていないうえ、生活の基盤もまだ整えられてもいませんでした。翌日、月曜日に上司に挨拶に行くと「明日、課を代表してミーティングに出席し、レポートを書いてほしい」と、約150ページの資料を渡されました。

生活の基盤を整えてから出社と思っていた私の思惑は大きく外れ、いきなり仕事が始まってしまいました。フランス留学の経験があるとはいえ米国は初めてです。しかも、当時の上司はインド人で、彼のクセのある英語が4割程度しか分からないのです。参加したミーティングのテーマは当然、金融のことで、銀行用語が英語で飛び交います。エンジニアの私は銀行の専門用語は知りませんからレポートも書けず、その結果、個室で何の仕事もさせていただきながらも9カ月間を過ごすことになったのです。

壮絶なドラマですね。そこからの逆転劇、ぜひお聞かせください。

まず、英語を話せるようになると努力して夜学でMBA取得に勤めました。当時、プロフェッショナルという立場には個室が与えられていましたから、たとえ同じ課でも個室にいるとどんな仕事が展開されてい

るのか知る由もありません。そこで私は同じ課の人をランチに誘って、どんな仕事をしているのかを聞き出し、自分にできる仕事はないかと尋ねたのです。ところが競争社会ですから、いい仕事があるはずなのに自分の立場を保持するために話してもらえないのです。

時折、仕事があるよと言ってくれる人もいますが、必ず失敗すると予測できるようなものか、人がやりたくないようなとても嫌な仕事です。それでも仕事がないよりはよいから「手伝わせて」と頼むものの、私だけでは担えないため、他の人をランチに誘って仕事を教えてもらうようお願いしました。これを繰り返しているうちに、いろいろな方に助けていただくことができるようになり、やっと9カ月後にまともな仕事にたどり着くことができました。

さて、世界銀行はそもそもシニアが出向するところで、当時のチーフエコノミストの1人はローレンス・サマーズ氏。1999年に米国財務長官、2001年にハーバード大学学長を務めた人です。同じ仕事をしていた人はその後、現スリランカ電電公社の元総裁、私の上司だったインド人はディベロップバンクの元総裁でした。本当に場違いなところに出向してしまっただけですが、今思えばこういう方々から非常にさまざまな刺激

をいただけたことは幸せでした。

また、この間にAppleの創業者の1人であるマイク・マークラ氏と知り合いました。1995年に偶然にもNTTとAppleが連携したAppleプロジェクトが立ち上がり、そのメンバとしてプロジェクトに参画した際にこのご縁が役に立ちました。プロジェクトでは、「デスクトップ通信会議システム FM-A71」という、電話会議をしながら画像共有をする、現在のWeb会議のようなシステムを開発し、商品化しました。今でこそ、リモートワークでWeb会議が当然のように活用されているのですが、当時はまだインターネットが普及していない時期でISDNを引く必要があり全く売れませんでした。とはいえ、振り返るに非常に先駆的な取り組みをしていたと思います。

時が経てば必ず結果は出る

**26年間の営みが現在のお立場に生きて
いると思う瞬間はございますか。**

NTTにとって電力事業は通信事業と比べて歴史が浅いこともあり、前述のようにスクラッチからビジネスを始める取り組みは何度も経験していますからある意味で達観できます。目の前の仕事にとっては非常に大き

な決断や分かれ道であっても、もう少し広い視野でとらえると、それほど大きなことでもないこともあるからです。時が経てば必ず結果は出ますから焦らずに1つずつ取り組んでいけば良いと考えています。とはいえ、一方で迅速に、早急に取り組まなくてはならないこともあります。例えば、エネルギーの地産地消を実現する蓄電所や発電所への投資です。これまでの海外の企業への投資における感覚が活きていると感じています。

それから、こうした経験から私はトップとして大切にしていることが2つあります。1つはコミュニケーション、もう1つは一期一会です。26年間苦難を乗り越えて何とかやってこられたのも、多くの方々に助けられたからです。いろいろな出会いがあり、それらを大切にしてきました。「おかげさま」で、私は今こうして仕事ができていると思います。

加えて、トップには実行力、決断力、判断力が求められます。社員も含め人の意見をよく聞いて、決めたらそれを遂行しようと頑張る、決めたことがダメだと分かったらやめるという決断をすることは重要です。このために私は人の話をよく聞いてきました。そこにはさまざまなヒントがあるからです。また、1人で考えられること、できることには限界があるのは自明です。自分や所属している組織でできないことは、他にも応援していただけるように環境を整えることも非常に重要な仕事です。これを支えるのがコミュニケーションなのです。

大切にしてくられたコミュニケーションが生んだ成果は、技術者、研究者の皆さんの気付きにもつながりそうですね。一言、アドバイスをお願いします。

私はコミュニケーションを社内外問わず大切にしてきました。コミュニケーションの場づくりで社員をランチに誘いますし、20年来、四半期に一度、社員のグループ・ディスカッションを続けています。テーマを設定してディスカッションするとさまざまなアイデアが創出されることが非常に多く、アイデアが現実のもの



となった例もあります。

社外では、38年前に立ち上げた勉強会がいまだに続いていて、総勢800人が登録されています。月に一度開催していますが、各回の参加者は20～30名です。勉強会に参加してくださる会員の皆さん1人ひとりとお目にかかるその瞬間をできるだけ大切にしています。こうした積み重ねが仕事や人脈につながり、世界を広げていきますし、そうであることにありがたさを感じています。

かつて、NTTコミュニケーションズの先端IPアーキテクチャセンタ所長として、技術開発組織の責任者をしていたときはオープンラボを設置して、6カ月間無料でNTTコムクラウドやメンターを提供してベンチャー企業と共創したことがあります。これはできるだけ多くの方々に貢献したいと始めたことで、NTTグループの利益には直接つながらなかったものの、利用してくださった団体の中には、現在では成功している企業もあります。また、米国インターネット&Webホスティング会社であるベリオ社に出向していた際には、彼らの取り組みからオープンソースの素晴らしさを知りました。こう



したオープンイノベーションにつながるような仕組みを国内外で整え、エンジニアが元気になる取り組みも心掛けてきたことから、技術者の皆さんにもさまざまな方々とのコミュニケーションを大切に考えて、ご自身を高めていただければと思います。ソフトウェア分野の研究者の皆さんにも同様に、優れたエンジニアの仲間と面白いプロジェクトにたくさん取り組んでもらいたいですね。

(インタビュー：外川智恵/撮影：大野真也)

※インタビューは距離を取りながら、アクリル板越しに行いました。

インタビューを終えて

NTTグループは20年にわたりエネルギー事業を展開していたものの再生可能エネルギーへの取り組みは始まったばかり。新しく、勢いのある風を吹かす企業の社長について、社員にお話を伺うと「エピソードには事欠きません。もしかしたらインタビューの時間内にお話が終わらない可能性も…」とおっしゃいます。その言葉どおり、インタビューのはじめから「世界銀行で9カ月、干されたんですよ」とすらしとした面立ちで、さりげなく語られる高間社長。エピソードがあまりにドラマチックで思わずぎ込まれてしまいました。

話されるご様子は終始穏やかでしたが、26年間の任務はほぼ0からのスター

トアップだったとおっしゃいます。0から1へと物事を創造する厳しさをご存じのビジネスパーソンなら、高間社長が注がれてきたエネルギーの大きさや挑戦する力強さを感じずにはられないと思います。

ご趣味はスキーと散歩だという高間社長。「散歩をしていると、車に乗っていると気付かない小さな緑や花とか、四季によって変化する様子が分かるのです」と、おっしゃいます。こんな穏やかなエピソードにも物事を繊細に、そして敏感に感じ取り、チャンスを実確につかんで新しい価値を生み出していくお姿を感じたひと時でした。



東京2020オリンピック・パラリンピックとNTT R&D

カテゴリ3 東京2020を『支えた』NTT R&Dの技術

■ 高効率Wi-Fi

9

東京2020オリンピック・パラリンピックの競技会場と関係会場において、国内外の観客・関係者に快適な無線通信環境を提供するための高効率Wi-Fi技術について紹介する。

■ ネットワークセキュリティ

12

NTT社会情報研究所のNTT-CERTが、NTTグループの代表CSIRT（Computer Security Incident Response Team）として、東京2020大会に向けて取り組んできたサイバーセキュリティの強化について紹介する。

※NTTは、東京2020ゴールドパートナー（通信サービス）です。

カテゴリ3 東京2020を『支えた』NTT R&Dの技術

高効率Wi-Fi

東京2020オリンピック・パラリンピックの競技会場と関係会場において、NTTでは、国内外の観客・関係者に快適な無線通信環境を提供するために高効率Wi-Fiの技術開発と導入に取り組みました。本技術を活用することで、ネットワークを活用した新たなスポーツ観戦のスタイルや、MICEなどで開催されるイベントにおいて、フレキシブルなネットワークを利用したさまざまなサービスの実現が期待されています。

はじめに

スマートフォンやSNS等が浸透して人々のライフスタイルが変化するに伴い、スポーツや音楽ライブの観戦など、イベントへの参加方法も変化しつつあります。例えば、注目を浴びるシーンでは、会場の観客が自身のカメラやスマートフォンで一斉に写真や動画を撮影し、即座にSNSへ投稿することや、クラウド環境にアップロードすることが一般的になってきました。東京2020大会でも、競技会場で満員の観客がネットワークを一斉に利用することが想定されました。

メイン会場となる新しい国立競技場は、日本の新しいスポーツの聖地として世界に誇れるスタジアムとなるために、さまざまなシステムが適切に連携し観客にストレスのない通信環境が必要でした。そのため、NTTグループ各社からIPネットワーク構築やWi-Fi*構築の経験豊富で高い技術力を持つスペシャリストが集結し、世界最高水準のICT環境を整備しました。特にWi-Fiについては、これまでの大規模なスタジアムでの数々の構築・運用の経験やノウハウを活かし、

競技場の構造や形状に合わせた最適なアクセスポイント（AP）の配置を行い、70席に1カ所のAPを設置し、コンコース、売店やチケット売り場周辺などの人が溜まるエリアもカバーして、トータルで約1300台のAPを配置した世界最高水準の高密度Wi-Fiを実現しました。さらに、高密度を実現するには、電波干渉を回避した最適なチャンネル設定や構築の最終段階で実施するチューニングが重要となります。そこでNTT研究所の高効率Wi-Fiを活用し、安定した高品質なWi-Fi環境とすることで、インターネッ

トに快適につながり、誰もがSNS等により感動を共有できるスタジアムを実現しました。

技術紹介

安定的、かつ、高品質なWi-Fi環境を実現する、高効率Wi-Fi技術を構成する技術を以下に紹介します。

■無線リソース制御技術

無線リソース制御技術は、APどうしの電波干渉状況などに応じて、各APの運用周波数チャンネル、帯域幅、送信出力などのWi-Fiパラメータの最適な組合せ

- (a) AP無線制御：APの運用周波数帯（920 MHz/2.4 GHz/5 GHz）、無線パラメータの動的制御
- (b) 端末接続制御：端末の無線接続先を複数AP・周波数間でAP側から動的制御（切替え・接続維持）

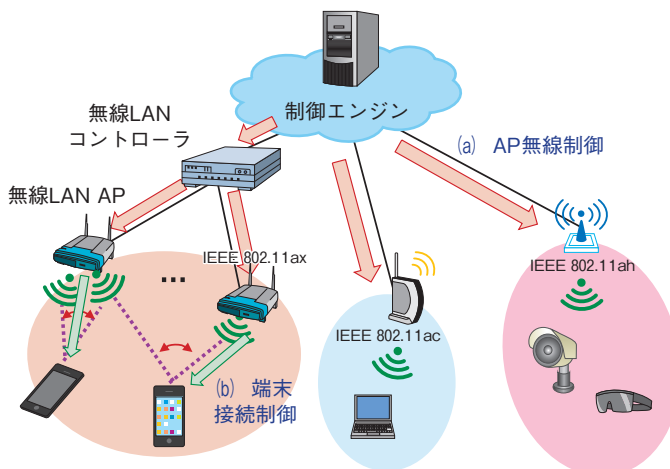


図1 無線リソース制御技術

*「Wi-Fi」は、Wi-Fi Allianceの登録商標です。
※ 現、NTT未来ねっと研究所

を導き出す技術です（図1）。遺伝的アルゴリズムを用いた繰り返し最適化処理により、各AP間で電波干渉を回避した最適なチャンネルの組合せの導出を行います。この処理を動的に行うことで、環境変化に追従して各APのパラメータを制御することを可能としています。

■無線品質可視化技術

無線品質可視化技術は、APまたは利

用者（端末）に近い場所に設置されたモニタリングデバイスにおいて、周辺で飛び交っている制御等信号を傍聴および解析することにより、周りの無線状況の混雑度合い等を推定し表示する技術です⁽²⁾。この技術により、送受信端末の位置推定、急激なトラフィック増加等が発生した際のアラート発出、さらに、回線が不安定時に原因究明に必要なユーザ付

近情報をオペレータに提供する等を可能としています（図2）。

会場での実証

新しい国立競技場は完成直後の2019年12月にオープニングイベントが開催されました。会場は約6万人の満員の観客が入り、有名アスリートのリレーや人気アーティストのライブが行われました。それは同時に、撮影された画像や動画がSNSやメールに投稿され、世界に拡散される瞬間でもありました。約6万人もの観客が、日常の延長線にあるように同時に気軽にSNSに投稿ができたことは、国立競技場の通信インフラが安定的で高い品質であることを示しています。

オープニングイベントでは、実際に高密度に観客が入っている場合の無線環境の変化や、トラフィックの推移を把握する絶好の機会でした。無線品質可視化技術を用いて、面的かつ継続的に取得した無線環境のデータを解析した結果、発生トラフィックのピークに対して問題なくトラフィックを収容できた事実を、データの観点からも確認できました（図3）。

また、無線品質可視化技術を用いて取得したデータを基に解析を行った結果、観客が密集する環境における受信電力に対する人体遮蔽特性の影響も明らかになりました（図4）。これまで、競技場のような環境では混雑した入場者の人体により電波が遮蔽・減衰することが無線通信へ影響があることが学術的にも報告されていましたが、その定量的な影響の大きさは明確ではありませんでした。これらの解析結果は、無線リソース制御技術を用いてWi-Fiパラメータを精緻に設計するための有益なデータとなりました。

また、大規模イベントとして、日本で初めて屋外にて5.2 GHz帯無線帯域が活用されたイベントでもありました。この帯域は、屋外での利用が認められていま

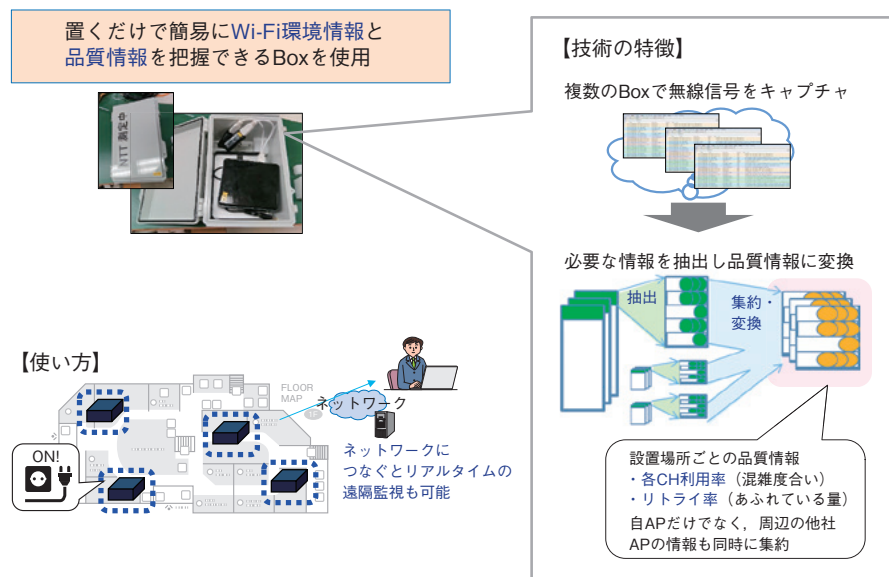


図2 無線品質可視化技術

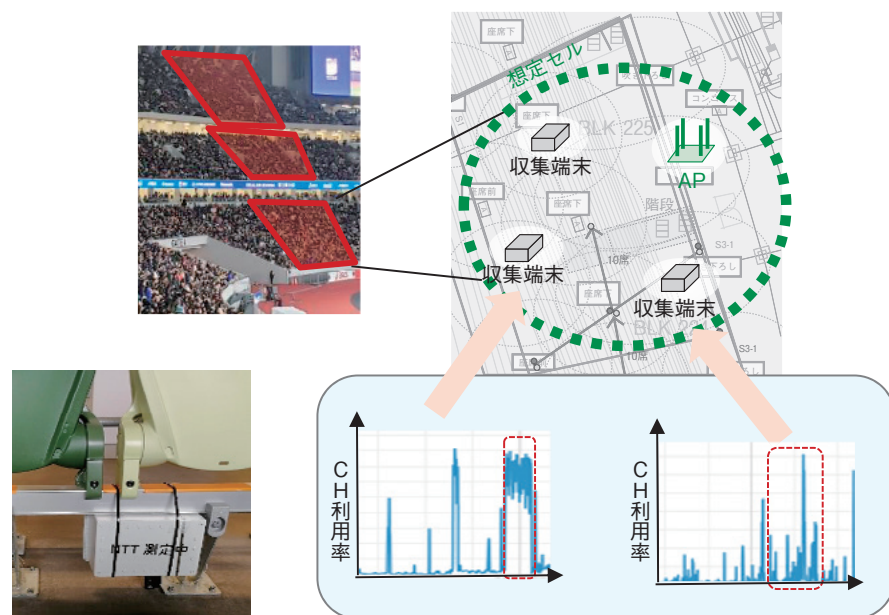


図3 無線品質可視化技術を用いた国立競技場オープニングイベントにおける無線環境情報の収集

せんでした。NTTは屋外利用を可能とする制度改正に取り組み、2018年に国内制度が先行して改正され、2019年11月に国際条約の改正が実現されたばかりです。本功績によって電波功績賞 総務大臣表彰も受賞しました⁽³⁾。

東京2020大会に向けては、同じスタジアム内でも、観客用と運営用でチャンネルを分けて運用することが求められました。6万人規模の観客の大量のトラフィックが発生する中でも、大会関係者や競技関係者に安定的な通信品質を確保するためです。オープニングイベントの解析結果を基に、事前にトラフィック量を試算したところ、利用可能なチャンネル数が制限されると、オリンピックの規模のイベントでは容量不足が発生することが確認できていました(図5)。NTTの

高効率Wi-Fiは、このような制限されたリソースの中でも、最適なWi-Fiパラメータの組合せを動的に導出可能です。この効果が認められ、国立競技場に本技術を適用することになりましたが、最終的に無観客開催となり、観客用のWi-Fiは停波することになり国立競技場での活用はかきませんでした。しかしながら、本技術は、オリンピックスポンサーのショーケース会場となった東京ビッグサイト青海展示棟のフリーWi-Fi環境に実際に用いられ、快適な無線ネットワークの提供に貢献しました。

今後に向けて

NTTでは、新たな観戦スタイルや新たなイベントの創出に向けて、会場内のネットワークを最適化して安定的なス

ループットを提供する高効率Wi-Fiの研究開発を行ってきました。本技術によって例えば、エリア単位でのネットワークの需要に応じてフレキシブルに通信リソースを配分するといった利用も可能となり、VIPルームやプレス席などの特定の場所のスループットを向上させる等、フレキシブルなネットワーク提供も可能となります。

これらの技術群をCradio[®](クレイディオ)と名付け、NTTが中心となって進めるIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想実現に向けた重要な技術として、これからも研究開発を進めていきます。

参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/as/times/116/04/top.html>
- (2) <https://www.rd.ntt/as/times/111/02/top.html>
- (3) <https://www.arib.or.jp/image/osirase/osirase20200624.pdf>
- (4) M. Sasaki, T. Nakahira, K. Wakao, and T. Moriyama: "Human Blockage Loss Characteristics of 5 GHz Wi-Fi Band in a Crowded Stadium," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 20, No. 6, pp. 988-992, June 2021. doi: 10.1109/LAWP.2021.3069004.

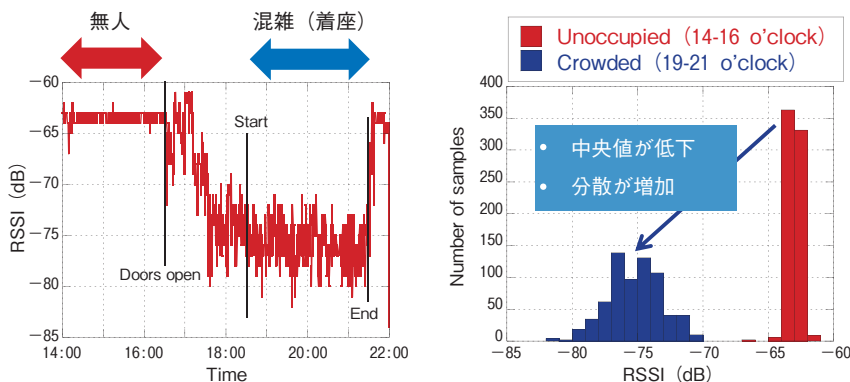


図4 混雑した人体による受信電力の人体遮蔽損失の例

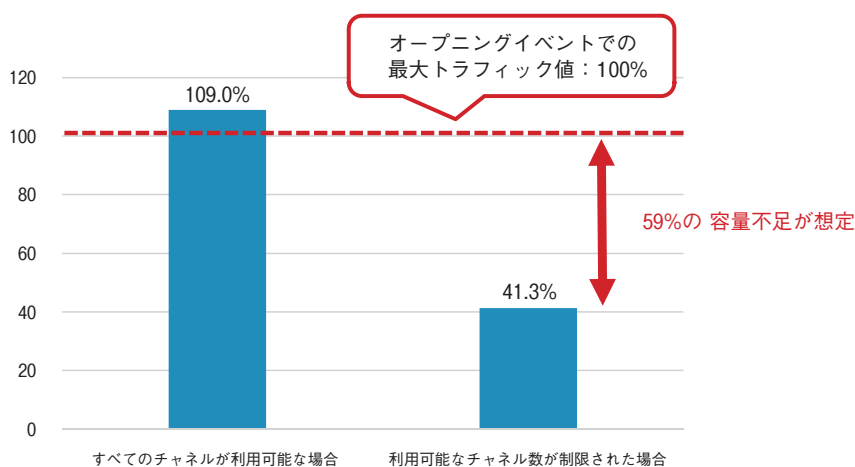


図5 利用チャンネル限定時を想定して算出したスループット評価結果の例



(上段左から) 中平 俊朗/ 佐々木 元晴/
鍋島 正義/ 小川 智明

(下段左から) 守山 貴庸/ 平賀 健/
吉澤 健人/ 大串 幾太郎

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
無線アクセスプロジェクト
次世代大容量無線グループ
TEL 046-859-8720
FAX 046-855-1497
E-mail mujig-p-ml@hco.ntt.co.jp

カテゴリ3 東京2020を『支えた』NTT R&Dの技術

ネットワークセキュリティ

オリンピックや国際博覧会といった世界的に注目が集まるイベントはサイバー攻撃のターゲットになりやすく、実際に被害が報告されることも決して稀なことではなくなってきました。さまざまな事情から1年延期され2021年に開催された東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会において、NTTはゴールド通信サービスパートナーとして、大会を支えるネットワークインフラを運営する立場となり、サイバー攻撃の脅威に対応する重大な責任がありました。本稿では、NTT社会情報研究所の研究活動の1つとして実施しているNTT-CERTが、NTTグループの代表CSIRT (Computer Security Incident Response Team) としてどのようにしてサイバー攻撃と向き合ったのかを紹介します。

みしな たかし まつはし あきこ
三科 貴 / 松橋 亜希子
 にさせ たけみ しとう ひでひろ
仁佐瀬 剛美 / 司東 秀浩

NTT社会情報研究所

オリンピック・パラリンピックとサイバー攻撃

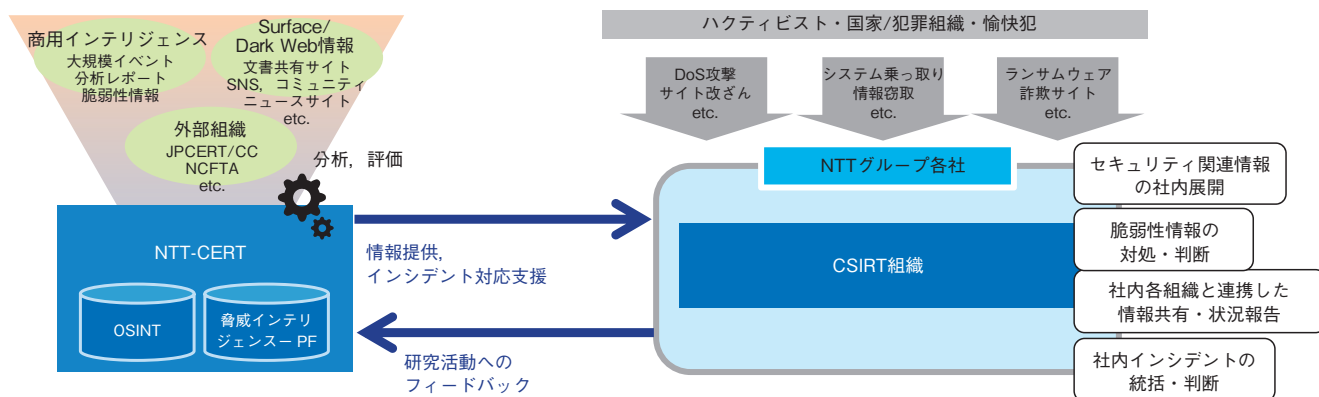
オリンピック、パラリンピックは長い歴史を持つ国際的なイベントであり、世界中から注目が集まります。その注目度に便乗し、政治的な主張を広める場として悪用する、金銭をだまし取る、はたまた失敗を誘引し開催国家の信用失墜をねらうなど、さまざまな悪意を持つ人々のターゲットになり得ます。近年、そのような悪意を持つ攻撃者たちの手段が、物理的なものだけでなく、サイバー空間へと拡大し始めています。過去の大会では、大会関連サイトへのDoS (Denial

of Service), DDoS (Distributed Denial of Service) 攻撃による妨害行為、大会関連組織のシステムへの侵入、マルウェア感染が目的とみられる標的型攻撃など、大会運営に影響をおよぼしかねないさまざまな攻撃が確認されています。攻撃者たちは、この数年に一度の国際的なイベントで成果を上げるために、虎視眈々と技術を磨き、攻撃の準備をしています。大会関連組織は、大会をそのような高度な攻撃から守るために、万全の体制を敷く必要があります。NTTは、東京2020大会のゴールド通信サービスパートナーとして、大会を支えるネットワークインフラを運用する立場となり、

サイバー攻撃の脅威に対応する重大な責任がありました。以下に、NTT社会情報研究所のNTT-CERTが東京2020大会において行った取り組みについて紹介します。

東京2020大会におけるNTT-CERTの活動

NTT社会情報研究所の研究活動の1つであるNTT-CERTは、NTTグループを代表するCSIRT (Computer Security Incident Response Team) として活動しています(図1)。機器の運用などをしておらず、サイバー攻撃を未然に防ぐための情報収集および収集した情報の



- NTT-CERTの主な活動
- ① 情報収集分析
 - ② インシデント対応支援
 - ③ 技術調査、製品評価・教育

図1 NTT-CERTの位置付け

NTTグループ各社への円滑な共有、および、発生したインシデントの被害極小化や再発防止の支援といった、主に2つの目標を持って活動しています。また、これらの活動の中で得られた知見を研究活動にフィードバックし、さらなるセキュリティ技術の高度化、強化に向けた研究を推進しています。前述のとおり、NTTグループは東京2020大会を支えるネットワークインフラの安心・安全な運用の責任を担っており、私たちは世界中のさまざまな攻撃者からNTTグループそしてネットワークインフラを守るため、NTT-CERTの機能を強化する必要があると考えました。今回は、東京2020大会のネットワークインフラを支える大会関連組織としてサイバー攻撃の可能性を未然に防止し、万が一インシデントが発生した場合にも被害を極小化して大会への影響を最小にするという方針を策定し、特に情報収集分析機能の強化に力を入れました。

NTT-CERTは直接運用するネットワーク設備等を持たないため、情報収集の対象は主に外部のOSINT (Open Source Intelligence) 情報になります。ただ漫然と、莫大な量のOSINT情報を集めていては、いくら人の手があっても足りません。そこで私たちは、東京2020大会における脅威分析と、収集すべき情報の優先順位付けを行うことにしました。私たちの行った脅威分析とは、どのような「攻撃者」組織が、どのような「攻撃手法」を用いて、どのような「目的」

をもって、どの「攻撃対象」へ攻撃を仕掛けるのか、という4つの観点をもって、東京2020大会で発生し得るサイバー攻撃を分析することです。この4つの観点があることで、NTT-CERTが優先して守るべき「攻撃対象」は何なのか、優先して検知すべき「攻撃手法」の情報は何なのかという点で情報を整理でき、優先して収集すべき情報を効率良く分類することができます。そのためにはまず、東京2020大会で発生し得るすべてのサイバー攻撃を可能な限り挙げ、分析することが必要でした。そこで、まず過去に実際に発生したサイバー攻撃に関する情報を収集しました。サイバー攻撃の発生が本格化した2012年のロンドン大会から、標的型攻撃も確認された2018年の平昌大会まで、過去の大会における国内外のニュース記事や各セキュリティベンダが発表したレポートなどを分析しました。ここでは想定すべき攻撃を網羅的に把握するため、大会関係者、一般のお客さまを標的にした攻撃まで調査範囲を広げ、実際に起きた被害や想定された被害などのリストを作成しました。それらのデータを、上記の脅威分析を行うべく、「攻撃者」「目的」「手段」「攻撃対象」に分類しました。そのリストから、外部から攻撃を検知可能な「攻撃者」「目的」「手段」を定め、NTT-CERTが情報について収集すべき「攻撃対象」の観点から優先順位付けを行いました。具体的には、“NTTグループ”を直接の「攻撃対象」とする攻撃を第一優先とし、続いて“NTTグループ”

への影響の波及が懸念される“大会関係者”への攻撃、そして“一般のお客さま”への攻撃という順で優先順位付けを行いました。また「攻撃手法」や「目的」に関してはNTT-CERTの立場でOSINT情報から検知できることを基準に優先順位付けを行いました。例えば、NTTグループを対象にした標的型メール攻撃などは脅威度が高いものの、そのようなメールの受信をNTT-CERTで直接検知することは難しいため、ここにリソースを割くことは非効率です。外部で検知可能な情報で、このような脅威からNTTグループを守るためにはどのようにしたらよいかを検討し、誘引されるであろうNTTの類似ドメインを持つフィッシングサイトの検知、窃取された情報がダークウェブで販売されていないかどうか、また政治的主張を目的に攻撃予告を行っているハクティビスト（社会的・政治的な主張を目的としたハッキング活動を行う者）の有無など、さまざまな攻撃をNTT-CERTの立場から検知できるように検討しました（図2）。

収集すべき情報の優先順位を定めた後、続いて行ったことは、情報収集範囲、量の強化です。これまでNTT-CERTの主な情報収集対象は、サーフェスウェブとインテリジェンスベンダからのダークウェブ情報、調査言語は日本語、英語でした。前述のようにダークウェブ上での販売情報やハクティビストによる主張を可能な限り検知するためには不十分であると考え、機械翻訳を活用した、過去の

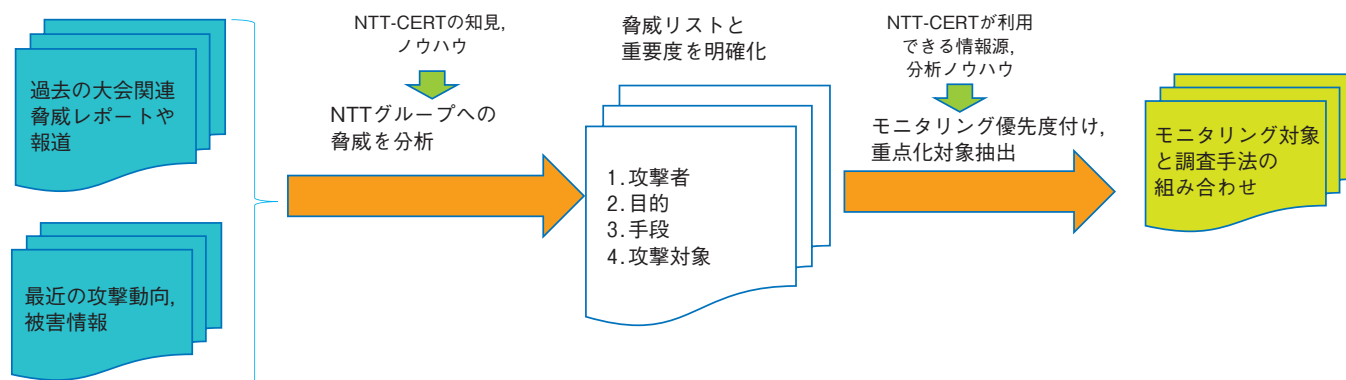


図2 モニタリング強化に向けた分析

事例の多い2カ国語の調査言語の追加、およびNTT-CERT独自のダークウェブ調査を開始しました。また、これまでもNTTグループの類似ドメイン調査は行っていました。大会期間（準備期間含む）に増加すると予測される東京2020大会の類似ドメイン調査も同時に行い、検知したドメインのフィッシングサイトの情報収集も実施しました。これらは、新規ツールの導入やこれまでのノウハウを活かした調査、およびCSIRT機能自動化の研究成果を活かした機能強化といえます。

このような取り組みによって1社の機能をいくら強化しても収集できる情報には限界があります。NTT-CERTはこれまで培ってきたさまざまなコミュニティと連携した情報共有も積極的に行いました。内閣サイバーセキュリティセンターの情報共有ツールである「Japan cyber security Information Sharing Platform (JISP)」や一般社団法人ICT-ISACによる東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会向け情報共

有プラットフォームへ参加し、未公開情報や独自情報を入手可能な状態にしました。またNTTセキュリティのGlobal Threat Intelligence Centerと連携し、東京2020大会へのサイバー攻撃に関する海外現地からの情報を逐一共有可能な状態を構築しました。このような外部連携によって得られた情報を、さらにNTT-CERTで追加調査、分析結果を加え、NTTグループ各社へ展開しました。これはNTT-CERTにおける、外部とNTTグループとのハブ役としての機能の強化といえます。

また、ネットワークインフラや運用体制に影響する脆弱性情報が発見された場合に備え、脆弱性情報収集体制および攻撃コードが公開された場合の検証体制の強化も実施しました。

上記のような活動に向けた準備を大会本番まで積み重ね、最後に東京2020大会での攻撃を見据えたNTTグループ内サイバー演習を開催しました。演習においてNTT-CERTは、シナリオ作成を担当

しました。実際に攻撃が発生したと想定し、検知されると想定される情報をNTTグループ内に共有し、各社の連絡体制や対応手順に問題がないか、適切な対応が取れるかを演習にて確認し、大会前の最後の仕上げとして、NTTグループ丸となり東京2020大会に向けた準備を整えることができました。

東京2020大会の活動結果

今回の機能強化の取り組みの結果として、NTT-CERTではさまざまな情報源から情報を収集・解析し、要確認情報から情報を収集・解析し、要確認情報をNTTグループ各社へ展開しました（表）。ただし、要確認情報には放置すると攻撃の足掛かりになり得る可能性がある検知内容や東南アジア情勢にまつわる政治的主張が絡む攻撃予告および小規模なDDoS攻撃、被害はなかったものの大会関係と思われるクレデンシャル情報売買などを共有しており、そのような情報提供の積み重ねによって重大な被害の芽を摘むことができ、またNTTグループ

表 モニタリング結果 情報源と検知結果例

情報源	情報源の詳細	検知結果例
公的組織	JPCERT/CC, IPA等	脆弱性情報, 一般的な攻撃情報など
SNS	Twitter, ブログ, 掲示板	大会関係者への攻撃をおおる書き込み, 発見されたフィッシングサイト情報など
ニュースサイト	新聞社, 放送局, IT関連ニュースサイト	大会動画配信を装う偽サイトの報道, 過去の大会関係組織へのサイバー攻撃の報道, 大会関係を装うマルウェアの記事など
ダークウェブ	ハッカーフォーラム, 闇取引サイト等	大会関係と思われるクレデンシャルの売買情報など
偽サイト情報	DomainAbuse [*] , Google検索結果等	大会関係と誤認させるような新たなドメイン情報 (一部はフィッシングサイトであることを確認)
その他	手動, ベンダ等のレポート	想定される攻撃者についての分析情報, マルウェアの分析情報など

※DomainAbuse: インテリジェンスサービスによるドメイン悪用情報

各社に安心感を与えることができたと考えています。実際に、大会終了後には警察庁が「五輪・パラ大会中のテロやサイバー攻撃なし」と発表したことが報道されており (<https://www.sankei.com/article/20210909-KOK2GCDO3JK2LPIBAJOBHBRW6Y/>), 私たちの検知内容と一致していることが分かりました。

過去大会との比較考察

東京2020大会が過去一連の大会と大きく異なっていることは、コロナ禍によってほとんどの会場が無観客大会となったことです。その影響からか、過去大会でみられた偽チケット販売サイトや入場システムへのサイバー攻撃は確認されませんでした。また、偽のグッズ販売サイトなども今大会ではほぼみられませんでした。過去の大会でみられたハクティビストによるDDoS攻撃なども危険視していたのですが、近年はこのような政治的主張を伴うDDoS攻撃自体の頻度が低下しており、日本での東京2020大会に大

きく反対する組織もありませんでした。そのため、このようなDDoS攻撃も発生しなかったと考えています。

総括としては、NTT-CERTの機能や連携の強化により、これまでになかった情報の検知が可能となり、小規模ですがいくつか攻撃の足掛かりとなり得る情報を共有することができました。また、大会を支えるネットワークインフラ自体もサイバー攻撃による事故等がなく無事閉会を迎えることができ、私たちの活動は意義のあるものであったと考えます。

今後の展望

今回初めて行った2020大会に対するサイバー攻撃への脅威分析は有効なものであったと考えます。NTTグループへの影響を考慮した外部関係者を含めた脅威の分析やこれまでにない情報や脅威を検知できたことは、今後、NTTグループがネットワークインフラ提供などの立場で関与する大規模イベントに対し、柔軟な調査を行えることを示していると感じ

ています。また、今回の強化の取り組みとして、言語やダークウェブ上の調査の深化および攻撃アクター分析など、調査範囲を拡大しましたが、大会終了後も平時の調査範囲へと適用していくことで、これまでより高品質な情報収集が行えると感じています。このようなノウハウが明文化できた際には、NTTグループ各社へ展開しNTTグループ全体のセキュリティ向上に貢献していきたいと思っています。



(左から) 三科 貴 / 松橋 亜希子 / 仁佐瀬 剛美 / 司東 秀浩

◆問い合わせ先

NTTサービスイノベーション総合研究所
E-mail svkoho-ml@hco.ntt.co.jp

選手を『支えた』NTT R&Dの技術

■ 女子ソフトボール × スポーツ脳科学

世界最大のスポーツイベントで金メダルを獲得した女子ソフトボールチームとNTTの勝負に勝つための実戦的な取り組みについて紹介する。

17

■ 自転車競技 × hitoe®

hitoe®を用いて行った、自転車競技のトップアスリートの表面筋電位計測とその可視化、および分析技術について紹介する。

22

■ 競泳 × オンライン指導

関節・筋の機能制限・歪みを緩和するためのコンディショニング、生体センサと映像を用いた評価等を実施し、競泳選手をサポートした様子を紹介する。

25

大会に『備えた』NTT R&Dの技術

■ ネットワーク工事 × 暑さ対策ウェア

個人ごとの熱中症対策を実現するため、個人のバイタルデータから体調不良リスクを推定し、アラートを発出する手法について紹介する。

29

■ 会場運営スタッフ × CUzo

機能分散通信技術Cuzoと透過型ディスプレイを持ったハンディタイプのデバイス「CUzo Card」について紹介する。

31

大会を『包摂的にした』NTT R&Dの技術

■ バリアフリールート案内 × MaPiece®

バリアフリールート案内アプリ「Japan Walk Guide」を、実際に車いす利用者に評価していただいた実証結果について紹介する。

34

■ ゴールボール × 超高臨場感通信技術 Kirari!

音が主役のゴールボール競技を対象に、超高臨場感通信技術 Kirari!を用いたプロジェクトについて紹介する。

39

カテゴリ 選手を「支えた」NTT R&Dの技術

女子ソフトボール × スポーツ脳科学

意識に上るよりも短時間の判断や動作が勝負のカギを握ることが多いスポーツの世界。NTTコミュニケーション科学基礎研究所柏野多様脳特別研究室では、その特殊なシーンで発揮されるアスリートの潜在脳機能に焦点を当てて研究を進めています。2021年に行われた世界最大のスポーツイベント（大会）で金メダルを獲得した女子ソフトボールチームとNTTは、学術的な研究と並行し、これらの知見を活かした勝負に勝つための実戦的な取り組みを進めてきました。

やまぐち ますみ なす だいき
山口 真澄 / **那須 大毅**
 みかみ だん きむら としたか
三上 弾 / **木村 聡貴**
 ふくだ たけひろ かの まきお
福田 岳洋 / **柏野 牧夫**

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

取り組みの背景

ソフトボールのバッティングのシーンに現れるような瞬時の意思決定をはじめとして、スポーツの試合では本人も自覚できない「潜在的」な脳機能の働きが勝負のカギを握ります。2017年1月にNTTコミュニケーション科学基礎研究所に発足したスポーツ脳科学プロジェクト（2019年7月より柏野多様脳特別研究室に改称）では、トップアスリートの優れた潜在脳機能を解明して勝つための要因を特定し、それに基づいて実際にアスリートのパフォーマンスを向上させることをめざして研究を進めてきています⁽¹⁾（図1）。野球・ソフトボールでは、日米のプロ野球球団、社会人野球チーム、大学野球チーム、日本ソフトボール協会（女子日本代表）、日本女子ソフトボールリーグに所属する実業団チームなどのご協力をいただいております。本当のトップで勝負するアスリートの特別な能力や特徴が明らかになってきました。

日本ソフトボール協会とは、ソフトボールのトップ選手や若手選手の実験的・実戦的な計画を実施するために2017年10月に共同実験協定を締結しています。この共同実験協定に先立って、2016年8月3日には女子ソフトボールが世界最大のス

スポーツイベント（大会）の正式競技としての復帰が決定しました。学術的な研究と並行し3年後に迫った大会での金メダルをめざして、「脳を鍛えて」ソフトボールで勝つ」を実現するべく、日本代表チームと協力した実戦的な取り組みを行ってきました⁽²⁾。本稿では、大会での金メダルに向けた日本代表チームとの取り組みを中心に紹介します。

ソフトボール日本代表チームとの取り組み

2016年8月にソフトボール協会の強化副本部長（当時）矢端信介氏が初めてNTT厚木研究開発センタにあるスポーツ脳科学実験棟に来訪されました。初め

てお会いしたときから、「金メダルのためには“米国の動く速球”への対策が一番の課題」と述べられていました。

2016年9月には群馬県の高崎市でジャパンカップが開催され、日本代表、米国代表など4カ国の代表チームによる国際試合を見学しました。その後も日本代表が出場したほとんどの国際試合に赴き、日本代表チームの情報班の一員として映像撮影などを行いました（図2）。試合撮影での主な目的は、相手投手の特徴をつかむことです。投手の癖を分析するための素材として、さまざまな角度から投球フォームを撮影したり、投球される球の特徴を抽出するために、ハイスピードカメラを用いてバックネット裏から投球

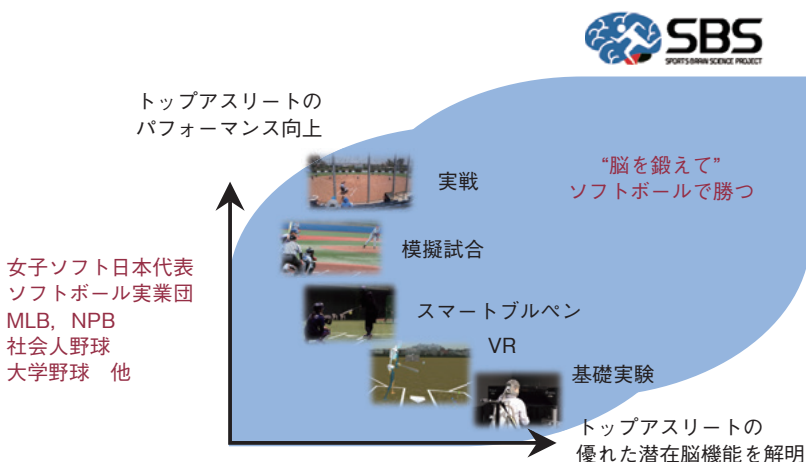


図1 スポーツ脳科学プロジェクト



を撮影し、回転軸と回転数を抽出する球質分析などを行いました。

このような、相手チームの分析と並行して、強化合宿にも参加して日本代表選手の撮影や計測も実施しています。選手強化のサポートとして、数秒遅れで自身の投球や打撃の映像を再生する遅延再生映像を用いたフィードバックや、前述した試合での撮影と同様の技術を用いて投手の球質分析などを行いました。こうしたサポートを行う一方で、選手に協力いただき研究用のデータ計測も実施しています。2017年12月の沖縄強化合宿では、若手からトップまでの全世代の代表選手が一同に集いました。ここでは、各世代の選手の実戦形式およびVR（Virtual Reality）を用いた打撃判断の計測を行いました。2019年6月には長期強化合宿に入る直前の2日間、日本代表選手19名がNTTの厚木研究開発センタに訪し、バッティングでの視線や、運動、認知課題など計測を実施しました。これらの結果は研究データとして解析するとともに、選手にフィードバックを行っています。

トップ選手に備わる特殊な能力

女子ソフトボールにおける投手の投球距離は13.11 mでおおむね野球の3分の2です。米国の投手の球速は72-118 km/hで縦横に変化するライズボールやドロップボール、カーブ、シュートに加えてタイミングをずらすチェンジアップなどを投げ分けてきます。変化の大きい投手ではライズボールとドロップボールでの変化量の差は80 cmにも及びます。一方で、投手のリリースから打者に到達するまでの時間は0.4秒程度しかありません。この短い時間の制限の中で、打者はボールに対応してバットで打たなければなりません。これは、いくらスイングスピードだけ速くても限界があります。優れた打者には、この特殊な環境に対応する能力が備わっていることが分かってきています^{(3),(4)}。

このような速くて動くボールに対応するために、選手が取り得る対策としてはいくつか考えられます。まずは、投手の配球を読むことです。個人差はあります

が、打者は配球を読んで、ある程度狙い球を絞って打撃に臨むのが一般的です。次に、投手の癖をつかむということも対策になり得ます。例えば、「この投手はライズボールを投げるときには、セットポジションの手首の位置が違う」というようなことがあらかじめ分かっていたら、そのライズボールに絞って打撃に臨むことができます。このような、はっきりと分かる投手の癖は言葉や映像を使ってチームで共有することができます。

一方で、投手の癖ははっきり説明できるものばかりとは限りません。女子ソフトボール日本代表チームの主将山田恵里選手に関して、とても興味深いお話を聞きました。山田選手は本人も公言されているとおり、相手の配球を読んで打つタイプのバッターですが、ベンチから投手を見ながら、次々に球種を言い当てられるのです。ただ、何からそれが分かるのかはいつもはっきりしているとは限らず、なんとなく分かるということが多々あるのだそうです。どこが違うのか・何が違うのかということが分かっていなく



図2 国際試合や強化合宿の様子

ても、結果として、どの球が来るのかを推測できていれば、これは打撃に活かすことができます。

さらに面白いことに、どの球が来るのかが分かっていないつもりでも、実際の打撃では対応できている場合があることが、VRを使った実験から示唆されています。VRに実際の投手から計測したモーションを組み込み、打者にはランダムに投げられるチェンジアップと速球を打ち返すように実際にバットを振るといふ課題を与えます。打者の腰にセンサを付けて、スイングのタイミングを計測します。このとき、VRですので、速球とチェンジアップのフォームと投げられる球種の対応関係を入れ替えることが可能です。このような入れ替えを行ったとき、フォームと球種との対応関係が正しければしっかりタイミングをとってスイングができていのに、入れ替えるとタイミングをとり逃すことが増えるという結果が得られました⁽⁵⁾。ここで、興味深いことは、選手自身は、投手のフォームの違いは見分けがつかない、すなわち、フォームからはどちらの球が来るのかは分からない、と言っていて、さらに、実験後にも投手のフォームが入れ替えられたことにも全く気付いていなかったということです。自分では分かっていないつもりでも、実際の打撃動作では無自覚のうちに投手のフォームの情報を使って対応している場合があるということです。

このような予測は、映像やデータを使っても他人に説明することができないため、チームで共有することができません。しかし、このような能力を多くの選手が獲得できれば、チームの打撃力は向上します。

能力を鍛える

宇津木麗華ヘッドコーチ（宇津木ヘッ

ド）は選手として臨んだオリンピックシドニー大会では、宿舎で相手投手の映像を何百回も繰り返して観て、イメージトレーニングをして研究したのだそうです。2017年5月に厚木に来訪され、NTTでVRでの打撃シミュレーションを体験されたときから、米国投手の対策としてとも興味を持っていただきました。

以降の強化合宿では、それまでに撮りためた対戦国の投手の映像と軌道を用いたVRを何度か持ち込みました。しかし、VRには課題もありました。遊びで使うゲームのレベルであれば、VRの映像と実際に振るバットとを連動させることもできますが、VR空間の投球とリアルなスイングとの間には、まだ時間や空間的な誤差があり、実際のスイングが適切であったかどうかを正しく評価できないため、選手の練習として使用するのには限界がありました。また、その精度を追求すれば、センサなども大掛かりで、VR機材の設置場所の問題や、選手の準備でも負担が大きくなり、実際に練習に使用するハードルは高くなります。2017年ごろのVRのヘッドセットはPCと接続するタイプが主流でしたが、2019年になるとヘッドセットのみで動作する機種が普及しました。このような機種だと、ホテルの個室で選手が個々に利用することが可能です。これを大会の選手村宿舎に持ち込んで使ってもらつつもりで、準備を進めていました。一方、宿舎内で見られれば、場所の問題はなくなりますが、機能としてはほぼ見るだけに限られたものになってしまいます。3Dの軌道を確認できるところは、ビデオを見るよりは優れているけれども、それが選手にとってどれほどのメリットになるのか自信が持てませんでした（図3）。

“秘密兵器” ナスマシン

VRに加えて、バッティング練習用のシステムとして期待していたのが仲間内でナスマシンと呼んでいたピッチングマシンでした。これは、変化球の投げられるピッチングマシンに投手の映像を組み合わせたもので、外見のイメージは投手の映像がついたバッティングセンタのピッチングマシンと同じです。柏野多様脳特別研究室では、野球の打撃計測において実投手では実現できない条件、例えば同じ投手で左右を入れ替えた際の打者の知覚を調べる実験などをこのようなマシンを用いて行っており⁽⁶⁾、ソフトボールでも同様の実験をするために、球速だけでなくボールの回転も変えてさまざまな球種を投げることができるピッチングマシンを持っていました。このソフトボール用のピッチングマシンとVRで使用する投手の映像を組み合わせれば、実際に打撃のできる練習システムができるのではないかと考えました。2019年の厚木合宿の最後に、私たちの実験室で組み上げたソフトボール用の映像付きピッチングマシンの試作品を選手に披露し、実際に練習にも使えそうな感触を得ました（図4）。

一方で、このマシンも実際の練習で使ううえでは課題がありました。一番の心配はVRと違って、装置が大掛かりになり、設置場所が確保できるのかということです。投手の映像はプロジェクタで投影することになるため、屋外では相当高輝度なものがが必要です。また、屋外で使用する場合には雨天などに備えた対策も必要になります。また、代表チームの練習はマシン打撃だけではないので、全体練習をするグラウンドからのアクセスも重要です。厚木の研究所に設置しても、合宿所から遠く、本番前に選手が来訪する時間をつくれないうえ、意味がありま

せん。

2019年、高崎市にソフトボール専用の競技場UTSUGI STADIUMが建設され、ここで、大会本番直前の強化合宿が行われることが決定しました。この施設の一角には雨天用の屋根付き練習場が整備されました。屋根付きの練習場は、マシンの設置場所としては好適ですが、横はネットで囲われただけの半屋外のため、外から入ってくる光で投手の映像が十分

に見えるのかが心配の1つでした。もっと現実的な問題としては、雨天時の重要な練習場をこのマシンが占拠してよいのかという心配もありました。このマシンがどれほど使われるのかは、このときは全く見通しがありませんでした。

コロナ禍の影響で2020年に行われる予定だった世界最大のスポーツイベントは1年延期になり、当初は2020年4月に予定していた下見も延期して、2020年11月にプロジェクトを車に積んで現地試験に行きました。このときは、宇津木ヘッドと一部の選手のほか、日本ソフトボール協会の三宅豊会長、宇津木妙子副会長、矢端信介強化本部長、山路典子コーチなどが直接映像の見え方などを確認され、この場所で十分使えそうであるという手ごたえをつかみました。

投手の映像は、VR用に用意していたものをそのまま使うことができました。一方で、軌道についてはVRと違ってピッチングマシンでは完全には復元できません。具体的には、私たちが用いているのがローラ型のピッチングマシンで、物理的な構造上ジャイロ回転の成分を復元

できず、また、投球ごとにもコースや回転にばらつきがでます。このピッチングマシンの性能としての限界や、実際の練習での使い方を想定し、1球ごとではなく、投手が投げたフォームを球種ごとにラベル付けし、その球種に合わせた軌道の設定とを対応付けることにしました。

前述のとおり、ピッチングマシンの特性上、ジャイロ回転が出せないで、実際の投手が投げる回転をそのまま再現することはできません。したがって、ピッチングマシンが出せる縦横の回転を使って、その投手が投げる軌道に近づくように、チームアナリストの大田穂さんを中心に、実際に打席に立ったことのある選手の感覚も確認しながら調整しました。大田さんは、あらゆる試合をバックネット裏から観察して、データとの両面から相手投手の特徴を知り尽くしており、それぞれの投手の変化についてとても細かく指示をしていただきました。

大会直前の第一次強化合宿初日の2021年5月17日に高崎の室内練習場に設置しましたが、設置すると私たちが想像していた以上に、宇津木ヘッドはじめ選手に



図3 VR



図4 ピッチングマシン

も興味を持っていただきました。そして、当初は1週間程度かけて軌道を調整するつもりが、翌日からすぐに練習に使用することとなりました。ピッチングマシンは途中、1週間の中休みを挟んで第2次強化合宿の最終日の7月14日まで設置し、メインの練習グラウンドから代わる代わる選手が訪れるかたちで使用されました。また、この間にも投手の映像を追加し、最終的には3カ国6投手のコンテンツを準備できました。

選手は、練習場に来ると練習する投手と球種をオペレータに伝え、打ち込みはもちろん、バントやエンドランなど課題を意識して練習していました。山本優選手は、実際の投手との対戦だと「打ちたい」とか、いろんな心境になったりしますが、マシンの練習では投手のフォームや軌道を冷静に見ることができるので良いと語っていました。また、選手たちは新しい映像や球種が増えるとすぐに試してみるなど、バーチャルの投手との対戦を楽しんでいるようでした。

このマシンでの練習については、チームの方針として大会の決勝が終わるまで一切公開しないということになっていたため、女子ソフトボールが金メダルを取った後に報道された新聞やテレビなどで「秘密兵器」として取り上げられました。

日本チーム悲願の金メダル

大会を通して、日本チームの打撃は好調でした。この秘密兵器を使った練習がどれほどの役割を果たしたのかは実際のところは分かりません。大会に照準を合わせた各選手に対するコーチの指導はもとより、米国の速球投手を想定して、日本トップの男子投手陣がバッティング投手を務め、アナリストは、コロナで現地には赴けない中、インターネットなどあらゆる手段を駆使して相手の情報を取得

し、癖や球種や配球などを分析しました。また、ここに書ききれない、そのほかの努力や取り組み、作用も含めて、その総合的な効果が勝負の結果につながっています。

また、マシンの効果としては、相手投手の軌道とフォームについての潜在的な学習というだけに限らず、相手投手のタイミングに慣れたり、軌道に慣れたり、さらには、このような装置を使ってしっかりと準備をしたということが心理的にプラスになったという効果もあります。その効果や程度を計ることはできませんが、この秘密兵器で練習した成果は、確かにあったのだらうと思います。少なくとも、私たちが見る限り、選手はこのマシンでの練習に、楽しんで、前向きに取り組んでくれていました。チームリーダーの矢端氏はソフトボールマガジン2021年10月号にて、それまでの試合で無安打だった山崎早紀選手が決勝でオスターマン選手のドロップに合わせて二塁打を打ったのは、このマシンでの練習の成果が出ているのではないかとコメントをされています。

学術的な研究と選手のパフォーマンスの向上の二兎を追うことは簡単ではありません。今回紹介した取り組みは、研究というよりは多分にパフォーマンスの向上の目的に寄ったものでした。ただ、大会での金メダルをめざした真剣勝負の場で、私たちの研究ツールを有効に使っていただけたという事実は、私たちの実験環境が実戦としっかりつながっていることを証明してくれたのではないかと思います。選手が実戦で発揮する特殊な能力を解明し鍛えるための研究を発展させていきたいと思います。

参考文献

- (1) <https://www.ntt.co.jp/journal/1801/index.html>
- (2) <https://www.ntt.co.jp/journal/1803/files/JN20180355.pdf>
- (3) D. Nasu, M. Yamaguchi, A. Kobayashi, N. Saijo, M. Kashino, and T. Kimura: "Behavioral Measures in a Cognitive-Motor Batting Task Explain Real Game Performance of Top Athletes," *Frontiers in Sports and Active Living*, pp.1-9, May 2020.
- (4) <https://www.ntt.co.jp/journal/1801/files/JN20180118.pdf>
- (5) T. Kimura, D. Nasu, and M. Kashino: "Utilizing Virtual Reality to Understand Athletic Performance and Underlying Sensorimotor Processing," *Proceedings*, Vol. 2, No. 6, 2018. <https://doi.org/10.3390/proceedings2060299>
- (6) D. Nasu, T. Kimura, and M. Kashino: "Do baseball batters perceive straight ball trajectory as straight?," 2020 NASPSPA, June 2020.



(上段左から) 山口 真澄/ 那須 大毅/
三上 弾
(下段左から) 木村 聡貴/ 福田 岳洋/
柏野 牧夫

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
柏野多様脳特別研究室
TEL 046-240-3557
E-mail masumi.yamaguchi@hco.ntt.co.jp

カテゴリ 選手を「支えた」NTT R&Dの技術

自転車競技 × hitoe[®]

表面筋電位による身体との対話

アスリートにとって筋肉の活動状態を知ることは、パフォーマンス向上やコンディショニングを行ううえでとても重要です。筋肉の活動を知るうえで、体の表面から計測可能な「表面筋電位」は、身体負担の少ない有効な手段と考えられています。本稿では、hitoe[®]を用いて行った、自転車競技のトップアスリートの表面筋電位計測とその可視化、および分析技術を紹介します。本技術は、トップアスリートの現場だけでなく、日常スポーツにおける自己分析にも活用が期待されます。

はじめに

自転車競技選手のトレーニングでは、パワー・メーターや心拍計といったセンサ情報を活用したトレーニングが積極的に行われています。トップアスリートの身体情報およびトレーニングの進捗を示す客観的なデータは、パフォーマンスの向上だけでなく、疲労具合の確認や怪我といったコンディショニングの調整につながる重要な手がかりになります。私たちは、動きの巧みさや疲労の状態を、筋肉上の皮膚から得られる表面筋電位から評価し、スポーツやリハビリテーション現場にて、データ駆動のトレーニングに役立てることをめざしています。体の表面から計測可能な表面筋電位は、アスリートにとって、取得する際の負担が少ないデータとなります。日々のトレーニングや日常生活の中で活用することも想定し、ウェアラブルセンサやアプリケーションが一体となったユーザビリティに配慮したシステムの研究開発を進めています。

hitoe[®]による表面筋電位計測

表面筋電位の計測では、NTTと東レで共同開発したhitoe[®]を生体電極として使用しています。利点の1つに、動き

やすさと電極の設置しやすさがあります。従来型の筋電センサでは、汗の影響による電極の脱落や、電極を1つひとつ固定する事前準備時間の問題、選手の動きを妨げる等の多くの課題があります。一方、hitoe[®]を使った計測では、トレーニングウェアの裏地にhitoe[®]をあらかじめ取り付けることで、ウェアを着るだけで容易に電極を肌に固定することができ、脱落の心配もありません。また自転車競技のようなスポーツでは、普段から肌に密着したトレーニングウェアを着用しており、そのままのウェアで電極の固定に必要な着圧も確保できるため、hitoe[®]との相性が良く、選手の普段の感覚や動作を妨げることもほとんどありません。

自転車選手の筋疲労、筋活動から見えるペダリングの漕ぎ方の違いの評価

hitoe[®]を用いた自転車走行中の表面筋電位計測では、NTTデータとの共同実験のもとで、チームブリヂストンサイクリング所属の橋本英也選手(写真)を含む国内トップアスリートの方々を対象に、自転車選手の筋疲労、筋活動から見えるペダリングの評価を試みました。さまざまな条件でペダリングを行い、集めたペダリングデータを基に、競技の強化

たなか けんたろう つかだしんご
田中 健太郎 / 塚田 信吾
やまぐち ますみ
山口 真澄

NTT物性科学基礎研究所

ポイントの特定や選手ごとの漕ぎ方の違いに基づくフィードバックを行い、選手の主観感覚を交えたディスカッションを行いました。

図1は、2021年に行われた世界最大のスポーツイベント会場としても使われた、伊豆ペロドロームにてタイムトライアルを行った際の表面筋電位データです。表面筋電位信号の平均的な周波数成分の時間変化を示しています。筋疲労が進行すると、表面筋電位信号の周波数成分が変化することが知られています。図では、主要な筋群である外側広筋(太もも前外側の筋肉)の表面筋電位の平均周波数が、時間経過とともに低下している様子が分かります。ペダリングに寄与する筋肉は



写真 チームブリヂストンサイクリング所属の橋本英也選手

複数あるため、こうした傾向が現れる筋部位や変化度合いは、レース戦略や選手の脚の左右差や漕ぎ方の違いによって異なります。レース後半に疲労しやすい筋の特定など、選手が抱えていた課題と客観的なデータの解釈が一致したとき、選手には新しい気づきを提供できます。実際にフィードバックによる気づきを提供できた橋本選手の事例を紹介します。橋

本選手は、通常のペダリングよりも、高い負荷でのペダリングを行った際に、筋活動のタイミングや活動時間にバラツキが生じることがありました。特に、図2に示すとおり、左足の外側広筋の筋活動時間が反対の右足よりも長く、踏み遅れが生じていました。この点をフィードバックしたところ、当時レースなどで同筋部位が疲労しやすいとの感覚を持っており、

客観的なデータから筋活動パターンに違いが読み取れた点に驚いていました。その結果、日々のトレーニング時に、同部位の筋活動タイミング、踏み込みの長さを意識するといった具体的なフィードバックにつながりました。

そのほかにも、屋内と屋外の環境の違いや、ペダリングの回転数、負荷の違いにより、筋活動がどのように変化したか

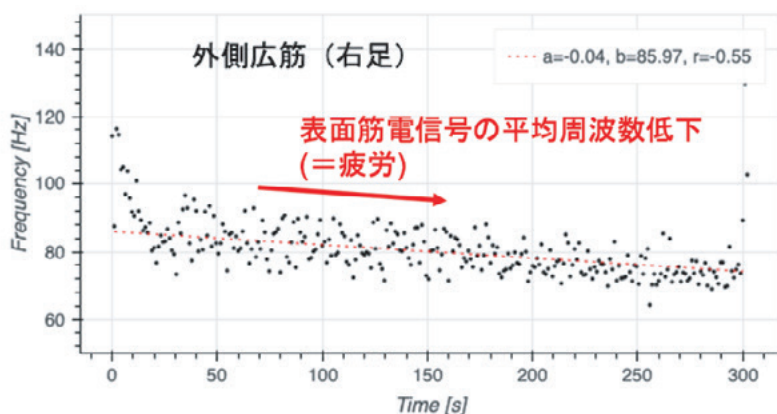


図1 競技用トラック走行中のhitoe®表面筋電位データ分析の例と走行中の様子

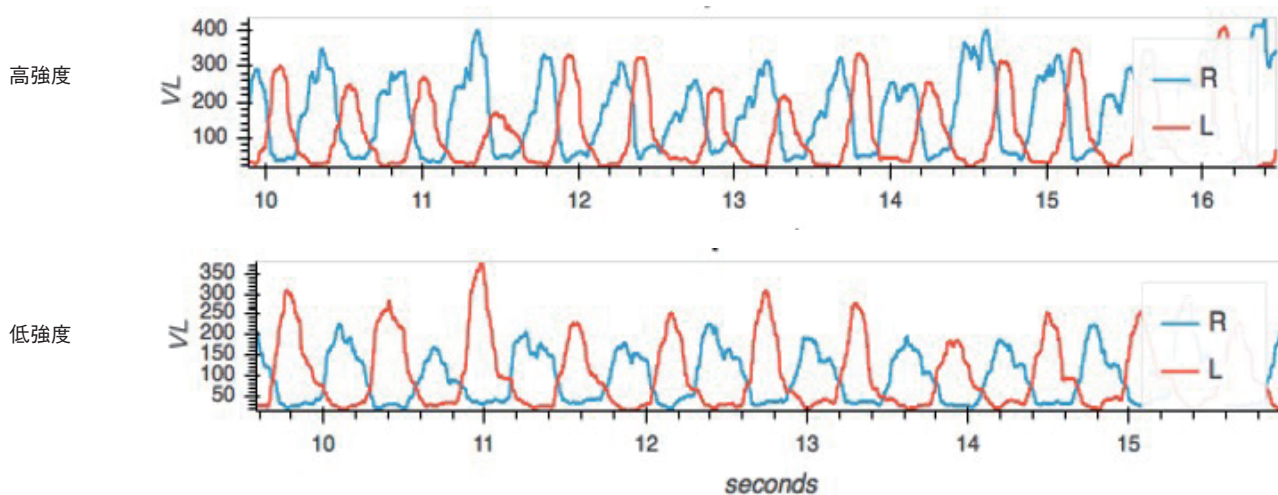


図2 高強度と低強度ペダリングにおける左右の外側広筋の筋活動タイミングの違い

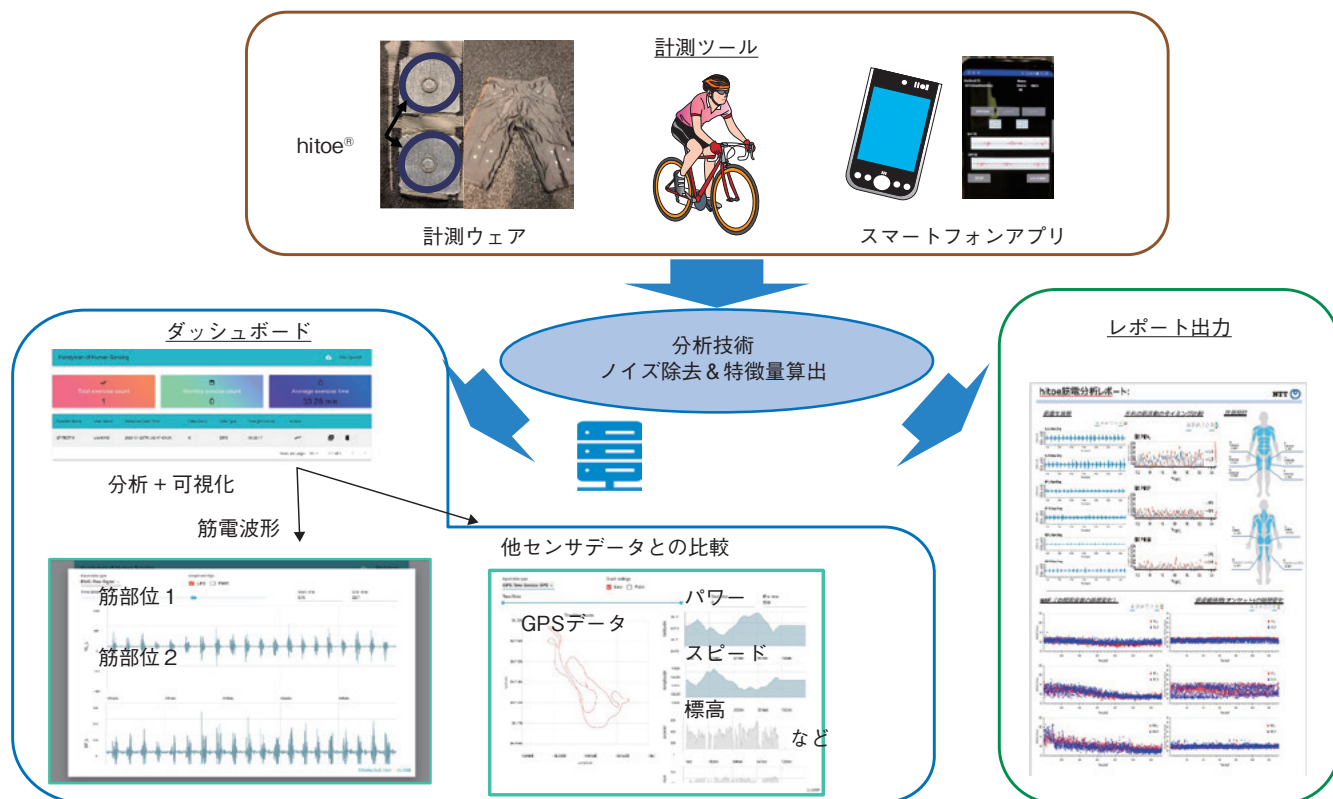


図3 hitoe®表面筋電位計測システム

を分析し、選手との議論も交えて、データの有効性を検証しています。また、コーチと選手の有意義な議論、セルフフィードバックを行うためには、トレーニング後に速やかにデータを可視化して分析結果をフィードバックすることが重要です。そのため今回の実験では、hitoe®表面筋電位計測システムを段階的に開発し、計測終了後の選手へのフィードバックサイクルを早めました(図3)。

本ツールが、身近なツールとしてスポーツの現場に定着していくためには、自身の課題やトレーニングの効果を実感できるような、より分かりやすい指標を見出すことや、今よりもさらに使いやすくす

るなど、実用上の課題もあります。一つひとつ解決し、日常スポーツでも活用されるツールをめざして研究開発を進めていきます。



(左から) 田中 健太郎/ 塚田 信吾/
山口 真澄

◆問い合わせ先

NTT物性科学基礎研究所
多元マテリアル創造科学研究部
分子生体機能研究グループ
TEL 046-240-3124
FAX 046-270-2364
E-mail kentaro.tanaka.py@hco.ntt.co.jp

カテゴリ 選手を「支えた」NTT R&Dの技術

競泳 × オンライン指導

競泳選手へスマートフォンとウェアラブルセンサを活用して オンラインで行った、胸郭を中心としたコンディショニング

競泳選手の強化練習に伴う慢性的な筋緊張による胸郭を中心とした運動機能の低下に対して、脊柱・肋骨・体幹の機能的な連携への自覚を促し、自然で効率的なからだの動きを回復させるトレーニングを考案しました。スマートフォンによるWeb会議システム、画像記録、hitoe®筋電・呼吸・モーションを計測するマルチセンサベルトを活用し、リモートから定期的な指導を実施し、新型コロナ禍のアスリートの支援を行った結果を報告します。

つかだ しんご / はまぐち ゆ み こ
塚田 信吾^{†1} / 濱口 由美子^{†2}

NTT物性科学基礎研究所/
NTTバイオメディカル情報科学研究センタ^{†1}
スプリングスピラティス^{†2}

背景と対象

日本人選手が国際大会で結果を出すためには、体格差を補う十分な筋力、エネルギー代謝能を含めた総合的な体力強化が必要となり、必然的に長期間の高強度の練習が求められます。私たちは、長期の強化練習を行ったアスリートが、疲労の蓄積や故障を契機に、関節痛、発達した筋群の硬化、関節可動域制限を生じ、パフォーマンスの低下と成績不振に陥る症例を複数経験してきました。競技種目にかかわらず、痛みや関節可動域制限は四肢の主要な関節とその部位に局限せず、体幹の胸椎、胸腰椎移行部、助椎関節や肋間筋、肩甲骨周囲にも認められる特徴があります(図1)。これらは主要な筋・関節から離れており見落とされやすい部位であり、慢性的な筋緊張による可動域制限、痛みの影響は、姿勢の悪化によるストリームライン姿勢の水抵抗の増加につながるおそれがあります。さらに呼吸と関連する胸郭(肋骨)の拡張制限に及ぶ可能性もあり、総合的なパフォーマンスに影響することが懸念されました。

私たちはこの課題に対し、胸郭を軸とした関節・筋の機能制限・歪みを緩和するためのコンディショニング、生体セン

サと映像と用いた評価、スマートフォンを使ったオンライン指導を定期的にも実施し、競泳選手をサポートしました。

対象は中京大学水泳部(佐々木祐一郎監督)に練習拠点を置く、国内大会上位入賞および国際大会出場経験のある競泳選手(バタフライ短距離)男女各1名、川本武史選手(トヨタ自動車)と相馬あい選手(ミキハウス)男女各1名(バタフライ短距離、国内大会上位入賞、国際大会出場経験有)です。介入前の自覚症状は、慢性的な背筋の張り(図2(a))、中背部の疼痛、呼吸時の胸郭の硬さ、他覚所見は胸郭全体にすべての方向に可動制限、肩甲骨周辺筋群や脊柱起立筋などの過剰収縮、腰椎の伸展傾向が認められました。全身の運動性に関しては腹臥位の脊柱全体の伸展位(腕立て)にて胸郭部分の伸展可動域制限、頸椎と腰椎仙骨移行部の過伸展を認めました(図2(a))。ストリームライン姿勢の側面像の腰背部のラインにも影響が認められる状況でした(図2(c)(d))(強化練習による再燃時にも同様の所見)。

指導のコンセプト

胸郭は、胸椎椎体の1つひとつが左右一対の肋骨とつながるリングが積み重なった立体構造で、多くの関節によって

結合しサスペンションのような役割をします。胸郭は全身の動きの微調整をする重要な部位であり、ただ柔軟性を獲得するだけではなく、全身の運動性の中でいかに胸郭の機能を高めるかという点に注目しました。

まずインナーユニット(横隔膜、多裂筋、腹横筋、骨盤底筋)の共同収縮により、全身を連動するための準備を整え、肋骨を意識的に動かすトレーニング、そして全身のダイナミックな動きの中で胸郭の動きをコントロールできるようにしていきます。自分自身で肋骨の動きを確認したり(図3)、動作時の映像を見て自己修正を繰り返すなど、選手自身が意識してできるようにして行きました。

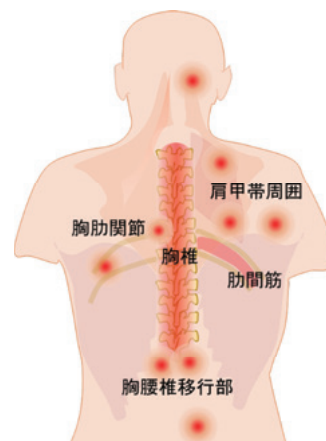
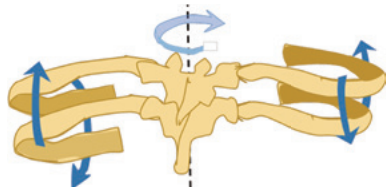


図1 痛み、筋の硬化、可動制限の好発する部位(背部:赤)



(a) 胸腹臥位の脊柱全体の伸展位（腕立て）にて胸椎部分の伸展可動域制限（黄色矢印・点線）、頸椎と腰椎仙骨移行部の過伸展（白矢印）
 (b) 定期的なコンディショニングにより改善した状態
 (c)(d) ストリームライン姿勢での脊柱の伸展可動域制限
 (e) 改善した状態（(d)(e) 赤矢印は、マルチセンサベルトによる胸囲計測）

図2 胸郭を中心とした機能低下時と改善した状態



(a) 胸椎と左右一対の肋骨とのリンク構造。脊柱回旋時の胸椎と肋骨のリングの動き。左右逆方向に回転する



(b) 座位で骨盤・腰椎を固定し、両脇の肋骨に指を当てて脊柱回旋時の肋骨のリングの動きを触知する

図3 指導のコンセプト

筋の収縮のセルフチェックをしながら腰椎骨盤の安定を保って、股関節のスムーズな動きを、ゆっくり繰り返し。これを仰臥位、座位、四つ這い位、立位などの姿勢で行うという動作です。

(2) 肋骨の動きとインナーユニットの連動

手を肋骨に当ててセルフタクトイル（自分で身体の動きを修正、誘導）することで、肋骨の基本的な動き（胸椎屈曲、伸展、側屈、回旋に伴う）を理解するよう指導しました。腰椎骨盤を安定させたまま、呼吸を意識して肋骨を動かし、胸郭の広がる部位との関連を理解しながら行いました（図4）。

(3) 全身のコネクトの状態で脊柱、肩関節、股関節などの部位を意識して動かす

全身のコネクト（インナーユニットの意識、股関節安定、肩甲骨安定、腹筋や背筋などが意識的につながり、コントロールされた状態）を維持しながら、肋骨の

実際の指導内容

下記の段階的なエクササイズプランに沿って、個別に実地およびオンラインの指導を、1～2週に1回約45分間実施しました。最初は一軸の基本動作にとどめ、動かす部位を意識しやすいように1カ所としました。安定化させる部分（腰椎骨盤）と動きを出したい肋骨（胸郭）を分離した動作を習得した後に、段階的

に動かす部位を2つ以上に、動きの面・軸を増やしました。さらに姿勢を変えて自重の負荷をかける、不安定な状況下で行う、動かすスピードを変えるなど、持久力を高めていきました。

(1) インナーユニットの意識（体軸の意識）

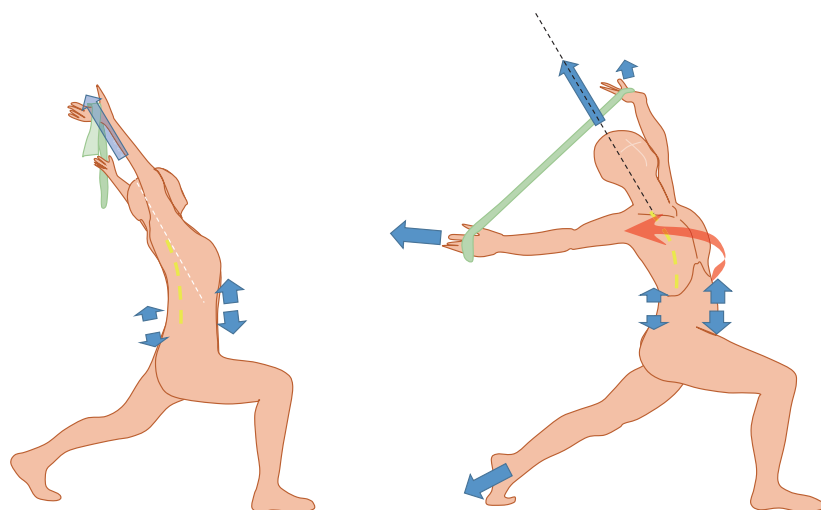
インナーユニット（骨盤底筋、腹横筋、多裂筋、横隔膜が連動）を正しく理解するよう指導しました。呼吸の意識と腹横



図4 仰臥位で骨盤を固定し、両脇の肋骨に指を当て呼吸を意識しながら胸椎を動かして肋骨の動きを触知する



図5 マット上で全身のコネクトを維持しながら胸郭（肋骨と胸椎）を動かす



(a) 胸椎伸展
骨盤を安定させ、大腰筋の遠心性収縮、肋骨の動きを誘導して胸椎伸展を意識させる

(b) 伸展+回旋の応用例
腰椎は伸展ではなく椎間を広げるイメージで実施する

図6 非伸縮性のストラップを使ったランジ

動きを意識して全身を連動させるよう指導しました（図5，6）。

胸郭の機能の評価 映像とウェアラブルセンサによる生体計測

hitoe[®]電極による筋電計測、9軸モーションセンサ（各3軸加速度・ジャイロ・方位）、呼吸時の胸囲の伸縮を計測するストレッチセンサを搭載したマルチセンサベルト（研究用）を制作し、身体計測に活用しました。BLE（Bluetooth Low Energy）経由でスマートフォンにデータを転送するとともに、内蔵メモリにデータを保存しました（図7）。マルチセンサベルトの防水型（研究用）は専用のhitoe[®]ベルトを用いて筋電図、心拍、モーションの水中計測にも活用しました（図7(e)）。

ストリームライン姿勢の 胸郭拡張機能の評価

呼吸のしやすさ、腕の上げやすさを他覚所見としてエクササイズの前後に聴取しました。ストリームライン姿勢での呼吸時の胸郭拡張の程度（胸囲の連続計測）も、マルチセンサベルトのストレッチセンサにより測定しました。エクササイズの前後ストリームラインの姿勢の変化を3方向から撮影し評価しました。その結果、呼吸のしやすさ、腕の上げやすさは、エクササイズ後に5段階の自己評価で1～2段階アップしたことが分かりました。姿勢の変化の経過をみると、開始当初は腰椎前弯、胸腰椎移行部の伸展の傾向でしたが、徐々に改善したことも分かりました（図2(b)(e)）。

スマートフォンのビデオ会議を 活用したオンライン指導

新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、2020に開催される予定だった大会は1年延期となりました。感染を防止する

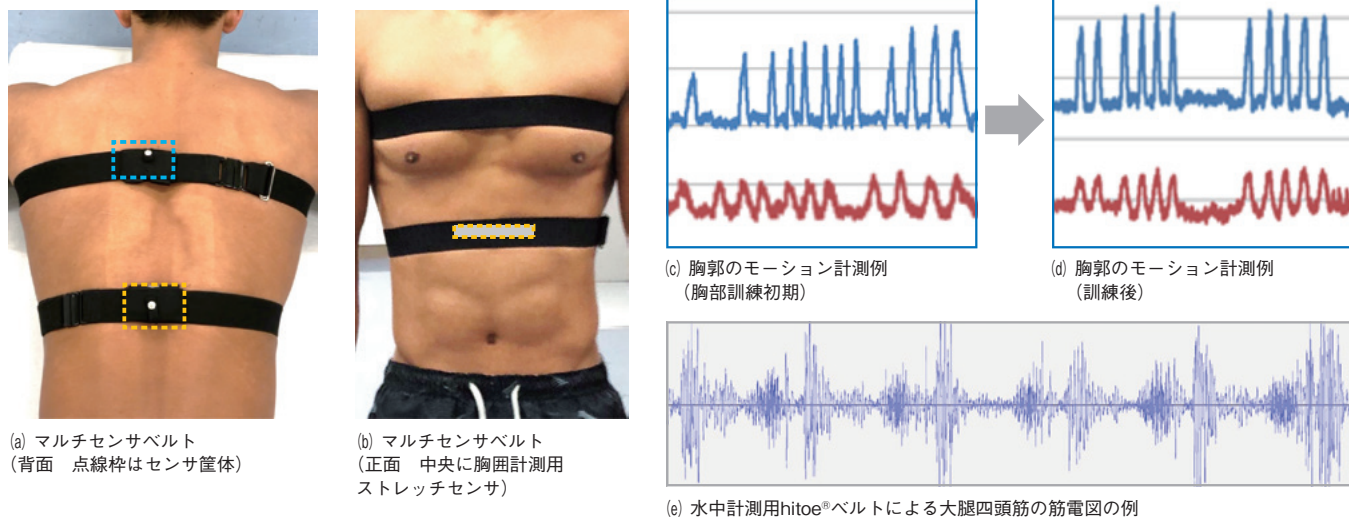


図7 多機能運動計測用センサ（胸部用）の計測例

ため、主たるトレーニング場所である中京大学や合宿の行われる競泳施設への立ち入りは厳しく制限されました。現場での対面指導からスマートフォンのビデオ会議システムを用いたオンラインの指導に切り替えて定期的なコンディショニングを継続しました。選手は基本的な動作をすでに対面指導により習得していたことから、オンラインの指導においても、対話および上記評価指標、ビデオ映像による体の動きから現在の選手の状態を把握し、指導内容を調整することで徐々に調整と技術をステップアップしました。オンライン指導によるコンディショニングは選手の意欲的な取り組みに助けられ、海外遠征や強化合宿期間も含めて2021年の本番大会の開催まで継続することができました。

考察

競泳選手に求められる、水中の抵抗の少ないストリームライン姿勢の維持には、肩関節の可動域だけでなく、胸椎の伸展にかかわる多数の筋肉の協調、特に多裂筋や回旋筋など脊柱の分節レベルの深部の小さな筋群（ローカルマッスル）の

コントロールと、肩甲骨周囲筋群、脊柱起立筋、呼吸関連筋、広背筋、腹斜筋群など（グローバルマッスル）の十分な伸長が必要となります。高強度の訓練の結果、疲労や怪我を契機として、比較的脆弱な構造・組織にストレスが集中し、局所的な炎症・痛みをトリガーに神経・筋・血管制御系を介した悪循環を生じ、慢性的な痛みや機能障害を生じていることが示唆されます。全身の運動性を意識しながら、胸郭の本来持っている機能を引き出し、自分自身のコンディションの自覚を促す効果も期待できる、胸郭を中心とした定期的なコンディショニングは有効であると考えられます。

川本選手は、日本選手権において50 mバタフライで日本新記録による自己ベストを更新、100 mバタフライ代表として出場しました。

相馬選手は、短水路日本選手権において50 mおよび100 mバタフライで優勝しました。

アスリートには体力、技術、精神力の強化とともに、厳しい訓練に伴う疲労や潜在的な機能障害への対処が必要と考えられ、今後もサポートしていきたいと考

えています。



（左から）塚田 信吾 / 濱口 由美子

◆問い合わせ先

NTT物性科学基礎研究所
質分G

TEL 046-240-3312

FAX 046-270-2364

E-mail sbri-kensui-pb@hco.ntt.co.jp

カテゴリ 大会に『備えた』NTT R&Dの技術

ネットワーク工事 × 暑さ対策ウェア

2021年夏に行われた世界最大のスポーツイベントにおいて、NTTの重要な役割の1つである安定でセキュアな通信環境の構築のため、炎天下での大規模なネットワーク工事が必要でした。暑熱による体調不良を防ぎ、より安全に工事を実施いただくために、ウェアラブル生体・環境センサを活用した体調管理システムを構築・導入しました。

たかがはら かずひこ とごう ひろよし
高河原 和彦^{†1} / 都甲 浩芳^{†1}
 ながい なおみ
永井 菜央美^{†2}

NTTデバイスイノベーションセンタ^{†1}
 NTT研究企画部門^{†2}

背景と目的

近年、気温変動の影響等もあり熱中症による救急搬送人員数や死亡者数が増加しており、社会全体で大きな課題になっています。総務省消防庁の調査では、2021年6月1日から10月3日にかけて熱中症により救急搬送された人員数は4万6299人、また、厚生労働省の公表では、2020年における職場での熱中症による死傷者（死亡・休業4日以上）は829人、

うち死亡者は22人となっています。厚生労働省等からは、職場における熱中症予防対策の指針やマニュアルが公開されています。

NTTでは個人ごとの熱中症対策を実現するため、個人のバイタルデータから体調不良リスクを推定し、アラートを発出する手法を開発しました。体調不良リスクの推定、アラート発出手法の有効性を検証するため、NTT東日本の協力を得て2020年8～9月に東京、神奈川、北

海道エリアで49名（延べ834人日）の工事作業者を対象とした実証実験を行いました。実験では工事作業員から作業中の温冷感をアンケートで取得し、推定した体内温度変動と温冷感の関連性を確認できました。

体調不良リスクの推定・アラート手法

NTTが新たに国立大学法人名古屋工業大学（名工大）との共同研究により創

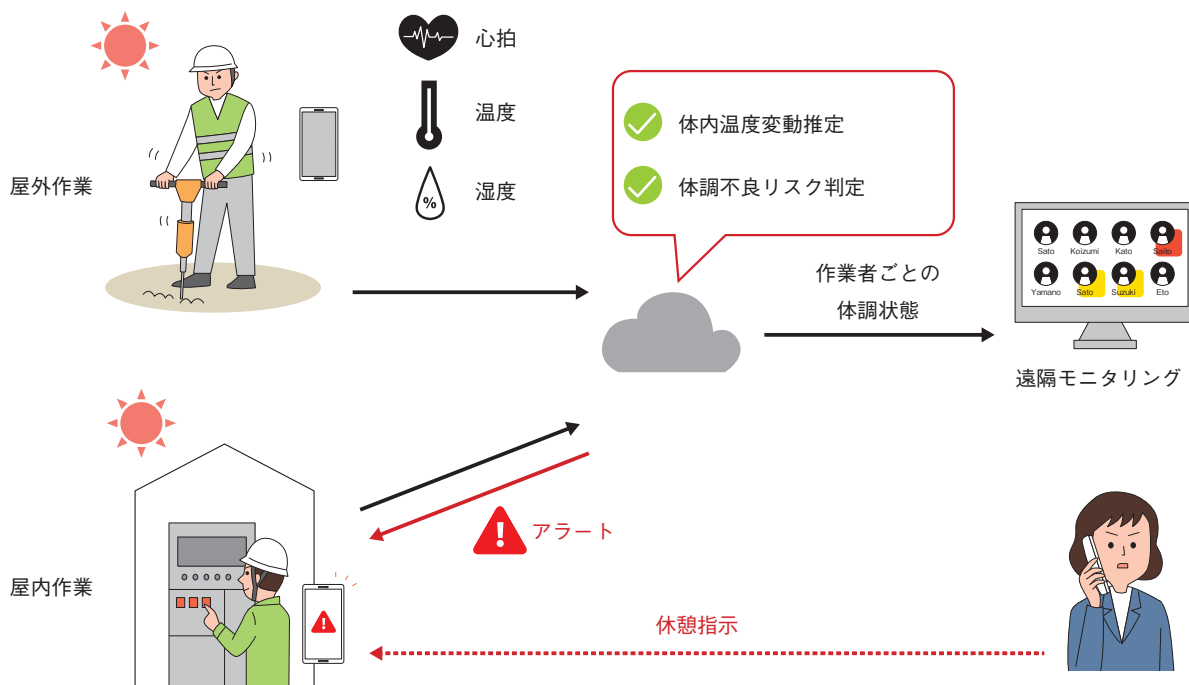


図1 システム構成

出した体内温度*¹変動推定ロジックを用いて、熱中症等の体調不良リスクを推定する手法を開発しました。体内温度変動推定ロジックでは、人の体温調節機能、服装、活動といった要素を考慮した電磁界解析技術と熱解析技術を融合した名工大独自のプログラムを応用し、個人ごとの心拍数、衣服内温度・湿度を用いて体内温度変動を推定します。また、NTTと国立大学法人横浜国立大学（横国大）と至学館大学（至学館大）、名工大との共同実験では、至学館大の人工気象室を用いた臨床実験*²により、体内温度変動推定ロジックの適用性を確認するとともに、温熱・運動生理学的理論に基づいて体内温度変動などを用いたアラート発出基準を作成しました（図1）。体調不良リスクの推定・アラート手法は、これらのロジックおよびアラート発出基準から成り立っています。

ウェアラブル生体・環境センサ

個人ごとの心拍数、衣服内温度・湿度を取得するためには、ウェアラブル生体・環境センサ*³を用います。NTT デバイスイノベーションセンターで研究開発したウェアラブル生体・環境センサ技術⁽¹⁾をベースにして、NTT テクノクロスが商用化した小型センサTX02、東レ株式会社のhitoe[®]作業者みまもり用シャツ・

*1 今回紹介する手法は医療行為ではないため、「深部体温」ではなく「体内温度」という表現を用いています。
 *2 至学館大学研究倫理審査委員会：受付番号124。
 *3 本センサは医療機器ではありません。hitoe[®]は東レ株式会社とNTTが開発した、体から発している微弱な電気信号である生体信号を、無意識に近い状態で収集するための機能素材です。機能素材hitoe[®]は両社の商標登録です。



図2 ウェアラブル生体・環境センサ

hitoe[®]使用ベルト、もしくは株式会社ゴールドウインのC3fit IN-pulse から構成されており、心電位、衣服内の温度や湿度、上半身の加速度や角速度のデータを計測します（図2）。また、計測したデータを基に心拍数、RRI、歩数、上半身の傾き等のさまざまな特徴量を解析します。

世界的なスポーツ大会での運営支援

2021年に行われた世界最大のスポーツイベント会場で作業を行う工事作業者に本手法を適用することで、工事作業者の熱中症対策を実現し、安心・安全な大会に貢献しました。2021年5月24日から9月30日にかけて、2会場において計12名の工事作業者が暑さ対策システム⁽²⁾を運用しました。体調不良リスクを遠隔モニタリングするとともに、アラート発出基準に基づいて工事作業者自身と現場管理者へ適切にアラートが発出されました。期間中には合計10回のアラートが発出され、アラートを受け取った現場管理者は対象の工事作業者へ体調確認を行い、必要に応じ休憩を促すなどの対策をとることができました。結果として、熱中症等の体調不良者の発生を防ぐことができま

した。

まとめ

NTTは、今後も本手法を多くの現場に導入していくことで知見を深め、安心・安全に大規模なイベントを開催できる世界をめざしていきます。

参考文献

- (1) <https://www.ntt.co.jp/news2019/1911/191108a.html>
- (2) <https://www.ntt-tx.co.jp/whatsnew/2021/210615.html>



（左から）高河原 和彦/ 都甲 浩芳/
永井 菜央美

◆問い合わせ先

NTTデバイスイノベーションセンター
 ライフアシストプロジェクト
 ウェアラブルアプライアンス応用DP
 TEL 046-240-2296
 FAX 046-270-2323
 E-mail kazuhiko.takagahara.ka@hco.ntt.co.jp

カテゴリ 大会に『備えた』NTT R&Dの技術

会場運営スタッフ × CUzo

NTTは、世界的なスポーツ大会の場において、機能分散通信技術CUzoと透過型ディスプレイ搭載のモバイルデバイスCUzo Cardの提供を行いました。本稿では、会場スタッフによる来場者への案内業務をICTによりサポートすることで会場内のホスピタリティの向上をめざした本プロジェクトの取り組み、およびそこで活用した技術について紹介します。

くさぶか たかひろ まき ゆういち
草深 宇翔 / 槇 優一
こうだ たくや すずき あきら
合田 卓矢 / 鈴木 晃
たまる まさや いんどう たくや
田丸 雅也 / 犬童 拓也

NTT人間情報研究所

概要

本プロジェクトは、選手や観客などの来場者に対して案内を行う会場運営スタッフをICTによりサポートすることで、会場内のホスピタリティの向上をめざしたプロジェクトです。昨今ではスマートフォンやタブレットを利用した応対が行われ始めていますが、ディスプレイを見続けながらの応対になる傾向がありました。結果として、お互いの表情や仕草などの非言語情報を基に相手の意図を汲み取りながら、相手に寄り添うコミュニケーションの実施が難しいという問題が生じていました。本プロジェクトでは、機能分散通信技術CUzoと、これに準拠し透過型ディスプレイを有するハンディタイプのデバイス「CUzo Card」（図1、表）から構成されるシステムを適用することで、来場者の表情を見ながら案内ができるコミュニケーションスタイルを実現しました。このシステムを2021年に実施された世界的なスポーツイベントに適用し、「対面翻訳」（図2）と「施設案内」（図3）のアプリケーションを提供しました。対面翻訳では、CUzo Card上に字幕のように会話内容を表示することで、相手の表情や仕草を同時に確認しながらの会話が可能となります。

施設案内では、実際の風景に対して視覚的な注釈を加えながら案内することも可能となりました。イベント自体は新型コロナウイルス感染症の影響により無観客

での開催となりましたが、大会関係者や選手などの競技関係者向けサポートとして、関東の3会場で、延べ28日間、約250名の会場運営スタッフに利用されま



図1 CUzo Cardの外観



表 CUzo Cardのサイズ

項目	スペック	備考
サイズ	82 × 157 × 20 mm	最薄部 8 mm, 最厚部22 mm
重量	198 g	バッテリー含む



図2 対面翻訳アプリケーションの利用風景

した。

アプリケーション

■施設案内

会場運営スタッフが来場者に対して観戦席や会場内の施設を案内する際に、実際の風景にCUzo Cardをかざし、施設の場所やその場所へのルートなどの注釈を加えることで視覚的に分かりやすい案内を行うことができます。

従来は平面の地図で確認した情報を基に実際の風景と照らし合わせながら目的の施設を探し、そのルートを頭の中で構築し直すという複雑な手順を踏む必要がありました。また、会場によっては目印となる看板や施設がないことや、「あの白い看板」のような指示語を用いた説明を試みても、お互いが異なる目印を参照

してしまい案内が円滑に行えなくなるなどの問題がありました。

この問題に対して、実際の風景に重ね合わせた注釈を用いることで、円滑な施設案内を行うことが可能となります。今回は、観戦席、施設（飲食店、グッズショップ、トイレ、多目的トイレ、祈祷室、休憩室、医務室、AEDなど）を対象とした案内を準備しました。

■対面翻訳

昨今では多様な言語への対応を行うためにスマートフォンの翻訳機能が用いられていますが、その特性上、お互いの顔を見ながら話すのではなく、スマートフォンに対して話しかけその結果を画面上で確認することになるため、常にスマートフォンの画面を見続けることとなります。そのため、相手が本当に言いたいこ

とを察するために従来の接客で重要とされていた、相手の表情や仕草を見落とししてしまう傾向がありました。この問題に対して、透過型ディスプレイ越しにお互いの表情を見ながら情報を閲覧することが可能なインタラクションデザインを行いました。お互いの間にディスプレイをかざし、発話内容を音声認識、翻訳し字幕のように表示することで、相手の表情や仕草と発話内容の両方を確認することが可能となります。今回は、日本語、英語、スペイン語、フランス語、ポルトガル語、中国語（繁体、簡体）、韓国語の8言語に対応しました。

新型コロナウイルス感染症の影響により、対面で会話することに抵抗感を覚える状況であったことから、図4(b)のように画面を反転させず横並びで会話が行えるような画面デザインも準備し、これら2つの画面デザインをボタン1つで切り替え、臨機応変な対応が行えるようにしました。

機能分散通信技術CUzoとCUzo Card

機能分散通信技術CUzoは、デバイスに必要な機能をネットワーク上に分散配備し、通信によりこれらを連携させることでシンプルなデバイスを通して高機能なサービスの利用を可能とする技術です。デバイスをシンプルにできることで、端末の処理負荷増加によってユーザの待ち時間が増加するといったユーザ体験が損なわれる問題への対処や、デバイスのバッテリー消費や初期導入コストを抑えることが可能となります。CUzo CardはCUzoに準拠することで、透過型ディスプレイという最先端のテクノロジーを搭載しながら、小型軽量なデバイスを実現しました。CUzo Cardは透過型ディスプレイを搭載しているため、実際の風景を透かし見ながらディスプレイ上の情報

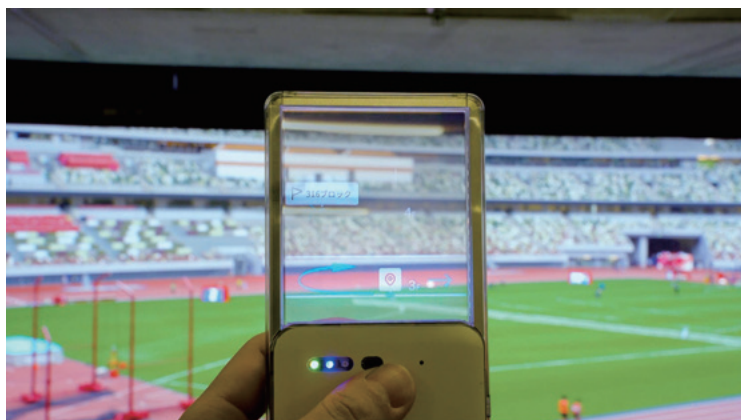


図3 施設案内アプリケーションの利用風景



(a) 対面での翻訳

(b) 横並びでの翻訳

図4 対面翻訳アプリケーションの画面イメージ

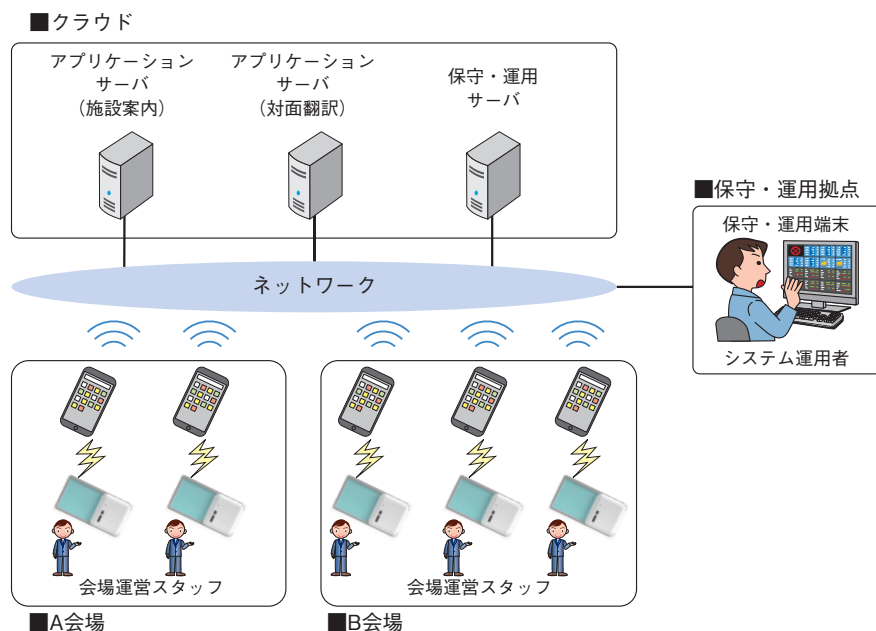


図5 システム構成

の精度や現地での回線速度も含めた性能面での改善点が確認されました。

まとめ

世界的なスポーツ大会の会場運営において、機能分散通信技術CUzoと透過型ディスプレイデバイスCUzo Cardを会場スタッフへ適用することで、来場者への案内業務を円滑化するシステムを提供しました。本システムは、多様な接客のシーンにおいて応用が期待されます。例えば、駅や空港などの交通機関や公共施設、観光施設などが考えられます。今回は会場運営スタッフにシステムを利用してもらいましたが、シンプルな動作で簡単に利用できるという評価が得られたことから、来場者や観光客自身がCUzo Cardを携帯し、旅行中や、美術館・博物館などの施設で利用する形態も考えられます。

今後もICTを活用した研究開発を通じて、人と情報の接点における新たな体験を模索していきたいと考えています。

を閲覧することや、ディスプレイの両面から情報を閲覧することが可能です。

システム

本プロジェクトで提供したシステムを図5へ示します。会場運営スタッフはネックストラップに取り付けたCUzo Cardを首から下げて携帯しており、来場者とのコミュニケーションにおいて施設案内や対面翻訳のアプリケーションを利用した案内を行います。アプリケーションサーバはクラウド上で動作しており、CUzo CardはBluetooth®で接続されたスマートフォンを介してこのサーバへ接続されます。

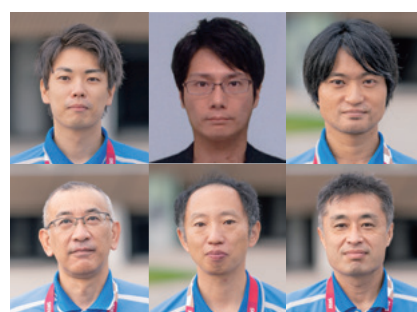
実施結果

2021年に開催された世界最大のスポーツイベントは、結果として無観客開催となり対面翻訳のみが利用されましたが、外国人選手やスタッフ向けの案内として、CUzo Cardは非常に多く利用されました。具体的には、3会場28日間で約250名の会場運営スタッフにより約3500回の翻訳が行われました。利用した方々から

の評価は、「相手を見ながら会話できた」「見た目のウケ（評判）が良かつこい」といった声があり、透過型ディスプレイの魅力と利便性を踏まえたデザインにより、相手の表情を見ながらより自然な会話を実現するツールとして役に立ったと考えられます。

さらには、「操作が単純だった」「使いやすいかった」という声もあり、実際の業務の中で負担なくご利用いただくことを踏まえたUX（User eXperience）設計が有用であったことが確認できました。しかし屋外の直射日光下で利用した会場運営スタッフからは「画面が見えづらいことがあった」という声があり、ディスプレイの特性上、屋外での利用には考慮が必要だと思われま

す。翻訳機能そのものに関しては、「日英以外の翻訳もすぐに使えてよかった」「フランス語やスペイン語ができるスタッフは少ないので役に立った」といった声が寄せられた一方で、「発話した内容と認識結果に差異があった」「翻訳結果が出るまでに時間がかかることがあった」といった声もあり、音声認識・翻訳エンジ



（上段左から）草深 宇翔/ 榎 優一/
合田 卓矢
（下段左から）鈴木 晃/ 田丸 雅也/
犬童 拓也

◆問い合わせ先

NTTサービスイノベーション総合研究所
TEL 046-240-3557
E-mail svkoho-ml@hco.ntt.co.jp

カテゴリ 大会を「包摂的にした」NTT R&Dの技術

バリアフリールート案内 × MaPiece®

NTTは、車いす利用者等の移動制約者のためのバリアフリールート案内アプリ「Japan Walk Guide」を開発しました。Japan Walk Guideは、ボランティアが収集したバリアフリー情報を中心に、公共交通から徒歩ルートまでワンストップでのバリアフリールート情報の提供を行うものです。本稿では、2021年に行われた世界最大のスポーツイベント期間中のアプリ公開を通じて、実際に車いす利用者に評価していただいた実証について紹介します。

概要

車いす利用者の方々に、安心して移動し、気軽にスポーツ観戦を楽しんでいただきたい。誰もがバリアを感じない暮らしやすい社会の実現に向けて、オリンピック・パラリンピック等経済界協議会（経済界協議会）のかけ声のもと集まった約1900名のボランティアが、バリアフリー情報の収集を行いました。それは、札幌から伊豆まで、オリンピックスタジアムをはじめとした全国41のスポーツ大会競技場（図1）とその最寄り駅98駅周辺まで広範囲にわたって収集されました。NTTは、バリアフリー情報の収集ボランティアとしてだけでなく、NTT研究所が開発したバリアフリー情報通信技術「MaPiece®（まっぴーず）」を提供し、バリアフリー情報の収集を技術面でも支援してきました。

2021年に開催された世界最大のスポーツイベントにおいては、バリアフリーに関する取り組みへの注目が世界中から高まりました。NTTは、このイベントを通じて、ボランティアによるバリアフリー情報収集の取り組みをアピールすることで、市民参加型の共生社会の文化をさら

に広げていくことをめざしました。取り組みのアピールに向けて、経済界協議会と国土交通省が収集したバリアフリー情報を活用し、オリンピックスタジアムなどのスポーツ競技場を対象とした、車いす利用者向けのバリアフリールート案内サービス「Japan Walk Guide」を開発しました。本アプリは、経済界協議会から、スポーツ観戦をする観客および関係者向けのサービスとして、2021年7月13日から、世界最大のスポーツイベントが終了する9月5日まで公開されました。アプリ利用のイメージを図2に示します。

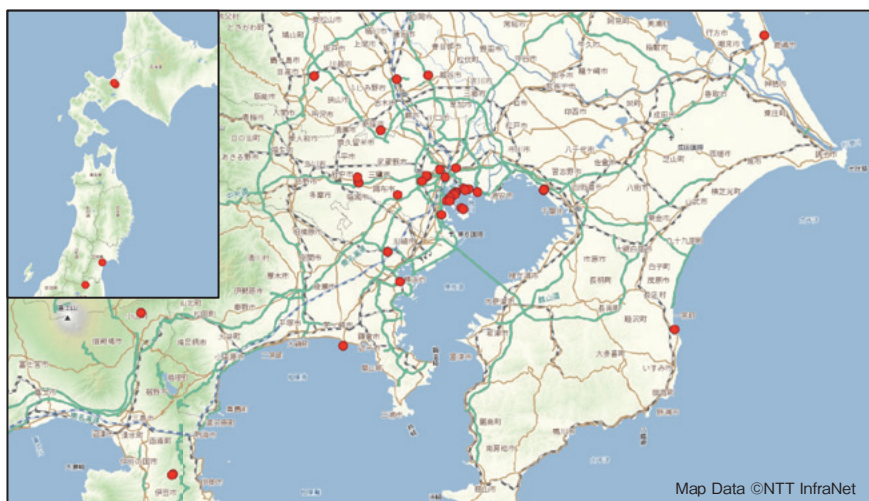


図1 周辺バリアフリー情報収集済みの会場一覧

いちかわ ゆうすけ あべ ひろふみ
市川 裕介^{†1} / 阿部 裕文^{†1}
いとう たつあき こながい しゅんすけ
伊藤 達明^{†1} / 小長井 俊介^{†1}
さくま さとし ふかだ さとし
佐久間 聡^{†1} / 深田 聡^{†2}
きのした しんご
木下 真吾^{†3}

NTT人間情報研究所^{†1}
NTT研究企画部門^{†2}
NTT人間情報研究所 所長^{†3}

システム

■Japan Walk Guideの特徴

Japan Walk Guideのサービスデザインにあたり、車いす利用者へのインタビューを行ったところ、共通して、イベント会場まで公共交通機関で行けるか不安を感じており、出かける前に非常に多くの情報を詳しく調べていることがわかりました。「利用する駅にエレベータはあるのか」「駅から会場までの道は平坦なのか」「駅や徒歩ルートの途中で車いす対応のトイレはあるか」などの不安に



図2 Japan Walk Guide利用シーンのイメージ



図3 Japan Walk Guideの画面構成（画面遷移）

対して、イベント主催者や交通事業者のWebサイト、地図アプリ、街路の写真提供サイトなど、さまざまなサービスで詳細に調べてチェックしなければいけないことが、車いす利用者が出かけることへの障壁となっていました。

そこで、本アプリは、出発地の最寄りの駅から会場最寄り駅までの公共交通の乗換情報、会場最寄り駅から会場までのバリアフリー徒歩ルートの情報、多機能トイレや休憩所など車いすで利用できる周辺施設の情報など、必要な情報をワンストップで提供することを特徴としてサービスを設計しました。また、画面デザインも「不安なく楽しく外出してほしい」というコンセプトに基づき、楽しさを演出するグラフィカルデザインも採用し、色使いやイラストデザインにも工夫

しました（キーデザインのイメージは図3の①スタートページをご参照ください）。

また、新型コロナウイルス感染症のパンデミックに伴う大会延期を受け、車いす利用者へのインタビューを再度実施し、コロナ禍での車いす利用者の移動に対する価値観の変化についての調査も行いました。調査を通じて、車いす利用者はもとも混雑を避けるよう行動していましたが、混雑を避けたいというニーズがより一層強まっていることが分かりました。この結果を受けて、少しでも混雑の少ない時間帯の駅を利用していただくなど、車いす利用者の方々安心して移動できるよう、駅の混雑情報を提供する機能を加えました。

■Japan Walk Guideのサービス詳細

Japan Walk Guideは、Webアプリ

として実装しており、ネイティブアプリをインストールしなくても、QRコードなどで読み込むURLリンクをたどってすぐに利用できます。これは、スポーツ大会などへの参加者が、一過性のイベントのためだけに専用アプリをインストールすることは心理的障壁が高く、利用を諦めてしまうことが予想されるためです。サービスはレスポンス対応とし、自宅のデスクトップPCにて事前の情報収集においても、移動中にスマートフォンでの情報確認においても利用可能となっています。

以下、本アプリ利用の画面遷移に沿って、各機能の詳細について述べます。

(1) バリアフリー徒歩ルートを考慮した全体経路検索

スタート画面から「始める」ボタンをクリックすると、公共交通を含む全体経路の検索画面に遷移します。公共交通の乗り換え検索は、公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団（エコモ財団）が提供する「らくらくおでかけネット（Supported by 日本財団）」と連携しています。らくらくおでかけネットは、高齢者や障がい者向けに、駅構内のバリアフリー施設、乗り換え案内等に関するバリアフリー情報を一元的に提供するサービスです。全国の交通事業者、交通施設管理者などの方々からのバリアフリーに関する情報を基に、エコモ財団が運営を行っているものです⁽¹⁾。

(2) 徒歩ルート案内

上記(1)の公共交通機関のルート検索に加え、本アプリでは、駅から競技場までの、徒歩区間のバリアフリールート情報も表示します。この機能により、競技場を目的地・出発地に指定して、徒歩ルートのバリアフリー情報を考慮した全体経路を検索可能となります（図3②）。バリアフリールートは、東京都オリンピック・パラリンピック準備局が公開した「輸送計画V2⁽²⁾」に基づいて、経済界協議

会ボランティアが収集したバリアフリー情報と組み合わせて設定しています。単にバリアフリールートが示されるだけでなく、そのルートについて傾斜や段差の有無などの情報を、同じく経済界協議会のボランティアが収集した現地の写真と共に参照できます。利用者は、それらの情報によって、自分の障がいの度合いに応じた通れるルートかどうか、事前に確認することが可能です(図3③)。

(3) 周辺情報

徒歩ルート案内画面にて「周辺地図」ボタンをクリックすると、周辺情報の画面に切り替わります。会場～最寄り駅間のルート情報だけでなく、周辺の多機能トイレや案内所、休憩所など、車いす利用者が移動の際に役に立つ施設情報が参照できます。併せて、周辺の歩道について、バリアの度合いに応じた緑、黄色、赤の3段階で色分けして表示を行い、また、それをクリックするとその道の傾斜や幅が写真とともに確認できます。会場～最寄り駅間のルートを外れた周辺の施設に行きたい場合に、利用者の特性に応じた

最適なルートを確認することが可能です。

また、本アプリに、利用者側でバリアフリー情報に正誤投稿を行う機能も備えました。アプリの利用者が、バリアフリー情報の間違いを見つけた場合は、○×ボタンで報告を行い、ボランティアに情報修正を依頼することが可能となります(図3④)。利用者やボランティアの協力により、サービス提供期間中も情報更新が可能となり、さらに精度の高いバリアフリー地図を残すことが可能となりました。

(4) 駅混雑情報

車いす利用者は、駅の混雑時には駅構内の移動や電車へ乗ることが難しくなります。前述のとおり、コロナ禍によって、感染症回避のため混雑を避けたいというニーズがさらに強まりました。本アプリでは、車いす利用者が「不安なく楽しく外出してほしい」というコンセプト実現に向けて、会場の最寄り駅の混雑予測情報を表示する機能を加え、混雑するエリアの回避に活用いただけるようにしました(図3⑤)。

駅混雑情報は、鉄道会社(東京地下鉄

株式会社、東日本旅客鉄道株式会社、東京臨海高速鉄道株式会社)の協力のもと、NTTドコモが開発した、携帯電話基地局の運用情報を用いた人口統計情報とAIによる「駅混雑状況予測技術」と連携することで提供しています。本技術は、過去のイベントにおける駅乗降者数推定情報と、その際の人口分布データや気象データとの関係性をモデル化することにより、直近の人口分布データ・気象データ・イベント日程データから、将来の駅乗降者数を最長90分後まで10分間隔で予測します。人口分布データは、「モバイル空間統計®国内人口分布統計(リアルタイム版)③」によって推計された値で、最短1時間前までの人口分布データを取得できるため、直近の混雑状況を反映することができ、高い精度で混雑を予測することができます④。

■システム構成

Japan Walk Guideのシステム構成を図4に示します。Japan Walk Guideは、公共交通機関の乗り換え案内機能を提供する「全体経路」部と、徒

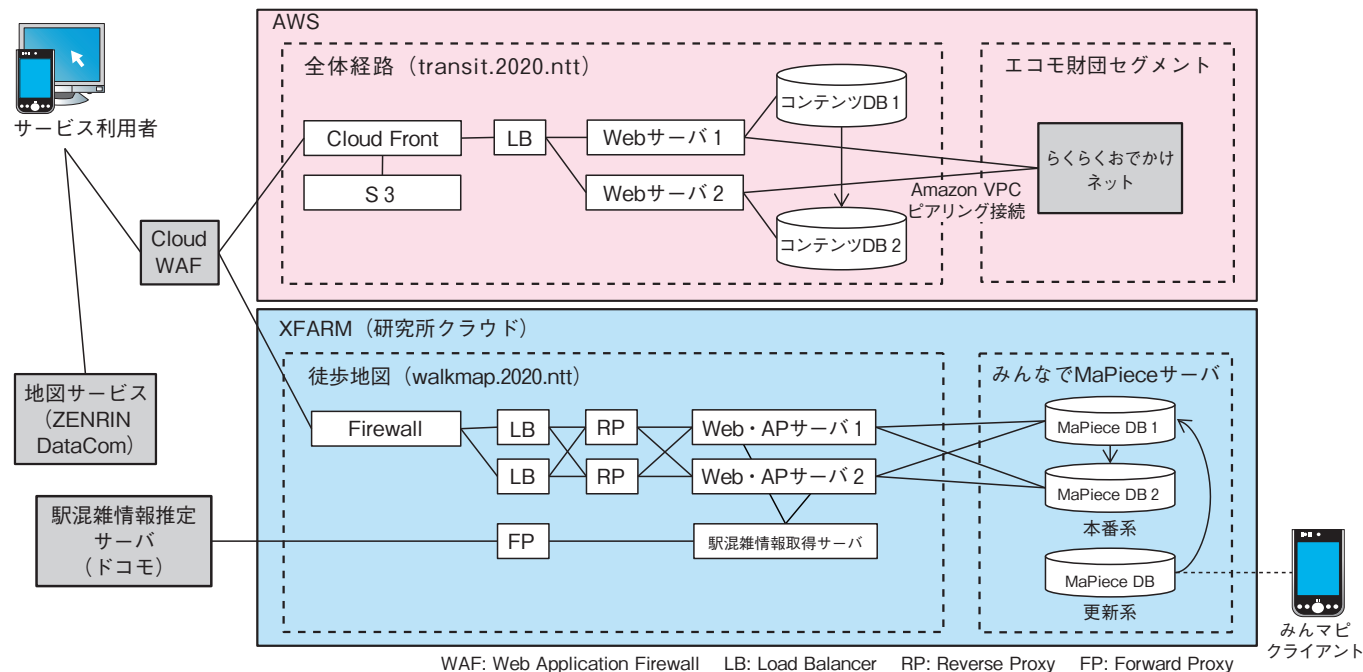


図4 Japan Walk Guideシステム構成図(ステージング環境は省略)

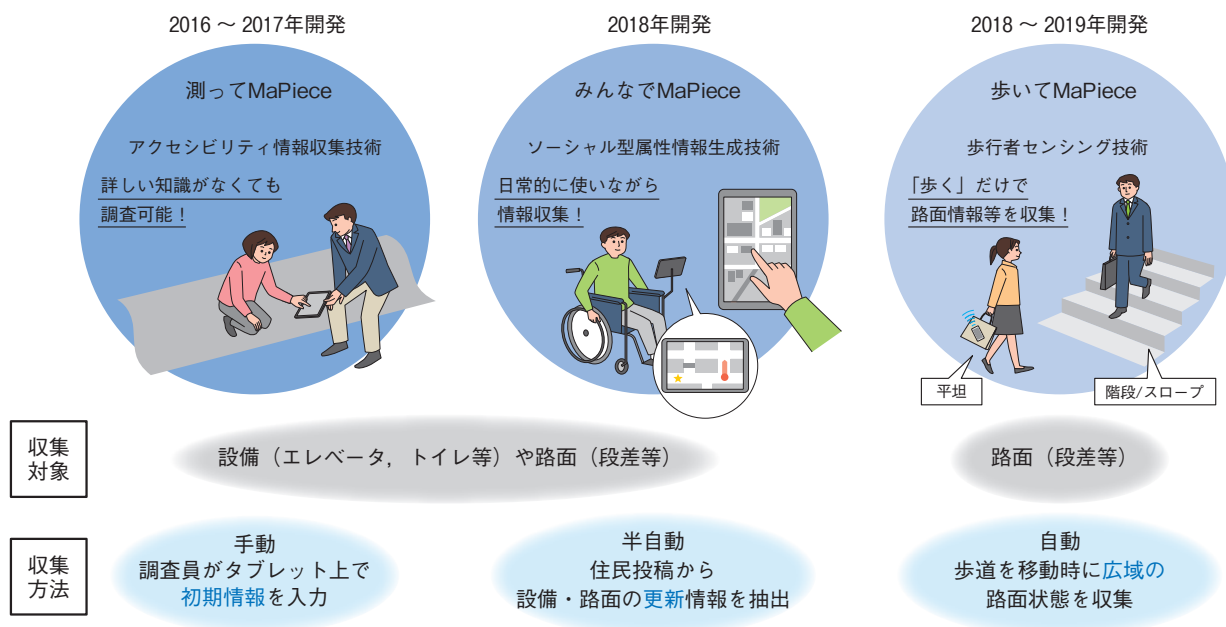


図5 MaPiece®を構成する3つの技術の概要

歩ルートのバリアフリー情報を提供する「徒歩地図」部で構成されます。

乗り換え案内は、エコモ財団が提供する、公共交通のバリアフリー情報を提供するサービス「らくらくおでかけネット^⑤」のAPIを利用することで実現しました。らくらくおでかけネットのセキュリティ要件から、Amazon VPCピアリング接続にてつなぐ必要があるため、「全体経路」部はAWS上に構築しました。

徒歩ルートの案内は、東京都オリンピック・パラリンピック準備局が公開した「輸送計画V2」に記載の会場までの公式アクセシブルルート（移動に制約のある方向への公式案内ルート）と、経済界協議会が収集したバリアフリー情報を組み合わせて提供しました。バリアフリー情報は「みんなでMaPiece」を基盤エンジンとして利用し、地図サービス上に重畳表示することで実現しました。地図サービスとしては、ゼンリンデータコム「いつもNAVI API/SDK^⑤」を利用しました。「徒歩地図」部は、研究所クラウド環境であるXFARM上に構築しました。

バリアフリー情報通信技術 「MaPiece®（まっぴーす）」

障がい者や高齢者など移動に制約のある方の移動を支援するため、バリアフリー施設の充実などハード面の整備と併せて、確実に通ることのできるルートをユーザーに提示する、ナビゲーション用のバリアフリー情報の整備が重要となります。これまでは、自治体などが測量技術を持つ専門家に依頼を行い、独自の基準によって作成しており、その調査費用の大きさから作成や更新が頻繁に行えないことや、自治体によって作成基準が異なるため横断的な利活用ができないことが課題となっていました。MaPiece®はこのような課題に対応するため、地図製作の専門知識を持たないボランティアでも、簡単に精度の高いナビゲーション用バリアフリー情報を、国土交通省の策定した「歩行空間ネットワークデータ等整備仕様」に準拠し、統一した作成基準で収集するための技術として開発されました^⑥。

MaPiece®は、初期情報の収集を支援する現地調査ツール「測って

MaPiece」に加えて、サービス利用時に利用者から正誤情報や更新情報の投稿を集め、ソーシャル型で情報更新を実現する「みんなでMaPiece」、クラウドセンシング技術により歩行者の持つスマートフォンのセンサデータから路面情報を自動収集する「歩いてMaPiece」の3つの技術によって、持続的なバリアフリー情報の収集更新を実現します（図5）。

Japan Walk Guideでは、測ってMaPieceや歩いてMaPieceを使用してボランティアが収集したバリアフリー情報を、みんなでMaPieceに取り込み、みんなでMaPieceのAPIを通じて、利用者からの情報の取得、正誤投稿の反映を実現しました。更新したデータは歩行空間ネットワークデータ等整備仕様^⑥に準拠した情報として、サービス終了後もバリアフリー情報の他サービスへの活用が可能となっています。

結果

2021年7月13日～9月5日の期間のサービス利用者数の統計を表に示します。2021年に行われた世界最大のスポーツイ

表 サービス提供期間中の利用者数集計

() 内は延べ利用者数に対する利用割合

延べ利用者数	徒歩ルート案内参照ユーザ数	徒歩ルート案内画面の機能別利用者数			
		周辺情報参照ユーザ数	写真参照ユーザ数	道路情報参照ユーザ数	駅混雑情報参照ユーザ数
1895	982 (51.8%)	128 (6.8%)	94 (5.0%)	71 (3.7%)	210 (11.1%)

イベントは、無観客での開催となりましたが、本アプリは移動が困難なボランティアスタッフのかたなどに利用いただきました。

また、スポーツ大会期間中の行動体験を踏まえ、車いす利用者に5名にアンケート、およびインタビューを行いました。既存の他サービスと比較しての評価では、イベント会場への行き方を調べるという目的では、5名全員がJapan Walk Guideを利用すると回答しました。理由は人それぞれであり、「会場までの道路状況とその表示の精度」「電車の部分が便利」「歩道の傾斜をはじめさまざまなバリア情報が掲載されている」「車いす対応のトイレの情報」など、前述の国土交通省の基準で傾斜や段差の情報が示されることに加えて、ワンストップで情報提供することの有用性が示されました。

混雑情報に対しては、必要性を感じるものが多く、5名中4名が「必要」、または「ある方が良い」と答えており、総じて役に立つ情報であるとの評価が得られました。機能別の利用割合の比較でも、徒歩ルート案内画面を参照したユーザのうち、駅混雑情報の利用率がもっとも多くなりました(表)。一方で、無観客開催の影響で、混雑が発生したケースがないため、実際の効果の体験には至りませんでした。

まとめ

残念ながら、多くの会場で無観客開催となったことで、大会関係者のみの利用にとどまり、一般の方に広くご体験いた

だくことはかありませんでした。しかしながら、バリアフリーに関する取り組みについて世界中から注目が集まるスポーツイベントにおいてJapan Walk Guideを公開したことで、台湾のWebメディアにおいてインクルージョンの精神でアスリートをサポートした10のフレンドリーアクションの1つとして取り上げられる等、国内外の報道に取り上げられました。自分たちでもバリアフリー情報収集・バリアフリー地図がつかれるという意識改革、およびその後も更新し続ける文化の醸成など、レガシーとして今後定着に向けた意義があったと考えます。

また、経済界協議会の収集したバリアフリー情報は、G空間情報センタ(一般社団法人社会基盤情報流通推進協議会が運営)よりオープンデータとして公開される予定です。今回の認知を契機として、ボランティアの皆様でつくり上げたバリアフリー情報がさまざまなアプリケーション・サービスに活用されることが期待されます。

今後は、今回のチャレンジを第一歩として、アプリ提供を通じた評価結果などに基づき、新たなインクルーシブサービスの研究開発を進め、障がい者が安心して自立的に生活できるインクルーシブな社会の創造に貢献していきます。

謝辞

本アプリの実現に向け、多大なるご協力、ご助言をいただいた公益財団法人東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会広報局、輸送局、テクノロ

ジーサービス局、パラリンピック統括室、および国土交通省の皆様、らくらくおでかけネット連携に関するさまざまなご調整をいただいた公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団バリアフリー推進部の皆様、そして、バリアフリー情報の収集、アプリの提供を共に実施くださったオリンピック・パラリンピック等経済界協議会、およびその参画企業、ボランティアの皆様にご感謝申し上げます。

参考文献

- 1) <https://www.ecomo-rakuraku.jp/>
- 2) https://www.2020games.metro.tokyo.lg.jp/taikaijyunbi/torikumi/yusou/yusou_v2_koushin/
- 3) https://mobaku.jp/service/rt_distribution/
- 4) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_210819_01.pdf
- 5) <https://www.zenrin-datacom.net/solution/api>
- 6) 山本・船越・小西・落合・川野辺：「ユニバーサルマップをソーシャルにつくる技術の開発」NTT技術ジャーナル、Vol.28、No.5、pp.21-24、2016。



(上段左から) 市川 裕介/ 阿部 裕文/
伊藤 達明/ 小長井 俊介
(下段左から) 佐久間 聡/ 深田 聡
木下 真吾

◆問い合わせ先

NTTサービスイノベーション総合研究所
E-mail svkoho-ml@hco.ntt.co.jp

カテゴリ 大会を「包摂的にした」NTT R&Dの技術

ゴールボール × 超高臨場感通信技術 Kirari!

NTTは、障がいを含む多様な身体性を持つ人々がスポーツ観戦を楽しむための研究開発を推進しています。本稿ではパラスポーツの一種であるゴールボールを題材とし、超高臨場感通信技術 Kirari! (高臨場音像定位技術) を活用した立体音響により、あたかも競技コートの中で観戦しているかのような臨場感を提供する新しいスポーツ観戦体験について紹介します。

概要

NTT研究所では、スポーツを通じた共生社会の実現をめざし、視覚障がい者がスポーツ観戦を楽しむための観戦手法の研究を行ってきました。これまで、視覚障がい者向けの観戦方法は、ラジオやテレビの実況中継が主流でした。しかし言葉による解説では動作の詳細（例えばラリーのリズムや打球のインパクトなど）が伝わりにくく、プレーの迫力をそのままに感じられないという課題もあります⁽¹⁾。視覚に障がいを持つ方がスポーツを観戦するためには、視覚以外の感覚情報を使う方法があります。その1つとして、「音」があります。本プロジェクトでは、音が主役のゴールボール競技を対象に、超高臨場感通信技術 Kirari! を用いて、競技コートの音響空間を100台の



図1 100台のスピーカーによる音響空間の再現

スピーカーにより再現しました(図1)。この音を用いたゴールボール観戦体験(「耳で見るゴールボール」)では、音だけでボールの動きを追えるようにすることで、視覚に障がいを持つ方にも、ゴールボール観戦を楽しむとともに、あたかも競技コートの中にいるかのような臨場感のある観戦体験を届けることを可能とします。

観戦体験

「耳で見るゴールボール」では、実寸大の競技コートを模した観戦エリアをつくり、体験者はゴール前の選手が位置するエリア(チームエリア)の音響を体験することができます(図2)。観戦席の

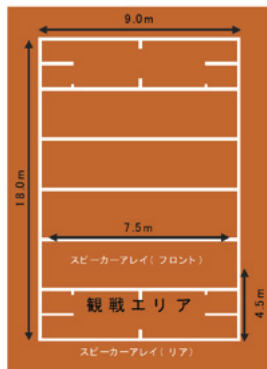


図2 競技コートを模した観戦エリア

はやし あ き こ みやかわ かず
林 阿希子 / 宮川 和
ごうだ たくや よしだ ゆ き
合田 卓矢 / 吉田 由紀
つみ きみたか しみず けんたろう
堤 公孝 / 清水 健太郎
いんどう たくや
犬童 拓也

NTT人間情報研究所

前後にはそれぞれ50台からなるスピーカーの列(スピーカーアレイ)が配置され、競技コート上のボールの位置を反映して、ボールのバウンド音と選手の動作音を逐次合成します。これによって、観戦体験者は、音だけで選手やボールの動きを追うことができ、かつ、あたかも競技コートの中にいるかのように、ボールが自分に向かって飛び出してくるような迫力ある音の体験をすることができます。

技術

■高臨場音像定位技術(Kirari!)

Kirari!とは、観戦者が競技会場から離れた場所においても、あたかも競技場にいるかのような観戦体験を実現するため



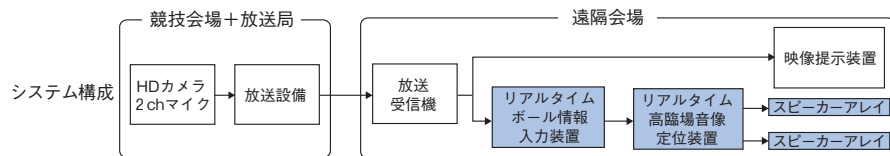


図3 全体のシステム構成



図4 リアルタイムな音響空間再現

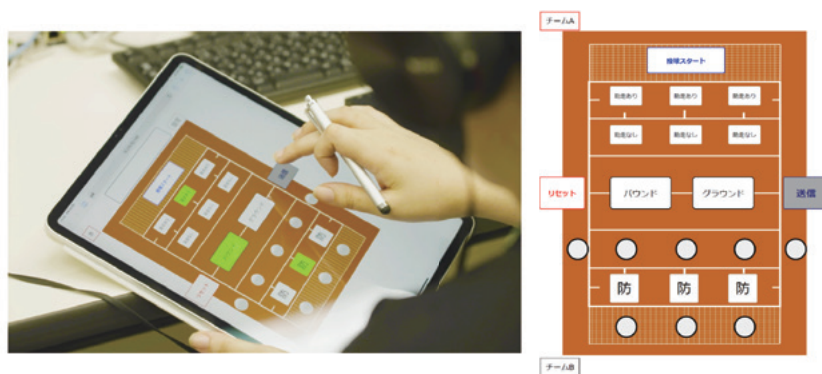


図5 投球情報のリアルタイム入力UI



図6 選手による「耳で見るゴールボール」体験の様子

の通信技術です⁽²⁾。本プロジェクトではKirari!の技術要素の1つ、「高臨場音像定位技術」を使った音響体験の実現を試みました。高臨場音像定位技術は、音の空間的・物理的な波面を物理モデルに基づき再現する音響再生技術の1つです⁽³⁾。競技会場で1本のマイクで集音された音声を分離し、特定の音が任意の位置で発生したかのように再生します。本技術のポイントは、直線状に密に並べた

多数のスピーカー群（スピーカーアレイ）にあります。各スピーカーから放射する音の再生タイミングとパワーを調整して任意の位置に音の焦点をつくることにより、あたかもそこに音源が存在するかのような音場を再現します。

本取り組みのシステム構成を図3に示します。競技運営上の制約があり、私たちがの中継用カメラを設置することはできなかったため、放送映像を活用する構成としました。ゴールボール競技会場で撮影された試合映像は、放送局の放送設備を通じて遠隔会場に放送波として伝送されます。遠隔会場では、受信した放送波の映像から、ボールや選手の位置、また球種情報をリアルタイムに入力し、それらの時空間情報に基づいて音響空間をつくりあげます（図4）。

この放送映像から、ボールや選手の位置と球種情報を抽出することをめざしました。しかしながら、放送映像はカメラや画角が頻繁に変わるため、ボール位置を手で入力するUI（User Interface）を採用しました（図5）。チームA、Bを担う担当者2名が本UIを実装したタブレット端末2台を用い、放送映像を視聴しながら、各チームの攻撃ごとに投球開始位置や時刻、投球種別（バウンド、グラウンド）、投球結果（防御、ゴール、アウト）などをボタン押下で入力します。入力結果に基づき、事前に用意した投球音の音源ファイルから音響情報を生成し、ネットワーク経由で高臨場音像定位技術へ入力することにより、ボールの投球状況をリアルタイムに再現します。

■インクルーシブ・デザインによる音響製作

(1) 音像定位させる音の選択

選手が競技コートの中で聞いている音響空間を再現するとともに、その卓越した聴覚センスの一端を非競技者である体験者にも感じてもらうため、ゴールボール選手や視覚障がい者を設計の上流に巻き込む開発手法（インクルーシブ・デザイン手法）を用いて、音響制作を行いました。具体的にはインタビュー、投球シーンの観察、音響評価のプロセスにより、音響の要件定義および制作を行いました（図6）。競技会場ではさまざまな音が鳴りますが、その中で、特に選手は相手チームのかく乱音（床をたたくなどして投球位置を分からなくするために出す音）を意識から除外し、ボールを持った選手の助走音、ボールと床の接地音といった一連の「投球音」を“一筆書きのように”追って、常にボールの所在を探索することが明らかになったため、「投球音」（助走音・ボール音・防御やゴールなどの投球結果音）に着目して再現することとし

ました。つまり、物理的な競技会場の音響空間をそのまま再現するのではなく、鳴り響くさまざまな音から選手が選択的に感じ取っている音の再現を試みたのです。そうすることで、非競技者である体験者でも「選手の卓越した聴覚センス」を疑似体験できることをねらいとしました。

(2) 音像定位簡易化の工夫

まず投球コースについて、選手はゴールの端から端の距離(9m)を1m間隔の9分割で区別します。しかし非競技者の音による空間分解能は選手的能力に及ばないため、投球コースの位置情報をそのままに音像定位すると、位置の把握が難しいという問題があることが分かりました。そこで、ゴール方向の空間分解能を9分割から3分割(レフト・センター・ライト)に低減したところ、非競技者の音によるボール位置の認識率が向上しました。

さらに、非競技者である観戦体験者に、より音の定位に慣れていただくために、音による定位のレクチャーを目的とした「導入コンテンツ」を制作しました。導入コンテンツでは、試合観戦に備えて、さまざまな投球コースで投球音を音像定位します。非競技者からは、「徐々に音だけで投球コースが分かるようになった」という意見が聞かれ、観戦前に導入コンテンツを視聴することが試合理解に有用であることが示唆されました。以上のように、投球コースのシンプル化および導入コンテンツの制作によって、非競技者でも選手が試合中に聞いている音を追体験できる観戦システムが実現されました。

結 果

当初「耳で見るゴールボール」は、2021年の障がい者による世界最大のスポーツ大会の観戦イベントで実現されるはずでしたが、コロナ感染予防の観点か

らイベントを中止しました。しかし本番を見据えた体験検証においては、非競技者である視覚障がい者の方から、高い評価をいただきました。評価の観点は、「試合状況が理解できるか」「ゴールボールらしい音の質感を感じるか」「迫力・臨場感を感じるか」の3点で、評価協力者からは、「音の質感がリアルである。ボールが行き交う音の再現性が高い。本物の試合みたい(競技者)といった声や、「TVと違ってボールがどこからどこへ向かっているかが分かった」「スタジアムだとコートの外から聞くので、本システムの方が競技コートの中にいるような臨場感を感じた(視覚障がい者)といった声が聞かれました。一方で、「ボールを持った選手が移動する音も聞けるとさらにボールの位置が追やすい」や、「選手の会話が聞けると戦略が分かってより良い」といった意見も聞かれ、複数音源の制御や、音声入手の工夫といった今後の改善点が得られました。総論としては、インクルーシブ・デザインにより、選手が感じるゴールボールらしい音に着目することで、非競技者でも試合状況を理解できる音響観戦システムを実現することができました。

ま と め

今回、ゴールボールを音で楽しむ「耳で見るゴールボール」を試作し、視覚障がい者を含む方々に対して体験評価を行いました。当初は、高臨場音像定位技術を利用してコートを動くボールの音を再現する計画でしたが、評価を通じて、ボールの移動音だけでなく、選手の動きの音や一連の音のつながりが観戦体験に重要だという新たな気づきがありました。

本技術を提供する予定であった観戦イベントはコロナ禍において中止となりましたが、ゴールボール大会やパラスポーツ普及施策と連携して、本施策の成果を

多くの人に体験していただく予定です。そして、さまざまな属性の方がICTの価値を享受できるように、今後もインクルーシブな視点を忘れずに研究開発を続けます。

謝 辞

本技術実証の実現に向け、安達阿記子選手(リーフラス株式会社)をはじめ音響評価にご協力いただいた選手や視覚障がい者の方々、また体験設計にご意見・協力いただいた横浜市および横浜市立盲特別支援学校の教員の皆様、一般社団法人日本ゴールボール協会や公益財団法人日本パラスポーツ協会の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 林・伊藤・渡邊：“スポーツ・ソーシャル・ビュー：競技を身体的に翻訳し視覚障がい者と共有する生成的スポーツ観戦手法,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.25, No.3, pp. 216-227, 2020.
- (2) <https://group.ntt.jp/magazine/blog/kirari/>
- (3) <https://www.ntt.co.jp/journal/1710/files/JN20171024.pdf>



(上段左から) 林 阿希子/ 宮川 和/
合田 卓矢/ 吉田 由紀
(下段左から) 堤 公孝/ 清水 健太郎/
犬童 拓也

◆問い合わせ先

NTTサービスイノベーション総合研究所
E-mail svkoho-ml@hco.ntt.co.jp

特集

新たな 環境エネルギービジョン

NTTは、2040年度カーボンニュートラルをめざした新たな環境エネルギービジョン

「NTT Green Innovation toward 2040」を2021年9月に策定した。

本特集では、ビジョンの概要と環境負荷削減に向けた取り組み、

NTTグループならではの先進的な取り組みについて紹介する。

環境・エネルギー

I O W N

カーボンニュートラル

グリーン電力

脱炭素化

Environment and Energy

NTTグループの新たな環境エネルギービジョン

「NTT Green Innovation toward 2040」

44

「NTT Green Innovation toward 2040」の概要と、2040年度カーボンニュートラル実現に向けたNTTグループの取り組み、および社会全体の環境負荷削減に向けた取り組みについて紹介する。

NTTドコモ「2030年カーボンニュートラル宣言」を発表

48

NTTドコモは、自社のみならず、お客さま・パートナー企業とともに社会全体のカーボンニュートラルに貢献するために、「あなたと地球を変えていく。」というスローガンを掲げ、カーボンニュートラルに向けた取り組み「カボニュー™」を開始した。

NTTデータが挑むグリーンイノベーション

52

NTTデータは、社会のカーボンニュートラルの達成に向け全社で取り組みを進めている。ソフトウェア開発・システム開発の観点でのCO₂排出量測定のための基準づくりや、データセンタの省エネルギー化の実現に向けた取り組み等を紹介する。

NTTアノードエナジーのスマートエネルギー事業

56

NTTアノードエナジーは、顧客企業やNTTグループ各社のグリーン電力ニーズにこたえ、社会全体の脱炭素化に向けた課題解決に取り組んでいく。NTTアノードエナジーの取り組み、および今後の展望について紹介する。

NTTグループの新たな 環境エネルギービジョン 「NTT Green Innovation toward 2040」

NTTは、2021年9月に新たな環境エネルギービジョン「NTT Green Innovation toward 2040」を策定し、NTTグループとして2040年度までにカーボンニュートラルの実現をめざすことを発表しました。本稿では、「NTT Green Innovation toward 2040」の概要と、2040年度カーボンニュートラル実現に向けたNTTグループの取り組み、社会全体の環境負荷削減に向けた取り組みについて紹介します。

よしまつ としひで
吉松 俊英

まつお けいご
松尾 啓吾

やぎ よしのり
八木 美典

あさくら かおる
朝倉 薫

NTT研究企画部門

「NTT Green Innovation toward 2040」の概要

気候変動問題をはじめとした環境問題は年々深刻さを増しており、世界規模での自然災害の巨大化など社会経済へ与える影響も大きくなっています。2020年10月に日本政府は、温室効果ガスの排出を2050年までに全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラルを宣言しました。企業活動も環境や社会へ影響を与える一要素であり、気候変動問題への対応は待ったなしの重要な社会課題であることに加え、企業の持続的な成長につながる経営基盤を強化する観点から、環境（Environment）、社会（Social）、ガバナンス（Governance）等の非財務情報を重視するESG経営の取り組みがますます重要となっています。

NTTグループは、2020年5月に「環境エネルギービジョン」を策定し、自社における再生可能エネルギー利用率を2030年までに30%以上に引き上げることを宣言するなど、環境負荷ゼロに

向けて取り組んできました。さらに2021年9月には、「事業活動による環境負荷の削減」と「限界打破のイノベーション創出」を通じて、「環境負荷ゼロ」と「経済成長」といった相反する目的の同時実現をめざして、新たな環境エネルギービジョン「NTT Green Innovation toward 2040」を策定しました。

「NTT Green Innovation toward 2040」において新たに設定した目標を表に示します。まず中期的な目標として、NTTグループ全体の温室効果ガス排出量を2030年度までに2013年度比で80%削減することをめざします。さらに、モバイル（NTTドコモ）とデータセンターの2030年度カーボンニュート

ラル実現をめざします。また長期的な目標として、NTTグループ全体で2040年度カーボンニュートラル実現をめざします。

2040年度カーボンニュートラル実現に向けたNTTグループの取り組み

電気通信事業を主力事業とするNTTグループは、日本の商用消費電力の1%近くを消費しており、温室効果ガス排出量もその多くが電力消費に由来しています。NTTグループの温室効果ガス排出量の削減イメージ（国内+海外）を図1に示します。成り行きに任せただけの場合は、通信トラフィックの拡大などによる電力消費量の増加に伴い、温室効果ガス排出量は2040年度

表 「NTT Green Innovation toward 2040」における目標

年度	主な目標
2030年度	NTTグループの温室効果ガス排出量80%削減（2013年度比） モバイル（NTTドコモ）、データセンターのカーボンニュートラル
2040年度	NTTグループのカーボンニュートラル

（上記削減目標の対象）

GHGプロトコル[®]：Scope1（自らの温室効果ガスの直接排出）、およびScope2（他社から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出）

モバイル：NTTドコモグループ15社（2021年9月28日時点）

* 温室効果ガス（Greenhouse Gas：GHG）排出量の算定と報告に関する国際的な基準

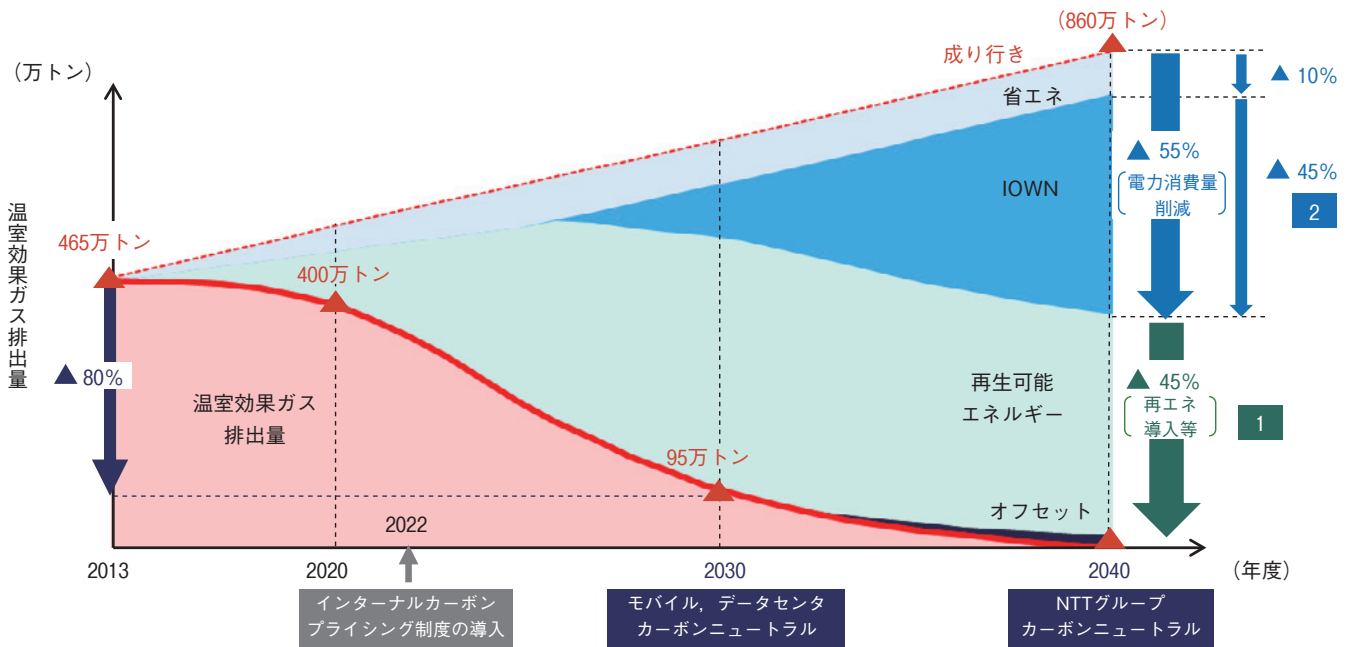


図1 NTTグループ温室効果ガス排出量の削減イメージ (国内+海外)

に2013年度比で約1.8倍に増加すると見込まれます。2030年度までに温室効果ガス排出量を80%削減し、2040年度までにカーボンニュートラルを実現するためには、温室効果ガス排出量を2030年度までに95万トン程度に抑制し、2040年度までに実質ゼロにしないためにはなりません。そこで、電力消費に由来する温室効果ガス排出量を実質ゼロにするために、主に次の取り組みを行います。

1番目に、継続的な省エネルギー(省エネ)に取り組みます。NTTグループの電力消費量を効果的に削減するためには、NTTグループが導入する装置に対して、省エネ性能・機能の高い装置を開発・調達することが不可欠です。NTTグループでは、社内を使用するルータ、サーバなどのICT装置の開発・調達にあたっての基本的な考え方や装置別の目標値を「NTTグループ省エネ性能ガイドライン」として2010年4月に定め⁽¹⁾、2010年5月より運用しています。継続的な省エネの取

り組みにより、温室効果ガス排出量を成り行きに対して2040年度までに2013年度比で10%削減することをめざします。

2番目に、すでに導入している再生可能エネルギーの利用拡大に取り組みます。2040年度までに2020年度比で約7倍の再生可能エネルギーを導入し、温室効果ガス排出量を成り行きに対して2040年度までに2013年度比で45%削減することをめざします。再生可能エネルギー(非化石証書活用による実質再エネを含む)による電力消費量は、2020年度の10億kWhに対し、2030年度から2040年度に70億kWh程度を見込んでいます。なお、2030年度には、日本国内のNTTグループの再生可能エネルギー導入量のうち半分程度をNTT所有電源でまかなう予定です。

3番目に、IOWN(光電融合技術等)の導入に取り組みます。IOWN(Innovative Optical and Wireless Network)構想の実現による通信設備等の抜本的な低消費電力化により電

力消費量を削減することで温室効果ガス排出量を削減します。具体的には、2024年度に光電融合デバイス完成、2025年度に装置化を実現し、2026年度から光電融合デバイスが搭載された装置が導入開始され、IOWN導入による削減効果が表れてくると考えています。そして2040年度までに、温室効果ガス排出量を成り行きに対して2013年度比で45%削減することをめざします。総電力量に対するIOWN(光電融合技術等)の導入率を15%(2030年度)、45%(2040年度)としたとき、IOWN導入による電力消費量の成り行きに対する削減量は20億kWh(2030年度)、70億kWh(2040年度)を見込んでいます。

さらに、2022年度にインターナショナルカーボンプライシング制度を導入します。カーボンプライシングとは二酸化炭素排出量に価格を付ける仕組みのことで、例えば炭素税は、政府が政策として導入するカーボンプライシングです。インターナショナルカーボンプライシン

グは、カーボンプライシングの考え方を企業に応用したもので、企業内で独自に排出量に価格を設定し、低炭素投資・省エネの推進や社内行動の変化などに活用する仕組みです。NTTグループでは、炭素価格を考慮した調達制度の見直しなどに取り組みます。

社会全体の環境負荷削減に向けたNTTグループの取り組み

NTTグループ自身の温室効果ガス削減と合わせ、以下の取り組みにより社会全体の削減にも貢献します。

まず、通信分野からさまざまな産業分野までIOWNの普及・拡大を進めます。2040年度には日本全体の4%の温室効果ガス排出量削減、世界全体では2%の削減に貢献します。さらに、カーボンニュートラルに貢献する新た

なサービスの提供と、再生可能エネルギーの開発強化・導入拡大を推進し、社会全体の温室効果ガス削減に貢献します。

具体的な取り組み

図2に、環境負荷ゼロの実現に向けた具体的な取り組みを4つの領域に分類して示します。社会の環境負荷削減に貢献する「Green by ICT」と、NTT自身の環境負荷を抑制する「Green of ICT」のそれぞれについて、「事業活動による環境負荷の削減」と、「限界打破のイノベーション創出」による取り組みを推進することで、NTTグループ自身だけでなく、社会全体の環境負荷削減に貢献します。

社会の環境負荷低減

ICTそのものが社会の環境負荷低減に貢献するものと考えています。例えば、テレワークや、バリューチェーンのデジタル化・電子化などは、社会のエネルギー使用を抑制する効果が期待されます。このようなICTによる社会の環境負荷削減により一層取り組んでいきます。さらに、プラスチックの利用削減・循環利用の推進など、循環型社会の実現に向けた取り組みも進めます。

革新的な環境エネルギー技術の創出

気候変動問題をはじめとしたさまざまな環境エネルギーに関する問題に対し、革新的な技術の創出に取り組みま

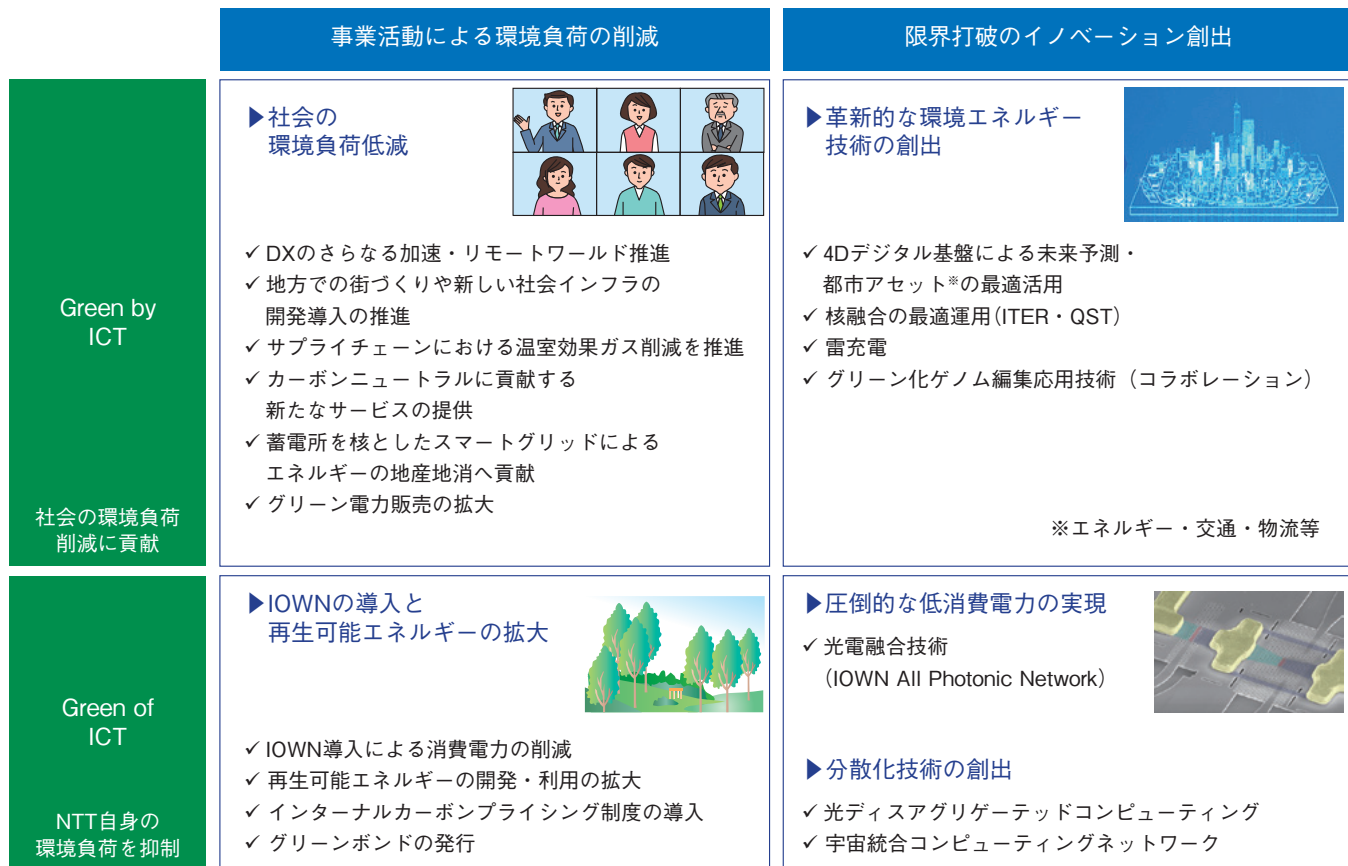


図2 環境負荷ゼロに向けた具体的な取り組み

す。2020年7月に、地球環境の再生と持続可能かつ包摂的な社会の実現を目的とした、NTT宇宙環境エネルギー研究所を設立しました。次世代エネルギーを含めたスマートエネルギー分野に革新をもたらす技術の創出と、地球環境の未来を革新させる技術の創出をめざします。また、2020年5月には、日本の民間企業として初めて、ITER国際核融合エネルギー機構と包括連携協定を結びました⁽²⁾。将来の夢のエネルギーである核融合炉の成功を、IOWNの超低遅延な高速大容量ネットワークでの伝送と、デジタルツインコンピューティングでのシミュレーションなどでサポートしていきます。

IOWNの導入と 再生可能エネルギーの拡大

IOWNの導入により電力消費量を削減するとともに、NTTグループの温室効果ガス排出の主要因である電力のグリーン電力化を進めます。NTTグループでは自ら再生可能エネルギーの電源開発に取り組んでおり、国内外のオフィスビル、通信ビル、データセンタ、研究所などのグリーン電力化を進めています。さらに、2020年5月に表明した国際的な気候変動イニシアティブであるSBT (Science Based Targets)^{*1}への参画、ならびにTCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures: 気候関連財務情報開示タスクフォー

*1 SBT: パリ協定〔世界の気温上昇を産業革命前より2℃を十分に下回る水準 (Well Below 2℃:WB2℃) に抑え、また1.5℃に抑えることをめざすもの〕が求める水準と整合した、5年～15年先を目標年として企業が設定する、温室効果ガス排出削減目標のこと。

*2 TCFD: G20の要請を受け、金融安定理事会により設置されたタスクフォース。気候変動に対する企業の取り組みにかかわる情報開示を促すフレームワークのこと。

ス)^{*2}への賛同を通じて、環境エネルギーへの取り組みの充実を図ります。

圧倒的な低消費電力の実現、 分散化技術の創出

光技術の適用により、コンピュータやネットワークなどの圧倒的な低消費電力が期待されるIOWN構想(2019年5月発表)の実現に向けた取り組みを推進します。光電融合技術は、IOWNの3つの主要技術分野の1つであるオールフォトニクス・ネットワークにおいて超低遅延・超低消費電力化の鍵となる技術であり、本誌2020年8月号特集『IOWN構想特集 ―オールフォトニクス・ネットワーク実現に向けた光電融合技術―』で詳しく解説しています⁽³⁾。また、2021年5月には、株式会社スカパーJSATホールディングスと業務提携し、宇宙統合コンピューティング・ネットワークによるイノベーションで新たな宇宙インフラを構築し、持続可能な社会に貢献することを発表しました⁽⁴⁾。地上の災害の影響を受けず、宇宙で独立して脱炭素かつ自立可能な宇宙インフラを構築し、光技術で超低消費電力、超高速通信、高セキュアなネットワークの実現をめざします。

本特集の内容について

今回は、NTTの新たな環境エネルギービジョン「NTT Green Innovation toward 2040」について特集します。

NTTグループの新たなビジョンと環境負荷削減に向けた取り組みについて本稿で紹介しました。カーボンニュートラルに貢献する新たなサービスなどについてはNTTデータとNTTドコモの取り組み⁽⁵⁾、⁽⁶⁾を取り上げます。再生可能エネルギーの開発拡大に

についてはNTTアノードエナジーの取り組み⁽⁷⁾を紹介します。

参考文献

- (1) 岡崎・宮崎・錦戸・染村・杉山・田中：“NTTグループ省エネ性能ガイドラインの取り組み、およびグリーンR&Dの推進,” NTT技術ジャーナル, Vol.22, No.11, pp.41-44, 2010.
- (2) <https://www.ntt.co.jp/news2020/2005/200515c.html>
- (3) 特集：“IOWN構想特集 ―オールフォトニクス・ネットワーク実現に向けた光電融合技術―,” NTT技術ジャーナル, Vol.32, No.8, pp.4-28, 2020.
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2021/05/20/210520a.html>
- (5) 中島・八木・福田：“NTTドコモ「2030年カーボンニュートラル宣言」を発表,” NTT技術ジャーナル, Vol.33, No.12, pp.48-51, 2021.
- (6) 下垣・南田・古川・濱野・小林・常見・遠藤：“NTTデータが挑むグリーンイノベーション,” NTT技術ジャーナル, Vol.33, No.12, pp.52-55, 2021.
- (7) 角田・桐本：“NTTアノードエナジーのスマートエネルギー事業,” NTT技術ジャーナル, Vol.33, No.12, pp.56-59, 2021.



(左から) 松尾 啓吾 / 吉松 俊英 /
八木 美典 / 朝倉 薫

NTTグループが、皆様から環境先進企業として認められるために、「事業活動による環境負荷の削減」と「限界打破のイノベーション創出」を通じて、自らだけでなく社会の環境負荷低減に貢献していきます。

◆問い合わせ先

NTT研究企画部門
R&D推進担当 環境エネルギー推進室
TEL 03-6838-5304
FAX 03-6838-5349
E-mail kankyo-mi@ntt.com

NTTドコモ「2030年カーボンニュートラル宣言」を発表

日本政府の「2050年カーボンニュートラル宣言」以降、世界のみならず日本企業でもカーボンニュートラルに向けた取り組みが加速しています。2021年9月28日、NTTドコモは自社の事業活動での温室効果ガス排出量を2030年までに実質ゼロにする「2030年カーボンニュートラル宣言」を発表しました。また、自社のみならず、お客さま・パートナー企業とともに社会全体のカーボンニュートラルに貢献するために、「あなたと地球を変えていく。」というスローガンを掲げ、カーボンニュートラルに向けた取り組み「カボニュー™」を開始しました。

なかじま ゆき
中島 有希
ふくだ さちこ
福田 幸子

やぎ ふみか
八木 文香

NTTドコモ

はじめに

NTTドコモは経営の中心にサステナブルを位置付けています。その中でも気候変動問題への対応を企業の重要な課題とし、2021年2月に国際的な気候変動イニシアチブSBT (Science Based Targets) 1.5°C目標の設定を取得するなど、自社の事業で排出する温室効果ガスの削減に從來から取り組んできました。さらに、サステナブルな社会を実現するために、自社のみならず社会全体の温室効果ガス削減に貢献するためのドコモならではの取り組みとして今回「カボニュー」*1 (図1) を開始しました。

*1 「カボニュー」, 「グリーン5G」, 「ドコモでんき」, 「dカード」, 「d fashion」, その他掲載されている商品・サービス名は、株式会社NTTドコモの商標または登録商標です。

*2 カーボンニュートラル：二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの「排出量」から森林などによる「吸収量」を差し引いて、温室効果ガス排出量を実質的にゼロにすることを指します。通信業界は多くの電力を消費して温室効果ガスを排出していることから、環境問題に対する責任の大きさが明らかになっています。

自社：「2030年カーボンニュートラル宣言」に向けた取り組み

「2030年カーボンニュートラル宣言」*2に向けた自社での取り組みについて図2に示します。



図1 カボニューロゴ



図2 自社のカーボンニュートラルに向けた取り組み

(1) ネットワークの省電力化

基地局のスリープ機能の高度化や、5G省電力装置などのネットワークの消費電力を削減する技術開発や設備導入を推進しています。

消費電力の削減の取り組みについて以下3つを紹介します。

- ・既存高密度BDE (Base station Digital processing Equipment) への装置集約：既設の高密度な基地局装置（高密度BDE）へ集約することによる各種装置撤去で消費電力を削減します。

- ・HVDC（高電圧直流給電）整流装置の導入：HVDC対応のICT機器を導入し、従来の交流給電システムに比べ送電ロスが少なく高効率な高電圧直流装置（HVDC整流装置）からの直送供給とすることで消費電力を削減します。

- ・インテリジェント空調導入、高効率な空調設備への更改：自己学習機能を持つ空調制御システムを積極的に導入し、最適な空調環境を構築することで消費電力を削減します。また、機械室空調機を高効率な空調へ更改することで消費電力を削減します。

(2) 再生可能エネルギーの導入

NTTアノードエナジーと連携し、ドコモ専用の太陽光発電所等から直接調達した再生可能エネルギーの導入を推進します。また、再生可能エネルギー指定の非化石証書の購入なども実施し、事業活動で消費する電力の実質再生可能エネルギー比率を100%にします。

(3) IOWNなどのイノベーション

開発

2030年までにIOWN光電融合技術を導入するほか、次世代ネットワーク、情報処理基盤などにおける温室効果ガス排出量の削減に寄与する技術の開発により、通信の高速化や省電力化を推進します。

バリューチェーン：温室効果ガス排出量を削減する取り組み

温室効果ガス排出量を削減する取り組みについて図3に示します。

(1) ドコモショップのグリーン電力化

自店舗に設置した太陽光パネルからの直接給電や、電力会社が提供する再生可能エネルギープランの活用などにより、ドコモショップで消費する電力の実質再生可能エネルギー比率100%

をめざします。

(2) サプライチェーンの温室効果ガス排出量を削減

ネットワーク装置や端末などのサプライヤーとの連携により、サプライヤーの温室効果ガス排出量の削減に取り組みます。また、サプライヤーから環境に配慮した製品を積極的に導入し、バリューチェーンの温室効果ガス排出量を削減します。

お客さま・パートナー企業：ドコモとともに社会全体の温室効果ガス排出量を削減する取り組み

(1) 再生可能エネルギーを活用したサービス等の展開

ドコモの総電力消費量に占める実質再生可能エネルギー（再生可能エネルギー指定の非化石証書の利用を



図3 バリューチェーンのカーボンニュートラルに向けた取り組み

含む)の比率が、ドコモの総契約者数に占める5G契約者数の比率よりも上回ることで、温室効果ガスの排出をしない環境に配慮した5Gにします。2021年10月1日から、5Gを「グリーン5G™」として展開しています(図4)。

また、2022年3月(予定)から提供を開始する「ドコモでんき™」において、実質再生可能エネルギー(再生可能エネルギー指定の非化石証書の利用を含む)を積極的に活用した地球にやさしいプラン「ドコモでんきGreen」を提供します(図5)。

(2) 環境に配慮した新たなサービスの提供

環境に配慮した新たなサービスとして、「THEOグリーン」の提供(図6)や「ポイント投資」の投資対象テーマに「SDGs/ESG」を追加(図7)、また「d fashion®」で環境に配慮したブランド・商品の特設コーナーを設置(図8)しました。パートナー企業の環境配慮型商品・サービスをドコモが連携して提供し、お客さまにご利用いただくことで、社会のカーボンニュートラルを推進します。

(3) カボニュープラットフォームの提供

お客さまの温室効果ガス削減への貢献度を「見える化」するなど、誰でも楽しくカーボンニュートラルに取り組む活動に参加するためのプラットフォームを今後提供します。

また、「カボニュー」の取り組みに賛同いただけるパートナー企業と、プラットフォーム上で提供するコンテンツの検討を進めていきます。



図4 グリーン5G



図5 ドコモでんきGreen



図6 THEOグリーン



図7 ポイント投資ESGテーマ追加



図8 d fashionでの特設コーナー

今後の展望

今回、「カボニュー」の取り組みを通じて、自社の「2030年カーボンニュートラル宣言」のみならず、お客さま・パートナー企業と一丸となって「あなたと地球を変えていく。」をスローガンに地球全体のカーボンニュートラルに取り組んでいくことを発表しました。

環境問題解決への貢献はドコモの企業使命の1つであるといえることから、環境分野に取り組み、カボニュープラットフォームを広げ、温室効果ガス削減にチャレンジしていきたいと考えています。そして、地球をグリーンにして持続可能な社会を実現していきます。



(左から) 中島 有希 / 福田 幸子 / 八木 文香

「あなたと地球を変えていく。」をスローガンに大きなムーブメントを起こし、社会全体のカーボンニュートラルに貢献することで持続可能な社会を実現していきたいと思えます。

◆問い合わせ先

NTT ドコモ
サステナビリティ推進室
E-mail csr@nttdocomo.com

NTTデータが挑むグリーンイノベーション

NTTデータは社会のカーボンニュートラルの達成に向け全社で取り組みを進めています。ソフトウェア開発・システム開発の観点でのCO₂排出量測定のための基準づくりや、データセンタの省エネルギー化の実現のために、金属3Dプリンタを用いた取り組み、またグローバルではCO₂吸収源として森林に着目し、吸収量の正確な測定を試みる取り組みを進めています。本稿ではNTTデータならではの取り組みの一部を取り上げます。

しもがき
下垣

とおる
徹^{†1}

みなみだ
南田

しんさく
晋作^{†1}

ふるかわ
古川

ひろし
洋^{†1}

はまの
濱野

けんいちろう
賢一郎^{†1}

こばやし
小林

ゆうすけ
佑輔^{†1}

つねみ
常見

こうへい
幸平^{†1}

えんどう
遠藤

さえき
冴己^{†2}

NTTデータ^{†1}

JSOL^{†2}

グリーンイノベーション推進室設立

NTTデータはグローバル社会のカーボンニュートラルに向けたグリーンイノベーションを促進するため、2021年10月にグリーンイノベーション推進室を新設しました。

社会全体のCO₂排出量削減に向けて、国内事業分野、海外グループ会社と連携し、コンサルティングによるお客さまの削減計画立案の支援や、グローバルスタンダードなソリューションによるCO₂排出量の可視化、デジタルを活用したプラットフォームによるサプライチェーン全体でのCO₂排出量削減などを進め、脱炭素化社会の実現に貢献します。また、NTTデータが保有するデータセンタの省エネ化および再生可能エネルギーの導入や、ソフトウェア開発における環境負荷低減に向けた取り組みを、国内事業分野、海外グループ会社と連携して推進します。

NTTデータのサプライチェーン全体のCO₂排出量可視化を実現するとともに、自社のCO₂削減を推進する仕組

みづくりを進め、2030年には、SBT (Science Based Targets) イニシアティブより認定を受けた1.5℃目標 (2030年度に2016年度比 60%削減) の達成、さらには、2040年にはNTTグループが目標とするカーボンニュートラル実現をめざします。

NTTデータが考えるカーボンニュートラルに向けて、温室効果ガスの可視化から、温室効果ガスを減らす、あるいは回収・吸収や相殺、取り組みを支援する仕組み等、社会のグリーン化に向けデジタルを活用した取り組みを進めていきます (図1)。

ソフトウェア開発におけるグリーン貢献

ソフトウェア産業における脱炭素の取り組みでは、CO₂排出量の多くを占めるデータセンタや、それを構成するハードウェアに注目が集まり、その高度化・効率化による排出量の削減が進められてきました。この分野では電力効率の高い革新的なハードウェアや、運用技術を積極的に評価検証・導入す

るほか、データセンタの再生可能エネルギー導入をさらに進めることで一層の削減が進むと見込まれます。これらに加え、NTTデータではソフトウェア領域の努力にも注力しています。

ハードウェアの消費電力は常にカタログ上の定格電力どおりというわけではなく、その上で動くアプリケーションにより実際の電力消費は変化します。さらに、同じ機能のアプリケーションであってもソフトウェアの実装により電力効率は変化します。そのため、より効率の良い“グリーンなソフトウェア”を構築する技術を蓄積、標準化していくことにより、低炭素排出なシステムを実現していきます。

また、今後各地でデータセンタの再生可能エネルギー導入が進むと、より効率の良いデータセンタにシステムを移設する要望が出ると見込まれます。しかし、一般にシステムは下位レイヤの構成に縛られ乗せ換えるのは容易ではありません。そういった障壁を解消するポータビリティの技術開発にも取り組んでいます。

気候変動アクション推進委員会体制図

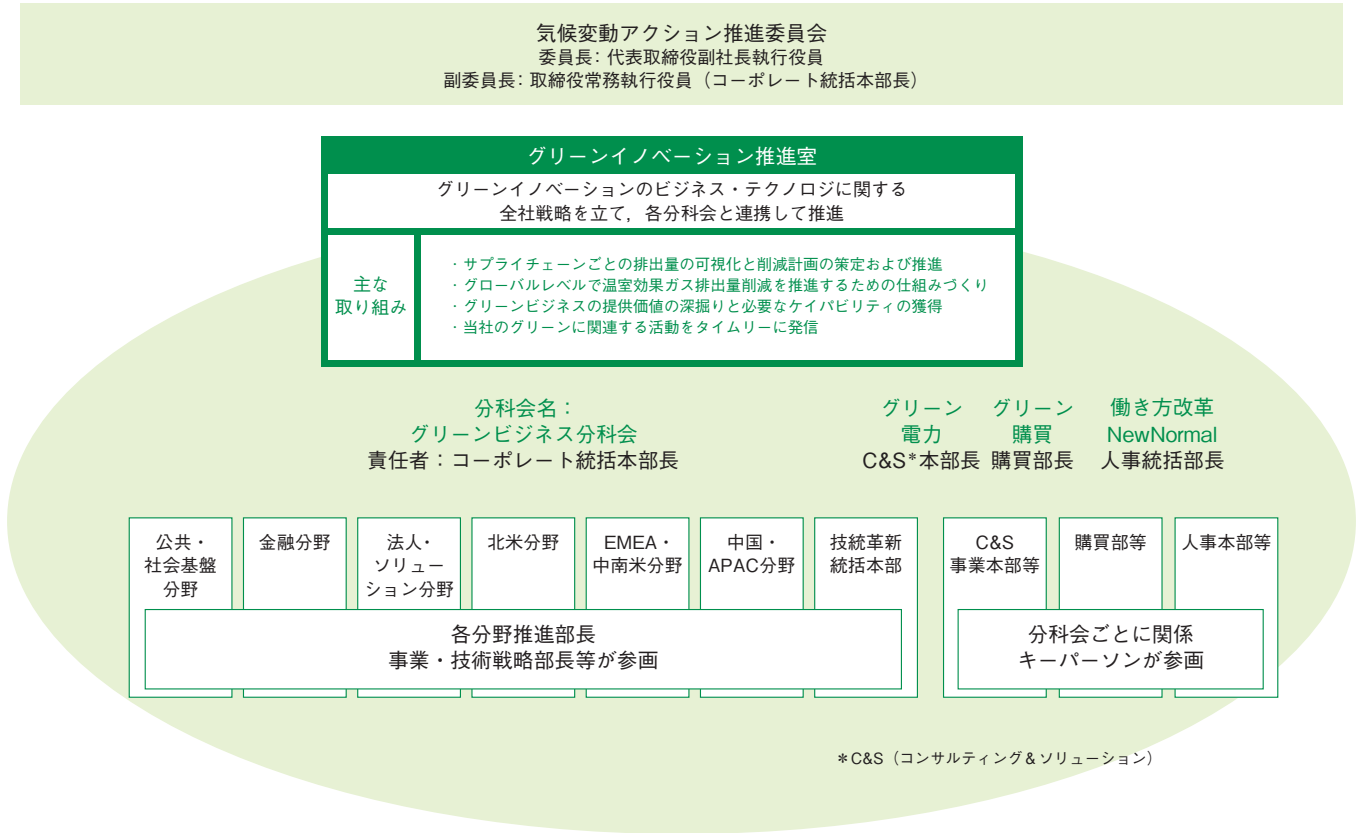


図1 グリーンイノベーション推進室体制図

このように、ソフトウェア産業では新たな削減努力を積み増す余地がまだまだあると考えられます。一方、システム開発で一般的に用いられる排出量算出基準は規模に原単位を乗じるもので、これを用いると規模すなわち値付けにより排出量が決まります。そのため、システム選定の際に排出量が考慮されなくなるおそれがあります。この状況から前に進むべく、NTTデータはソフトウェア領域において排出量削減の努力が反映される新たな算出基準の検討を進めており、それをグローバルな標準としていくべく、2021年9月にGreen Software FoundationにSteering Memberとして加盟しました。同団体は2021年5月に設立され、ソフトウェア領域における排出量基準

ソフトウェアのグリーン化に取り組むグローバルな非営利団体標準、ツール、教育など、グリーンなソフトウェア開発のためのエコシステムを構築

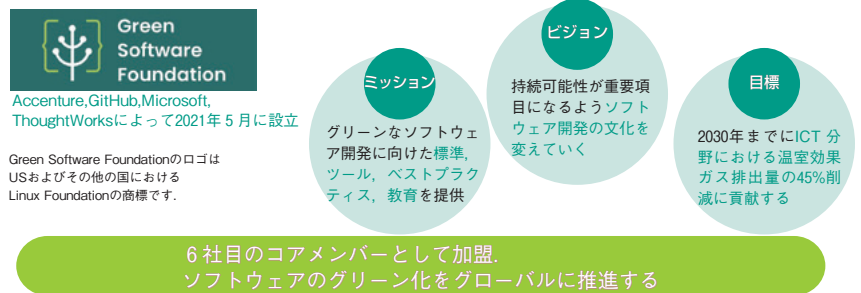


図2 Green Software Foundationへの加盟

の策定をめざしているほか、グリーンなソフトウェア開発に向けたアセット、ベストプラクティス、教育を含めたエコシステムを構築するとともに、その普及展開を進めていきます。NTTデータは自社の知見やノウハウを提供し、運営メンバとして議論をリードするこ

とで、自社だけでなくソフトウェア産業全体のグリーン化を推進していきます（図2）。

グローバルでのグリーン化への取り組み

カーボンニュートラル世界の実現に

向け、世界の中でもいち早くかつ意欲的に取り組みを進めている欧州において、NTTデータグループも2009年より専門組織を立上げ、コンサルティング能力、都市計画・土木にかかわるエンジニアリング能力を蓄積してきました。現在、180名を超えるメンバが電力、ガス、水道を含めたユーティリティ分野を中心にお客さまのサステナブル経営をサポートしています。

NTTデータでは、企業活動におけるGHG排出削減の支援に加え、ネガティブエミッション、吸収源としての森林に着目した研究開発を行っています。EUでは2030年までに年間3億1000万トンの吸収を目標とし、各国ごとの目標値を法定、義務化する動きが進んでいる一方で、この実現にあたっては、吸収量の正確性と検証コストの両立が大きな課題になっており、地上での実地計測・評価に加えて、より効率的かつ正確に測定する手段の確立が求められています。

NTTデータでは衛星画像などリモー

トセンシング、AI（人工知能）技術を用い、数年間にわたる吸収量予測も含めた手法の確立とITプラットフォームの開発を日欧で共同にて進めています（図3）。

サプライチェーンを通じた脱炭素化/JSOL

2050年カーボンニュートラルを実現するため、JSOLは、SAPと協業して、メーカが調達プロセスを通じ、サプライヤ・グリーン商材プロバイダと共同で、カーボン排出量の削減に取り組むことができるサービス提供を検討しています。

サプライチェーン全体の中で、原材料調達におけるカーボン排出量の占める割合が大きいため、現在のカーボン排出量の算出方法は、カーボン排出削減効果が加味されていない原材料のカーボン排出原単位で計算しており、サプライヤがカーボン排出削減に取り組んでも、その効果が反映されません。

この課題解決のため、カーボン排出

量を削減した原材料とそのカーボン排出量情報を集め、その原材料を調達することによりメーカとサプライヤが共同でカーボン排出量の削減に取り組めるようなサービスを提供したいと考えています（図4）。

JSOL 法人未来会議・カーボンニュートラル活動メンバ（遠藤冴己、牛渡久美子、田野周、友田忠志、任田紘子、船渡大生<順不同>）

Additive Manufacturing/ コンピューショナルデザイン NTT データザムテクノロジーズ

近年、その性能を最大限に引き出せるデザインを、トポロジー最適化や形状合成等の数値計算により導き出す、「Computational Design」の活用領域が飛躍的に広がっていますが、優れたデザインには、鋳造・焼結・塑性加工・接合加工等、従来の加工方法では造形自体が難しいものも多いです。ロケットエンジンの開発にも携わっているNTTデータザムテクノロジーズで

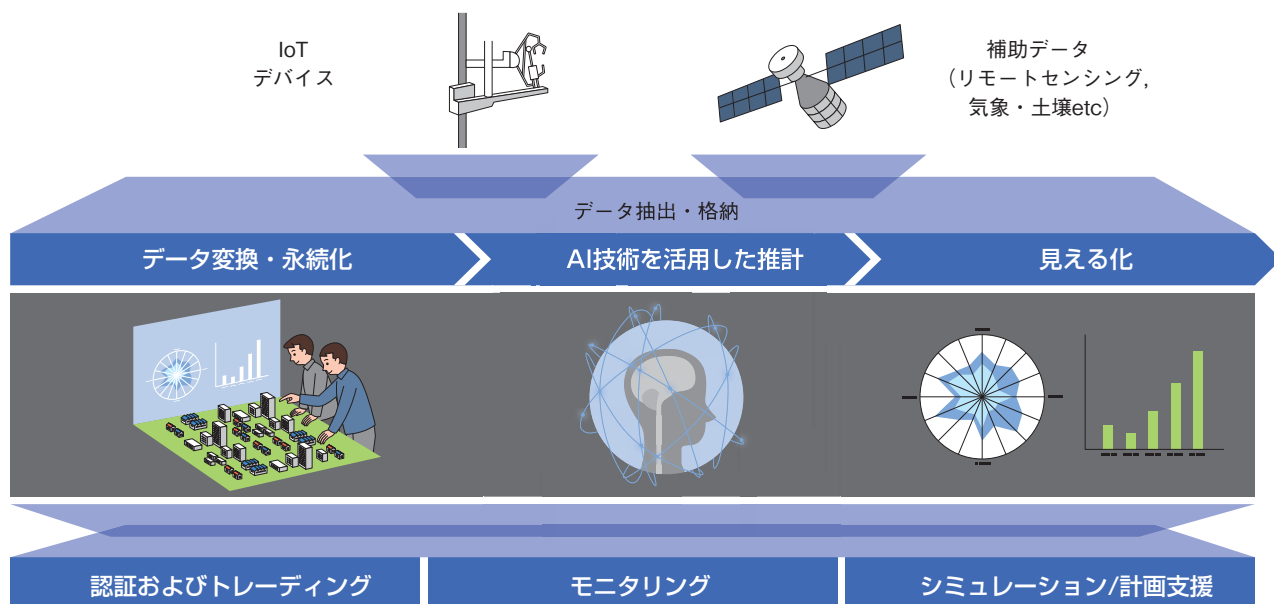
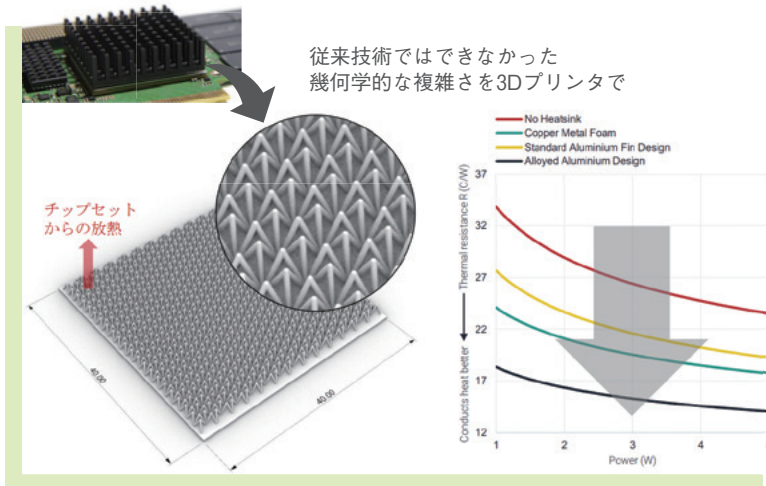
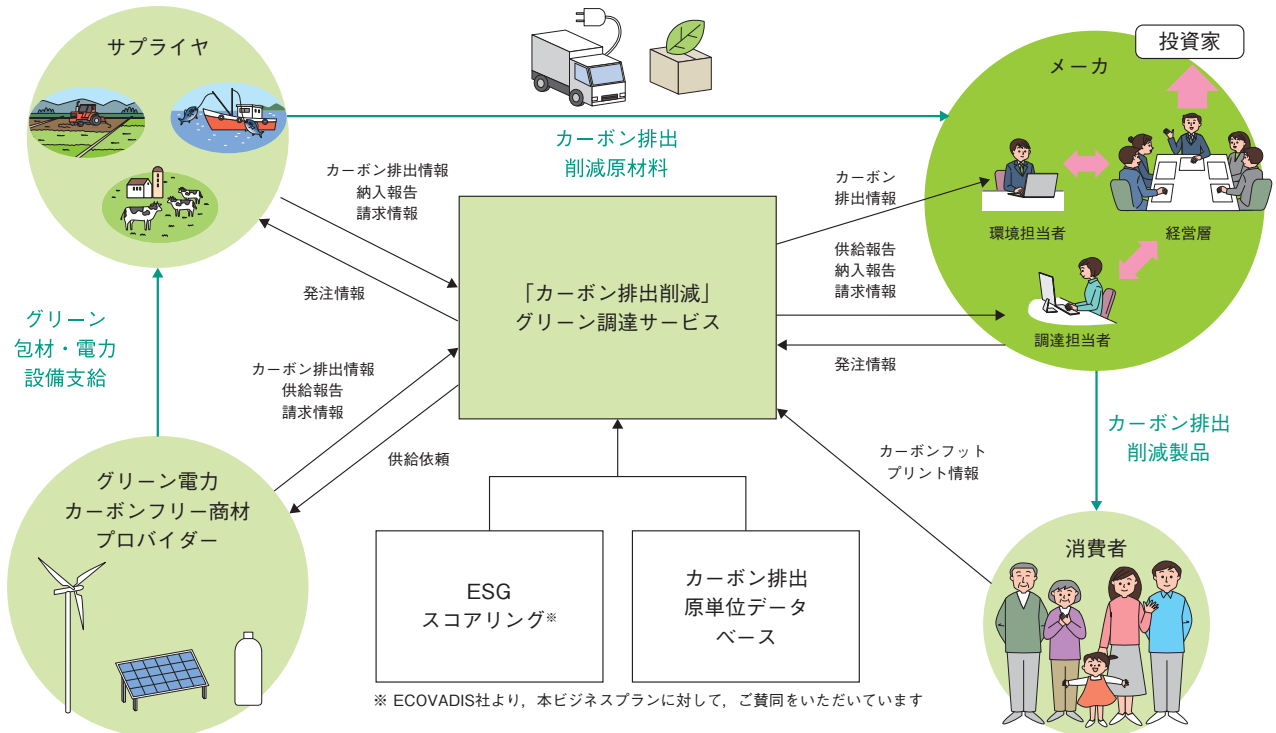


図3 グローバルでのグリーン化への取り組み



は、積層造形（Additive Manufacturing：AM）技術を活用した金属3Dプリンタにより、従来の加工法では難しい3次元複雑形状品を加工する技術の研究を続けていますが、データセンタの省エネルギー化に寄与するチップセット排熱効率化を実現する複雑形状のヒートシンクの開発も手掛け

ています。効率には材料にも左右されるため、Materials Informaticsに長けた英国企業との提携も行いながら、事業化に向けた検討を行っています（図5）。



（上段左から）下垣 徹 / 南田 晋作
古川 洋 / 濱野 賢一朗
（下段左から）小林 佑輔 / 常見 幸平
遠藤 冴己

私たちの日常生活においても気候変動による異常気象等が増えてきています。私たちの将来の世代のためにもサステナブルな社会を築いていくことがとても大切。これにはグローバルでさまざまな活動をする方たちとつながり、カーボンニュートラルに向けた活動を進めていく必要があります。私たちは、デジタル活用したグリーンイノベーションを皆様と協力して進めていきます。

◆問い合わせ先
NTTデータ
グリーンイノベーション推進室
E-mail climate@kits.nttdata.co.jp

NTTアノードエナジーのスマートエネルギー事業

NTTアノードエナジーは、太陽光をはじめとした再生可能エネルギー電源を自社で開発して顧客企業やNTTグループ各社に提供しています。また、蓄電所の設置を通じて蓄電池の充放電によるエネルギーの安定化を図り、電力の地産地消を進めていきます。これらの事業を通じて、顧客企業やNTTグループ各社のグリーン電力ニーズにこたえ、社会全体の脱炭素化に向けた課題解決に取り組んでいきます。本稿では、NTTアノードエナジーの取り組み、および今後の展望について紹介します。

すみだ やすひろ
角田 康博

きりもと たかはる
桐本 喬晴

NTTアノードエナジー

はじめに

NTTアノードエナジーは、NTTグループの保有する技術やアセットを活用したスマートエネルギー事業の推進を目的として、2019年6月にNTTグループの事業持株会社として設立されました。グループ会社であるエネット、

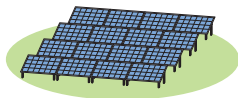
NTTスマイルエナジーとともに、グリーン電力発電、電力小売、エネルギーを核とした地域・環境貢献、の3つを主軸として事業を展開しています。

脱炭素社会の実現に向けて社会全体の意識が高まっている中、再生可能エネルギー（再エネ）は今後の主力電源の1つと考えられており、再エネを導

入する企業も増えています。NTTアノードエナジーグループでは、再エネ電源を開発、獲得して顧客企業からのグリーン電源ニーズに対応するとともに、2021年9月28日に発表したNTTグループの環境エネルギービジョン「NTT Green Innovation toward 2040」の実現にも貢献していきます。

太陽光発電事業

東京センチュリー株式会社との太陽光発電会社の共同事業運営開始（2020年10月5日発表）



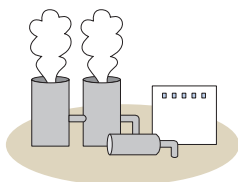
風力発電事業

風力発電事業への参入について（2020年9月7日発表）



地熱発電事業

ふるさと熱電株式会社との地熱発電事業における資本提携（2020年7月31日発表）



バイオマス発電事業

フォレストエナジー株式会社との国内木質等バイオマス発電事業における資本業務提携（2020年8月31日発表）



図1 グリーン発電事業

また、エネルギーの地産地消を実現するため、蓄電池等を活用した分散エネルギー構造の実現に取り組んでいます。

グリーン電源開発・供給

NTTアノードエナジーでは、太陽光、風力、地熱、バイオマスといった再生エネルギーによるグリーン電力の電源開発を進めており、当社資産の再生エネルギー発電所で発電された再生エネルギー電力を供給しています（図1）。

近年、脱炭素化をめざす企業が再生エネルギー電力を調達する手段として、コーポレートPPA（Power Purchase Agreement：電力購入契約）が注目されています。需要家の敷地内（オンサイトPPA）または遠隔地（オフサイトPPA）に専用の発電所を設置し、そこで発電するグリーン電力をご利用いただく形態です（図2）。電力会社ではなく一般企業が発電事業者と直接、電力購入の契約を結ぶことから、

このように呼ばれています。需要家にとっては、電力消費量に応じた料金を支払うのみで、発電設備の初期投資と維持管理費用が不要であること、長期間にわたり安定的なグリーン電力を調達できることなどのメリットがあります。

当社では、「追加性（additionality）」を満たした仕組みにより、お客さまにコーポレートPPAの形態でグリーン電力をご利用いただいています。「追加性」とは、企業等の選択した調達方法が再生エネルギーへの投資を促進し、化石燃料の代替につながっていることを表すもので、再生エネルギーの調達に積極的な企業の中で重要視されつつある考え方です。

最近の事例としては、2020年11月に株式会社熊平製作所千代田工場、同年12月に第一三共ケミカルファーマ株式会社小名浜工場、2021年4月に古河電気工業株式会社三重事業所に提供を開

始しました。これらの事例は、お客さまの敷地内に太陽光発電設備を構築し、そこで発電するグリーン電力をお客さま施設内で自家消費していただいています。

また、2021年3月にはセブン&アイグループと共同で報道発表を行い、セブン - イレブン40店舗およびイトーヨーカ堂の1店舗（アリオ亀有）に対してグリーン電力を導入することを発表しました。セブン&アイグループは2050年までにグループの店舗運営に伴うCO₂排出量実質ゼロをめざしており、その実現に向けて、国内初^{*1}のオフサイトPPAの仕組みにより当社が設置した専用の太陽光発電所から送配電網を介して電力供給^{*2}を行うとともに、夜間等の電力については、

*1 株式会社資源総合システムへのヒアリング等を通じたNTTアノードエナジー調べ。
*2 NTTアノードエナジーがエネットの取次店としてサービス提供する形態。

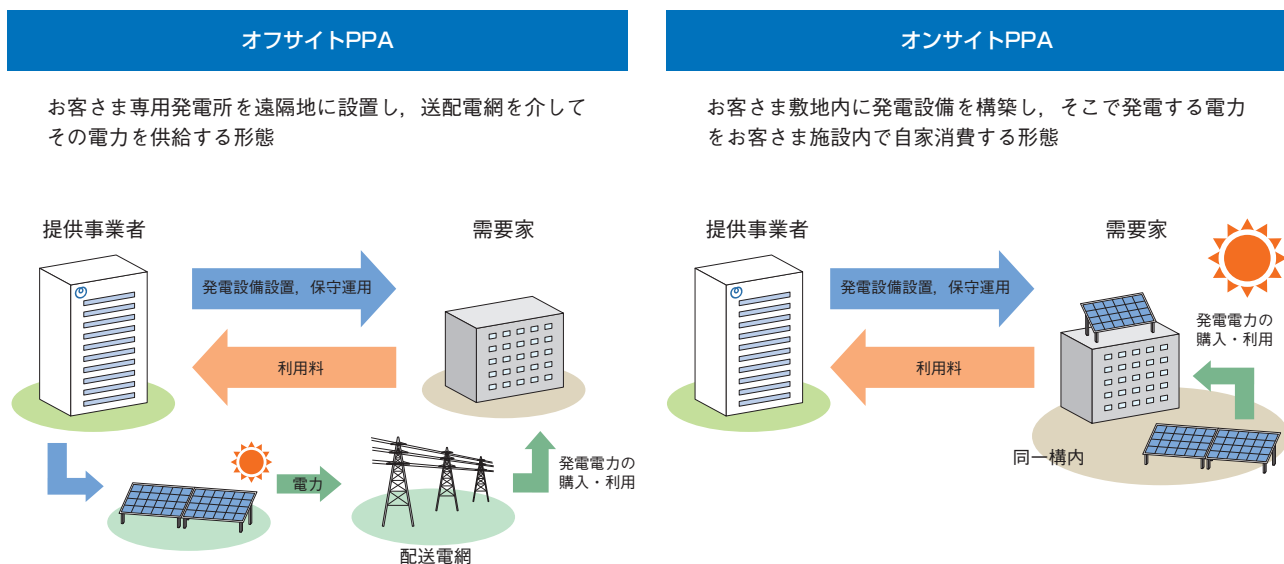


図2 コーポレートPPAの形態

NTTグループが所有するグリーン電力発電所からのトラッキング付非化石証書を付与するスキームを採っています。

NTTアノードエナジーのグループ会社の1つであるエネットは、電力の小売自由化が開始した2000年から小売電気事業を手掛けており、それ以降、時代の変化に合わせてさまざまなメニューを提供しています。例えば、2017年にはCO₂排出量削減メニューである「EnneGreen[®]」の提供を開始しました。LNG（液化天然ガス）等で発電された電気に非化石証書を組み合わせることにより、実質再エネ電気を提供するサービスです。2021年9月現在の契約数は約2700と、多くのお客さまにご利用いただいています。

また、同じくNTTアノードエナジーのグループ会社であるNTTスマイルエナジーは、AI（人工知能）・IoT（Internet of Things）や制御技術を活用し、再エネや蓄電池などの分散型のエネルギーリソースをつないで制御することで、エネルギーの効率性や持続可能性の向上を図っています。同社が提供する太陽光発電設備の遠隔監視サービス「エコめがね」の導入件数は7万8000件（2021年3月時点）となっており、太陽光発電所の運営に貢献しています。

NTTアノードエナジーグループでは、企業からの再エネ電源供給への要望にこたえ、NTTグループの消費電力のグリーン化による環境負荷低減に貢献するため、自社所有電源の開発によるグリーン電力の供給拡大およびグリーン電力関連サービスの展開をさら

に進めていきます。

再エネの課題と蓄電所のめざすもの

脱炭素社会の実現のために再エネのさらなる拡大は必須ですが、電力を需要家に供給するための現在の電力システム（発電・変電・送電・配電を統合したシステム）において、再エネが大きく拡大することで生じる以下のような課題が顕在化しつつあります。

- ① 電気は、需要と供給のバランスを確保する必要があり、需給のバランスが崩れると周波数が乱れ、最悪の場合は大規模停電につながります。再エネの大半を占める太陽光発電は、日中時間帯しか発電せず、雨や曇の日の発電量は晴れの日に比べ非常に小さくなる特性があり、発電量が天候により変動しやすいため不安定な電源であるといえます。
- ② 太陽光発電所は広くて平坦な土地が得やすい地域に多く設置されていますが、そのようなエリアでの電力系統は貧弱なことが多く、それらの電力系統を増強するまでは太陽光発電所を接続できないケースがあります。仮に接続できたとしても、太陽光発電所の立地場所と需要家が離れていることから電力系統における送電ロスが大きく、社会的コスト増大につながっています。
- ③ 太陽光発電所の大量の電気が貧弱な電力インフラに流れ込むことで、電圧が局所的に不安定となり、電気の安定供給に支障をきた

す懸念も高まっています。電力系統の安定性を確保するため、太陽光発電所に出力抑制が発動され、電気を捨てている現状があります。

これらの課題を解決する方法の1つが蓄電池の活用です。電池が持つ電気を出し入れできる充放電機能を活用することにより、太陽光発電所の変動する発電量を補完することができ、電力系統の不安定さを解消する調整力を提供できると考えています。

NTTグループでは、日本全国に約7300カ所のNTTビルがあり、停電時の通信確保などのために約400万kWhの蓄電池を保有しています。NTTアノードエナジーでは、これらの蓄電池を利活用し、再エネ拡大や電力系統安定化に資するための蓄電所事業を全国に展開します。

蓄電所事業では、全国各地に設置する蓄電池を適切に遠隔制御するためのEMS（Energy Management System）が必要不可欠です。具体的に、蓄電池を電力系統の安定化に活用していくためには、蓄電池による制御量（充放電量）を決定するための各種予測技術と、全国の蓄電池を束ねて、予測により決定した制御量を実現する蓄電池制御技術が必要となるため、NTTグループ各社や研究所と連携して取り組んでいます。蓄電池の制御量を決定するためには、気候の影響が大きい太陽光をはじめとした再エネ発電の発電量や、それに加えて社会動向等の影響も受ける電力需要を正確に予測する必要がありますが、市場で入手可能な気象予測を弊社グループが保有する独自のデータで拡張して活用するオ

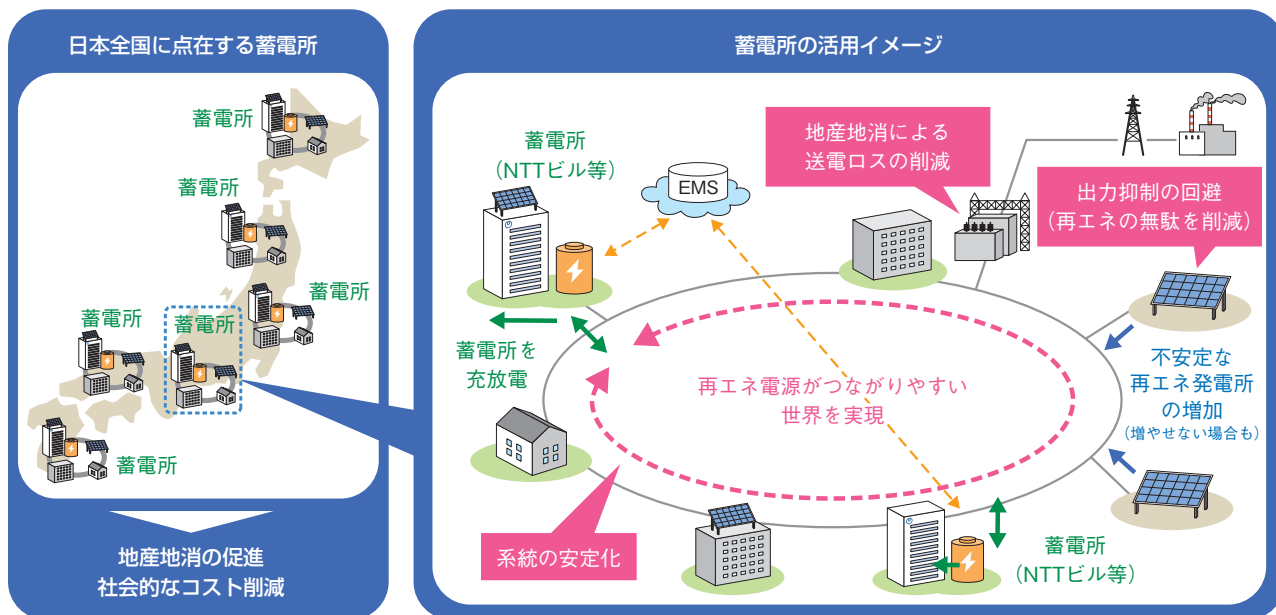


図3 再エネの地産地消に向けた蓄電所の活用イメージ

リジナルの予測技術の開発を行っています。また、全国に分散した充放電可能量・充放電可能時間がまちまちの大量の蓄電池を束ねて、予測により決定した制御量を正確に実現するための独自の制御アルゴリズムの開発にも取り組んでいます。

NTTアノードエナジーは、図3に示すように、NTTビルを蓄電所として全国に展開し、EMSを駆使して蓄電所を制御することで、より多くの再エネが電力系統に接続できるようにし、地域内の脱炭素化や電気の地産地消に貢献することをめざしていきます。さらに、将来、NTTグループならではの蓄電所の数が増え続け、EMSを磨いていけば、再エネが電力系統にシームレスに接続でき、電力の流れを最適に制御できる世界を実現できると考えています。

おわりに

NTTアノードエナジーは、蓄電所事業を通じて、電気の地産地消を進めていきます。地産地消により出力抑制の回避や送電ロスの削減をはかり、システムの安定化やエネルギーの効率利用を促進することで、再エネ発電所の普及・拡大に貢献していきたいと考えています。今後も、NTTアノードエナジーは、エネルギー事業にかかわるNTTグループの事業持株会社として、パートナーの皆様と協力しながら、社会全体の脱炭素化へのさまざまな課題解決に取り組んでいきます。



(左から) 角田 康博 / 桐本 高晴

NTTグループの2040年カーボンニュートラル実現および社会全体の環境負荷削減に向けて、NTTアノードエナジーはさらなる再エネ電源開発とエネルギーソリューションにより貢献していきます。

◆問い合わせ先
NTTアノードエナジー
総務人事部 (広報担当)
E-mail kouhou-ml@ntt-ae.co.jp

挑戦する 研究者たち CHALLENGERS



藤原 聡

NTT 物性科学基礎研究所
上席特別研究員

例え逆風が吹いたとしても環境を整えつつ、新しい価値があるものを先人たちの成果の上に積み上げていく

普遍的知見の獲得などの学術的貢献をミッションに掲げるNTT物性科学基礎研究所。機能物質科学、量子電子物性、量子光物性において数々の功績を発表しています。電子1個1個の正確な操作や検出を可能とし、量子電気標準、高感度センサ、量子ビットへの応用が期待されているシリコン単電子デバイスの研究領域において、量子計測三角形の完成をめざした電流標準応用に挑む藤原聡上席特別研究員に、研究活動の進捗と世界初に臨む研究者の姿勢について伺いました。



正確な電流の物差しである「電流標準」の実現に挑む

現在手掛けている研究概要から教えていただけますでしょうか。

シリコンをベースとした半導体ナノ構造を用いた高精度・高速な電荷操作・検出・制御に基づく「極限エレクトロニクス」を創成し、高精度電流標準、超低エネルギー情報処理、超高感度センシング、量子テクノロジーへ応用の道筋を追究しています(図1)。

日常生活の中で一般的になっているコンピュータやスマートフォンには、必ずシリコンという材料を使った半導体の

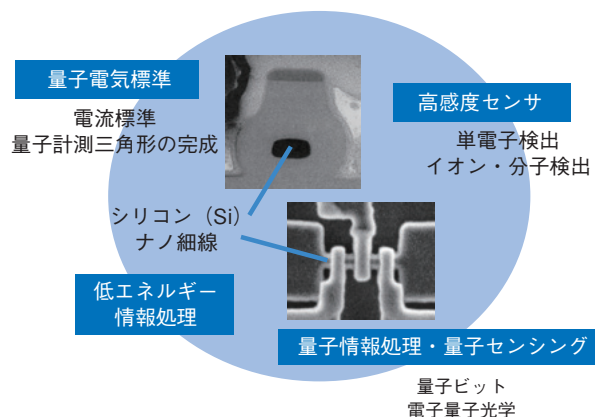


図1 シリコンナノデバイスを用いた極限エレクトロニクス

回路が使われています。半導体の回路に電流を通したり、電圧をかけたりすることで、増幅やon/offのスイッチ等、さまざまな動作をします。この半導体の中を流れる電流は、マイナスの電荷を持った微小な粒子である電子の移動です。私は、シリコン半導体の中で、微小な電子の1つひとつをどこまで制御・操作できるかという極限に挑んでいます。この制御・操作により、超低エネルギー情報処理や超高感度センシングへの応用が可能となります。そして、長さを示すメートル(m)、質量を示すキログラム(kg)といった単位は、その根拠となるものを基に国際的な度量衡標準として定められているのですが、電流の単位であるアンペア(A)について、この研究成果であるシリコン単電子デバイスが生成する正確な電流に基づく量子標準の実現をめざしています。

電流の新しい国際標準の実現をめざそうと思ったきっかけを教えてください。

きっかけは、2003年に客員研究員として米国国立標準技術研究所(NIST、ゲーサーズバーグ)で、NTTで開発したシリコン単電子デバイスの特性評価を行っていたときに、

このデバイスの応用先として、極限精度を追求する標準分野がもっとも適している、ということに気付いたことです。それから10年余り粘り強く研究を進め、ヨーロッパからも興味を持っていただけるようになりました。

実は、2019年に国際単位系(SI)の改定に伴い、電流の単位であるアンペアの定義が改定され、そのタイミングでの標準化には間に合わなかったのですが、将来的に私の追究している技術が起用される可能性があると感じて、世界の関連研究者とともに切磋琢磨しながら研究を継続しています。こうした中、そのような取り組みも含めて評価していただけたのか、2018年にはIEEEフェロー、2020年には応用物理学会フェローの称号をいただけることとなり、研究を諦めなくてよかったと思っています。

現在は、高精度な単電子電流標準を実現し、量子電気標準の整合性の検証実験である量子計測三角形を完成することをめざして、研究を進めています。具体的には、研究用の半導体製造ラインを用いて作製したデバイスの特性評価、コロナ禍での在宅勤務を活用して独自に開発したデバイスシミュレータによる解析などに取り組んでいます(図2)。2019年のアンペアの定義の改定により、電流はそれを構成

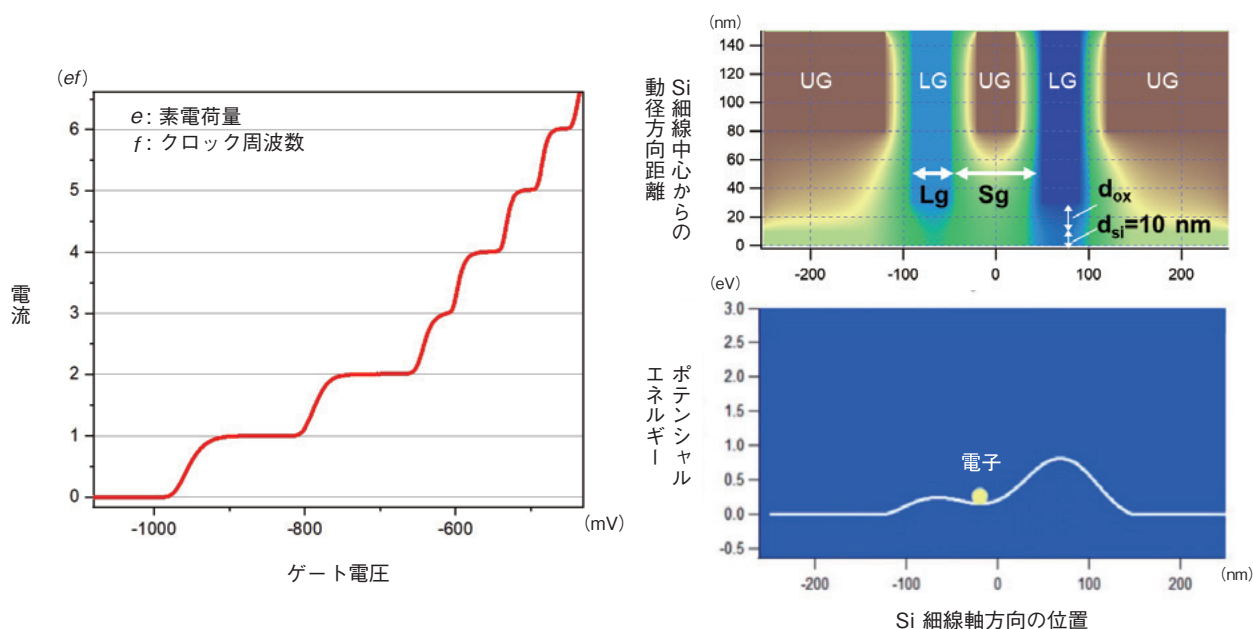


図2 シリコン単電子電流標準の特性(実験結果)とデバイスシミュレータによるポテンシャル解析



する電子を1秒間に何個運んだかということにより定義されることとなりましたが、現在はそのエラーを極力抑え、いかに1個の電子を正確に速く転送するかということに注力しています。ちなみに、シリコン単電子デバイスは、現在流行している量子コンピュータにも応用できる可能性があるのですが、デバイスのサイズが極めて小さいため、同じものたくさんそろえてつくるのはとても難しいです。まずは、1つのデバイスでもその有用性を発揮できる標準デバイスへの応用を実現することが重要だと私は考えています。

また、この研究はコラボレーションが非常に重要です。5年ほど前に英国国立物理学研究所（National Physical Laboratory：NPL）との共同研究により、世界一の動作速度で精度の良い電流を生成できた成果についてプレスリリースしました⁽¹⁾。また、日本の国家標準を管理している産業総合技術研究所（産総研）との共同研究も開始しています。

今後は、改定された新アンペアを実現する高精度電流標準の実用化に向けさらに精度を良くしていかなければいけません。現在の世界記録を更新し、世界初、世界のトップに立とうと産総研などとチーム連携しながら、単電子電流標準を用いた量子計測三角形の完成に挑戦していきます。



自分の研究は「フェア」に検証しよう

世界一に挑むことは研究者にとっては大事な心構えなのでしょうか。

世界一に挑むことは大切です。基礎、応用を問わず研究にはコミュニティがあり、世界一をめざす競争相手がいます。これは非常に良いことで、共に競い合うことで、負けることもあれば学ぶこともあり、切磋琢磨が当該分野や社会への貢献につながると信じています。自社における製品化や個別の社会実装にとどまらず、研究コミュニティの発展によって新しい研究テーマが創成され、新規ビジネスの誕生にもつながる可能性があるからです。

もちろん、海外の研究者と切磋琢磨しているときに落ち

込むこともあります。科学の分野において日本ももちろん優秀ですが、米国や近代科学発祥の地である欧州はさらに優秀で底力があり、研究者の層も厚いです。日本は負けているなと思う瞬間はやはりあり、そこは謙虚に受け止めるとしても、そのうえで自分の力不足に私自身が落ち込むことも多くあります。

こうした状況にあつてこそ、自分の研究をフェアに評価しよう、検証しようと思っています。例えば、自身の研究成果の質の高さやその意義、コミュニティへの貢献度は、コミュニティや一流の研究者からの反響で知ることができます。自分の信念を持つことはもちろん大切ですが、独りよがりにならず、客観的に自分を評価し、さらに成長できるよう努めています。

ところで、私は研究者として長く活動してきましたが、研究を取り巻く環境は年々厳しくなってきたと感じます。特に欧米は非常に競争が激しくて研究資金の獲得や人材の確保のシビアさの中で勝ち残るために、優秀な成果を出し続けなければならないというタフな環境です。自分に適した研究環境や居場所を求めて自国を離れ、研究者人生を送っているケースもかなり多いと思います。一方、中国は大きな組織とリソースで良い成果を出しつつありますが、若いうちは研究補助員的な役割しか担当させてもらえないケースもあるように聞いています。これらに比べて日本は概してフラットな人間関係で、和気あいあいとやりながら新しいものを生み出すには良い環境ですし、海外のような激しさはありません。それでも、日本で研究者として雇用してもらおうのも大変で、若手研究者が大学の教員ポストを獲得するのが難しい状況にあるのはメディア等で紹介されているとおりです。

こうした状況下において、研究テーマの選択は研究者の分かれ道ともいえます。例えば、流行している分野の研究は社会から必要とされていることがある意味確保されているわけで、ポストもそれなりにあると思います。そのような、目の前で必要とされている、あるいは流行している分野で研究に取り組むことも1つの意味ある選択だと思いますが、表面的な流行に流され、研究が小粒になってしまうリスクもあります。基礎研究の場合は、もう少し長期的視

点に立って時流を読み、自分の強みを活かせる分野、世界のトップに立てる可能性がある自分だけしかできないテーマがあれば、たとえ狭い領域であってもそこで勝負するという視点もとても大切かと思えます。

電流標準の研究もそのような思いで進めており、一步ずつ、自分のスキルを最大限活かそうと努めています。私自身の残りの研究者人生、自分だけしかできないことを、自分の研究をフェアにみることで独りよがりにならないように追究したいと考えています。

現代社会に必要とされている課題以外にも将来的に追究すべきことがあるのですね。

科学は積み重ねですから今すぐに役に立たなくても、「本当に新しい、これは1歩進んでいる」と言われる仕事をしたいと思います。研究コミュニティから評価される仕事をめざすことはとても大切だと考えています。

この姿勢で研究に臨んできたことである程度うまくいっている実感もあって、コミュニティや仲間をなおのこと大切に感じています。そのコミュニティで何かなされてきたかを理解すれば先達へのリスペクトも生まれ、自分が新しいものを付け加えることに注力すればコミュニティの成長につながり、そのコミュニティに属する研究者はさらに研究を継続できるという好循環が生まれます。有益な情報交換や研究協力を得られるようになるためにもコミュニティを盛り上げ、そこで評価される存在になることが大切だと考えます。そのためにも世界的に一流の研究者と切磋琢磨し続けていきたいです。自分の研究について真剣に議論を交わす相手がいれば、学びを続けていくことは非常に重要であると考えており、今の私にはそのようなコミュニティがあって幸せです。仲間もいて、連携チームを組める環境があり、共同研究の重要性を実感しています。

こうした実感や経験を踏まえて振り返ると、日本の企業や研究者の文化としては、自分ですべてこなしたい、自前主義の傾向がまだ強いように感じます。日本の研究者は職人芸へのリスペクトが強いですし、細かいところまで自分で手を動かし、実験装置の整備なども含めて少し泥臭い仕

事もいとわない。これはこれで良いところだと思いますが、一方のヨーロッパはエンジニア・テクニシャンと研究者の仕事は分業されているし、自分にないことは外部から調達しようとする企業が多いように思います。文化の違いもあって、海外の企業は共同で何かをすることには慣れていることもあるのでしょう。

国内外、どちらにも一長一短ありますが、自分にない部分を他社（他者）のものと一緒に合わせて良い成果や新しい価値を生み出せるのであれば、共同研究することはとても重要であると思うのです。

私もかつては共同研究するのにあまり前向きではありませんでした。変わるきっかけとなったのは、NTT先端技術総合研究所の寒川哲臣所長（当時の物性科学基礎研究所所長）からのアドバイスでした。先ほどお話しした電流標準に関するNPLとの共同研究について「所内だけではなく、ちゃんと形にするために外部と連携しなさい」と背中を押していただきました。これにならって私も後継の中堅・若手研究者の後押しをしています。共同研究は知的財産の問題やペーパーワークも多くて稼働が大きいのですが、そのスキルを伝える等して「必要であれば遠慮せずにごんごんやったらいい」と話しています。ただ、若い研究者にとってなるべくプレッシャーにならないように強く言わない、言いすぎないようにして、本人の選択肢の1つに私のアドバイスが加わるように心掛けています。



「切磋琢磨」と「転んでもただでは起きぬ」そして「深掘り」をモットーに

研究活動において大切にされてきたことを教えてください。

私は、基礎研究はすぐに役立つ、誰かの役に立つとはいえないが、例え逆風が吹いたとしても環境を整えつつ、新しい価値があるものを先人たちの成果のうえに積み上げていく仕事だと思っています。

これを踏まえて、今回何度か繰り返しお話しした「切磋琢磨」、それから「転んでもただでは起きぬ」と「深掘りと横掘り」をモットーに研究活動を続けています。

研究は失敗から学ぶことだと私は考えていて、たくさ



ん失敗してもそれを無駄にしないようにと心掛けてきました。若いとき、つくったデバイスが予想したとおりに動作しないことがありましたが、その原因を探っているうちに新しい現象が見つかったりしたことがありました。その際、先輩に「藤原君って転んでもただでは起きないよね」と言われたことが、とても嬉しかったのを覚えています。

それから研究は「深掘り」とよく表現されます。自分のテーマをどんどん深く掘り下げていくことは重要です。誰よりもそれについて詳しく理解しないと新しいアイデアは出てきません。これに対して、実は横掘り、周辺を耕すこともとても重要で、自分の手掛けている研究の位置付けを知ることにつながり、未知の分野と実は密接な関係が存在することも知ることができるからです。だからこそ、若い研究者には両方頑張ってくださいと日頃からよく話しています。深掘りだけだと独りよがりになりますし、横掘りだけだと深みのない研究になってしまいます。私も深掘りと横掘りをバランスよくやることと心掛けています。

最後に一流の研究者と交流するコツ等を若い研究者にアドバイスをいただけますか。

若い研究者の皆さんにとって、いきなりその分野の大御所を訪ねていくことは、かなり気おくれすることだと思います。ありきたりの話ではありますが、まずは顔を覚えてもらうことに努めましょう。国際会議で質問をしてみる、積極的に発表をすることは大事です。発表の機会を得たら、よく練習をして、「こんな若手がいたんだ」と思ってもらえるようにきちんと自己アピールしてほしいです。

どうしても大御所に質問することに気が引けるようでしたら、同世代の優秀な人に質問する等、声をかけやすい世代にアプローチすることです。その意味で、コーヒープレイクはとても貴重な勝負の場所です。実は、あのような場で研究に関するかなり重要な情報交換が行われていますから、疲れたからと1人ぼっちでコーヒを飲んだりしないで、発表で聞けなかった細かな話や苦勞の裏話を聞きましょ

う。一流の研究者は皆さんコーヒープレイクの場所で活発な情報交換をしています。

偉そうなことを言っている私もまだその輪に入っていないと思うこともあり、コンプレックスを持ちながらやっています。ネイティブどうしの会話に入っていけないときもあり、まだ途上にあると感じています。若い皆さんも遠慮せずに挑んでいきましょう。自分がよく分かっていないのではないかと、優秀でないとと思うと遠慮してしまうのですが、それは仕方のないことです。「よく理解できていないのですが、ちょっと話に入らせてもらってもいいですか」でよいと思うのです。虚勢を張らずにいくのがお勧めです。

■参考文献

(1) <https://www.ntt.co.jp/news2016/1607/160705a.html>

挑戦する 研究開発者たち CHALLENGERS



多田 将太

NTT東日本
ネットワーク事業推進本部 高度化推進部
クラウドサーバ技術部門 サーバ基盤技術担当
担当課長

その技術が何の役に 立ち、いかにビジネス に資するか、自らの能 力をも含めて積極的 に言語化しよう

NTT東日本は、地方創生を事業の大きな柱として、食・農、企業DX、スマートシティなど、さまざまな領域で取り組みを進めています。地域内の通信ビルで提供するコンピューティングリソースを地域のユーザでシェアするモデル、REIWAプロジェクトを掲げ地域社会の課題解決に臨む多田将太担当課長に、研究開発の概要や当該分野における研究開発者の姿勢について伺いました。



エッジコンピューティングの基盤が地方 創生、未来創造につながる

現在の研究開発の内容について教えてください。

NTT東日本は、「REIWAプロジェクト」を通して地域社会の課題解決に取り組んでいます。REIWAプロジェクトは、NTT東日本のさまざまなアセットを活用し、地域のエッジコンピューティングポイントを、ネットワークやクラウド含めて広域に接続された状態にすることでICT基盤を構築し、映像解析AI（人工知能）プラットフォーム、IoT（Internet of Things）プラットフォーム、地方創生

クラウド、データレイク等により、シェア型でさまざまな機能を提供しています（図1）。このICT環境を広くご利用いただくために、実証実験環境として、東京・北海道・仙台にスマートイノベーションラボを開設して、産学官一体となり、さまざまな分野で、新しいサービスやビジネスの創出に取り組んでいます。

このREIWAプロジェクトの1つとして、私は映像AI解析プラットフォームの商用開発を担当しています。カメラの映像をAIで分析する分野で、例えば、店舗の入り口にカメラを設置して、来店者の年齢や性別、手に取った消費や動線を分析して万引き防止に役立て、あるいは



そのデータをマーケティングに活用するものです。

映像AI解析プラットフォームを構成する代表的な技術は、コンテナベースの運用です。従来は開発したアプリケーションを商用サービスの環境に適用するには開発環境で手順書を作成し、それによって商用サービスの環境にアプリケーションを展開する手法が一般的でした。しかし、この手法ではアプリケーション更新のリードタイムが長くなることや、人的ミスによるトラブルのリスクがあります。特にこの分野では推論モデルやアプリケーションの更新頻度が高く、手順書による構築に代わるデプロイ手法の確立が必要となります。これらの課題を解決するため、開発環境と商用サービス環境の間のポータビリティを実現するコンテナ技術を採用しました。また、コンテナの管理には宣言型のコンテナオーケストレーションを採用することにより、更新したアプリケーションのテスト

トおよびデプロイ（アプリケーションのサーバへの展開）の自動化にも取り組んできました。

まずAIアプリケーションの開発者はクラウドなどの開発環境で作成したコンテナイメージをコンテナレジストリに置きます。次にコンテナオーケストレーションによるアプリケーションのマニフェスト（宣言）の変更をトリガとして、自動的にコンテナイメージをステージング環境（本番環境に条件を限りなく近づけた、本番環境と類似の検証環境）にデプロイし、テストが自動的に行われた後、テストOKであれば運用管理者の承認により商用サービスの本番環境へのデプロイを行います。これによりAIアプリケーションのような更新頻度の高いアプリケーションをスピーディに商用サービス環境へ配備できる仕組みを実現するのです（図2）。

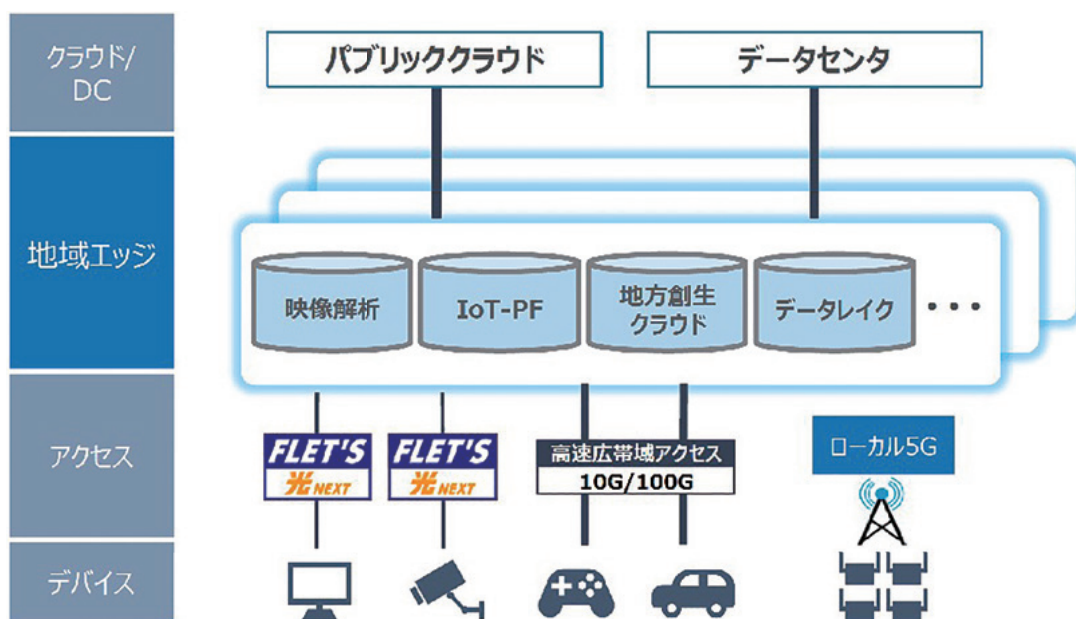


図1 地方創生を推進する仕組み



「最後どうなったら理想的か」、ゴールを自らに問う

研究開発において特に意識されているのはどのようなことですか。

私が手掛けているのは事業導入段階の研究開発ですが、社会の動向やトレンドから、市場やお客さまから何が求められているのかを常に意識しています。これは私の理解であり、正解はありませんが、基礎研究に比べて短いスパンである1、2年先を見越して、すでに実在しているニーズに対して技術的なアプローチによってどのように満たし、実現していくのかを追究するのが私の仕事、研究開発だと考えています。

これを遂行するために私は次の姿勢で臨んでいます。まず、1人で仕事をしているわけではありませんからさまざまな部署と連携を図ることです。例えば、社内であればビジネスサイドである、市場調査、ユーザとの接点等に関する部署と連携して情報収集することが大切です。

また、社外でいえば同じような社会課題に向き合っている企業等のエンジニアとつながることです。つながりの場としてはフォーラムやカンファレンス等のイベントがありますが、そこで直接情報収集するだけではなく、昨今ではインターネット検索やSNSで研究テーマに関することをフォローする等、生活の中に自然とインプットが組み込まれることが大事だと考えています。そしてそれ以上に、自分なりの考えやプロトタイプをアウトプットすることが重要であると考えています。アウトプットすることで初めて周囲からの反応があり、それがつながりを深めたり自身の成長にもなっていくのではないのでしょうか。

それから、私は課題やテーマを探するときには「最後はどうなったら理想的か」といったゴールを自らに問います。まずはビジョンを描いて、そこから逆算してすべきことや過不足を検証することを心掛けています。私が考える理想の最終形はステークホルダにとって「三方よし」の

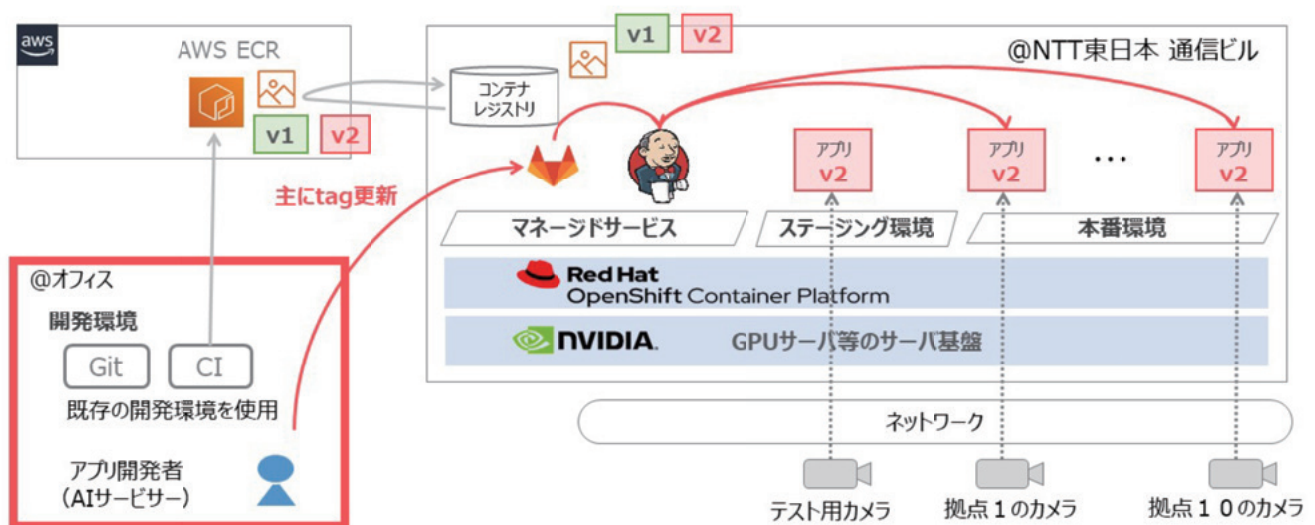


図2 NTT東日本における実現形態



状況を生み出せるかどうかということです。とかくトレードオフの関係になりがちな領域も双方にとって、最終的にはすべてにおいて「良い」姿を描きながら検討しています。この姿勢は研究開発のみならずプロダクトを運用する部門に引継いだ後、サービスを運用していただく段階も含めて貫いています。

最後に、自分で手を動かして試すこともとても大切にしています。他の方も同じかと思いますが、何かをすればするほど、知れば知るほど、知らないことも増えてきます。技術も同様で新しいものが次々と誕生しますから、仕事に必要、あるいは興味のある技術はまず手を動かしながら学んでいます。例えばオープンソースの公式ドキュメントは初見ではさっぱり分からないことが多いのですが、手元の環境でGitHubのサンプルコード等を試してみた後で改めてドキュメントを読み直してみると、「さっきより分かる！」ということがあります。こうした営みをいつも行っていると、初見で分からなくても心配することはなく、何度かやっているうちにきっと分かようになるだろうから大丈夫だという安心感につながると思います。

研究開発の仕事の魅力ややりがいを教えてください。

まず、何かを生み出していくことです。新たなビジネスを生み出すとき、研究開発者は技術的なアプローチで課題を解決し、システムを構築しそれをビジネスにつなげていきます。こうした営みは大きな魅力の1つといえます。もう1つは、知識や経験を積み上げていけることです。過去に手掛けた研究開発が別の取り組みで起用される、後になって役立つことがあるのです。これはとても嬉しいことです。

また、研究開発者は基礎研究と実用化の橋渡し役を担うときもあります。この役割は両者を客観的に眺められる立場なので、双方の気持ちがよく分かります。例えば、基礎研究側は自らの成果を商用化に役立たせたいと思いますし、

事業会社はこのビジネスに使える成果が欲しいと考えます。その両方のマインドを研究開発者の私たちは事業会社の立場から数年先を見越しつつ仕事をしています。だからこそ、基礎研究者との価値観やスキル、リソースの情報交換の場は大切だと考えていて、機会を増やしてより良い関係を築いていきたいと思っています。

私は入社してから同じような研究開発の仕事継続しています。数年で異動することが多いNTT東日本で、同じ部署で仕事をしている稀な存在である私だから知っている、この仕事の魅力を伝えていきたいと考えています。それから、これまでは自らが成果を上げていくことを考えて仕事をしていましたが、マネージャの職責を得て、今後はチーム内から世の中に通用する技術者や、それに魅力を感じる人を輩出していきたいと思っています。チームと一緒に育ち、他の部署や社外でも活躍していける人材を輩出していきたいのです。



チャレンジや期待値を経営層に発信する

現代の研究開発者に求められているスキルや姿勢を教えてください。

NTT東日本で研究開発者としての道を貫いている立場から、好きなことや楽しいと感じる技術を追究する仕事はやはり楽しい。それでいいと思っていたのですが、あるときこれだけではダメだと思う瞬間がありました。研究開発者は自分の追究している技術や分野が何の役に立ち、ビジネスに資するものか、自らの能力を含めて言語化し、きちんと発信して他者に理解していただくことに務める必要があるということに気がきました。

とかく研究開発者はエビデンス・ベースドで話すことに努め、責任の持てないことは話さないような傾向があると

思います。しかし、その一線を越えることがこれからの時代に求められているのかもしれませんが、できること・チャレンジすることを分けて伝えることが重要なのです。特に私たちのように新たにビジネス領域を拡大させていく分野においては、エンジニアでありつつも自らのチャレンジや期待値を的確に経営層へ発信していかなければいけないと思います。

もう1点は生み出した技術はそれを扱う企業の文化や組織、風土によっても評価は変わりますから、生み出された技術の価値を認めるのは誰かという視点を持つことです。例えば、私は過去にとある技術を商用化しました。技術的には便利であり世の中でも一定の普及はしていましたが、維持するためには高度な専門家を長期にわたって抱え続ける必要があり、結果的にNTT東日本には合わなかったと思っています。つまり技術の良し悪しというのは相対的なものであり、ある企業にとって良いものでも、別の企業にとっては合わないということがあります。技術の見極めにあたっては自分たちの文化・風土にフィットするかどうかという視点も今は持つようにしています。

さらに、ちょっとしたシステムの変更やパートナー企業からのご相談に迅速に対応する力も重要です。これは扱っている分野によっても異なると思いますが、DX（デジタルトランスフォーメーション）分野では新しい技術が次々誕生し、新しい企業も立ち上がっていますから、いち早く対応する力はこれからますます求められるようになってきます。私も60点でもよいから早く対応して、その後徐々に仕上げていくというアプローチで臨み、クイックレスポンスを心掛けています。

加えて、私たちはさまざまなパートナー企業とともに開発に臨んでいますから、自分がボトルネックになってしまわないように心掛けていますが、これが結果として早くサービスを提供して継続的に改善していくことにもつながって

いくと思います。

後進の研究開発者に一言お願いできますか。

毎年、私の職場には若手の社員が配属されます。私はDX人材の新卒採用にも携わっており学生と顔を合わせる機会も多いのですが、配属された新入社員、そして学生双方から「まず何を学んだらいいですか？」という質問をされることが非常に多いです。そんな彼らに私はいつも「コンピュータ・サイエンスの基礎」を学ぶことをお勧めしています。

コンピュータのアーキテクチャ、アルゴリズムは何十年も変わっていません。ネットワークがTCP/IPで動いていることもずっと変わっていません。今流行しているDX、AI、IoT、クラウド等を追うのも良いのですが、普遍的な基礎となる技術に着目してしっかりと身につけることが応用につながります。

基礎となる技術は若い人にとっておそらく地味にみえると思いますし、もしかしたら歳をとって経験を積んでこないと分からないことかもしれませんが、そんな地味なことが大事なんだと自らの経験を踏まえて伝えていきたいです。

明日のトップランナー



NTTアクセスサービスシステム研究所

キム サンヨブ 特別研究員

通信ネットワークの物理層機能を仮想化する 「超高速フルソフトウェアアクセスネットワーク」の研究

ネットワーク、サーバ、ストレージなど、さまざまな分野で進む仮想化。今回は、従来の技術では困難とされていた通信ネットワークの物理機能（高速伝送インタフェース）の仮想化について、キム サンヨブ特別研究員に伺いました。

◆PROFILE：2008年1月、日本電信電話株式会社入社。NTTアクセスサービスシステム研究所にて、超高速フルソフトウェアアクセスネットワークの研究に従事。2016年国際会議GLOBECOM優秀論文賞 (Selected Areas in Communications Access Networks and Systems Track)受賞、2018年国際会議OECC サブコミティメンバー、2020年～2022年国際会議OFC サブコミティメンバー。



専用ハードウェアに縛られず、柔軟なサービスの提供をめざす

◆「超高速フルソフトウェアアクセスネットワーク」の研究とはどのようなものなのでしょうか。

現在の光アクセス回線では、通信速度、遅延時間、セキュリティ条件などの要求条件がそれぞれ異なるユーザ端末に向けてサービスを提供することが求められています。さらにサービスの高度化・複雑化に伴い、通信トラフィックも急激に増加しています。そこで、こうした要求条件に対応するため、各事業者はサービスの仕様に特化した専用のLSIやASIC (Application Specific Integrated Circuit：特定用途向けの集積回路) といった専用デバイスにより構成されるアクセス装置を使用してサービスを提供しています。

しかし、こうした専用デバイスによるハードウェア (専用ハードウェア) を使用することにはデメリットもあります。まず、専用ハードウェアの宿命として、いったん製造、導入されてしまうと、その後は機能を変更することはできません。そのため、サービス内容の追加・変更などに柔軟に対応することが困難となり、運用・保守の作業が煩雑になりがちです。

そこで、ネットワークを構成するすべての機器の機能をソフトウェア化し、それらをサーバ上で自在に組み合わせてサービスを提供する「ソフトウェア基盤ネットワーク」の実現が期待されています。新たなサービスが必要になった際にもハードウェアの変更は必要なく、常に最新の機能を利用できるため、セキュリティ上の危機にも迅速に対応することができます。「ソフトウェア基

盤ネットワーク」が実現すれば、次世代のモバイル端末向けサービスやエッジコンピューティング、IoT (Internet of Things) など、さまざまなサービスに対応可能となるでしょう。

その実現のため、私はこれまでソフトウェア化が困難とされてきた通信ネットワークの物理層機能をソフトウェア化することに着目し、これまでOLT (Optical Line Terminal：光加入者線終端装置) などのハードウェアが担ってきた光アクセス装置で下位レイヤ処理を行う物理層、言い換えれば伝送インタフェースのフルソフトウェア化の研究に従事しています。より専門的にいうならば、「デジタルコヒーレント変調・復調システム」のソフトウェア化に取り組んでいます。

これらの処理を汎用のサーバのCPUやGPUなどのプロセッサを使用して、プログラミング、コーディングなどの技術を活用して処理していこうと考えています (図1)。

◆ソフトウェア化への課題は何でしょうか。

「5G (第5世代移動通信システム)」に続く次世代のモバイル通信規格の「6G」、および将来のデータセンタ間での通信などを考慮すると、最終的には100 Gbit/sという圧倒的な速度が必要となるでしょう。しかし、汎用プロセッサを用いた高速化を考えると、半導体の製造プロセスの制約など、根源的な限界が存在しているため実現は困難といえます。

すでにフルソフトウェア化されたネットワークは存在しますが、その速度は現時点ではまだ100 Mbit/s程度にとどまっています。目標とする100 Gbit/sと比較するとわずか1000分の1、圧倒的な速度差ですね。そのため、本研究においてはCPU、コプロセッサ、GPU、FPGAなどといった汎用プロセッサに最適化された論理アルゴリズム、およびその実装方法の考案

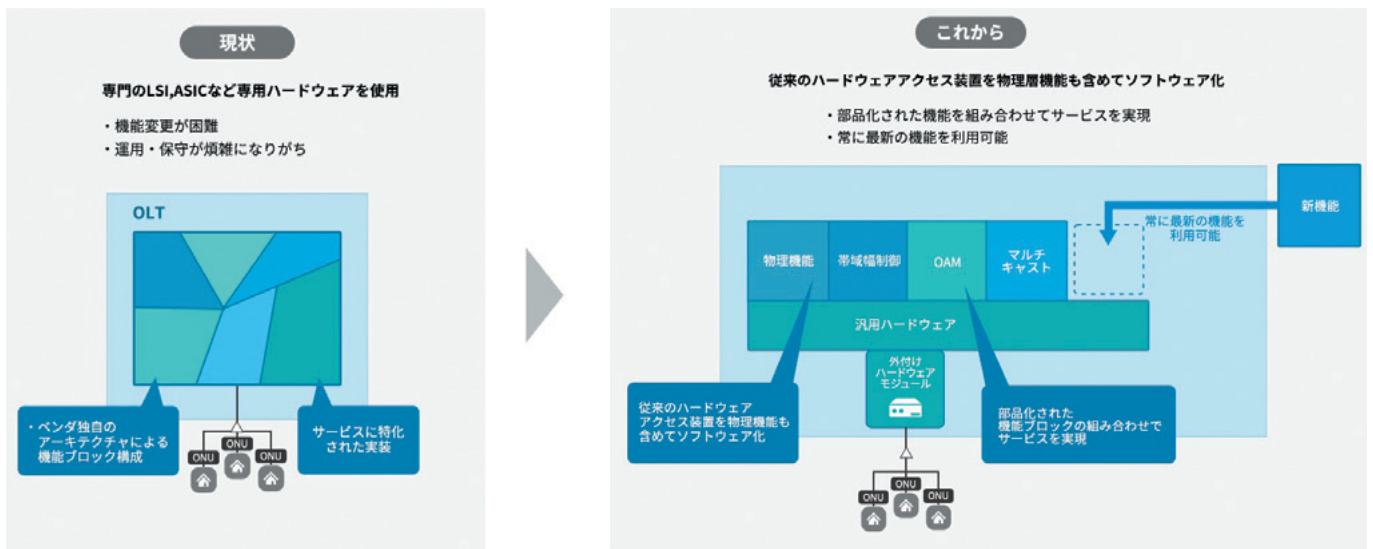


図1 「超高速フルソフトウェアアクセスネットワーク」の研究

に注力し、この課題を克服しようと試んでいます。将来の「ソフトウェア基盤ネットワーク」の実現を考慮すると、一番の課題は「高速化」といえるでしょう。

◆**現在までの進捗について教えてください。**

光通信分野の非常に権威のある国際会議としてOFC (Optical Fiber Communications Conference: 光ファイバ通信国際会議) がありますが、2018年に行ったDPSK (Differential Phase Shift Keying: 差動位相偏移変調・復調) を用いたソフトウェアコヒーレントプラットフォームの実証実験では世界初となる5 Gbit/sを実現し、トップスコア論文に採択されました。

また、今年度はさらに独自の搬送波位相同期アルゴリズムを用いて同じく世界初となる2018年の2倍の速度の10 Gbit/sを実現しました。この成果も同じく光通信分野の非常に権威のある国際会議であるECOC (European Conference on Optical Communication: 欧州光通信国際会議) において、論文を発表しました。

5 Gbit/sから10 Gbit/sへと通信速度が上昇した要因は、主に論理アルゴリズムの改良によるものです。ビットレート、つまり通信速度を上げると、当然単位時間当りの通信データ量は増加します。例えば5 Gbit/sを10 Gbit/sに上げると、単位時間当

りのデータ量は2倍になりますね。まずはその2倍になったデータをサーバに入力し、CPUやGPUなどのプロセッサで処理しなければいけません。データの処理に関してはすでに論理アルゴリズムが確立していますが、データが多くなるとリアルタイム処理が間に合わなくなってしまいます。そこで今までの論理アルゴリズムをCPU、GPUに最適化して高速化を図りました。目標とする100 Gbit/sを100%とすると、現在は目標の10%ほど達成できたといえるでしょうか (図2)。

将来的には「ソフトウェア基盤アクセスネットワーク」への発展をめざす

◆**本研究はどのような成果を生むのでしょうか。**

通信サービスはISDNからADSL、さらに光アクセス (FTTH) へと進化しました。通信速度も100 Mbit/s、1 Gbit/s、そして2020年には10 Gbit/sのサービスも登場しています。特にモバイルの分野では、議論の中心が5Gから6Gへと移行しつつあり、それらをサポートする基盤となるアクセス区間通信の果たす役割が大きくなっていると感じます。その部分に柔軟に適応し、サポートするような仕組みをつくるうえで、本研究は有益といえ

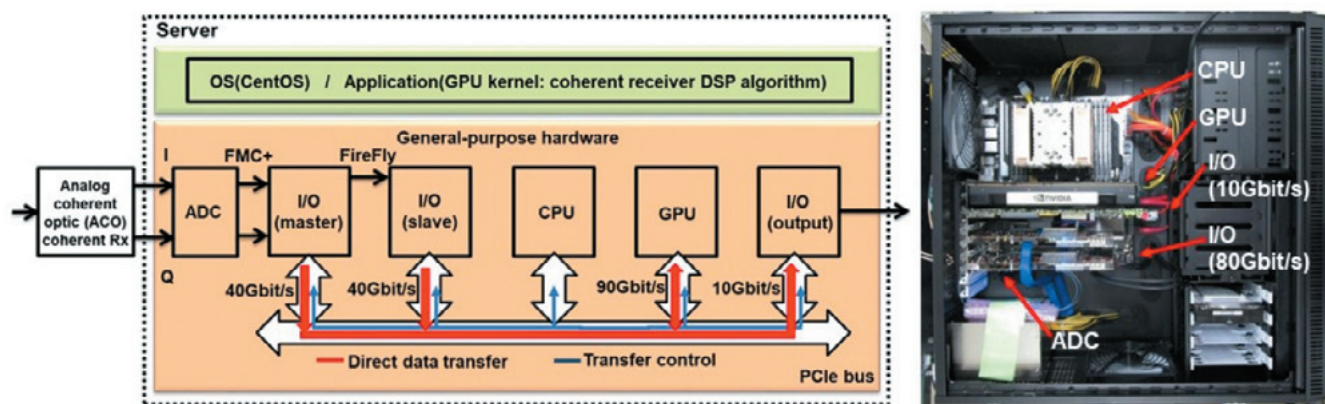


図2 10 Gbit/s ソフトウェアコヒーレントプラットフォーム

るでしょう。

また、超高速光有線通信や次世代モバイル通信など、将来のさまざまなサービス要件にも比較的安価な汎用ハードウェアで対応可能となり、光アクセスの多様性、柔軟性が飛躍的に拡張され、さらに機器の導入や運用・保守コストも低減できるのではないかと期待しています。実用化には未だ多くのハードルが存在しますが、将来的に社会実装が期待されているIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想にも寄与できるのではないのでしょうか。

◆今後の研究の展開について教えてください。

本研究はソフトウェアのアルゴリズムを最適化して高速化を図るというアプローチですが、「アルゴリズムを改良して高速化していく」というよりは、「高速化のために新たなアルゴリズムを創造する」という側面が強いです。新たなブレークスルーを実現し、目標とする100 Gbit/s以上の高速化をめざしたいです。さらに、今までソフトウェア化した物理層にアプリケーション層までを融合することで、異分野・業種の仲間たちを増やしていく新たなエコシステムを築きたいです。

◆本研究をさらに進展させるため、どのような取り組みが必要となるでしょうか。

関連分野における先進研究機関との戦略的な協力体制の構築を通じて、効果的に研究を進めていきたいと考えています。汎用のプロセッサは、当然ある機能に特化したプロセッサに比べて性能面では劣りますが、柔軟性の面などメリットはありますから、

それに合わせたアルゴリズムが必要となるでしょう。そういう点では、汎用プロセッサの知識をお持ちの方との協働は望ましいでしょう。

また、本研究はデジタルプログラミング技術にとどまらず、電気回路、サーバのハードウェアなどさまざまな知識が必要です。サーバのハードウェアの開発を手掛ける企業との戦略的協力体制の構築も想定しています。日本の企業はサーバ周りのハードウェアに関して長年にわたり非常に高い集中力を保ちながら開発を進めていると感じていますので、その分野において役に立ったうえで、加えて私の研究も加速させたいと考えています。例えば、データセンタ向けのハードウェアやソフトウェアなどのソリューションの開発を手掛ける事業者との協力が想定できます。また、ソフトウェア化した物理層にアプリケーションを融合して提供することも可能ですから、サービスの開発・提供を手掛ける事業者とのつながりも有益かもしれません。さらに、データ転送の高速化に伴ってサーバ内にも大量のデータを送り込む必要が生じますから、PCI (Peripheral Component Interconnect) などのインターフェースを高速化してサーバのメモリに転送する仕組み、いわゆるデータ転送に詳しい方とも協力体制を構築できればいいですね。

デジタル技術を活用した業務変革へのチャレンジ

現在、NTT東日本は電気通信事業の安定的かつ効率的な運営をめざし、さまざまな業務分野において自らのDX（デジタルトランスフォーメーション）を推進しています。設備系業務においては、「生産性2倍」を目標に掲げてフルデジタル化・データ活用等のDXに取り組み、さらに培ったノウハウや技術を活用することで地域活性化への貢献をめざしています。このDXを実現すべく、技術に特化した多様なDXチームを設立し、それぞれの技術スキルを高めるとともに各チームが連携することによって、業務の課題をコンサルし、技術とアイデアによる課題解決や業務変革にチャレンジしています。

設備業務のフルデジタル化

NTT東日本ネットワーク事業推進本部は現在、圧倒的な生産性向上をめざし、設備DX（デジタルトランスフォーメーション）に注力しています。

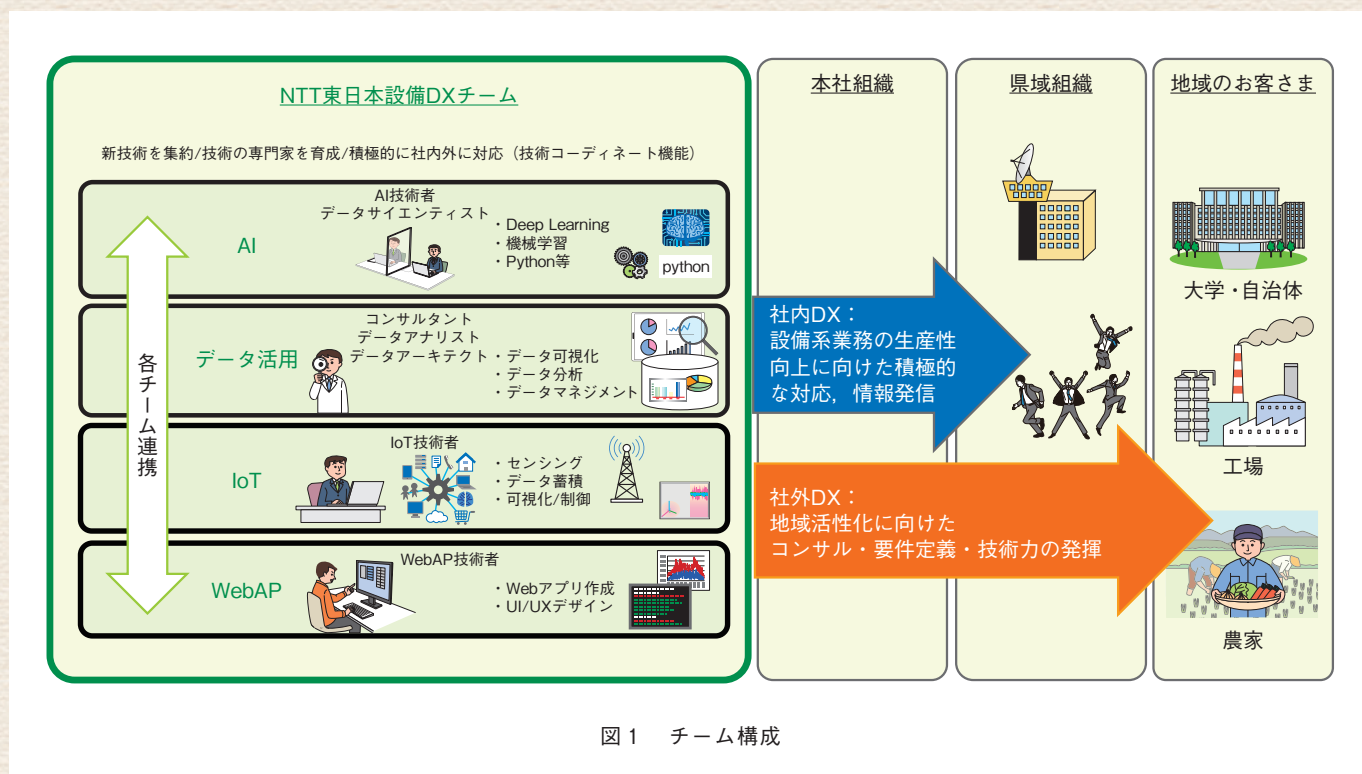
具体的には設備部の業務をフルデジタル化し、そこから得られたデータを徹底活用することで業務改革を推進しています。実際に人手のかかっている業務をDXでユーザセルフ化、オールフロースルー化し、人手のかからない業務へと進化させ、開通・コールセンタ・オンサイトはWeb受付によるユーザセルフ化、さらに後工程についてもオー

ルフロースルー化を進めることでさらなる生産性向上を志向しています。

昨今、変化の激しい時代の中で、お客さまから寄せられる要望は多様化してきています。こうしたお客さまの要望にこたえるためにも、当社自身の技術を高め、地域活性化への貢献をめざしています。

DXチームの設立と融合

NTT東日本ネットワーク事業推進本部では、業務改革の実現をめざし、DXを支える技術に特化した多様なDX



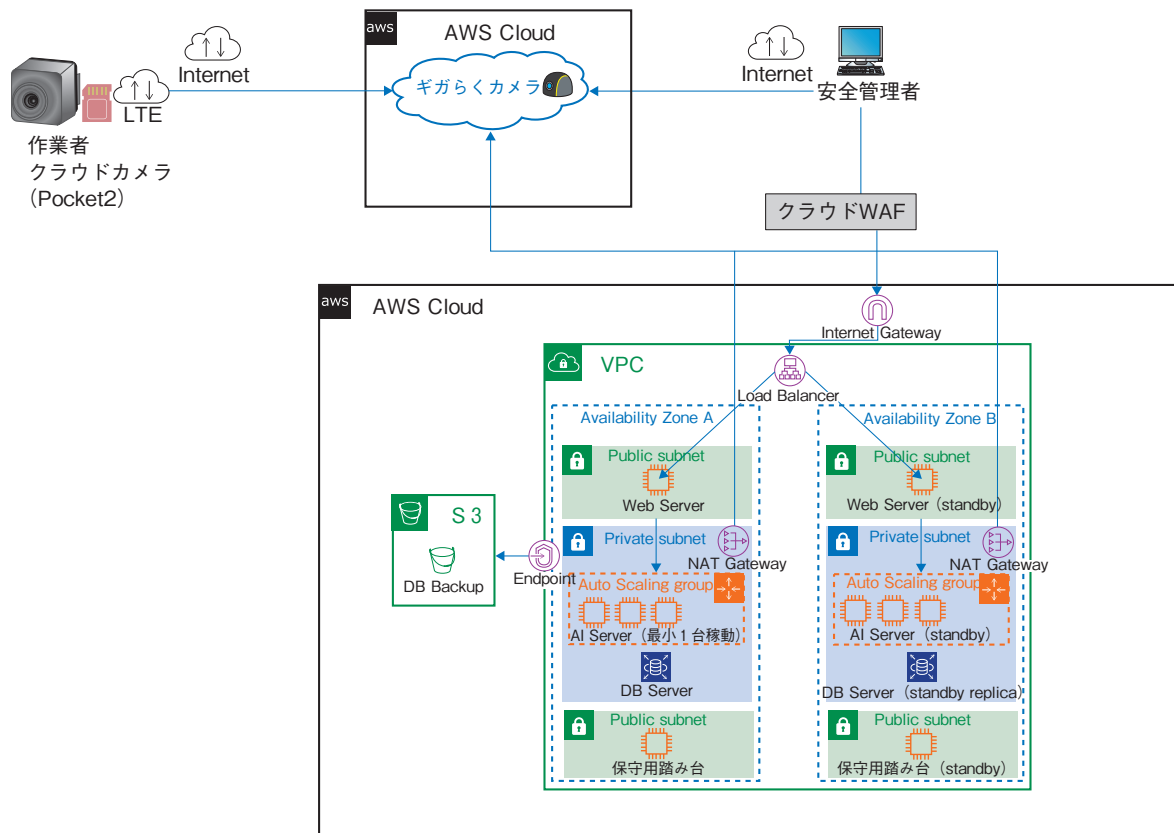


図2 AIカメラ×ネットワークカメラ

チームを設立しています。今までは、複数の組織に分かれていた各技術部隊を集約し、DXを実現するためのデータや技術、知識を一元的に蓄積することで、それぞれの技術を高めるとともに、設備系全体のDX人材育成にも取り組んでいます。また、各チームが連携することによって、業務の課題や困りごとをコンサルし要件を整理しながら、技術とアイデアによる課題解決や業務変革にチャレンジしています（図1）。

DXチームの取り組み

■ AI

AI（人工知能）チームでは、画像内の物体検知や異常検知、自然言語、音声認識、予測等の多岐にわたる分野に取り組んでいます。今回はその1つである物体検知の技術を適用した危険作業検知システムについて紹介します。

NTT東日本における工事では、電柱や鉄塔等の高所作業も多く、作業従事者は危険と隣り合わせです。そのため、

作業従事者だけでなく、後方支援をするメンバも現場に同行し、一体となった安全管理を行うことが必要でした。しかし、現地に直接行く安全パトロール等での安全管理に稼働がかかるという課題がありました。そこで取り組んだのが、ネットワークカメラとAIの導入による安全サポートの実現です。まずネットワークカメラを導入することで遠隔からリアルタイムでの見守り・業務支援が可能となりました。そして、ネットワークカメラにより見守るタイミングを見逃さないために、AIが各ネットワークカメラの映像をリアルタイムに解析し、遠隔サポートが危険な作業時のみサポートし、見守り稼働を削減しています。

ネットワークカメラは、市販のギガらくカメラサービスを採用し、リアルタイム見守りとともに振り返りの動画確認も可能としています。AIはギガらくカメラとAPI（Application Programming Interface）連携してネットワークカメラの画像を取得し、物体検知AIにより工事現場における人や電柱やバケット車等を検出し、その位置から総合的に危険な作業中であるかを判断しています。

AIの推論は計算量が多く、サーバの運用コストが高くなる傾向があります。そこで、AIモデルの量子化とGPU (Graphics Processing Unit) による推論処理の最適化を検討しました。量子化とは、より小さいビット数で表現することで、モデルの軽量化を図る手法です。また、NVIDIA TensorRTフレームワークを採用することで、GPUを効率的に利用しAI推論の高速化を実現しました。

AIはAWS (Amazon Web Services) のクラウドで動作しており、カメラ台数に応じて稼働中のAIサーバ台数を自動調整するオートスケーリングによりコスト削減を図っています。今後はさらなる利便性向上のため、現場からのフィードバックを基にAIの機能拡充やデータ収集・AIの再学習・評価による検出精度向上に引き続き取り組んでいきます (図2)。

■データ活用

データ活用チームはビジネス課題を設定し解決へと導くため、コンサルティングや蓄積されたデータの可視化・活用などデータサイエンスに取り組んでいます。今回はその1つであるAI Caféについて紹介します。

AI Café「AZLM CONNECTED CAFE 渋谷地下街店」は地方の生産者と都市の消費者を結ぶ新たな商流開拓をめざし、コネクテッドコマース株式会社とタイアップし2021年7月1日にオープンしました。お客さまの要望の実現に

向けディスカッションを重ねた結果、顧客行動の分析に使用される相関分析やファネル分析手法に加え、さらに2つの分析の提案に至りました。

1つは購買+映像データの分析です。購買データは来店客が購入した商品の情報に加え、あらかじめサイトに登録した年齢・性別・居住地の会員データも利用します。この分析にはこれまで社内のスマートストア (無人店舗) で培ったマーケティング分析 (デシル・RFM等) 技術を活用しています。映像データからは、入店からの動線やどの商品の前で立ち止まったか等の来店客の店舗内行動データを取得しています。購買データと組み合わせることで、店舗内のエリアや商品にどの属性の顧客が興味を持ったか (滞在したか) という観点で売上の分析が可能です。

次に、特徴的な分析が購買+音声データの分析です。ビデオ会議システムを利用して取得した音声と購買データを組み合わせた分析で、故障受付コールセンターで私たちが磨き上げてきたAI技術 (音声認識、自然言語処理) を活用しています。この技術を来店客の傾向分析に応用するのは初の試みであり、市中でも例のないチャレンジングな取り組みです。

遠隔販売員と来店客の会話の音声を話者ごとにテキスト化した後、自然言語処理や感情識別の技術により、頻出ワードや感情分析、どのキーワードに反応したかなど会話なら

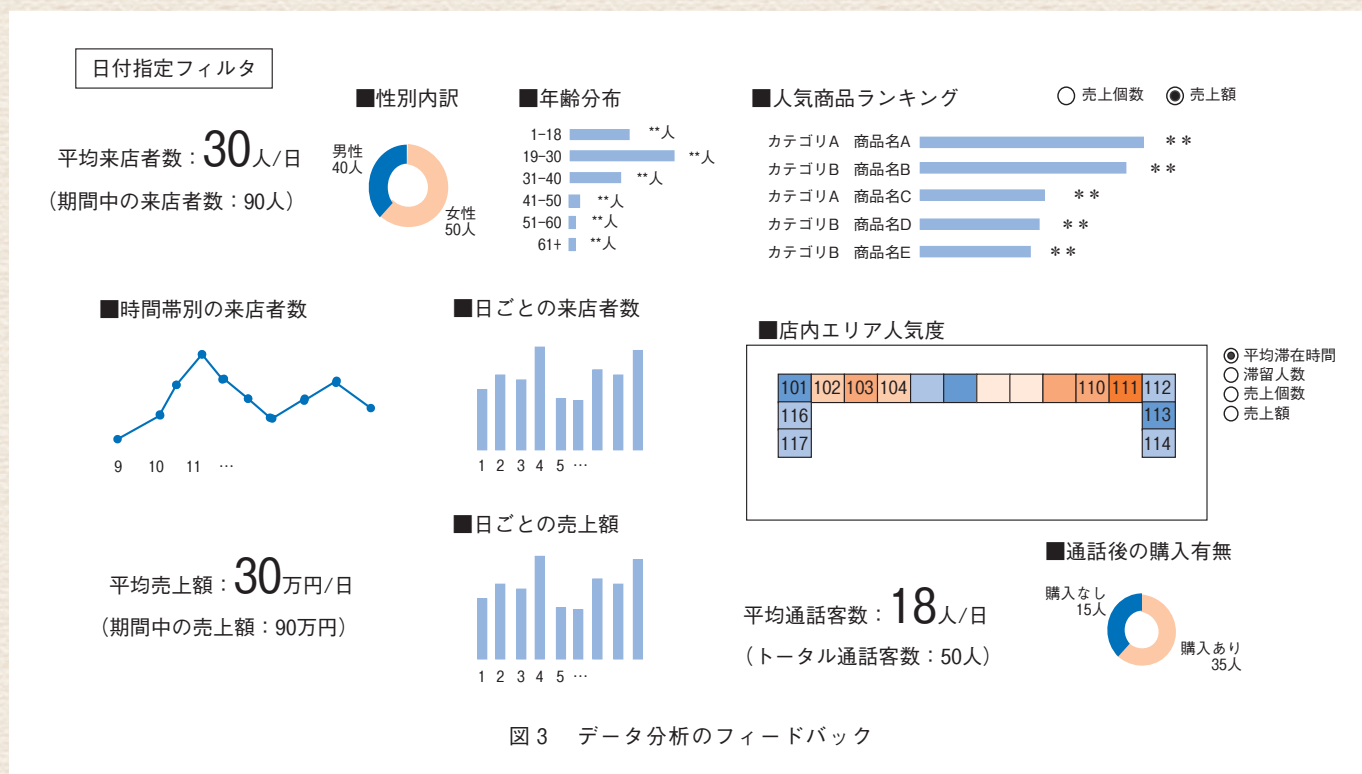


図3 データ分析のフィードバック

ではの情報を抽出します。購買データと組み合わせ、商品が購入に至った場合の特徴や傾向を可視化しています。どのデータも個人を特定できるデータは保持せず、匿名化しています。分析結果はダッシュボードにて動的に出品者や店舗運営者が参照・分析できる仕組みです（図3）。

今後は、分析手法についてさらなる情報収集・評価・スキル向上によりデータ分析精度を高め、商品開発や販売戦略の立案に活用するためのさらなる有益なフィードバックをしていきます。

■ IoT

IoT（Internet of Things）チームでは多種多様なデバイスを統合的にサーバ上で扱い、可視化や分析可能なシステムの開発に取り組んでいます。今回は、その1つである通信ビルのスマート化を紹介します。

NTT東日本では、東日本エリアに約3000の通信ビルを所有しており、各通信ビルに設置した通信設備により広域にわたり通信サービスを提供しています。通信ビルのうち無人ビル（保守作業員が常駐していないビル）が大部分を占めているため、設備保全業務のたびに、また台風などの自然災害が発生した際は設備への影響を確認するために、被災エリアすべての無人ビルへ作業員を派遣し設備の点検を行っており、大きな負担となっていました。このような課題を踏まえ、遠隔地から無人ビルの状況をIoTデバイス

により把握し、設備の状況確認や点検の優先度を判断する取り組みを2018年9月から開始しました。2020年度には導入拠点を東日本エリア全体で約650ビルにまで拡大し、現在はさらなる機能追加に向けて開発を進めています。

通信ビルに配備したIoTデバイスからの情報の可視化を実現するシステムはすべて内製で作成しています（図4）。

IoTデバイスは多種多様な製品が市場に存在しますが、選定時の条件として、センサが送信するデータのフォーマットが開示されていることを特に注視しました。本システムではセンサとサーバの中継器となるIoTゲートウェイにてセンサデータの加工処理を行うシステム構成にしており、ゲートウェイ内でデータ仕様に合わせて加工作業を行うプログラムを開発しました。この構成でのシステム開発を行ったことで汎用的にデバイス接続が可能になり、さまざまな要望へ対応可能なシステムを実現しました。

現在は主に制御系デバイスの追加に向けた検証を行っており、さらなる機能追加を予定しています。また、IoTデバイスによって収集したデータを解析し、故障の予知や監視自動化による、さらなる品質向上および業務効率化をめざします。

■ Webアプリケーション（WebAP）

WebAPチームは、NTT東日本の豊富なクラウド運用の実績を基に、マルチクラウド（Azure・AWS等）を使って、

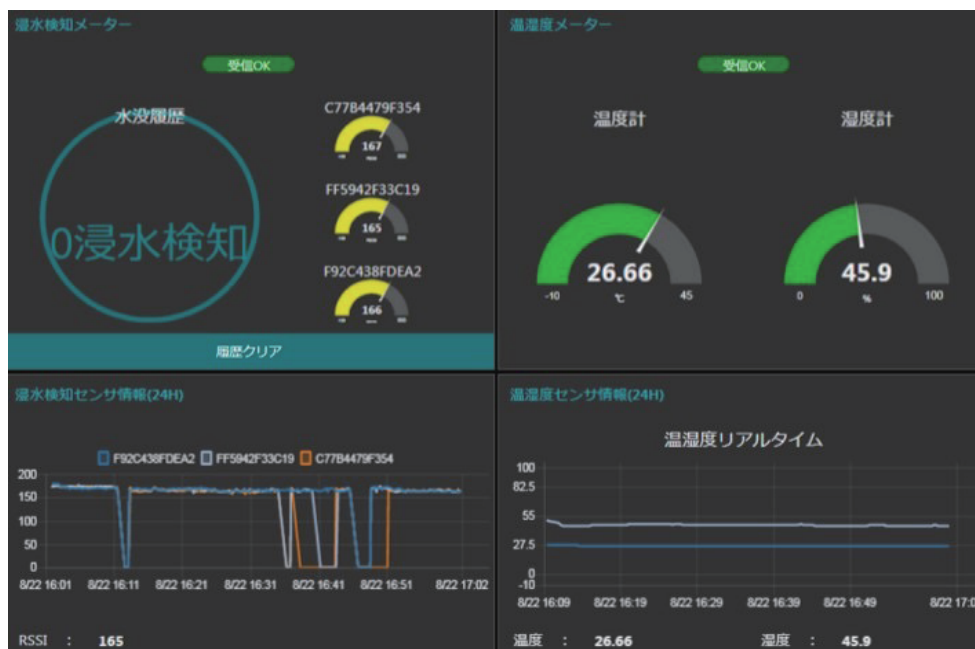


図4 IoTデバイスからの情報

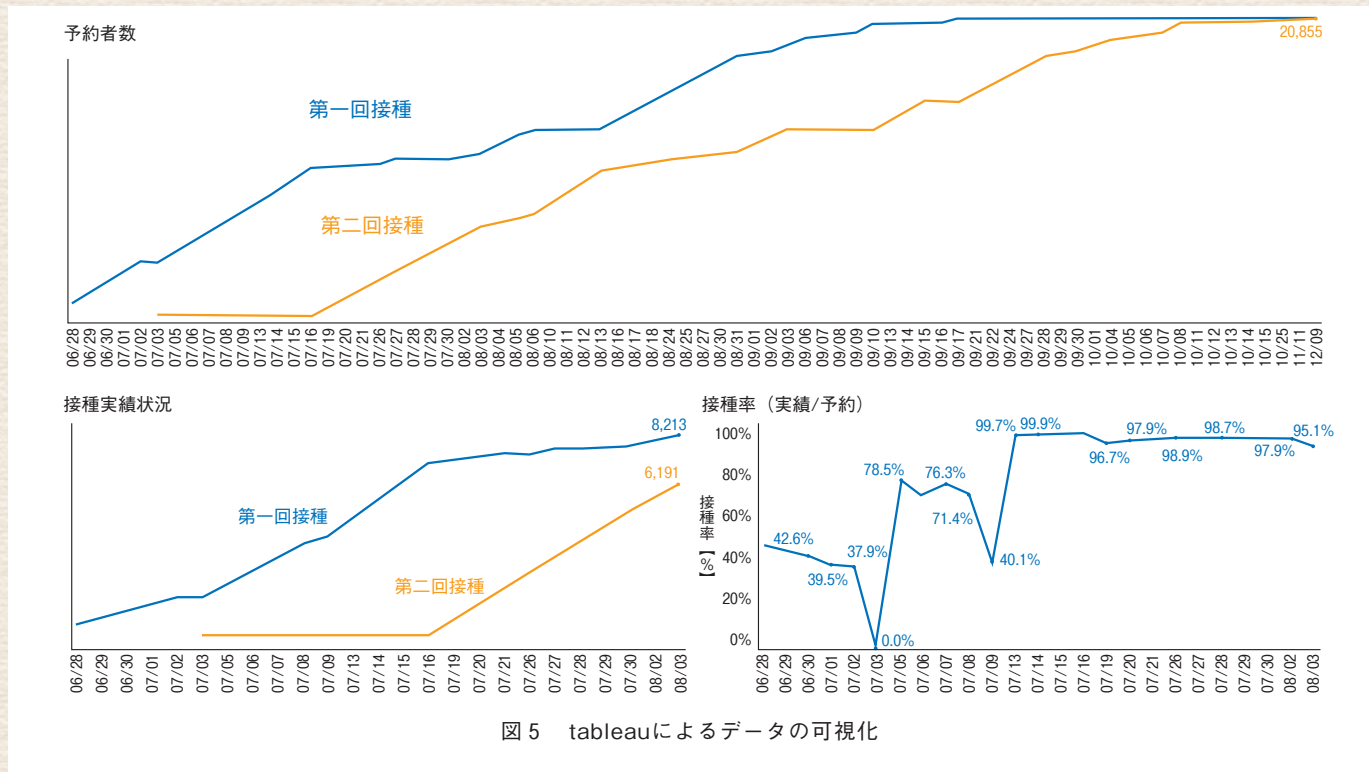


図5 tableauによるデータの可視化

WebAPを短期間で開発しています。今回は、その中の1つである新型コロナワクチンの職域接種における予約管理アプリの開発について紹介します。

NTT東日本では、2021年6月から新型コロナワクチンの職域接種を開始することになりました。ワクチン接種対象者は約4万人に上り、接種者の管理はミスが許されない作業であることから、予約管理を行うWebAPの開発に取り組みました。開発したアプリの利用者は、ワクチン接種対象者と病院スタッフです。ワクチン接種対象者は、アプリ上で接種日の予約と必要書類のダウンロードを行うことができます。病院スタッフは、ワクチン接種のスケジュール管理や接種記録（副反応の有無等）を管理することができます。本アプリは、要件定義から実装、運用開始まで3週間で開発しました。予約受付が開始されると、ワクチン接種対象者が、集中してアクセスすることが想定されます。そこで、ワクチン接種対象者向けのサイトと病院スタッフ向けのサイトを独立させることで、病院スタッフの利用を滞りなく行えるように工夫しました。また、テスト自動化ツールを使って、数千人規模の一斉アクセスに耐えるサーバ設計をすることで、実運用に耐えることができました。

さらに病院スタッフ等の管理者向けに本アプリで登録されたデータを、Tableauを用いて、予約者数・接種率・副反応の状況などを時系列にグラフ化しリアルタイムでの

状況把握を実現し、付加価値を創出しました（図5）。

今後の展望

今後、DXチームを中心に新たな技術にチャレンジし各組織を巻き込みながらNTT東日本の設備全体の技術力をさらに高めていきます。また、培った技術はお客さまの困りごと解決に活用していくことで、地域活性化に貢献することをめざしていきます。



（左から）天岡 駿介 (PMO)/ 岩崎 航 (PMO)/ 柴田 高志 (AI)/ 新谷 麻衣 (データ活用)/ 春山 莉花 (IoT)/ 宮崎 淳 (WebAP)

◆問い合わせ先

NTT東日本
 ネットワーク事業推進本部
 設備企画部ビジネスデザイン部門/高度化推進部デジタル技術部門
 E-mail nw-dx-co-all-gm@east.ntt.co.jp



世界No. 1の音響信号処理技術で、ビジネスをグローバル展開

NTTソノリティは、NTT研究所において培われてきた音響信号処理技術を活用した音響関連事業を行う、ベンチャー企業だ。会社設立に至る経緯から、ベンチャー企業としてグローバル展開をめざす思いを、創業者である、小林和則社長、福井勝宏イノベーション部長、牧瀬哲朗パートナーアライアンス部長に伺った。



NTTソノリティ 創業メンバー
（左から）牧瀬哲朗パートナーアライアンス部長、小林和則社長、福井勝宏イノベーション部長

アメリカンスタイルのベンチャー企業

◆珍しいかたちのベンチャー企業ですね。設立の経緯について教えてください。

NTTの研究所では音声、音響の研究開発が研究所の創成期のころから長年行われてきており、世界No. 1という技術をたくさん持っています。この分野の研究は電話の音声に端を発してきたこともあり、多くの世界No. 1の技術は情報通信においてはメインではなく、どちらかというと裏方的に活用されてきました。しかし、私たちは世界No. 1の技術ならば情報通信の分野にとどまることなく、もっと表舞台に登場してもいいのではないかの思いを持って研究開発を進めてきました。

こうした中、「パーソナル音響」に興味を示していたお客さまとの会話をきっかけに、2014年ごろからこの研究開発を本格化してきましたが、その時点ではお客さまの考えと研究成果が合致するところまでは至りませんでした。その後試行錯誤を繰り返す中で、2020年になり今回のメインの技術である「パーソナライズドサウンドゾーン（PSZ）技術」が形あるものとなってくるとともに、それまでディスカッションを重ねてきた外部の方々の反応も良かったこともあり、新たに会社を立ち上げてPSZ技術を世の中に出していきたい、との思いが強くなりました。

会社を立ち上げるには資金調達が必要となるのですが、

研究所の成果でもあり、NTTに出資を求めることとしました。いくつかのパートナー候補との間でPSZ技術の展開について話をしていたのですが、市場調査をしているわけではなく、ICTとは直接関係のない分野であったこともあり、出資に向けた理解を得るための苦労が続きました。こうした中で、NTT R&D フォーラムにおけるデモ等が各方面で好評を博し、さらに、PSZ技術はシンプルで最小のハードウェア構成であるにもかかわらず、国際特許調査にかけても世界でこれに類する特許や事例はなく、特許が取れるということが判明したことで、このビジネスチャンスを活かそうと一気に話が進みました。

そして、「聴きたい音」のみを届け、「聴かれない音、聴きたくない音」を届けないようにするといった究極のプライベートな音響空間の提供をめざし、NTT研究所の先進技術の活用により、これまでになかった音響製品やサービスの提供を行う事業を目的として、2021年9月1日にNTTソノリティが設立されました。

◆研究者が創業者となりましたが、どのような特徴の会社なのでしょう。

一般的にベンチャー企業の場合は、スモールスタートで事業を始め、少しずつ大きくしていく、もしうまくいきそうもなければ事業終了というパターンが多いと思います。しかし、PSZ技術は世界的な特許になるほどの良い技術であり、各方面から期待も大きいため、他社の追随を許さず一気にスタートダッシュをかけることができるよう、資金面の支援をいただきました。こうした支援

先進的な音響技術・画期的なアイデアにより “快適な音響空間”を作りライフスタイルに変革を起こす

真っ白な心で真実に向きあう「探求心」
～我々は研究者であり続ける～

ゼロからイチを生み出す「ひらめき」
～新しい画期的な発明を次々と創出する～

研究開発から事業化へ、日本から世界への「架け橋」 ～研究成果で世の中に変革を起こす～

図1 NTTソノリティのパーパス

を背景に、プロモーションにしても、製品開発にしても、とにかくスピード感重視で対応し、パートナーとのディスカッション等においてもフットワーク軽く臨んでいます。

これを実践してグローバルで活躍していくために、技術ばかりではなく営業も含めてプロフェッショナルなスタッフによるジョブ型の雇用、ジョブと成果に連動した完全年俸制、フレックスタイム、リモートワーク活用のロケーションフリーな勤務、といった体系を採っており、ジョブに対応した組織はあるものの、年功や役職は意識しないフラットな体制で、技術と営業がチームを組んでディスカッションしながら活動しています。社員のほとんどは、失敗を恐れず新しい事業へのチャレンジングな志とスキルを持った人を中途採用しています。まさに米国のベンチャー企業と同じような環境です。

とはいえ、社員全員が同じ夢、目的に向かって進んでいくことがベンチャー企業としては重要なので、図1のような「NTTソノリティのパーパス」を掲げて事業に取り組んでいます。

音を閉じ込めることで広がる プライベートな音響空間

◆PSZ技術とはどのような技術なのでしょう。

スピーカから出てくる音の波形と、プラスマイナスが反転した波形（逆位相）の音を重ねると、それぞれの波形が打ち消しあって（干渉）スピーカからの音が消えます。複数のスピーカを並べてこの原理を応用することで、ある特定の方向のみに音を出すことができます（音の指向性）。スピーカの数が多いほど指向性が強まりますが、設置スペースや重量の問題が出てきます。また、スピーカの裏側からは逆位相の音が出ており、これが前面に回り込んでくると干渉が発生するので、この回り込みを防ぐために、通常スピーカはスピーカボックスに組み込まれています。

PSZ技術は、通常は活用されないスピーカの背面から出ている音を積極的に活用するという逆転の発想で、

～これまでにない快適な音響空間の提供による新たなライフスタイル創造事業～

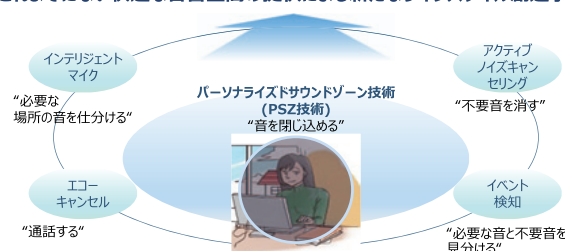


図2 NTTソノリティの音響信号処理技術

ハードウェアに対しての工夫を加えた点が特徴です。このハードウェアの工夫に加え、2つのスピーカを用いたソフトウェアによる干渉制御により、耳の付近に高音質な音を閉じ込め、360°どの方向に対しても音を漏れないようにすることを実現しています。ヘッドホンやイヤホンのように耳を塞がないため、周囲の音を聞くこともできます。例えば、飛行機のシートにPSZ技術を適用すれば、音楽やビデオを楽しみながら、客室乗務員に飲食物のオーダー等の会話ができます。もちろん周囲への音漏れもありません。

さらにPSZ技術に加えて、インテリジェントマイク技術、アクティブノイズキャンセリング技術など、世界的に競争力の高い音響技術を組み合わせることで、ビジネスやプライベートなどさまざまなシーンにおいて快適な音響空間を実現する製品やサービスの提供が可能となります（図2）。

◆事業概要を教えてください。

PSZ技術の応用分野ごとに、航空機シート向け音響事業、自動車シート向け音響事業、オフィスチェア向け音響事業、教育、医療等向け音響事業等のパートナーとの連携や、音響技術の研究開発、技術提供および実験等の受託業務を行う「パートナーアライアンス（B向け）事業」とポータブルスピーカ、ウェアラブルデバイス（イヤホン、ネックスピーカ）、ヘッドセット等の国内・海外販売事業を行う「コンシューマ（C向け）事業」の2形態で事業を行っています。

B向け事業は、海外展開を意識して、海外でのフットプリントや商流を持っている企業を中心にパートナー選びをしています。自動車系はトヨタグループ、航空系はANAグループ、オフィス什器系ではオカムラ等、海外でビジネスを展開している企業の製品やサービスにPSZ技術を取り入れていただくことで国内ばかりではなく、海外にも展開していくつもりです。

C向けは、グローバルに対してはチャレンジングな取り組みだと思っています。北米がファーストターゲットだと考えており、そのために北米においてヒット商品をつくらないといけません。それを日本のメンバだけで考えても日本的なライフスタイル前提の製品やプ

ロケーションになってしまうので、北米のセンスが分かる人を仲間に入れて、北米のコンシューマに響くような製品開発、プロモーションを行っていくのが一番のポイントだと考えています。さすがに1回でヒット商品が出るとは思っていないので、反応を見ながら変化させていくつもりでいます。そして、商流をつくるためには、物流も含めて検討していくことが課題と考えています。

強い信念から生まれる 新たな産業

◆今後の展望についてお聞かせください。

会社設立から間もないところであり、事業を軌道に乗せて拡大していくことが当面注力すべきところです。

さて、デジタル化の進展に伴い日本の音響関連の業界が衰退してきましたが、音響そのものはアナログの世界です。そこには良い技術があり、優秀なエンジニアもいます。この音響技術は、当社のパートナーである、航空業界、自動車業界、事務機器業界をはじめ、あらゆる分野において活用が期待できます。こうした技術からその応用までのあらゆる分野の産（官）学連携により、日本発の技術をグローバル展開し、日本の産業振興を図ることができるのではないかと思います。同時に、欧米に比べて低い日本の技術者のステータスや待遇の向上を図ることもできるのではないかと思います。そのためにも、何としても当社の取り組みを成功させたいのです。

◆技術系ベンチャーとして、後進の研究者、技術者にメッセージをお願いします。

起業に至るプロセスの中で実感したことなのですが、自分のやりたいことに対して信念を通してほしいと思います。新しいことを始めようとする、どうしても風当たりの強い場面もありますが、理解者、賛同者は必ずいます。そういった人たちを仲間にして前に進んでいく。そして、外に出て外の人たちと交流していく中で良いアイデアが生まれ、さらに仲間が増える、といった良い循環をつくることができます。その出発点となるのが信念で、自分に信念がなければ一歩も前に進むことができません。NTTソノリティは、こうした信念を持った人が集まり、その信念が良い化学反応を起こして最初の一歩を踏み出すことができた、まさにこの良い循環を体現してきた場なのです。

そして、この信念を後押ししてくれるのが、社会の評価です。客観的に自己評価し、自身の価値向上をめざしていく中で社会的な評価を得ることができます。社会的評価を得ることができれば、信念をより強固なものとすることができ、自ら道を切り拓いていくことができると思います。

NTT ソノリティ ア・ラ・カルト

■キャンプ場がオフィスに

フレックスタイムでロケーションフリーなので、旅行先でリモートワークを行うワーケーションを満喫している人もいます。悩みはお金がかかること、イノベーションのちょっとしたアイデア出しのディスカッションがリアルにできないことだそうです。それならばと、メンバを集めてキャンプ場でワーケーションをしようと計画中とのこと。キャンプならばお金もかからず、メンバでそろってキャンプして釣りをし、薪をくべながらディスカッションすれば絶対に良いアイデア浮かぶと、気持ちはすでにキャンプ場にあるようです。

■グローバルな飲コミュニケーション

どんなに些細な思い付きやひらめきでもとりあえず口に出して、それぞれの思いのままディスカッションするには、居酒屋の雰囲気が高いのだとか。まさに飲コミュニケーションです。枝豆をつまみながらのディスカッションで、口が回る分だけ議論がはかどるそうです。海外のパートナーとの仕事の後も、現地のレストランを紹介してもらい、そこで飲コミュニケーション。周囲には理解できない（であろう）日本語で議論も進み、そこで生まれたアイデアが具現化されたものも数々あるそうです。今はコロナ禍で飲コミュニケーションもなかなかできずに残念ではありますが、飲コミュニケーションに代わるアイデアは出てきているのでしょうか。

NTT技術ジャーナル

2021 年

総目次

Vol.33 No.1 ~ No.12

毎年 12 月号の巻末に、その年の総目次を掲載しています。ご活用いただければ幸いです。

〈編集部〉

■トピックインタビュー■

Yes we can!! 世界はもっと良くできる 心の経営で未来を切り拓こう!!	澁谷 直樹 NTT代表取締役副社長	2	4
技術の進化とサイバー・フィジカル融合でWellbeing Societyを実現 ポジティブシンキングで変革・挑戦・実行を回そう	谷 直樹 NTTドコモ 常務執行役員 (CTO) R&Dイノベーション本部長	3	4
Re-Design by Digital——デジタルによる社会の再構築 多様性時代における価値観とフィロソフィの共有	藤原 遠 NTTデータ 代表取締役副社長執行役員	4	4
戦略や戦術は情熱の上にある データ活用で健康経営を促進し、医療分野の社会課題を解決する	是川 幸士 NTTライフサイエンス 新医療リアルワールドデータ研究機構 代表取締役社長	5	4
「つなぐ使命」を遂行する IOWN構想を軸にNTTTの研究開発を伝承し、第一線を光り輝かせよう	田辺 博 NTT東日本 代表取締役副社長 デジタル革新本部長	6	4
研究者の多様な個性を最大限に活かして、豊かなコミュニケーション環境を創造する	寒川 哲田 NTT先端技術総合研究所 所長	7	4
技術目線、社会目線、そしてひらめきを鍛えよ	立元 慎也 NTT情報ネットワーク総合研究所 所長	8	4
立場は違えど「何を実現したいか」は同じ、研究と事業の間に立って両方の領域をカバーする存在として機能したい	塚野 英博 NTT IOWN総合イノベーションセンタ センタ長	9	4
利他的であれ！リターンは結果が答えてくれる	大野 友義 NTTサービスイノベーション総合研究所 所長	10	4
めざすは率先垂範 立場や職種にかかわらず「真理を追究」する	小澤 英昭 NTT Research, Inc. COO/CTO	11	4
一期一会、「おかげさま」の積み重ねが仕事や人脈につながり、世界を広げる	高間 徹 NTTアノードエナジー 代表取締役社長	12	4

■特集■

●NTT R&Dフォーラム2020 Connect 基調講演

Road to IOWN	澤田 純 NTT代表取締役社長	1	4
Into the IOWN 限界打破のイノベーション	川添 雄彦 NTT常務執行役員 研究企画部門長	1	16

●NTT R&Dフォーラム2020 Connect 特別セッション

ポストコロナに向けたスポーツ&ライブエンターテインメントの再創造	木下 真吾	1	29
宇宙世紀に向けた、NTT宇宙環境エネルギー研究所の挑戦	前田 裕二	1	32

●現実空間とサイバー空間をナチュラルにつなぐ境界としてのメディア・ロボティクス技術の取り組み

現実空間とサイバー空間をナチュラルにつなぐサイバーフィジカルインタラクション実現に向けた取り組み	近藤 重邦・嵯峨田 淳・南 憲一・阿久津 明人	1	44
奥行推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術	小野 正人・菊地 由実・佐野 卓・深津 真二	1	47
リモートの観客どうしの一体感を増幅する「情動的知覚制御技術」	佐野 卓・巻口 蒼宗・長田 秀信・瀬下 仁志	1	52
スマートグラスに向けた可視光平面光波回路技術と集積化光源モジュール	橋本 俊和・阪本 隼志	1	56
ハンドジェスチャ操作を実現する手指形状認識技術	久保 勇貴	1	62
視線移動を用いた妨害感の少ない割り込み情報表示方法の研究開発	西條 涼平・佐藤 妙・永徳 真一郎・渡辺 昌洋	1	66
空中疑似触覚による質感提示をめざして	河邊 隆寛	1	71
VRを用いた運動時の環境適応能力の評価技術への取り組み	伊勢崎 隆司・渡部 智樹	1	76
主役登場 身体状態の把握を通じて「健康」に貢献する	伊勢崎 隆司	1	80

●つくばフォーラム2020 ONLINE 基調講演

アフターコロナ社会におけるNTTグループの取り組み	澤田 純 NTT代表取締役社長	2	10
スマートな地域社会の実現に向けて～ソーシャルICTバイオニアを目指して～	上原 一郎 NTT西日本代表取締役副社長	2	18

●つくばフォーラム 2020 ONLINE ワークショップ

SmartInfraプラットフォームの取り組みについて	高木 洋一郎	2	26
次世代光線路技術の研究開発の取り組み	片山 和典	2	31
APNを支えるPhotonic Gatewayと光アクセス技術	吉田 智暁	2	36

●新原理コンピュータへの取り組み

新原理コンピュータへの取り組み	齊藤 志郎・後藤 秀樹	3	12
コヒーレントイジングマシンと量子アニーリングの性能比較実験	武居 弘樹・稲垣 卓弘・稲葉 謙介・本庄 利守	3	18
ボソニック量子計算に向けた長寿命周波数可変量子ビット	Leonid V. Abdurakhimov・Imran Mahboob・樋田 啓・角柳 孝輔・齊藤 志郎	3	23
量子コンピュータの設計に向けて	William John Munro・Victor. M. Bastidas・東 浩司・根本 香絵	3	31
量子コンピュータの実装技術の課題克服に向けた理論面からの取り組み	秋笛 清石・竹内 勇貴・高橋 康博・加藤 豪・谷 誠一郎	3	37
量子情報処理の誤り耐性技術とその実装方式	徳永 裕己・鈴木 泰成・遠藤 傑・浅岡 類	3	43
主役登場 量子技術の限界に挑戦する	Leonid Abdurakhimov	3	49

●NTTグループのICTソリューション

新型コロナウイルス禍における新しい体験型美術展「Digital×北斎」【破章】の開催	鈴木 健広	3	52
劇場にいるような臨場感あふれるマルチアングルVR配信「REALIVE360（リアライブ360）」	笹原 貴彦・江村 正規・深谷 崇文	3	56
デジタルトランスフォーメーションを推進し、Smart Worldを実現するためのキーソリューション「ローカル5G」	前田 亮・柿元 宏晃・武田 好明・松山 幸中・中村 大輔・森藤 福真	3	62
MLOpsによる機械学習プロセスの高速化と継続的にサービス価値を提供するための仕組みづくり	山口 永	3	69
汎用言語モデル「BERT」のビジネス実用化技術に迫る	和知 徳磨	3	76

●超レジリエントスマートシティの実現に向けたNTT宇宙環境エネルギー研究所の挑戦

宇宙視点から地球環境の未来を革新させる技術の研究開発	前田 裕二	4	12
環境負荷ゼロに貢献する次世代エネルギー活用技術とCO ₂ 変換技術	秋山 一也・高谷 和宏	4	16
環境負荷ゼロの実現に向けた、エネルギー流通基盤技術	田中 徹・南 裕也・田中 憲光・中村 尚倫・林 俊宏・香西 将樹・樋口 裕二・花岡 直樹・岩本 美帆	4	21
持続可能かつ包摂的な社会の実現をめざしたESG経営科学技術	田中 百合子・張 曉曦・篠塚 真智子	4	26
安心・安全に暮らすためのプロアクティブ環境適応技術	加藤 潤	4	31
主役登場 環境負荷ゼロのエネルギーネットワークをめざして	花岡 直樹	4	35

●人と社会を支えるヘルスケアデバイス・インフラメンテナンス技術

持続可能な社会に向けたデバイス技術が切り拓く未来	富澤 将人・岡田 顕	4	42
より安心して働ける作業現場の実現に向けた体調管理技術	高河原 和彦・橋本 優生・松永 賢一・樋口 雄一・松浦 伸昭・桑原 啓・都甲 浩芳・川原 貴・平田 晃正・田中 英登・宮澤 太機	4	47
光音響計測技術を活用した非侵襲生体情報センシング	田中 雄次郎・田島 卓郎・瀬山 倫子	4	51
ハイパワーレーザーデバイスを用いた錆取り技術の実現に向けて	川村 宗範・坂本 尊・赤毛 勇一・上野 雅浩・岡 宗一	4	56
コンクリート電柱内鉄筋の水素脆化予測技術	上庄 拓哉・石井 龍太・津田 昌幸	4	59
主役登場 ウェアラブルセンサによる新たな価値をパートナーと共創	高河原 和彦	4	63

●安心・安全な社会実現に貢献するための暗号・セキュリティ技術に関する研究開発

安心・安全を実現するテクノロジーの創出に向けたセキュリティR&Dの取り組み	平田 真一	4	66
安心・安全な価値創造プロセスを実現するデータ流通・利活用技術	鷲尾 知曉・折目 吉範・森田 哲之・千田 浩司・森村 一雄・大嶋 嘉人	4	70
増え続けるオペレーションコストの問題を解決し、被害を極小化する技術の確立と展開	古賀 祐匠・中嶋 良彰・千葉 直子・三好 潤・小山 高明・司東 秀浩・宮島 麻美	4	75
量子情報処理によるセキュリティと量子情報のデータ保護	徳永 裕己・鈴木 泰成・遠藤 傑・西巻 陵・北川 冬航・為近 彩智	4	79
主役登場 未知なるリスクを排除せよ	岩村 誠	4	84

●NTT医療健康ビジョン——バイオデジタルツインの実現に向けて

バイオデジタルツインが創造するデータ駆動型の医療健康支援	中島 寛・林 勝義・後藤 秀樹	5	10
生活習慣病・要介護に関係するリスクと要因分析の取り組み	千葉 昭宏・麻野間 直樹・東 正造・藤野 昭典・青木 俊介	5	14
プラスな心的変化をもたらす行動変容支援技術	阿部 直人・佐藤 妙・有賀 玲子	5	18
体内リズムの可視化をめざしたウェアラブル深部体温センサ技術	松永 大地・田中 雄次郎・田島 卓郎・瀬山 倫子	5	22
生体音と心電信号の新たな計測と解析の技術——パーソナル心臓モデリングによる心疾患の早期発見・リハビリ応用に向けて	中野 允裕・渋谷 遼平・柏野 邦夫・塚田 信吾・小笠原 隆行	5	27
医療健康の未来を拓くバイオニクス技術	高橋 陸・田中 あや・山口 真澄・小池 幸生	5	32
主役登場 バイオデジタルツインに向けた非侵襲生体センシング技術	田中 雄次郎	5	37

●ディスアグリゲータッドコンピューティングが世界を変える

IOWNを支えるディスアグリゲータッドコンピューティング	岡田 顕・木原 誠司・岡崎 義勝	5	40
ディスアグリゲータッドコンピューティングのための光電融合技術	坂本 健・佐藤 昇男・瀬川 徹	5	45
ディスアグリゲータッドコンピュータに向けたメモリスセントリックアーキテクチャ	石崎 晃朗・山部 芳朗	5	50
光ディスアグリゲータッドコンピュータにおいて電力効率最大化を実現するパワーウェア動的配置制御技術	金子 雅志・藤本 圭・岩佐 絵里子	5	54
主役登場 The network is the computer	田仲 顕至	5	58

●NTTグループの食農特集——一次産業を日本の成長産業へ

NTTが描く未来の農業——IOWN関連技術などを活用したフードバリューチェーン全体の取り組み	久住 嘉和・吉武 寛司・村山 卓弥	6	10
未来型農業——地域連携によるいちご植物プラント	高山 善和・都築 克仁・上河 司・野村 智之・前原 侑季子・宇波 晶子・川勝 崇司・高山 裕貴・岩谷 直樹	6	14
SDGsの取り組み「地域食品資源循環ソリューション」	中山 実・中西 文洋・宮奥 健人	6	17
NTTドコモのソリューション協創「水産+α」	山本 圭一・横井 優子・中嶋 雅子・岡部 裕	6	21
「BLOFware [®] .Doctor」で実現する高品質・多収獲な有機農業	梅下 博史・宇野 真太郎・小林 豊・齋藤 剛・鹿嶋 雅・和田 真里奈	6	25

●Creativity and Technology — designing for an unknown future

離れていてもところは君のそばにある ころろ豊かな社会を創るコミュニケーションの本質探求	山田 武士	7	10
機械が会話のパートナーになる日——大規模深層学習で拓く雑談対話システムの新境地	杉山 弘晃・水上 雅博・有本 庸浩・成松 宏美・千葉 祐弥・中嶋 秀治	7	14
まなざしに宿る運動の巧みさ	安部川 直穂	7	18
聞きたい人の声に耳を傾けるAI——深層学習に基づく音声の選択的聴取技術SpeakerBeam	Marc Delcroix・落合 翼・佐藤 宏・大石 康智・木下 慶介・中谷 智広・荒木 章子	7	22
錯覚現象を応用した物体の触り心地変調手法	横坂 拓巳・黒木 忍・西田 眞也	7	26

●IOWN——APNで実現するネットワークサービス技術

APNで実現するネットワークサービス技術	川端 明生・青柳 雄二	8	10
高臨場コミュニケーションサービスを支える「オンデマンド光多点接続技術」	吉岡 弘高・鳴海 貴允・中川 雅弘・松本 健一郎	8	15
エクストリームNaaSに向けた無線技術——マルチ無線プロアクティブ制御技術Cradio®	河村 憲一・守山 貴庸・小川 智明・浅井 裕介・鷹取 泰司	8	19
エクストリームNaaSに向けた無線技術——アナログRoFを用いた高周波数帯無線システムにおける遠隔ビームフォーミング技術	菅 瑞紀・伊藤 耕大・新井 拓人・白戸 裕史・北 直樹・鬼沢 武	8	24
ミッションクリティカルなサービス提供を可能とする協調型インフラ基盤	桑原 健・石橋 亮太・川上 健太・益谷 仁士・山本 浩司・安川 正祥	8	29

●NTT Technology Report for Smart World

「NTT Technology Report for Smart World 2021」の公開について	兼清 知之・大西 隆之・村元 厚之	8	38
---	-------------------	---	----

●5G evolution & 6Gに向けたNTTドコモの取り組み

5G evolution & 6Gへの動向とめざす世界	岸山 祥久・須山 聡・永田 聡	9	10
5G evolution & 6Gに向けた透明RIS技術の研究	来山 大祐・濱 優人・宮地 健介・岸山 祥久	9	16
5G evolution & 6Gに向けたNTN技術の研究	外園 悠貴・岸山 祥久・浅井 孝浩	9	22
5Gの高度化に向けたミリ波帯基地局連携技術による高速移動環境での通信性能向上	奥山 達樹・須山 聡・野中 信秀・浅井 孝浩	9	28

●現実世界（ヒト・社会）とサイバー世界の新たな共生に関する革新的研究開発

ヒトと社会のデジタル化世界を創造するデジタルツインコンピューティング構想の実現へ向けた研究開発	北原 亮・倉橋 孝雄・西村 徹・内藤 一兵衛・徳永 大典・森 航哉	10	40
人の思考力を理解・再現・拡張するための思考処理技術	西田 京介・倉島 健・宮崎 昇・戸田 浩之・西岡 秀一	10	44
人と人、人と機械の共生の実現をめざす共生知能研究	杵淵 哲也・浅見 太一・吉田 仙・山本 隆二	10	50
人と機械の共生をめざすサイバネティクス技術	青野 裕司・瀬下 仁志・松村 成宗・小池 幸生・松村 誠明	10	53
リアルとサイバーの交錯空間を支える要素技術	島村 潤・安藤 慎吾・谷田 隆一	10	57

●NTT Research：Upgrade Realityをめざした3つのオープンコラボレーション

NTT Research, Inc.のオープンラボ戦略	小澤 英昭	11	34
ブロックチェーンエコシステムの安全性、性能、持続可能性を高める	松尾 真一郎	11	38
最適化問題解決の未来：コヒーレントイジングマシン（CIM）	山本 喜久	11	41
バイオデジタルツイン研究の最新状況	Joe Alexander	11	44

●IOWN時代のセキュリティR&D

未来の原動機となるセキュリティ	平田 真一・高橋 克己	11	50
セキュア光トランスポートネットワーク	奥田 哲矢・千田 浩司・白井 大介・知加良 盛・齋藤 恆和・中林 美郷・山村 和輝・田中 友里・夏川 勝行・高杉 耕一	11	54
光論理ゲートで構成する暗号回路技術	高橋 順子・千田 浩司・山越 公洋・北 翔太・新家 昭彦	11	59
データから価値を連鎖的に生み出すトラステッド・データスペース	鷲尾 知暁・伊藤 宏樹・神谷 弘樹・諸橋 玄武・馬越 健治・奥田 哲矢・高屋 和幸・大村 圭・高橋 元	11	64
主役登場 エンジニアリングから研究所へ	奥田 哲矢	11	68

●新たな環境エネルギービジョン

NTTグループの新たな環境エネルギービジョン「NTT Green Innovation toward 2040」	吉松 俊英・八木 美典・松尾 啓吾・朝倉 薫	12	44
NTTドコモ「2030年カーボンニュートラル宣言」を発表	中島 有希・八木 文香・福田 幸子	12	48
NTTデータが挑むグリーンイノベーション	下垣 徹・南田 晋作・古川 洋・濱野 賢一郎・小林 祐輔・常見 幸平・遠藤 冴己	12	52
NTTアノードエナジーのスマートエネルギー事業	角田 康博・桐本 喬晴	12	56

■特別企画■

●東京2020オリンピック・パラリンピックとNTT R&Dーカテゴリ1 東京2020を『観せた』NTT R&Dの技術

はじめに	木下 真吾	10	9
新しいスポーツ観戦体験に向けた取り組み	木下 真吾	10	12
セーリング競技 × 超高臨場感通信技術 Kirari! 宮武 隆・清水 健太郎・早坂 知行・青木 政勝・千明 裕・中嶋 淳一・浦田 昌和・小合 健太・吉田 由紀・木下 真吾		10	16
バドミントン競技 × 超高臨場感通信技術 Kirari! 武藤 誠・長谷川 馨亮・並河 大地・紺谷 精一・平地 信博・中村 泰治・鈴木 健也・木下 真吾		10	24
マラソン × 超低遅延通信技術 薄井 宗一郎・深津 真二・松本 英一郎・井元 麻衣子・白井 大介・木下 真吾		10	30

●東京2020オリンピック・パラリンピックとNTT R&Dーカテゴリ2 東京2020を『彩った』NTT R&Dの技術

新しい聖火リレー応援体験に向けた取り組み	木下 真吾	11	9
聖火リレートーチ記念撮影 × 超高臨場感通信技術 Kirari! 美原 義行・長田 雅美・長谷川 馨亮・中村 泰治・渡邊 淳司・松井 龍也・岩本 秀明・木下 真吾		11	13
聖火ランナー応援演出 × Swarm通信制御技術 鈴木 督史・千明 裕・山口 仁・犬童 拓也・木下 真吾		11	18
聖火リレーセレブレーションステージ演出 × 超高臨場感通信技術 Kirari! 中村 泰治・長谷川 馨亮・美原 義行・宮武 隆・木下 真吾		11	23
聖火リレー地域イベント × 音声認識通信技術 市川 裕介・稲葉 智宏・大谷 花絵・大和田 英成・金丸 翔・神山 歩相名・河井 彩公子・鴻野 晃洋・小屋迫 優士・坂元 一光・鏑木 拓磨・ 広瀬 健太・森 友則・吉田 由紀・和井 秀樹・渡邊 真由子・美原 義行・薄井 宗一郎		11	28

●東京2020オリンピック・パラリンピックとNTT R&Dーカテゴリ3 東京2020を『支えた』NTT R&Dの技術

高効率Wi-Fi 中平 俊朗・佐々木 元晴・鍋島 正義・小川 智明・守山 貴庸・平賀 健・吉澤 健人・大串 幾太郎		12	9
ネットワークセキュリティ 三科 貴・松橋 亜希子・仁佐瀬 剛美・司東 秀浩		12	12

●2021世界的スポーツイベントとNTT R&Dーカテゴリ 選手を『支えた』NTT R&Dの技術

女子ソフトボール × スポーツ脳科学 山口 真澄・那須 大毅・三上 弾・木村 聡貴・福田 岳洋・柏野 牧夫		12	17
自転車競技 × hitoe® 田中 健太郎・塚田 信吾・山口 真澄		12	22
競泳 × オンライン指導 塚田 信吾・濱口 由美子		12	25

●2021世界的スポーツイベントとNTT R&Dーカテゴリ 大会に『備えた』NTT R&Dの技術

ネットワーク工事 × 暑さ対策ウェア 高河原 和彦・都甲 浩芳・永井 菜央美		12	29
会場運営スタッフ × CUzo 草深 宇翔・楨 優一・合田 卓矢・鈴木 晃・田丸 雅也・犬童 拓也		12	31

●2021世界的スポーツイベントとNTT R&Dーカテゴリ 大会を『包摂的にした』NTT R&Dの技術

バリアフリールート案内 × MaPiece® 市川 裕介・阿部 裕文・伊藤 達明・小長井 俊介・佐久間 聡・深田 聡・木下 真吾		12	34
ゴールボール × 超高臨場感通信技術 Kirari! 林 阿希子・宮川 和・合田 卓矢・吉田 由紀・堤 公孝・清水 健太郎・犬童 拓也		12	39

■特別連載 ムーンショット・エフェクト——NTT 研究所の技術レガシー■

第5回 光トランジスタ誕生というムーンショット	野地 秩嘉	1	81
第6回 光コンピューティングへの第一歩	野地 秩嘉	2	42
第7回 新しい発想の光ファイバ	野地 秩嘉	3	82
第8回 シャツが生体情報計測のIoTセンサに	野地 秩嘉	4	85
第9回 バリアフリー道案内技術MaPiece® (まっぴーす)	野地 秩嘉	5	59
第10回 音の技術	野地 秩嘉	6	30
第11回 暗号技術	野地 秩嘉	7	30
第12回 超高臨場感通信 Kirari!	野地 秩嘉	8	34
NTT の技術レガシー 東京2020 大会会場で見たムーンショット	野地 秩嘉	10	35

■挑戦する研究者たち■

究極の目標は新しい動作原理に基づく量子コンピュータの実現。自分を客観的に見つめ、存在価値を確認する	村木 康二	1	93
見返りを期待せず、頼まれごとは断らない。損得勘定なしで臨めば、未来が切り拓かれる	高村 誠之	2	52
同調圧力に鈍感であれ。自由な時間は成功要因の1つである	西田 真也	3	95
DIFFERENT はほめ言葉である。未来を論理的に語る訓練を心掛けよう	永田 昌明	4	99
研究には「塞翁が馬」の視点と姿勢で臨む。影響を与え合える関係性の構築も研究活動である	阿部 正幸	5	70
本質を見極める目を曇らせてはならない「大事なことは何か」を素直に眺める	柏野 邦夫	6	40
研究者どうしの何気ない会話から共同研究の機会が生まれ、研究活動は広がる	松尾 慎治	7	40
研究で最先端を走り続ける失敗を恐れることなくオープンな気持ちで研究活動を	William J. Munro	8	73

タイトル	執筆者	月	頁
為せば成る。研究者よ「長期的楽観主義者」であれ	齊藤 志郎	9	41
「実験室」を飛び出して、実社会で研究成果の「実力」を確かめる	鷹取 泰司	10	67
まず、そのアイデアが好きかを検討しよう。結果や周囲を気にせずに自分なりに考え抜こう	橋本 俊和	11	75
例え逆風が吹いたとしても環境を整えつつ、新しい価値があるものを先人たちの成果の上に積み上げていく	藤原 聡	12	68

■挑戦する研究開発者たち■

「ダレトク、ナニトク」の先にある「利益」をめざして	寺田 雅之	6	44
研究開発者は「未来」の最初の種。研究開発は未来を築く大きなエンジンにもなり得る	永田 聡	9	47
研究と開発のちょうど良いバランスを意識。ステークホルダの立場と仕事を「ある程度知っている」のがベター	切通 恵介	10	72
自分の特徴を最大限に活かして研究開発に臨もう。先人たちのチャレンジを受け継いでより有用な成果を生み出そう	杉村 義文	11	80
その技術が何の役に立ち、いかにビジネスに資するか、自らの能力をも含めて積極的に言語化しよう	多田 将太	12	73

■明日のトップランナー■

GPUやFPGA等、ハードウェアに応じたアプリケーションの自動変換・高速化に取り組む	山登 庸次	1	99
未来予測にとどまらず、その人にとってより良い未来へと導く。「行動モデル」が実現するパーソナルアシスタント	倉島 健	2	58
電子をひとつずつ正確に捕獲し、高速で転送。超高精度な電流標準への道をひらく「単電子転送技術」	山端 元音	3	100
「核融合炉の最適オペレーション技術」「宇宙太陽光発電」	秋山 一也	4	36
運動学習には「眼と腕の位置関係を一定に保つ」ことが重要。運動に関する脳内の働きを解き明かす「感覚運動生成」の研究	安部川 直稔	5	84
データが分散蓄積される時代にも機械学習モデルを最適化。「非同期分散型の深層学習技術」の研究	丹羽 健太	7	45
少し未来の情報通信ネットワーク像を提示。大規模計算基盤のための光バス設計技術の研究	井上 武	8	78
音声・言語・身体動作を複合的に扱い対話の仕組みを解明。「マルチモーダルインタラクション」の研究	石井 亮	9	51
AIにも人間同様の汎用性・器用さを与える「転移学習」の研究	熊谷 充敏	10	77
次世代基礎理論の構築と目的特化型暗号が切り拓く「共通鍵暗号」の未来	藤堂 洋介	11	85
通信ネットワークの物理層機能を仮想化する「超高速フルソフトウェアアクセスネットワーク」の研究	キム サンヨブ	12	78

■from NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル■

3GPP Release 16における5G無線の高度化技術概要	永田 聡・原田 浩樹・武田 大樹・高橋 秀明	1	85
マルチデバイスでの共通のAR/MR体験を提供可能なAR/MRクラウド技術	林 宏樹・後藤 修・木村 真治・山本 泰士	2	46
画像認識技術を用いたゴルフスイング解析サービス「GOLF AI」	川嶋 克明・酒井 俊樹・MUHD HILMI BIN SHAPIEN・伊藤 友基・渡部 瑞季	3	86
1Gから5Gに至るモバイルコミュニケーションの進化を支えた研究開発用「電測車」	奥村 幸彦	4	89
ドコモのパブリッククラウド活用とCCoEの果たす役割	守屋 裕樹・森 健史・直井 康広	5	64
電話での受付や見守りを自動化する「AI電話サービス」	川瀬 智子・小栗 伸・斉藤 優樹	6	34
MECを活用したアプリケーションデザインパターン	秋永 和計	7	33
クラウドコスト最適化の取組み	住谷 哲夫	8	65
パブリッククラウドの利用に特化したセキュリティチェックツールの開発	中村 拓哉	9	33
UWB測距技術を用いたおサイフケータイのタッチレス機能実用化検討	村上 真衣子・合田 晶生・澤瀬 順一	10	61
つまむアンテナ—誘電体導波路のアンテナ応用—	福田 敦史・山本 大斗・岡崎 浩司・鈴木 恭宜・河合 邦浩	11	69
6Gシステムレベルシミュレータ—100GHz帯100Gbpsの超高速通信の実現に向けて—	奥山 達樹・須山 聡・野中 信秀・浅井 孝浩	12	60

■グループ企業探訪■

情報技術と通信技術が融合した「ICT」の会社 日本情報通信株式会社	1	102
アーティストを応援する ファンを応援する会社として お客さまに付加価値を提供 タワーレコード株式会社	2	62
フルタームでサービス提供をする地域密着のトータルICT工務店 NTTデータカスタマーサービス株式会社	3	104
クラウドで新しい働き方をお客さまと一緒にデジタルイノベーションの実現をめざす ネクストモード株式会社	5	76
スポーツを通じ、感動や笑顔を生み、地域社会に貢献する 株式会社NTT Sportict	6	50
デジタルトランスフォーメーションの推進と高品質なワンストップオペレーションでお客さまからの信頼を得る NTTコム エンジニアリング株式会社	7	48
リサーチとプロモーションを相互連携させた高度なソリューションで企業のマーケティング活動を支援する 株式会社ドコモ・インサイトマーケティング	8	82
ブロックチェーン技術を活用した貿易プラットフォームTradeWaltz®により、貿易業務のデジタルトランスフォーメーションに貢献 株式会社トレードワルトツ	9	54
地域課題の解決と持続可能な社会の実現をめざした「街づくり」に貢献 株式会社NTTアーバンソリューションズ総合研究所	10	80
デジタル化・ICTにより文化芸術に関する地域の課題解決に貢献 株式会社NTT ArtTechnology	11	88
世界No.1の音響信号処理技術で、ビジネスをグローバル展開 NTTソノリティ株式会社	12	86

■from NTT■

混雑を予測し情報提供することで心地良い賑わいを NTTコムウェア	1	106
リアルより気軽に話しかけられるオンラインワークスペース「NeWork™」 NTTコミュニケーションズ	2	66
IOWN時代を見据えたNTT西日本の研究開発の取り組み NTT西日本	4	105
アジリティ高い組織経営を実現するための6つの奥義 (Key Success Factor) NTTデータ	4	109
補強部材の設置が容易で通路も設けられる耐震補強技術の開発 NTTファシリティーズ	5	80
教育現場のDX推進に寄り添う「まなびポケット」“虎の巻”を産んだデザイン力 NTTコミュニケーションズ	8	86

タイトル	執筆者	月	頁
NTTデータが取り組むゼロトラスト業務環境 NTTデータ		9	58
雷対策導入を推進する雷サージシミュレーションとSPDの安全を向上するSPD分離器用ヒューズの開発 NTTファシリティーズ		10	84
デジタル技術を活用した業務変革へのチャレンジ NTT東日本		12	81

■テクニカルソリューション■

端末ログを活用した通話状況（回線使用状況）の即時見える化	NTT東日本	1	114
最新の故障事例の紹介——設備の材料劣化に関するトラブル	NTT東日本	4	114
柱上作業者の安全を守るための取り組み——電磁誘導対策	NTT東日本	7	52
移動した地下メタルケーブルの引き戻しの取り組み	NTT東日本	10	88

■ソリューションサービスの今■

ニューノーマル時代におけるマイバトラー誕生秘話	下條 裕之	5	87
-------------------------	-------	---	----

■Event Reports■

「NTTR&Dフォーラム2020 Connect」開催報告 細田 智久・望月 崇由・恩塚 貴行・森 俊介・家保 具太・向内 隆文・堀田 健太郎・日達 研一		1	35
「つくばフォーラム2020 ONLINE」開催報告 棚瀬 章文・石原 浩一・田口 勝久・高木 郁子・猪狩 亜紀子・安嶋 悟		2	70

■グローバルスタンダード最前線■

ITU-Tにおける光ファイバの標準化動向および空間分割多重技術（SDM）の標準化に向けた取り組み	坂本 泰志・中島 和秀・荒木 則幸	1	110
第4回APT WTS A20準備会合報告	荒木 則幸	2	76
ISO/IEC JTC1 SC27 WG2標準化動向	草川 恵太・菊池 亮・市川 敦謙・三浦 堯之	3	108

■Focus on the News■

東京大学とNTTによるゲノム情報を活用した新たな共同研究の開始	NTT広報室	1	117
Sub-6帯・スタンドアローン（SA）方式による本格的ローカル5Gの提供に向けた低遅延通信、エンド・ツー・エンドスライシング機能の実証実験を開始	NTTコミュニケーションズ イノベーションセンター	1	119
時間結晶が可能にする、量子の世界の複雑なネットワーク構造を発見	NTT先端技術総合研究所 広報担当	2	80
世界最高速の帯域100 GHzを超える直接変調レーザを開発	NTT先端技術総合研究所 広報担当	2	83
MEMS集積化に向けた新しいカオス信号生成手法の実証に成功	NTT先端技術総合研究所 広報担当	2	85
NTTと農研機構が秘密計算技術による作物ビッグデータ活用の共同研究を開始	NTTサービスイノベーション総合研究所 企画部広報担当	2	88
量子コンピュータの小型化・高速化を実現する回路圧縮手法を開発	NTT先端技術総合研究所 広報担当	3	112
ロボット農機や5G、IOWN関連技術による農機の圃場間自動走行と遠隔監視制御を実現	NTT研究企画部門 プロデュース担当	3	115
生体音を遠隔に伝送できる装着型音響センサアレイシステムを開発	NTT先端技術総合研究所 広報担当	3	119
世界で初めて半導体ソフトエラーを引き起こす中性子のエネルギー特性を測定	NTT情報ネットワーク総合研究所 企画部 広報担当	3	122
世界で初めて複雑なデータを無限の柔軟度で分類できる機械学習技術を実現	NTT先端技術総合研究所 広報担当	3	126
マルチテナント型物流施設「DPL市川」においてAIを活用した実証実験を開始	NTTコミュニケーションズ 経営企画部広報室	3	129