

NTT 技術ジャーナル

9 SEPTEMBER
2022
Vol.34 No.9

特集

新たなライフスタイル「リモートワールド」の
実現に向けた研究開発

無線アクセスネットワークの
オープン化とインテリジェント化

トップインタビュー

川添 雄彦
NTT代表取締役副社長

グループ企業探訪

複合現実製作所



NTT 技術ジャーナル

9 SEPTEMBER
2022
Vol. 34 No. 9

CONTENTS

4 トップインタビュー

限界の扉を希望を込めて拓いていこう

川添 雄彦

NTT代表取締役副社長



8 特集

新たなライフスタイル 「リモートワールド」の実現に 向けた研究開発

- 10 人生が何倍も楽しくなる「リモートワールド」の実現に向けて
——「やむを得ずリモート」から「選ばれるリモート」へ
- 13 新しい「リモートワールド」実現に向けた人間能力拡張の取り組み
- 17 人の身体性を伴う遠隔作業を実現する身体遠隔化技術
- 21 リアル会場とリモート観客との調和再現技術
- 25 人や群衆の心の動きを推定・制御する情動的知覚制御技術
- 29 主役登場 井元 麻衣子
NTT人間情報研究所



30 特集

無線アクセスネットワークの オープン化と インテリジェント化

- 32 RANオープン化(Open RAN)に向けた取り組み
- 37 RAN仮想化(vRAN)に向けた取り組み
- 45 RANインテリジェント化に向けた取り組み

52 挑戦する研究者たち

渡邊 淳司

NTT コミュニケーション科学基礎研究所
NTT社会情報研究所
NTT人間情報研究所
上席特別研究員



研究者はちょっと先を見せてくれる鏡のような存在

57 挑戦する研究開発者たち

竹野 和彦

NTTドコモ クロステック開発部
担当部長



「まず魄より始めよ」をモットーに。
自らのスキルと社会が要求することをマッチさせる

62 明日のトップランナー

鈴木 貴大

NTTアクセスサービスシステム研究所
特別研究員



新サービスのプロトタイプ提供を
容易にする
光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化技術

66 グループ企業探訪

株式会社複合現実製作所
XR(Cross Reality) サービスで、
鉄工業界の課題解決



Webサイト オリジナル記事の紹介 68

10月号予定

編集後記

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2022

●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代表取締役副社長

川添雄彦

PROFILE :

1987年日本電信電話株式会社に入社。2008年研究企画部門担当部長，2014年サービスエボリューション研究所長，2016年サービスイノベーション総合研究所長，2020年常務執行役員 研究企画部門長を経て，2022年6月より現職。

2019年4月NTT Research Inc. Director，2020年1月IOWN Global Forum President and Chairpersonを兼務。工学博士。



限界の扉を

希望を込めて

拓いていこう

さまざまな分野への挑戦を通じて，世界中のすべての人々の生活を豊かにする「スマートな社会＝Smart World」の実現に挑むNTTグループ。新たな世界を実現するIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想を掲げ，社会課題の解決や革新的サービスの創出をめざしています。IOWN構想の名付け親である川添雄彦代表取締役副社長に，IOWN構想の進捗とトップとしての仕事への向き合い方を伺いました。

IOWN構想具現化の目標設定を2025年。大阪・関西万博で発表

就任おめでとうございます。現在の立場となられてどのような変化がありますか。

研究企画部門長から現職，副社長という立場の変化によって，物事をとらえる時間の感覚が変わりました。「研究」の場合，その営みの中で将来を予測する，創出することが非常に重要です。今ある技術の先に何があるのかを常に考えて研究を進めなければ，成果が出てくるころには廃れているということもありますから，前職の研究企画部門長としては直近に達成するだろう成果を見つつ，中

長期的な視点で当該研究や技術の方向性・重要性をかんがみて，研究開発を進めていくことをメインに取り組んできました。

副社長となり，特にCTO（Chief Technology Officer）という立場では研究のみならず技術全般を担当します。技術により，今日の前にある社会課題を早急に解決することは必須で，まずはその使命を果たさなければなりません。さらに，災害等の非常時に社会インフラとして通信を確保することとその技術，サービスを高品質で安定的に提供することとその技術についても重要なミッションです。もちろん研究開発も所掌しているので，中長期的な視点での研究開発も進めていきます。そのうえ

で，研究開発の先進的な成果を円滑に事業に導入し，社会に貢献していくことが重要な役割で，その意味でIOWNの実現は1つの象徴的なテーマであると考えています。

さらに，CIO（Chief Information Officer），CDO（Chief Digital Officer）の立場もあり，デジタルトランスフォーメーション（DX）が大きくかかわってきます。島田明新社長が「CX（Customer Experience）をEX（Employee Experience）で創造する」と表明していますが，このためにDXは必須のものです。NTTグループ各社のCIO，CDOと連携して，DXを積極的に推進していくつもりです。

注目すべき取り組みを教えてください。まず、副社長が名付け親であるIOWN構想は3年目を迎えましたね。

2019年のIOWN構想の発表後、カーボンニュートラル実現の重要性や昨今の半導体不足、不安定な社会情勢を背景とした日本の経済安全保障の問題等、さまざまな社会課題が浮き彫りになってきました。

これらへの迅速な対応をかんがみてIOWN構想は目標設定時期を2030年から5年前倒し、2025年としました。これは、2020年に設立したIOWN Global Forum (IOWN GF) の存在が大きく影響しています。先に挙げた解決すべき社会課題に挑むには幅広い研究・技術分野の専門家やグローバルパートナーとの連携が必須です。賛同してくれたインテルやソニーとともに立ち上げたこのフォーラムは、今や参加企業がスウェーデンのEricssonや米国NVIDIAなど世界の主要IT企業等をはじめ、100社を数えるまでに成長しました。参加企業の数が増えていることから、IOWN構想が世界から注目されていることが分かります。IOWN GFにおける議論が進み、NTTにおける研究がうまく進捗していることから前倒しの可能性が出てきました。そして、世界的に注目される2025年の大阪・関西万博において、IOWNのプロダクトを世界に向けて発表しようと計画しています。

さて、IOWNによるイノベーションはさまざまありますが、その中の1つ、宇宙データセンタ事業についてお話しします。私たちは現状の宇宙活用の限界を打破するため人類史上初の「宇宙データセンタ」の実現をめざして、2022年、スカパーJSATとともに、株式会社 Space Compass を設立しました。2019年のインタビューでもお話ししたとおり、入社当時の私の研究テーマが通信衛星であったように、かつてNTTも通信衛星を開発し運営していました。その後、光ファイバが地上で普及したことや莫大な費用により、事業から撤退したという経緯があります。しかし、昨今の技術革新によって、より高い周波数の利用により高速通信が可能になりました。こうした技術革

新のポテンシャルを考えると、当時私たちが諦めてきたことを実現できる可能性が高まったといえましょう。

また、過日、発生した通信障害等による社会生活の混乱を見ても分かるように、不確実なことにも対応できるよう盤石なインフラを築くことはNTTの社会的な使命であり、そのためにも通信衛星が果たす役割が大きくなってきています。こうした背景から、解決策の1つとして私たちは人類史上初の「宇宙データセンタ」の実現をめざしているのです。

宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想はまず、宇宙における大容量通信・コンピューティング基盤と、Beyond5G/6G (第5/第6世代移動通信システム) におけるコミュニケーション基盤の2つの事業を展開します。まず、高度なコンピューティング機能を搭載した衛星を順次拡充し、宇宙での大容量通信・コンピューティング処理基盤を提供します。先述の大阪・関西万博において、NTTの大容量光通信技術の宇宙での実証を披露し、将来的には本サービスを全世界に展開する予定です。

そして、Beyond5G/6Gコミュニケーション基盤に関しては、宇宙RAN (Radio Access Network) 事業として、成層圏に飛行させる基地局HAPS (High Altitude Platform Station) を活用した撮像センシング等についても提供を検討します。宇宙空間に構築する光無線通信ネットワークや成層圏で構築するモバイルネットワーク等、新たなインフラの構築に挑戦することで、世界の宇宙産業の発展と持続可能な社会の実

現に貢献したいと考えています。

NTTの強みは基礎となる技術、知見の積み重ね

IOWN構想をはじめ人類初の取り組みには目が離せませんね。これらはNTTの研究力、技術力によって生み出されているのですね。

研究開発における先見の明の磨き方の1つは基礎学問を徹底的に追究しながら研究活動を継続していくことだと私は考えています。一般的に、すぐに使える技術や研究成果に注力する、例えばGAFAにおけるAI (人工知能) といえばそれに集中特化する等、時代や課題、トレンドに流されることが多いかもしれません。このような思考の企業、あるいは研究者、開発者はそれらを築くための基礎となる技術については、他の人の成果を利用しているのではないのでしょうか。

一方で、NTTの研究所では基礎となる技術や研究まで手掛けています。IOWN構想を支える光の基礎研究も1960年代から約60年にわたり脈々と積み重ねてきたからこそ、今があるのです。こうした基礎となる技術、知見の積み重ねという強さがNTTにはあります。それは、事業で得た貴重な利益から研究費を生み出して、研究を継続することを許す強さです。多くの社員が汗を流して得た利益を使って、基礎研究の必要性・重要性を証明することができる強さがNTTにはあるのです。さらに、研究者の使命ともいえる実証責任を全うして



いるからこそ、今日まで研究開発を続けられているのだとも実感しています。

ちなみに私は、これまでのNTT人生において、研究者でもあり開発者でもありました。おそらく半分以上は事業寄りの開発を手掛けてきました。入社当時、NTTでは研究と開発は車の両輪に例えられ、双方をうまく回していくことを重要視していました。つまり、研究と開発のそれぞれを専門的に担う人と、研究と開発の両方を担って両輪を回す役割がありました。私は研究と開発のちょうど中間に位置して両輪を回す役割でした。

研究と開発の双方をご存じなのは心強いですね。研究開発のあり方における具体的なビジョンはありますか。

現在、構想を練っているのが、私が担ってきた両輪の役割をあえて設けず、研究と開発のいずれかの役割に注力してもらうことです。これは本当に厳しいことを求めていると理解しています。研究には波があり、上手くいかないときには開発を手掛け、そこから着想を得て、研究を再開して活動を循環させて活路を見出すことがあります。このように両輪の役割を担うことで一定量の仕事を安定して担うことができますし、自分は仕事をしている、役立っているという感覚を得ることはできるでしょう。しかし、研究、あるいは開発に特化しろと言われたら、ある意味で逃げ道は断たれるわけですから、タフでなければ乗り越えられないですよ。

本当に難しいし、全員が乗り越えられないかもしれませんが、その苦しみの先にどれだけ素晴らしいことが待っているのかを理解してほしいのです。そして、苦しいけれど頑張ろうという気持ちを養う環境をつくるのが、副社長の立場である私に求められているのだと思います。すべての研究者、開発者、社員がより幸せでいてもらえるように、たとえ制約はあっても研究開発のリソースを確保したいですね。皆さんが楽しく幸せであることを大切にしたいと考えています。

仕事とプライベートはオンとオフのコンビネーション

副社長はさまざまな組織のトップとしても活動していらっしゃると思いますが、仕事とプライベートの両立は大変ではありませんか。

私は現在、先にお話したIOWN GFのPresident and Chairpersonに加え、IEICE（電子情報通信学会）の会長、そして変わったところでは、日本ウインドサーフィン協会の会長でもあります。

ご質問のとおり、「これだけ忙しいのにどうやって時間をやりくりしているのですか」等と言われることがあります。私は仕事とプライベートのオン・オフを切り替えるスタイルはとらず、仕事とプライベートをコンビネーションでとらえています。

例えば、ウインドサーフィンの話ですが、世界的なスポーツイベントが東京で開催されると決まったころ、

日本ウインドサーフィン協会の会長だった長谷川常雄さんが訪ねて来られ、「川添さん、ウインドサーフィンをメジャーにしてください。NTTの技術力やアイデア力を使って何かできないでしょうか」と言うのです。それならKirari!（超高臨場感通信技術）を使って、離れた会場に熱戦の臨場感を届けるようなそんなことはできないだろうかと思いつき、これが縁で「次期会長を川添さんをお願いしてほしい」と、長谷川さんが生前言い残されたというのです。私は学生時代にウインドサーフィンをやっていたこともあり、お引き受けすることにしました。昔を思い出しながらウインドサーフィンに挑戦している最中に次なる技術やサービスの着想や応用が浮かんでいきますし、そこに集う方々との語らいが刺激となって浮かぶ着想を仕事に活かすことができます。

他にも、私は趣味の料理も日本食学会に入って勉強しています。学会等でシェフや料理人たちがNTTの力で「私たちの料理をアーカイブしてほしい」という話が沸き起こります。彼らの「自分たちのつくった料理は一期一会の作品であり、それを残したい」という言葉には、魚に包丁を入れる感覚や盛り付けまで、プロセスを含めてICTの力でアーカイブしたいという願いが込められています。私はどんな技術ならその熱い思いにこたえられるだろうか、IOWNなら…とどんどんと夢やビジョンが広がってきます。まさにこれが仕事とプライベートを分けることなくコンビネーションでとらえるということであり、本当に楽しいし、有意義です。物事はすべてがつながっていて、仕事も遊びも双方にさまざまな刺激を与え合っていると思いませんか。

広い視野を持ち、物事を包括的にとらえることが大切なのですね。最後に研究者、開発者の皆さんに一言お願いいたします。

研究と開発の両輪ではなく、研究もしくは開発に特化する意味で、研究者の皆さんには専門性を磨いてほしいと思います。その世界でナンバーワンをめざしていただきたいですね。誰も成し遂げなかったことを成し遂





て、自分にストレスをためないようにしています。こう話すと感情的にフラットな印象を与えてしまおうのですがそうではありません。例えば、大きな壁を打ち破るように力任せに物事を運んでは、壁を叩いた手が痛むように、痛みに残り残ってしまっていてストレスがどんどんとたまってしまいます。大きなチャレンジをする、物事を進めるのも同じように無理やり打破するのではなく、扉をイメージしたいですね。扉の向こうに何があるのかを想像しながら開いていくのです。限界といわれようとも希望を込めて扉を開いていきましょう。(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。

げてほしいのです。自分だけが手掛けている研究だという気概を持って、ナンバーワンをめざしてください。

また、開発者は、研究者と違って開発費や時間の制約がありますし、その中で何ができるかを考えなくてはなりません。その制約の範疇で何ができるか、目標設定や条件を強く意識して挑んでください。

研究にしても開発にしても、不安になることもあるかもしれませんが、そんなときは自分自身であるための原点を設けて、あるいは自分自身を

源として、それを頼りに考えていくことが非常に重要です。そして、研究者であれば、論文や学術的な受賞というかたちで成果を残し、社会からリスペクトされるようになる、開発者であれば、自分の開発したものが社会実装され、暮らしの中で使われる、こうしたことが大きな喜びにつながるでしょう。その喜びを胸に日々の仕事に臨んでいただきたいと思います。

座右の銘ではありませんが、私は「ストレスフリー」を常に念頭におい

インタビューを終えて

川添副社長にお目にかかるのは3年ぶりです。今回も川添副社長は爽やかなネクタイで颯爽とご登場されました。川添副社長の醸す潮風や青空を思わせるその爽やかな印象は、学生時代からお好きだというウインドサーフィンが影響しているのかもしれないと、今回初めて伺ったエピソードから感じました。

そんな副社長は2冊の本を携えて、インタビュー会場にいらっしゃいました。その2冊とは『心は量子で語れるか』(1998 ロジャー・ペンローズ他)、『生命はなぜそこに宿るのか』(2017 福岡伸一)です。タイトルからも分かるように心や生命とは何かに迫る科学的とも化学的ともとらえられる内容です。とても難しそうでしたが、副社長の分かり

やすい解説についに控える写真撮影を忘れて聞き入ってしまい、準備に入るよう促されてしまいました。こうした取材や撮影という限られた時間でも、決して慌てさせることなく、優雅に、そして穏やかにエスコートしてくださる川添副社長。今はお嬢様の結婚式を控えていらっしゃる、式ではお嬢様と奥様らが楽器を演奏されるご予定と伺いました。花嫁の父としてのご心境を伺うと「楽器のできない私は家族のカバン持ち。活躍する主役たちを支えるのが私の仕事ですから」と笑顔でおっしゃいます。公私ともに「緑の下の力持ち」として、安心感を与えてくださる川添副社長の頼もしさを感じたひと時でした。



特集

新たなライフスタイル 「リモートワールド」の 実現に向けた研究開発

NTT人間情報研究所では、リモート環境でも遜色のない、あるいはそれを超える体験を提供可能とするために、リアルな人・モノ・環境(フィールド)を的確にセンシングし、ローカル&リモートの仮想融合空間を構築し、ユーザの状況に応じたフィールドを再現するための革新的研究開発を推進している。本特集では、「人間能力拡張」「身体遠隔化技術」「調和再現技術」、および「情動的知覚制御技術」を紹介する。

運動能力転写

身体知

身体遠隔化

情動推定・制御

調和再現

Remote world

人生が何倍も楽しくなる「リモートワールド」の実現に向けて —— 「やむを得ずリモート」から「選ばれるリモート」へ —— 10

人々が人生の充実のために、時と場合によってはリモートを選択する、そのような世の中が来ることを想定した、「選ばれるリモート」「組み合わせるリモート」を実現するための技術を紹介する。

新しい「リモートワールド」実現に向けた人間能力拡張の取り組み —— 13

人の運動を筋電気刺激を用いて人に直接伝えるような伝達・共有をめざす「運動能力転写技術」と、主観的な感覚を他の人が自身の感覚として形成できるように伝達・共有をめざす「身体知技術」を紹介する。

人の身体性を伴う遠隔作業を実現する身体遠隔化技術 —— 17

遠隔地から義体を通じて現地作業時と同様の活動を可能としたり、義体とともに活動する人が不安や違和感を抱かないかたちで対面同等のコミュニケーションを可能とする、「身体遠隔化技術」の実現に向けた取り組みについて紹介する。

リアル会場とリモート観客との調和再現技術 —— 21

低遅延映像通信とクロスモーダル検索を使って疑似歓声をリアル会場で再生して盛り上がりをサポートする実証実験の取り組みについて紹介する。

人や群衆の心の動きを推定・制御する情動的知覚制御技術 —— 25

仮想現実ならではの楽しみ方を体験できるパーソナルバーチャル会場を生成する「情動的知覚制御技術」の研究開発の取り組みについて紹介する。

主役登場 井元 麻衣子（NTT人間情報研究所） —— 29

リモートワールド時代の心躍るエンタテインメント体験を夢見て

人生が何倍も楽しくなる 「リモートワールド」の実現に向けて ——「やむを得ずリモート」から 「選ばれるリモート」へ

世界中に広まったコロナ禍によって、人々の生活様式は半ば強制的に「リモート」を強いられてきましたが、人々の生活の充実のために「選ばれるリモート」「組み合わせるリモート」の実現に向けて、NTT人間情報研究所は、新しい生活スタイル特有の課題をテクノロジーのみならず、社会科学、人文学など幅広い観点で分析・抽出し、研究開発を推進することで、アフターコロナならではの新たな「リモートワールド」の実現をめざします。

あおの ゆうし
青野 裕司

NTT人間情報研究所

新たなライフスタイル 「リモートワールド」の到来

世界中に広まったコロナ禍によって、人々の生活や考え方が大きく変化しました。その1つが、「リモート」という生活様式ではないでしょうか。「リモートワーク」「リモート教育」「リモート観光」などです。2022年に入り、欧米ではいち早くコロナ禍以前の生活様式を取り戻し、リアル、対面式、オフラインがアクティビティの主流になりました。では、「リモート」という生活様式は、もはや不要となつてし

まったのでしょうか。

コロナ禍においては、半ば「リモート」を強いられてきた側面があります。しかし、その経験を経て、「リモート」で済むものはリモートで済ませ、リアルの充実を図る。「リアルしか選択肢がなければあきらめていたかもしれないが、リモートなら参加できる」というように、「リモート」を活用することで、より一層生活の充実をめざしたり、リアルとリモートを併用することで、体験の機会を増やしたりすることが可能になる、と多くの人が気付きました。その結果として、「この仕事・

イベントはリアルのほうが良い」「これはリモートのほうが良い」「リアルとリモートの組み合わせが良い」というように、人々が能動的に賢く選択する時代が訪れるのではないかと私たちは予測しています。そして、このような時代が訪れたときに、「リモートワールド」とそれを支える技術に求められるものは何でしょうか。それは、リモートはリモートなりの良さがある、と思わせるリモートならではの価値やユーザ体験の提供にあると考えます(図1)。

数年前、全世界にあっという間に未

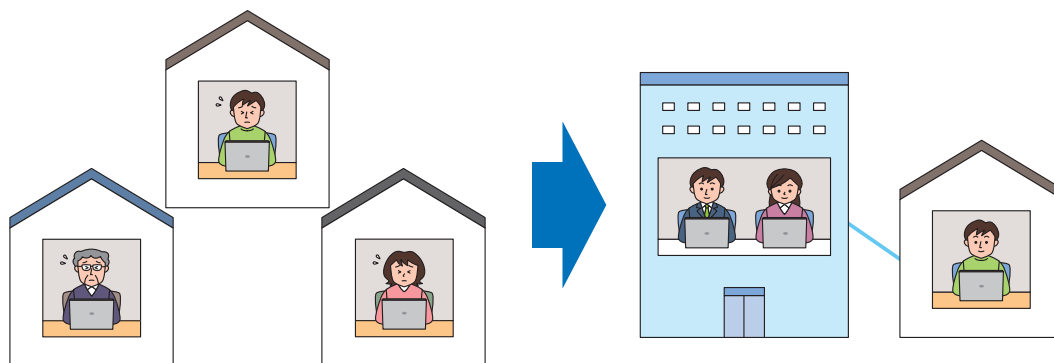


図1 リモートならではの価値やユーザ体験の提供

知の感染症が広がり、一刻も早くその拡大を抑制しなければならない状況において、突然リモート中心の生活を強いられた私たちは、リアルとの差に驚き、不満を感じました。そこで技術に求められたものは、主にはそれら不満の解消であり、リアルとの差が少なく違和感のない「リモートワールド」の実現でした。そして私たちNTT人間情報研究所はいち早くそれらの課題に着手し、極めて短期間で超高臨場感通信技術Kirari!による臨場感あふれるセーリング観戦(写真1)や、超低遅延通信技術を活用した札幌と東京を結ぶマラソンの遠隔応援(写真2)など、無観客開催、リモート応援という困難な状況をはねのけ、世界的なスポーツイベントの成功に大きく貢献する数多くの技術、そして実績を創出しました。

2022年8月現在において、日本をはじめ世界的な感染状況は一進一退ともいふべき状況で、完全な終息までには相当の時間を要すると予想されます。しかし、人類は、必ずやこの苦難を乗り越え、コロナ禍以前の生活を取り戻すことは、間違いありません。現に、欧米を中心に、「以前」の生活を希求する人々のパワーは、極めて大きなものとなっています。このような状況においてNTT人間情報研究所では、「やむを得ずリモート」を強いられた社会における不満や違和感を解消する技術開発にとどまらず、この未曾有の事態が終わりを迎えたときを見据え、人々が人生の充実のために、時と場合によってはリモートを選択する、そのような世の中が来ることを想定し、「選ばれるリモート」「組み合わせるリモート」を実現するための技術の創出に向けた研究開発を推進します。

「リモート」が求められる生活シーン

では、「リモート」を活用する場面として、どのような場面が考えられるでしょうか。私たちは次のような場面を想定しています。

まず思いつくのが「仕事」の場面です。特にNTTグループはリモートワークを積極的に推進しており、私たち研究所もリモートスタンダード組織として、基本的に「自宅」を勤務場所とす

るなど、リモートワーク中心の働き方にさらにシフトしています。しかし、パソコンなどOA機器を使った業務であれば、比較的リモートワークに移行しやすいのですが、対人・対物作業を伴う業務の場合、なかなかリモートワークへの移行が容易ではありません。また、NTTグループには、実にたくさんの職種があり、その中でも機器や設備のメンテナンス業務、医療介護業務などは、移行が困難な業務の代表例といえます。一方で、そういった



写真1 Kirari!によるセーリング観戦



写真2 超低遅延通信技術を活用した遠隔応援

業務を遠隔化できれば、例えば、極地などの寒冷地にデータセンタを配置することで冷却のためのエネルギー削減や、育児などの理由で一度は離職してしまった潜在看護師の方に、短時間だけ遠隔で看護業務を行っていただくことで看護リソースの不足を補うなど、社会的課題の解決にもつながる可能性があります。

次に考えられるのが「教育」です。コロナ禍においては多くの学びの場がリモート化され、先生と生徒や生徒どうしのコミュニケーションが不足するといった問題も顕在化しました。しかし、逆に先生と生徒が距離的に離れていても、レッスンを受けられることも分かりました。例えば、距離や国境を越えて、憧れの先生に教えを受けることも可能になります。そうなったときに課題となるのが、楽器演奏やスポーツ競技などのように、体の使い方を指導する必要が生じた際に、現状の映像音声によるコミュニケーション手段では、直接的な指導ができないという問題です。このように、「積極的」にリモート教育を活用し、そのメリットを享受するためには、遠隔でも体の使い方や身のこなしを伝えることが不可欠となってきます。

また、余暇の充実も重要と考えます。具体的には「エンタテインメント」や「スポーツ」です。コロナ禍においては、コンサートや演劇といった芸術に触れる機会がことごとくリモートになり、それに伴って会場や劇場で観たときに比べた「ライブ感」や「盛り上がり」が低下することに対する不満が顕在化しました。一方で、リモート鑑賞であれば、会場との距離や席数などの制約がなく、とても参加しやすくなるということも経験的に分かりました。さらには、リアルでは実現できな



図2 リモートにより充実する生活シーン

いリモート鑑賞ならではの演出がお気に入りという人もいます。そこで、もし離れた場所にいるパフォーマーと多くの観客が一体感を感じて盛り上がるのであれば、さらにそれがパーソナルな環境で実現できれば、余暇や趣味時間のさらなる充実につながると考えます。また、それはスポーツにおいても同様です。離れた場所においても気の合う仲間と一緒に汗を流すことができれば、体を動かす機会は増え、自分自身も、そして社会全体もより健康的になることが可能となるでしょう（図2）。

「リモートワールド」を支える技術

本特集では、これらのようなさまざまな「リモート」活用場面の中から、離れた場所の人に運動をそのまま届ける「人間能力拡張」の取り組み、遠隔での対人・対物作業を支援する「身体遠隔化技術」、リモート鑑賞においても会場と参加者、並びに参加者どうしの一体感や盛り上がりを生み出す「調和再現技術」および「情動的知覚制御技術」の、4つの技術を紹介します。

繰り返しになりますが、たとえ時間はかかったとしても、世界はこの状況を克服するでしょう。そうなったとき、私たちは単純にビフォーコロナに戻るのではなく、この数年で得た知見を活かした新しい生活スタイル、おそらく

それは誰もがリアルとリモートをうまく使い分け、あるいは組み合わせ、人生を何倍もエンジョイする生活スタイルを模索し、手に入れるはずです。NTT人間情報研究所は、パートナーの皆様とともにそういった新しい生活スタイル特有の課題をテクノロジーのみならず、社会科学、人文学など幅広い観点で分析・抽出し、研究開発を推進することで、アフターコロナならでの新たな「リモートワールド」の実現をめざします。



青野 裕司

「あの時は大変だったけれども、それをきっかけに人生の楽しみ方の幅が広がった」と、多くの人が思えるよう、より感動的で満足度の高いユーザ体験を生み出す技術の創出、研究開発に私たちは挑戦し続けます。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
企画担当

E-mail hi-kensui-p-ml @ hco.ntt.co.jp

新しい「リモートワールド」実現に向けた 人間能力拡張の取り組み

NTT人間情報研究所では、リモートならではのユーザ体験を創出する新しい「リモートワールド」の実現に向け、人間の能力拡張を実現する技術開発に取り組んでいます。言語化が難しい運動能力・身体知を対象に、表面筋電や脳波のような客観的に観測できる情報を収集し、その情報を基に、筋電気刺激を用いて人に直接伝えるような伝達・共有をめざす運動能力転写技術と、その人自身の内で発生している主観的な感覚をとらえ、それと同様の感覚を他の人が自身の感覚として形成できるように伝達・共有をめざす身体知技術に
取り組み、リアル・サイバーを超えた能力拡張実現をめざします。

いのうえ

井上

てるひさ

照久

こいけ

小池

ゆきお

幸生

NTT人間情報研究所

リモートワールドにおける人間の 能力拡張の取り組み

新しいリモートワールドにおいては、単にリアル空間をリモートで、すなわちサイバー空間で接続するだけでなく、リアル・サイバーが融合し新たなユーザ体験が創出される世界であると考えています。私たちは「教育」、特に楽器演奏やスポーツのように身体運動を伴う教育・トレーニングを対象とし、これまで人と人がリアルで直接伝達・共有していた技能・身体技術を、時間と場所によらず伝達・共有できるようにすることで人間の能力拡張を可能とし、リモートワールドにおける新たなユーザ体験を創出することをめざしています。

実現に向けて私たちが取り組んでいる研究開発の中から、プロスポーツ選手や職人の方が持つ技能・身体技術（コツなど）に対して、表面筋電や脳波のような客観的に観測できる情報を収集し、その情報を基に、筋電気刺激を用いて人に直接伝えるような伝達・

共有をめざす「運動能力転写技術」と、その人自身の内で発生している主観的な感覚をとらえ、それと同様の感覚を他の人が自身の感覚として形成できるように伝達・共有をめざす「身体知技術」を紹介します。

運動能力転写技術の取り組み

リモートワールドにおける新たな私たちの教育・トレーニングの実現に向け、運動能力転写技術に取り組んでいます。時間や物理的な距離にとらわれずにさまざまな人々が教え合い、今までにない指導・学習体験を得られる世界の実現に向け、特に対面でも難しい運動の学習に取り組んでいます。

運動能力転写技術は、熟練者の運動を再現・転写することをコンセプトとし、人体の運動制御に対しセンシング・介入することで、運動支援する取り組みです⁽¹⁾(図1)。人体における運動制御と運動支援の関係を次に示すように考えています。人の運動は、脳からの運動指示が筋肉に伝達され、筋肉が収縮することで実行され、その結果

を刺激として感覚器を通じて脳が知覚・認知し、新たな運動の計画・指示を繰り返します。これに対して、センシング個所とフィードバック個所の組合せと、具体的なセンシング手法とフィードバック手法により運動支援する内容が変化します。運動能力転写技術は、この人体における通信や制御に対し、主に脳波や筋電位等の生体信号のセンシングに基づく解析や電気刺激フィードバックにより支援する技術です。現在、脳から筋肉への運動指示とその結果である運動に対するセンシング・介入として、筋活動（筋電図）、運動状況のセンシングとそれに基づく筋電気刺激(EMS)による運動支援(介入)の取り組みを開始し、さらに、感覚器からの入力に対する脳における知覚のセンシング・介入として、運動の基本である姿勢制御において重要な、視覚、体性感覚、前庭感覚に着目した取り組みを開始しています。

運動能力転写技術を用いた新たな私たちの教育・トレーニングについて記載します。通常、特に運動の教育・ト

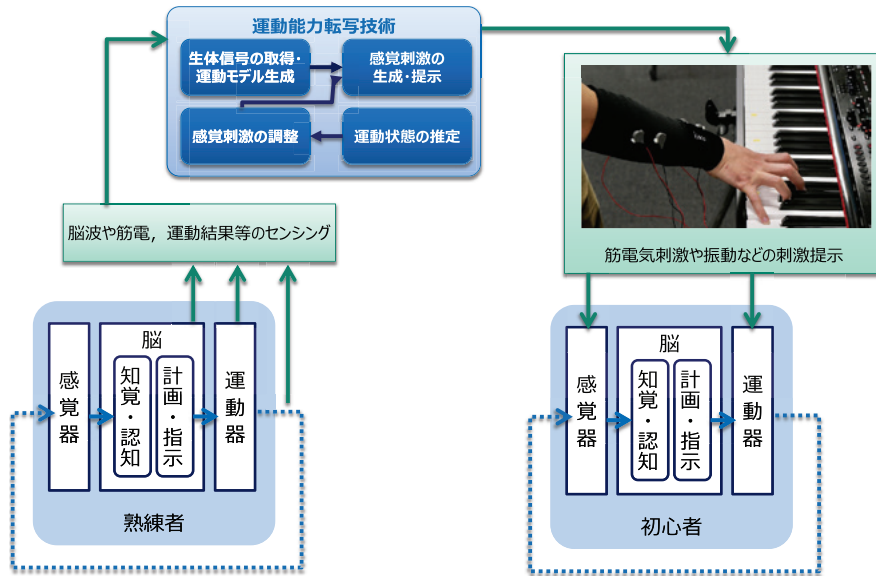


図1 運動能力転写技術によるリモートトレーニングの概念図

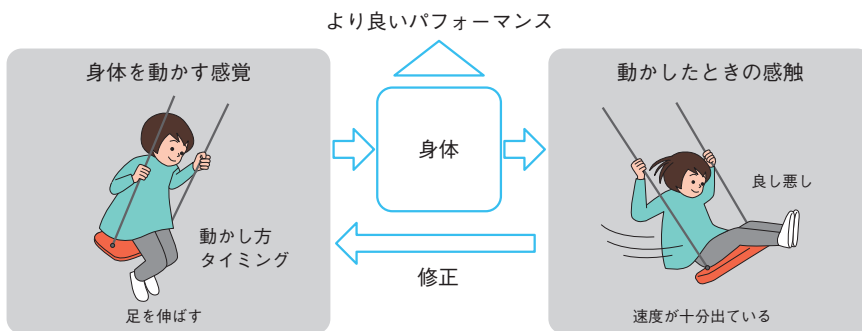
を介したEMSを腕に接続し、熟練者の動作に合わせて手首の回転を交互に繰り返すようEMSを提示します。熟練者は単に音声や映像で指導するのみならず、システムを通じて熟練者の奏法を直接体験させながら指導することができ、双方にとって新たな指導・学習体験を実現します。今後に向けては、演奏時に複数の筋肉が協調して動作することに着目し、複数の筋肉をEMSで協調して動作させるシステムの検討を進めています。このシステムにより初心者でも滑らかで質の高い演奏が可能となるように支援することをめざしています。

今後は運動能力転写技術で取り組んでいる各種センシング・介入技術を基に、日常動作やスポーツ・楽器演奏等具体的な事例に対し、リモートワールド時代における新たなかたちでの教育・トレーニング実現に向けて取り組みを進めます。

身体知技術の取り組み

私たちは、人が言語による理解では獲得できない非言語の知（技能＝身体知）の抽出・共有をめざした研究を推進しており、スポーツにおける「身体知の獲得」の仕組みを明らかにし、遠隔地にいる人に対して他者が持つ身体知を獲得できるよう支援することを目的とした技術の確立に取り組んでいます。身体知の獲得とは、ある身体的な行為において、自身に生じる固有の体感を基に身体（筋肉や骨）の動かし方を修正、より適切で良いパフォーマンスを発揮できるようになることと考えています（図2）。しかし、固有の体感は身体的な行為を行ったその人自身の中に閉じており、主観的なその感覚を直接とらえ、他者に伝達することは困難です。

本取り組みではウインドサーフィン



2つの体感をセットで自覚→身体知の獲得

図2 身体知の獲得

トレーニングにおいては、指導者やトレーナーと生徒は同じ空間に対面で存在し、言葉や身振りなどによって指導を行っています。これに対し、生体情報のセンシング・介入による運動能力転写技術によって、時間や物理的な距離にとらわれずに指導できるのみならず、対面での教育・トレーニングを超えた、より効果的な空間（リモートワールド）の実現をめざします。リモートワールドにおけるトレーニングの事例として、ピアノのテレモ演奏支援の遠隔指導を記載します。

ピアノのテレモ演奏において、初心者と熟練者では腕の筋肉の使い方が異なり、初心者は指を動かすことを意

識するが熟練者は手首を回転させることを意識するといわれています。この差異、すなわち筋活動の差異に着目し、EMSを用いることで熟練者の筋肉の使い方を初心者の筋肉に直接伝える技術に取り組んでいます。熟練者の効率的な身体の動かし方を身体で直接学習することができ、前腕の無駄な力を減らして演奏することができるようになることを確認しました⁽²⁾。

この技術を基に、リモートワールドにおけるトレーニングに向けたシステムコンセプトを開発しました。熟練者側には簡易なモーションセンサを設置し、手首の回転運動を計測しシステムに送信します。初心者側にはシステム

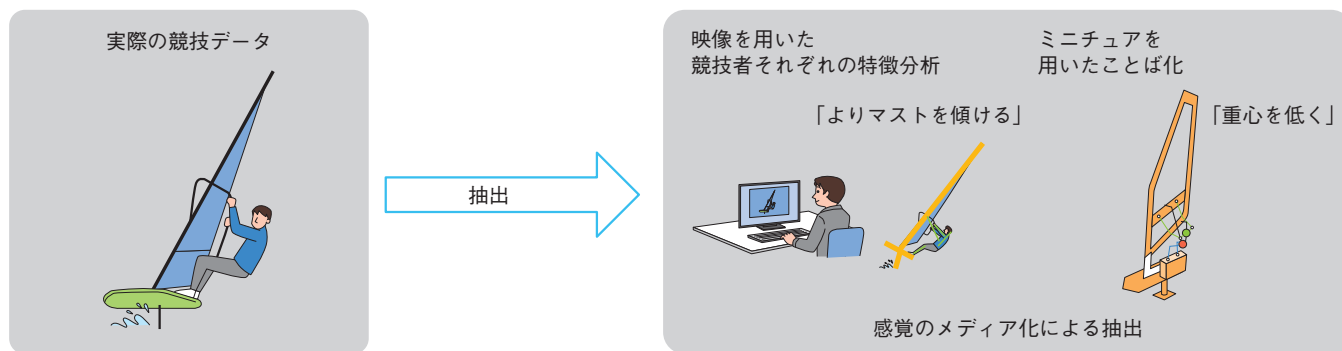


図3 競技者固有の体感の抽出

を題材に、高い競技パフォーマンスを発揮する際のプロ競技者の固有の体感を身体活動と自然環境や道具の挙動（状態情報）をとらえる、それらを再現することで同様の体感を形成し、他者の身体知を獲得することができるのではないかと考え、それを実現するための抽出・共有技術の研究開発を行っています。

抽出技術開発の一例として、実際の競技者の競技中の映像・挙動データをセンシングし、身体動作の意図や、意識していることなどを取得したデータとともに振り返りのインタビューを行い、高いパフォーマンスを発揮した際の固有の体感が生じる状況を特定、そのときの状態情報と体感を表現するオノマトペや模型といったメディアを組み合わせて、身体知を抽出する技術を提案しています。抽出した情報を競技者自身が本当に体感しているか、意識しているのかを実際の競技の中で評価し、フィードバックをすることで抽出精度の向上をめざしています(図3)。また、競技者どうしでそれぞれの固有の体感を形成する状態情報・メディアを共有し、比較することで共通している部分、異なっているものを抽出することで、身体知の獲得支援に向けてより有効な情報の抽出ができるように手法の改善を行っています。

共有の技術開発では抽出した情報を

基に、他者が持つ固有の体感の再現を試みるために、状態情報を再現するための身体感覚再生シミュレータを構築することで身体知の獲得支援に向けた技術の具体化を始めています(図4)。身体感覚再生シミュレータでは、実際に競技者が行ったウインドサーフィン(道具)の挙動、風(自然環境)、競技者が見ていた映像を連動して再生することで、他者が持つ固有の体感を形成できることをめざしています。これにより、本来は共有することが困難な、その人の中で閉ざされている主観的な体感を、他の人へ体験として共有することができるようになって考えています。現在は競技者自身やそのほかの競技者が実際に使用することで評価を行い、フィードバックを行っています。

これらの取り組みにより、今後ウインドサーフィン競技において最大60km/h以上の速度を出せる身体知を獲得することを目指し、日々抽出・共有技術の改善に取り組んでいます。

身体知技術では現在はウインドサーフィンを題材に抽出・共有技術の研究開発を進めていますが、将来的にはスポーツだけではなく身体的な動作を伴う技能が用いられる他分野への展開も視野に入れて、技術検討を進めていきます。



図4 競技者固有の体感の共有に向けた身体感覚再生シミュレータ

NTTドコモ人間拡張基盤との連携

リモートワールドにおいて人間の能力を拡張する取り組みは、NTTドコモが6G(第6世代移動通信システム)時代の新たな提供価値の1つとして挙げているネットワークで人間の感覚を拡張する「人間拡張」を実現するための基盤「人間拡張基盤[®]」との連携を進めています^{(3),(4)}。人間の感覚をネットワークによって伝送、拡張するNTTドコモのネットワーク技術と連携することにより、私たちがめざすネットワークを介して人間の能力の拡張を効果的に実現できると考えています。

docomo Open House'22(2022年

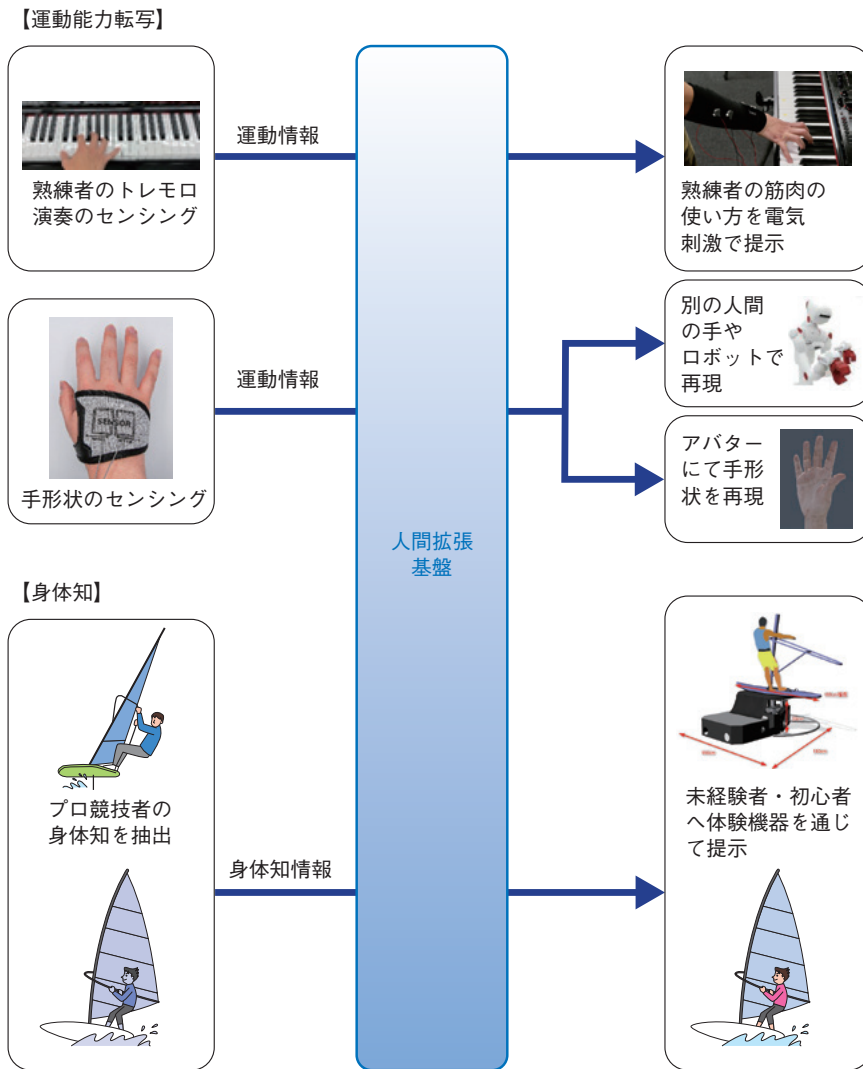


図5 人間拡張基盤（ドコモ）との連携展示概要

これらの技術を組み合わせ、さらに外部パートナーと連携することで、より価値の高い技術を提供できるよう検討を進めていきます。

■参考文献

- (1) 青野・瀬下・松村・小池・松村：“人と機械の共生をめざすサイバネティクス技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 10, pp. 53-56, 2021.
- (2) A. Nijijima, T. Takeda, K. Tanaka, R. Aoki, and Y. Koike：“Reducing Muscle Activity when Playing Tremolo by Using Electrical Muscle Stimulation to Learn Efficient Motor Skills,” Proc. ACM IMWUT, Vol. 5, No. 3, Sept. 2021. <https://doi.org/10.1145/3478110>
- (3) https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2022/01/17_00.html
- (4) 石川：“人の動きや感覚を共有する人間拡張基盤とは,” ITUジャーナル, Vol.52, No.7, pp.16-18, 2022.
- (5) 久保：“ハンドジェスチャ操作を実現する手指形状認識技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 1, pp. 62-65, 2021.

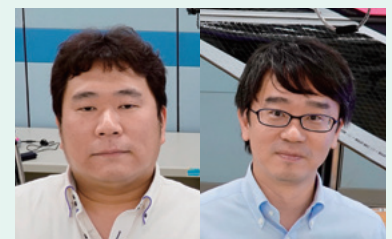
1月17～19日開催)ではNTTドコモの人間拡張基盤との連携状況を可視化する展示として、運動能力転写技術ではアクティブ生体音響センシングを用いた手指形状のセンシング⁽⁵⁾を行い、別の人間の手やロボットで再現、熟練者の指の動きでピアノのトレモロ演奏を実演する展示を、身体知技術ではウインドサーフィンのプロ競技者の技能を初心者やアマチュアの方が体験できる身体感覚シミュレータを展示し、多くのお客さまにNTT研究所とNTTドコモとの将来の連携のかたちを体験していただきました(図5)。

今後は6Gにおける超低遅延性など

を活かしたリアルタイムでの人間の能力の拡張の実現に向けたNTTドコモとの連携や、さらなる外部パートナーとの連携によるリモートワールドに向けたより価値の高い技術検討を推進していきます。

今後の展望

新しい「リモートワールド」実現に向け、新たなユーザ体験としての人間の能力拡張、特に運動における技能・身体技術を時間と場所によらず伝達・共有するための取り組みについて、客観的側面と主観的側面に着目した取り組みを進めていきます。将来的にはこ



(左から) 井上 照久/ 小池 幸生

新しいリモートワールド時代における人間の能力拡張実現に向けて、取り組み中の技術を基に、日常動作やスポーツのほか、身体的な動作を伴う技能が用いられる他分野への展開も視野に入れて技術開発を進めていきます。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
サイバネティクス研究プロジェクト
E-mail cyberne-hosa-p-ml@hco.ntt.co.jp

人の身体性を伴う遠隔作業を実現する 身体遠隔化技術

地理的、時間的な制約から人々を解放することが可能なリモートワークについて、エッセンシャルワークのようなリモートでの対応が難しい職種においても選択できるようになることが求められています。本稿では、遠隔地に存在する人が現地での人や環境との相互作用が発生する作業において、「義体」を通じて現地作業時と同様に状況をとらえることができ、その人の意図どおりの活動を可能とすることに加え、現地で義体とともに活動する人が不安や違和感を抱かないかたちで、対面同等のコミュニケーションを可能とする身体遠隔化技術の実現に向けた取り組みを紹介します。

こんどう

近藤

ごとう

後藤

まつむら

松村

しげくに

重邦

みつひろ

充裕

なりむね

成宗

さとう

佐藤

たかぎ

高木

だいすけ

大祐

もとひろ

基宏

NTT人間情報研究所

はじめに

2020年、瞬く間に世界中に広がった新型コロナウイルス感染症により、私たちの価値観や常識は大きく変化しました。そのうちの1つが、仕事を実施する場所を1つの場所に固定しない、リモートでの働き方（リモートワーク）が一般的な概念として定着したことであると考えます⁽¹⁾。リモートワークの浸透により、これまで対面で行われてきたさまざまな業務が、必ずしもその場に赴かずに実施可能となることで、固定の場所での業務に伴う地理的、時間的な制約から解放され、居住地を自由に選択可能となったことや、これまでの移動時間を他の活動に充てられることなど、さまざまなメリットを享受することができるようになりました。一方で、エッセンシャルワークなどリモートでの対応が難しい職種があること、リモートワークが可能な業務においても、遠隔化や分散化によるコミュニケーション不全や心理負担増等の問題が顕在化するなど、必ずしもメリッ

トばかりではないことも事実です。

NTT人間情報研究所では、あらゆる業務において必要に応じてリモートという選択肢を持つことができる「リモートワールド」の実現をめざし、リモートでの業務における課題解決に向けた「身体遠隔化技術」の研究開発に取り組んでいます。

身体遠隔化とは

リモートワークを選択できない理由として、現場業務が中心で現在のリモートの手段では効率や生産性が低下してしまうこと、対面コミュニケーションが求められることが挙げられます。

現場での作業が求められる業務のリモート化には、遠隔からの操作に基づき現地で実際に作業する実態（機械やロボットなど、本稿ではこれを「義体」と呼ぶこととします）が必要となります。しかし現状では、遠隔地の本人が意図して操作した作業内容と実際に行われていた現地での作業の結果が、操作インタフェースや義体の再現能力の欠落や反応遅延により、実施内容やタ

イミングに差分が発生し、作業効率や生産性に大きく影響する課題があります。また、遠隔地から現地の状況を正確にとらえることができることも求められますが、現地の環境変化や対応する人の振る舞いを認知するための情報が対面時に比べて不足することや、現地に存在する人にとって、遠隔からの作業に対して違和感や不安が発生することも課題となります。

私たちが取り組んでいる「身体遠隔化」は、遠隔地に存在する人が、現地での人や環境との相互作用が発生する作業において、義体を通じて現地作業時と同様に状況をとらえることができ、その人の意図どおりの活動を可能とすることに加え、現地で義体とともに活動する人が不安や違和感を抱かないかたちで、対面同等のコミュニケーションを可能とすることをめざしています。この身体遠隔化を実現するために必要な技術として、動作予測や反応予測により遅延や操作情報の補正を行うことで遠隔地の操作性を向上させる「ゼロレイテンシメディア技術」、遠隔

地においても対面と同質の体験を実現する情報提示方法を実現する「Lifelikeコミュニケーション技術」、遠隔地の操作者や現地環境の変化の予測や、遠隔地から操作に必要な現地の情報を把握するため、知識や経験と身体行動のつながりを解明し体系化する「身体行動体系化技術」について現在研究開発を進めています。本稿ではこれらの取り組みについて紹介します。

ゼロレイテンシメディア技術

ゼロレイテンシメディア技術は、ロボットの遠隔操作を支援することで、人の持つ作業能力を遠隔でも100%以上発揮することができるシステムの実現をめざしています。遠隔操作による作業能力の発揮を阻害する主要因は、遅延、情報欠落、人とロボットの身体の構造の違いであると考えられ、それぞれの対策が必要となります。現在は、特に影響が大きい遅延への対策を中心に研究開発に取り組んでいます。

遠隔操作では、操作者が遠隔地から送られてくるカメラ映像などのフィードバック情報を基に、ロボットの位置・

力・速度を適切な値に制御を行います。この際に遅延が発生すると、遠隔操作での制御に必要なフィードバックが必要なタイミングで得られず、位置・力・速度の制御精度が低下し、結果として作業を失敗してしまう、作業効率が低下するなどの問題が起こります。例えばロボットアームでモノを把持しようとした場合、位置がずれると対象物の把持に失敗します。力がずれると、対象物を破壊してしまうことや、逆に力が弱いとうまくつかむことができず、対象物を加工したりペイントしたりする場合には、速度がずれると対象物に与える影響が変わってしまいます。

ゼロレイテンシメディア技術では、このような遠隔操作における遅延の問題に対し、作業効率を高め、作業者の負担を減らすために、人と環境の理解に基づく「動作補正」と「認知補正」により対策を行います(図1)。「動作補正」では、操作者から送られてくる操作情報を補正したうえでロボットを動作させることで、遅延の影響の緩和を行います。補正の手段として、予測

制御、半自律制御という2つのアプローチを検討しています。予測制御では、操作者の動作を予測し、予測された動作に基づいてロボットを制御し、先行的に動作させることで系全体の遅延の短縮をめざします。半自律制御では、操作者の意図を推測し、推測された意図に基づいてロボットを半自律的に制御することで、遅延による操作のしづらさの解消をめざします。「認知補正」では、遠隔地の作業環境から送られてくるフィードバック情報を補正して操作者に提示することで遅延の影響を緩和します。補正の手段として、制御対象の補正および作業対象の補正という2つのアプローチを検討しています。制御対象の補正では、制御対象であるロボットに関するフィードバック情報をAR(Augmented Reality)などで補正を、作業対象の補正では、遠隔作業を行う作業対象に関するフィードバック情報の補正を行います。

動作および認知補正による遅延緩和効果を確認するため、簡易的なペン型ロボットを遠隔操作し、紙の上に記載された点をタッチする位置合わせタスクでのタスク達成時間を計測しました。実験の結果、補正を入れなかった場合には遅延時間の増加に伴いタスク達成時間が増加してしまうのに対し、補正を入れることで遅延によるタスク効率の悪化を防ぐ効果があることが確認できました。現在は、遠隔操作が可能なロボットアームやヒューマノイドロボットを用い、より実用的なタスクでの遅延緩和効果の検証を行うとともに、人と環境の理解を深めることで各補正技術を改良する取り組みを行っています。

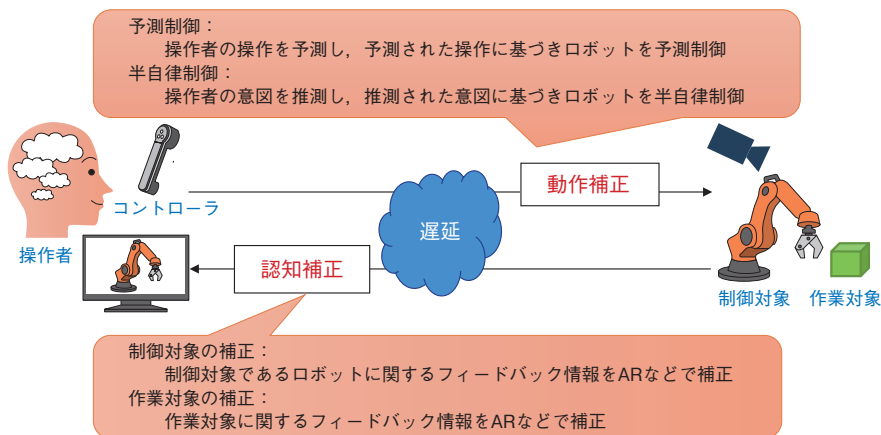


図1 ゼロレイテンシメディア技術

Lifelikeコミュニケーション技術

身体遠隔化における、人と人の間で行われるコミュニケーション体験に着目したLifelikeコミュニケーション技術を紹介します。近年、Web会議ツールなどを用いて、遠隔地にいる対話相手と映像や音声をやり取りしながら、オンラインでコミュニケーションを実施する機会が増えました。しかし、直接、対話相手と対面してコミュニケーションする場合と比較すると、どこか物足りなさが残る体験だと思ってしまうのではないでしょうか。Lifelikeコミュニケーションでは、こうしたオンラインコミュニケーションの物足りなさが発生する要因を紐解きながら、対面と同質の体験を得るためのオンラインならではの情報提示方法の実現をめざしています。特に、オンラインコミュニケーションでは、画面越しに対話相手の存在感や距離感を把握することが難しくなります。こういった問題を解決するために、従来アプローチでは、現実空間で感じている映像や音声を高品質・高精細に再現することが行われてきまし

た。一方で、本技術では、コミュニケーション中の映像や音声を現実空間に則して忠実に再現するのではなく、“目や耳に入る情報が現実にはなくても、最終的に利用者が満足・納得したと思えばよい”というアプローチの下、その情報提示方法を検討しています。そして、オンライン上でも遠隔にある対話相手の身体がまるで近くにいるかのような直接対面している体験を利用者に与えることを実現します(図2)。

昨年度はこうした技術コンセプトを基に、オンラインで開催される技術展示会の高度化に向けたケーススタディを実施してきました⁽²⁾。現在行われているオンライン展示会では、来場者が興味のある展示ページに記載された内容を一方的に閲覧する形態となり、対面の展示会のように、説明員から説明を受けたという満足感を得ることができません。そこで、本技術では、閲覧しているページ個所に対応した説明音声を、立体音響を活用して来場者に提示することで、対面の展示会で感じられる説明者やアテンダントとの距離感

や位置関係を感じさせながら、それらの人から直接説明を受けているような体験を与える新しい実施形態を考案しました。そして、この考案した形態の有効性について、オンライン展示会への参加経験や展示会企画の経験があるさまざまな来場者に評価してもらい、主観的に満足感・納得感の向上に寄与することを確認しました。今後は、技術展示会だけではなく、オンラインで行われる接客や、美術展示などにも応用することを検討しています。

身体行動体系化

身体遠隔化を支える取り組みとして身体行動体系化の取り組みについて紹介します。身体遠隔化でエッセンシャルワーカーの身体行動を伴う業務を遠隔化するには、義体やロボット上でエッセンシャルワーカーの技能を再現することが求められます。近年では、コンビニでの商品入れ替え、データセンターでのLANケーブル差し替えといった業務ではロボット化の検討が進んできています。しかし、エッセンシャルワーカーでも専門性の高い看護師や介護士等の専門職の複雑な業務は現場で体得する暗黙知として取り扱われている技能が多く存在し、ロボット化が困難です。これらの身体知ともいえる技能はデジタル上で取り扱うための要件が明確でないため義体やロボット上で再現ができず、遠隔化が困難となっています。看護行為、介護行為などの人間にとっても複雑な業務において発揮される技能を義体、ロボット上で再現するために、どのように技能をデジタル上で表現するかが課題となります。高度な専門業務で発揮されている技

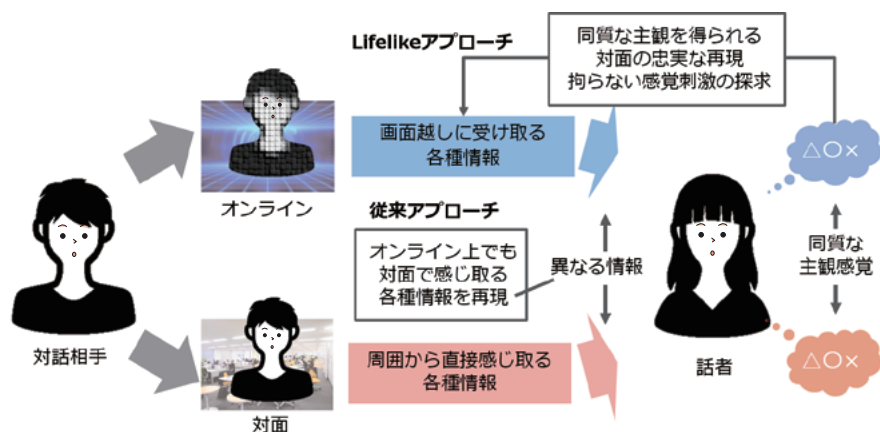


図2 Lifelikeコミュニケーション技術

能をデジタル上で表現していくためには、その技能がどのような専門知識に基づいて身体行動として表出しているのかを解き明かし、体系化することが必要です。例えば、病棟という環境での入院患者への対応時に、“入院患者が喘息を持っている”という状況の知識と“喘息の患者の場合は聴診器で呼吸音を必ず確認する”という業務知識があって“聴診器で喘息患者の呼吸音を聞く”という身体行動につながっていきます。このように、どのような環境、状況でどのような知識を用いているか、その知識に基づいてどのような身体行動が表出しているかを体系的に整理することで、義体、ロボットがどのような環境、状況でどのように動けばよいかを定義できます。

身体行動体系化の取り組みでは、義体、ロボットが動作するために必要な身体行動情報を体系的に定義するとともに、どのように取得して表現するかについて研究開発を進めています。身体行動情報の対象となる身体行動は、マニュアル化されて言語化が進んでいる身体行動もあれば、マニュアル化されておらず、現場の暗黙知として存在する身体行動もあります。また、マニュアルに記載されている行動と現場の行動が乖離している場合もあります。これらの身体行動の実態を把握して専門知識等と結びつけてデジタル上で取り扱えるようにすることで専門職の技能を義体、ロボット上で再現することをめざしています。昨年度はコンビニの業務において顧客や従業員の行動をマニュアルより細かい粒度で把握することでマニュアルのみでは把握できない身体行動を把握する技術⁽³⁾や通

信建設における高所作業での作業者の行動を1人称視点で認識し、マニュアルで定義されている安全規則に基づいて行動しているかを評価するデータセット⁽⁴⁾の開発を行ってきました。今後はこのような現場実態を把握する身体行動認識技術に加え、専門知識と身体行動を結びつける方法を確立することで、これまで義体、ロボット上で再現できていなかった専門性の高いエッセンシャルワーカーの技能を再現可能としていきます。

おわりに

本稿では、遠隔地に存在する人が現地での人や環境との相互作用が発生する作業において、義体を通じて現地作業時と同様に状況をとらえることができ、その人の意図どおりの活動を可能とすることに加え、現地で義体とともに活動する人が不安や違和感を抱かないかたちで、対面同等のコミュニケーションを可能とする身体遠隔化技術の実現に向け、現在の取り組みである「ゼロレイテンシメディア技術」「Lifelike コミュニケーション技術」「身体行動体系化技術」について紹介しました。今後はリモートでの対応が現状では困難である医療介護業務や設備メンテナンス業務などの具体的な領域での技術開発と検証を進めるとともに、身体遠隔化を、現実の身体の制約からの解放、能力の拡張を含めたものである概念として拡大し、研究開発を推進していきます。

参考文献

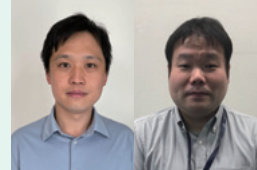
- (1) <https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/roudou/20/dl/20-1.pdf>
- (2) 内田・後藤・瀬下：“オンラインコミュニケーションにおける立体音響を活用した満

足感・納得感向上の検討,” 信学技報, Vol. 121, No. 423, MVE2021-88, pp. 255-260, 2022.

- (3) https://www.rd.ntt/_assets/pdf/forum/2021/C27_j.pdf
- (4) 古田・高木・菅野・佐藤：“現場作業映像における作業指示マニュアル逸脱行動検知のためのデータセット,” 信学技報, Vol. 121, No. 304, PRMU2021-30, pp. 37-42, 2021.



(上段左から) 近藤 重邦/ 佐藤 大祐/
後藤 充裕



(下段左から) 高木 基宏/ 松村 成宗

あらゆる職種の方々が、必要に応じてリモートワークを選択することができ、地理的、時間的な制約から解放されるリモートワールドの実現に向け、研究開発に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
サイバネティックス研究プロジェクト
E-mail cyberne-hosa-p-ml@hco.ntt.co.jp

リアル会場とリモート観客との調和再現技術

NTT人間情報研究所では、ライブ配信イベントをリモートで自宅からオンラインで楽しむ観客（リモート観客）の様子をイベント開催しているメイン会場（リアル会場）で違和感なく合成・提示するために、リモート観客の様子をリアル会場の状況に合わせて調和させつつ再現する技術の研究開発に取り組んでいます。2022年3月21日に開催された「第34回 マイナビ 東京ガールズコレクション 2022 SPRING/SUMMER」において、コロナ禍のため歓声を上げられないリアル会場の観客とリモート観客のために、低遅延映像通信とクロスモーダル検索を使って疑似歓声をリアル会場で再生して盛り上がりをサポートする実証実験を実施しました。本稿では、この実証実験の取り組みについて紹介します。

くろすみ 黒住	たかゆき 隆行	はせがわ 長谷川	けいすけ 馨亮
まつもと 松本	えいいちろう 英一郎	えうら 江浦	としひこ 俊彦
ふかつ 深津	しんじ 真二		

NTT 人間情報研究所

映像・音響の調和再現の必要性

NTTは、これまで高臨場感の映像を届けることに主眼を置いて、複数の遠隔の視聴環境を相互に接続し、高精細な映像を低遅延に届ける双方向映像通信の研究開発に取り組んできました。マラソン競技におけるリアルタイムリモート応援プロジェクト⁽¹⁾では、非圧縮伝送による超低遅延通信技術と低遅延メディア処理技術により、札幌のマラソンコースと東京の応援会場をリアルタイムにつなぎました。これにより、遠隔地から観客の応援を選手に届け、沿道応援さながらの臨場感と、選手観客の一体感をつくり出し、新たな競技観戦のかたちを実現しました。

NTTは、この取り組みを家庭ユーザ向けに発展させるため、ライブ配信イベントの会場と家庭環境との間を双方向に映像と音響を通信する研究に着手しました。しかし、家庭環境とリアル会場との間で双方向に高臨場な映像通信を実現しようとすると不都合が生じることがあります。例えば、リモー

トワークをしている家庭環境と職場との間で映像と音を利用するWeb会議をするような場面では、家庭環境側のカメラ映像の背景に生活感のある部屋の様子が映り込んだり、マイク音声に家族の声が混入したりして、気まずいと思うことがあります。また、スポーツやエンタテインメントのライブ配信イベントのような場面で、リモートから参加し自身の存在も映像で届けて会場と一緒に盛り上がりたと思う反面、このような家庭のあまり見られたくない、聞かれたくない情報がライブ会場に届いてしまったり、配信されてしまったりすることは避けたいと思う観客は多いでしょう。そこで、不要な情報は抑制し、会場で再現して欲しい情報は臨場感を高く、会場と調和のとれた状態で映像や音響を再現することが求められます。

一方、会場側でも調和のとれた再現というものが必要になる場合があります。新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、人々の行動が制限され、ライブ会場でも感染防止のために観客

はマスクを着用していても歓声を上げることが禁止されている状況にあります。音楽ライブにおいて、新型コロナウイルス感染拡大前はとても盛り上がった楽曲が、会場に観客がたくさん来場しているにもかかわらず歓声を上げられないという状況は、とても寂しくもあり、もの足りなさも感じてしまいます。また、演者の方にとっても、歓声を聞くことができないと観客の反応が分かりにくくなるため、観客とのインタラクションが難しくなります。そこで、会場側においても、新型コロナウイルス感染拡大前と同じように、違和感のない歓声による盛り上がりを提供できないかという問題意識で、映像・音響の調和再現について検討を進めました。

家庭向け双方向映像通信の実現に向けた共同実験

IMAGICA EEX, NTTコミュニケーションズ, NTTは、2022年3月21日に開催されました「第34回 マイナビ 東京ガールズコレクション 2022

SPRING/SUMMER」⁽²⁾において、家庭ユーザを対象とした双方向高臨場映像視聴の実現に向けた共同実験を実施しました。実験では、コロナ禍のために歓声を上げられないリアル会場の観客の盛り上がりのサポートをすることと、リモートからのオンラインの視聴であっても会場とのインタラクションにより参加感を醸成することをめざして、低遅延映像通信技術とクロスモーダル検索技術⁽³⁾を使った疑似歓声音の再生を実現するシステムを構築し、リアル会場の観客とリモート観客の盛り上がりの様子から歓声を再現するアプローチで調和再現の検証を行いました。図1は、実証実験の全体像を表す概念図です。家庭環境でライブ配信を視聴している参加者（リモート観客）が、カメラ付きのPCを利用してNTT

コミュニケーションズの双方向低遅延通信システム（Smart vLive^{®(4)}およびSkyWay^{®(5)}）を介してリモートから参加し、ステージ前面の左右の大画面ディスプレイに登場します。ここで、リモート観客の左右各々の映像から後述する歓声音の推定を行って、対応する左右のスピーカーから盛り上がりに応じて歓声音を再生します。一方、会場の観客についても、観客席をねらったカメラで撮影した映像から歓声音を推定し、会場スピーカーから歓声音を再生します。歓声音は、観客がペンライトを速く振ると大きくなり、ゆっくり振ると小さくなるよう、歓声音を観客がコントロールできるように調整しました。また、盛り上がりの大きさは、歓声音だけでなく、ライブ配信される映像のXR（Extended Reality）表

現にも反映しました。IMAGICA EEXにより配信映像中のリアル会場の観客やリモート観客からの盛り上がりの大きさに応じて光の粒の量が変化する演出を行い、ライブ配信の視聴者は、観客の盛り上がりをもとに音と映像で楽しむことができました。

■システム構成

全体のシステム構成を図2に示します。実験システムは、リモート観客の映像をタイル状にレイアウトする機能、会場に大型ディスプレイ上に表示する機能、タイル映像と会場の観客映像から歓声音を検索し音を再生する機能、検索結果をXRに表現する機能、これらの結果を反映した会場の様子を映像配信する機能から構成されます。

今回使用した音検索システムは、機械学習に基づく技術を用いています。NTTコミュニケーション科学基礎研究所のクロスモーダル音検索技術⁽³⁾を用いて、ペンライトを振る観客の様子を映した映像から歓声音を推定しました。ペンライトを振る映像と歓声音を対応付けるために、あらかじめペンライトを振る会場観客、リモート観客の映像と歓声音の音をペアにした学習データを準備し、映像から音を推定するモデルを学習しておきます。本番では、リモート観客については、図3に示すように5×5のタイル状にレイアウトして集約した映像を入力して、ペンライトを振る様子から対応する歓声音を検索し再生しました。一方、会場観客については、図4に示すように会場観客を撮影するためのカメラを会場内に設置して観客を撮影し、こちらも同様にペンライトを振る様子からその映像に対応する歓声音を検索し再生しました。再生する音源は、あらかじめ録音して用意した歓声音を使用しました。

ここでクロスモーダル音検索技術を使用した歓声音の検索に加えて、歓声

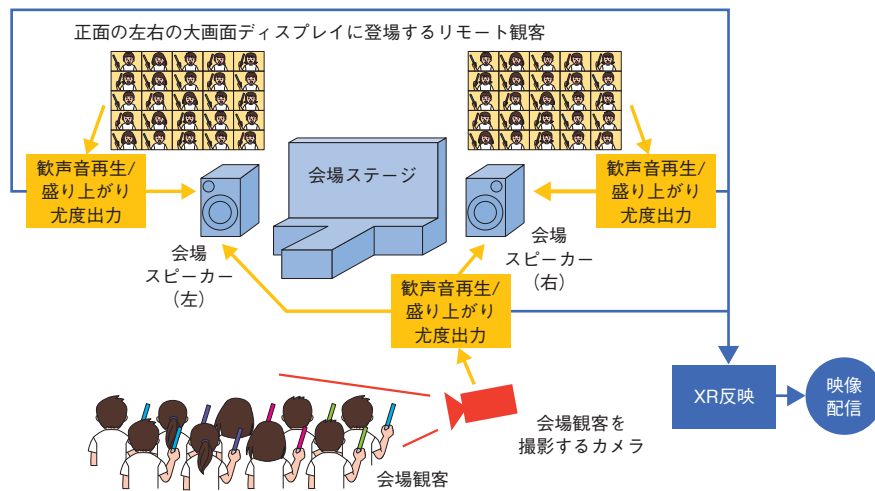


図1 実証実験の概念図

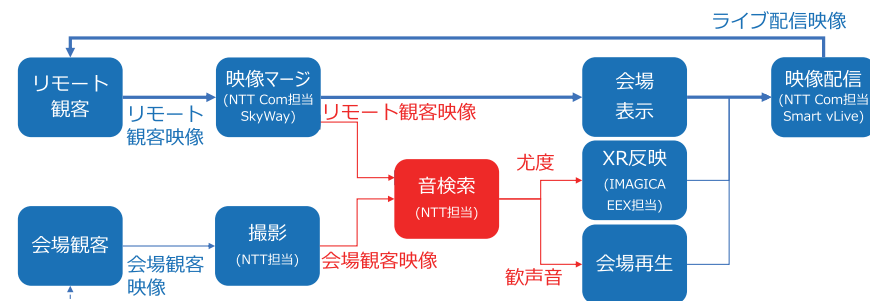


図2 システム構成と処理・情報の流れ

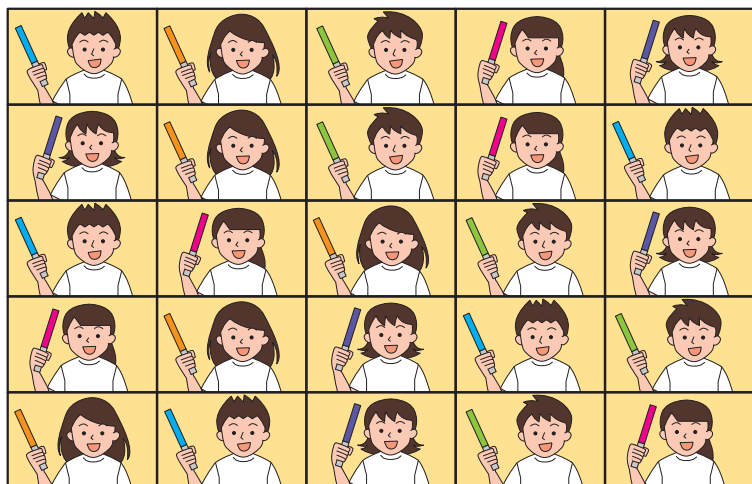


図3 ペンライトを振るリモート観客映像をグリッド状に配置し集約した映像

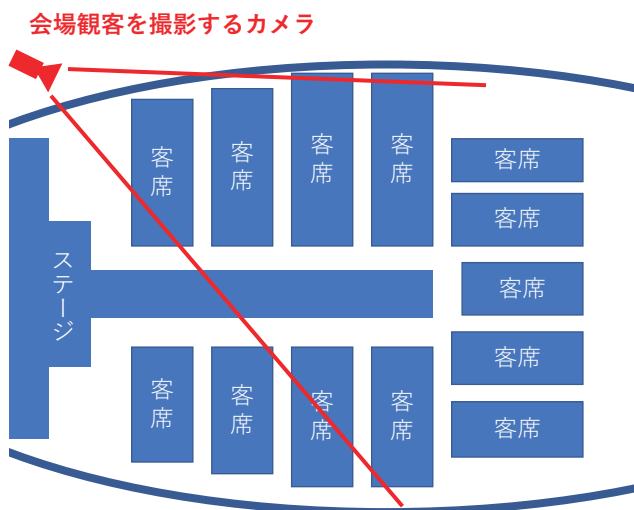


図4 会場観客を撮影するカメラの配置

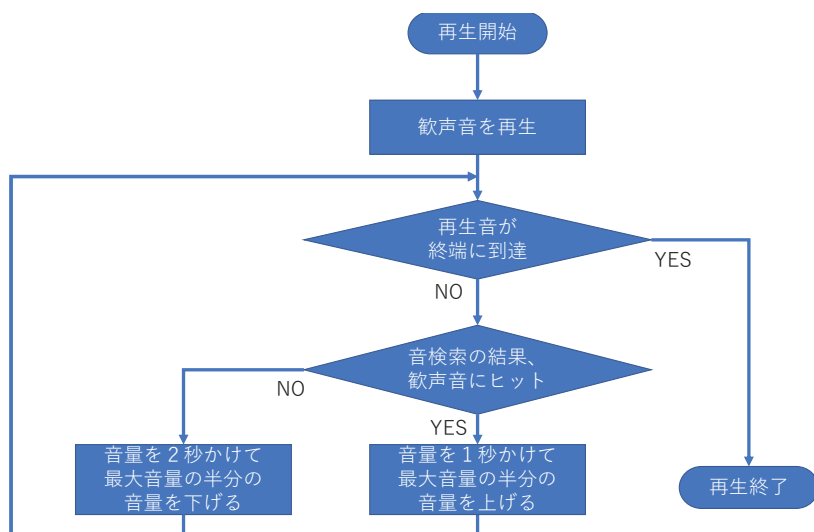


図5 音量決定のフローチャート

音の音量を滑らかに変化させるために、図5に示すフローチャートにより音量を決定する手法を実装しました。歓声音の検索がヒットの個所とそれに対応する音量変化の例を図6に示します。この仕組みにより、ペンライトの振りを継続すると音量が大きく、ペンライトの振りを止めると音量が小さくなるように制御でき、直感的な音量の変化を実現させることができます。

■参加者へのアンケートによる評価

今回の実証実験では、観客映像から歓声音を推定して会場で再生する調和再現の有効性を確認するために、実験期間中にリモート観客として参加いただいた被検者の方々へのアンケートを実施しました。「通常の視聴をするだけの配信と比べると、歓声が出る仕組みはあったほうが良いと感じた。」という一文に対して、「当てはまる」から「当てはまらない」までの5段階評価で回答する質問に対し、86.6%の方が「当てはまる」と回答しました(図7)。参加していただいた方の多くが調和再現する仕組みに対して好意的にとらえており、観客の反応を会場へ届けることの有効性を確認することができました。

今後の展開

今回、リモート観客には、自宅から1人ずつ接続いただくという形式で参加いただきましたが、どのような視聴環境でリモートから参加することが望ましいかについての調査もアンケートで実施しました。「ライブ配信を遠隔から鑑賞する状況として、次のいずれの視聴状況を望みますか」という複数回答可能な質問に対して、68.8%と半分以上の方が「自宅・友人宅に集まり1台のスマートフォン・PC・モニターから友人と一緒に参加」と回答しました(図8)。この結果は、リモートの

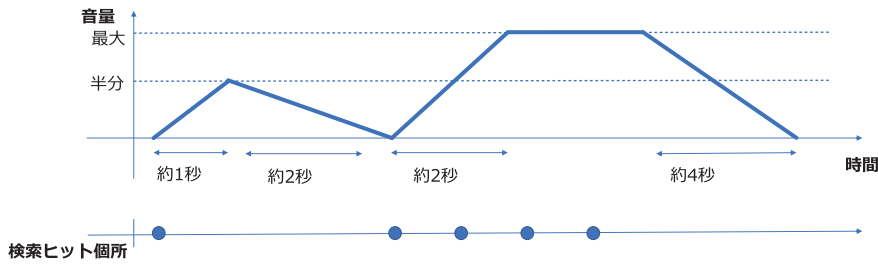


図6 検索ヒット箇所と音量の変化の例

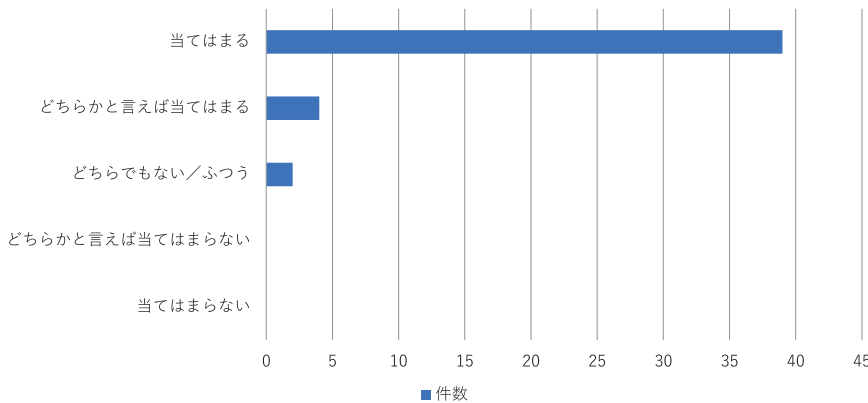


図7 通常の視聴するだけの配信と比べると、歓声が出る仕組みはあった方が良く感じた (45人回答)

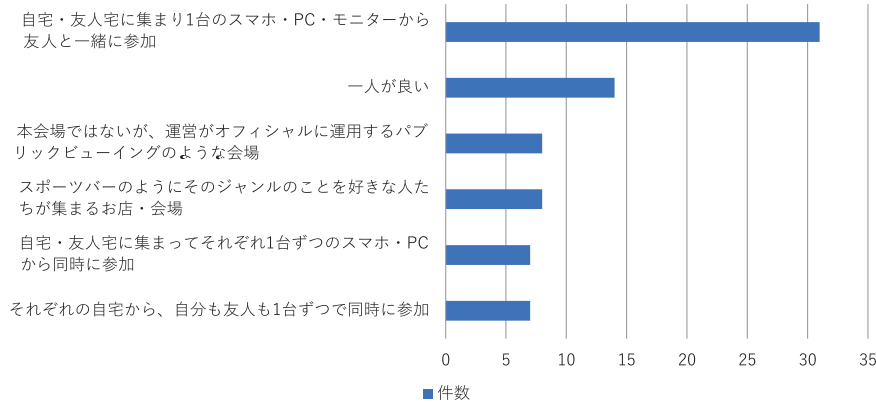


図8 ライブ配信を遠隔から鑑賞する状況として、次のいずれの視聴状況を望みますか (45人回答、複数回答可)

視聴環境に仲の良い友人どうしが集まって参加し、そのような視聴環境が多数、会場に接続されて、一緒に視聴するという視聴スタイルが、今後、求められるということを示唆しているかもしれません。パブリックビューイングのような整備された環境であれば、会場の雰囲気も含めて高い臨場感を追

求してリッチに伝送しても問題ないかもしれませんが。しかし、家庭向けの場合は、先述したように、家庭環境をカメラで撮影したそのままの映像やマイクで収録したそのままの音を伝送して会場で再生したのでは、演出上の問題が発生することが予想されます。このようなことから、NTTは、リアリティ

への追求だけでなく、より強調したい情報、抑制したい情報があることを考慮して情報を選択し、ライブ配信に支障がないように調和した映像や音響を再現することができる双方向映像通信の研究開発を進めていきます。

■参考文献

- (1) 薄井・深津・松本・井元・白井・木下： “マラソン × 超低遅延通信技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 10, pp. 30-34, 2021.
- (2) <https://tgc.girlswalker.com/22ss/>
- (3) M. Yasuda, Y. Ohishi, Y. Koizumi, and N. Harada: “Crossmodal sound retrieval based on specific target co-occurrence denoted with weak labels,” in Proc. of Interspeech, 2020, pp.1446-1450, Oct. 2020.
- (4) <https://www.ntt.com/business/services/voice-visual-communication/business-support/smartvlive.html>
- (5) <https://webrtc.ecl.ntt.com/>



(上段左から) 黒住 隆行/ 長谷川 馨亮/
松本 英一郎

(下段左から) 江浦 俊彦/ 深津 真二

ライブ配信イベントをリモートで自宅からオンラインで楽しむ観客に対して、リアル会場での参加では体験できなかった新しい体験を提供できるような双方向映像通信の実現をめざして研究開発を進めています。

◆問い合わせ先

NTT 人間情報研究所
サイバー世界研究プロジェクト
E-mail dsg-contact-p@hco.ntt.co.jp

人や群衆の心の動きを推定・制御する 情動的知覚制御技術

近年増加しているリモート環境での音楽ライブや競技観戦などへの参加では、会場で感じる熱狂や一体感、熱意の伝染といった現地・対面ならではの情動を伴う体験が失われています。本稿では、リモート環境でも個人や群衆の情動の増幅・共鳴が活発に行われる世界の実現に向け、参加者の情動の表出特性の推定とそれに基づく情動制御により、仮想現実ならではの楽しみ方を体験できるパーソナルバーチャル会場を生成する情動的知覚制御技術の研究開発の取り組みについて紹介します。

もちづき

望月

こうじま

幸島

やまもと

山本

りか

理香

まさひろ

匡宏

りゅうじ

隆二

まさぐち

巻口

よこやま

横山

もとひろ

誉宗

まさのり

正典

NTT人間情報研究所

情動的知覚制御技術

リモートワールドにおける音楽ライブやスポーツ等のイベントへのオンライン参加は、場所や距離を気にせず気軽に世界中から集うことができる新たな手段として、今後も現地参加と並ぶ必須の選択肢になると考えられます。その体験向上に向けて、会場を中継する映像の高解像度化や、複数のカメラを配置することによる多視点化、360度カメラを用いた広視野角化といった臨場感の向上に関するさまざまな工夫が行われています。一方で、現状、実際のスタジアムやライブ会場で観客どうしが感じる熱狂や一体感、熱意の伝染といった現地・対面ならではの情動を伴う体験が大きく失われています。そこで、ユーザ個人の情動の表出特性を推定し、それに基づき情動を制御する情動的知覚制御技術によって、他観客と連動して一体感を感じたい、1人きりの空間で熱中したい、等の1人ひとりの楽しみ方に合わせて最適化したパーソナルバーチャル会場を生成する

ことで、リモート環境においても個人や群衆の情動の増幅・共鳴が活発に行われる世界をめざしています。

情動的知覚制御技術は、人の情動表出特性を理解し、センシングやデータ分析を通じて人の情動特性を推定する「情動推定技術」と、人の情動特性に合わせた知覚刺激によって情動をコントロールする「情動制御技術」の2つの軸となる技術によって、熱狂や一体感のエンハンスといったユーザにとって望ましい情動を導く技術です。2つの軸となる技術において、人そのもの、群衆、そして個人間・個人と群衆の相互作用を含めた情動の推定と制御を組み合わせることで、各人ごとに最適な体験を導くパーソナルバーチャル会場を構築します(図1)。

情動推定技術は、センシングされた生体情報や画像・音声、コンテンツなどのデータから個人や群衆の情動とその変動を定量的に把握し、モデル化する技術です。一方、情動制御技術は、知覚・認知心理学・HCI (Human-Computer Interaction) 分野の見

を活用し、リモート環境でも現地会場と同等またはそれ以上の情動を誘起するインタラクション技術です。図1において、情動推定技術により現地・リモート観客の状態推定・モデル化を行い仮想観客へ反映し、情動制御技術により各リモート観客の特性や情動状態に応じて仮想観客の動作・会場演出を最適化します。

本稿では、音楽イベントなどのリモートライブを1つのユースケースとして、パーソナルバーチャルライブ会場(図2)構築に向けたアプローチを紹介します。リモート観客ごとに仮想観客の提示方法や会場でのインタラクションによる相互作用を最適化することで、観客間に生じる応援の伝搬・同期による一体感や熱狂を知覚的に高めて情動体験をエンハンスします。

情動推定技術

音楽ライブやスポーツ観戦などにおいては、観客や視聴者の曲や演出の好み、競技に関する知識に応じて盛り上がるポイントは異なると考えられま

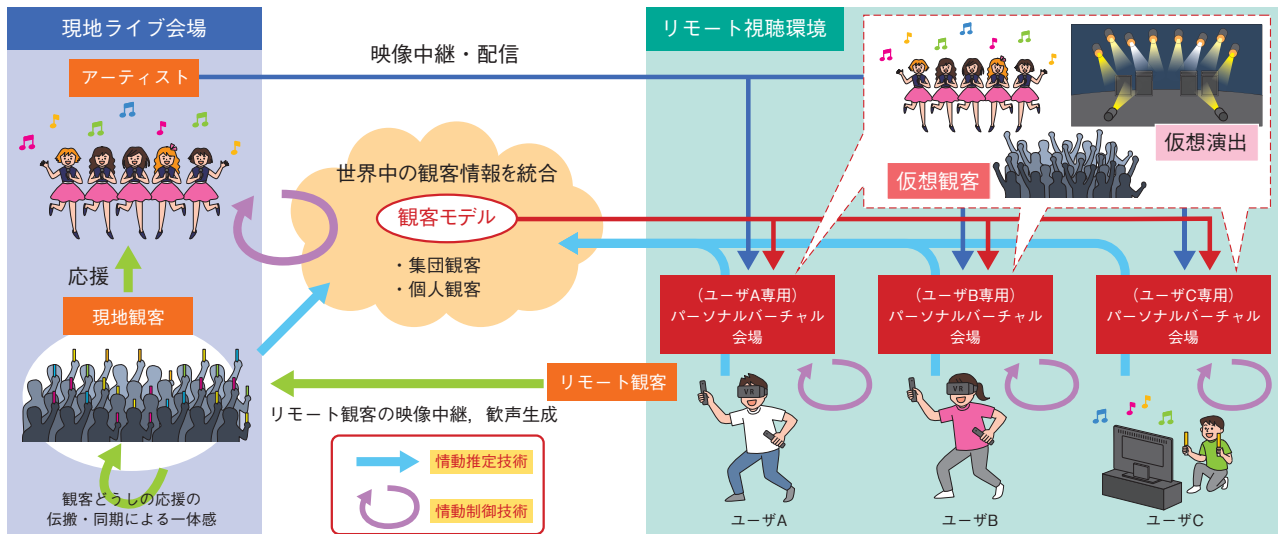


図1 情動推定技術と情動制御技術により構築されるパーソナルバーチャル会場



図2 パーソナルバーチャルライブ会場のイメージ

■生体信号を用いて観客個人の情動を推定する技術

近年普及の進むウェアラブルデバイス（スマートウォッチやhiteo[®]など）によりセンシングできる生体情報から、デバイス利用者が感じている快・不快、高覚醒・低覚醒などの情動の強さや、喜び・悲しみなどの情動の種類をAI（人工知能）により判定する技術です。ユーザが日常的に装着しているウェアラブルデバイスを利用するため、自宅リビングや外出先などカメラやマイクの設置されていない任意の環境で利用できるという利点があります。この技術の構築には、AIの訓練、すなわちセンシングされた生体情報を入力し、情動の強度または分類結果を出力とする未知の関数（情動モデル）を、ある点におけるユーザの生体情報とその時点の情動に関する回答（例えば喜びの程度を5段階で回答したもの）の組から推定するという問題を解くことが鍵となります（図3）。

この問題では情動のような観測不可能なものがモデルの出力であるために、

す。このような観客個人や観客全体の情動の動きを明示的に観客に尋ねることなく推定・把握することができれば、ライブイベントの曲や演出方法、試合映像のカメラワークなどが情動へ与える影響の大きさを測定し、演出方法の評価・改善などに活用することができると期待されます。さらに図2で示した観客ごとにバーチャルライブ会場が生成される世界観においては、推定された各観客の情動を利用して、より情

動が高まるように（または抑えるように）会場や演者の演出、周囲に存在する仮想的な観客の動きをバーチャルライブ会場ごとに適応的に変化させることが可能となります。このような活用シーンを念頭に情動推定技術では、ウェアラブルデバイスを用いて観客個人の情動を推定する技術とイベント会場のライブ映像を用いて観客全体の情動を推定する技術の検討を進めています。

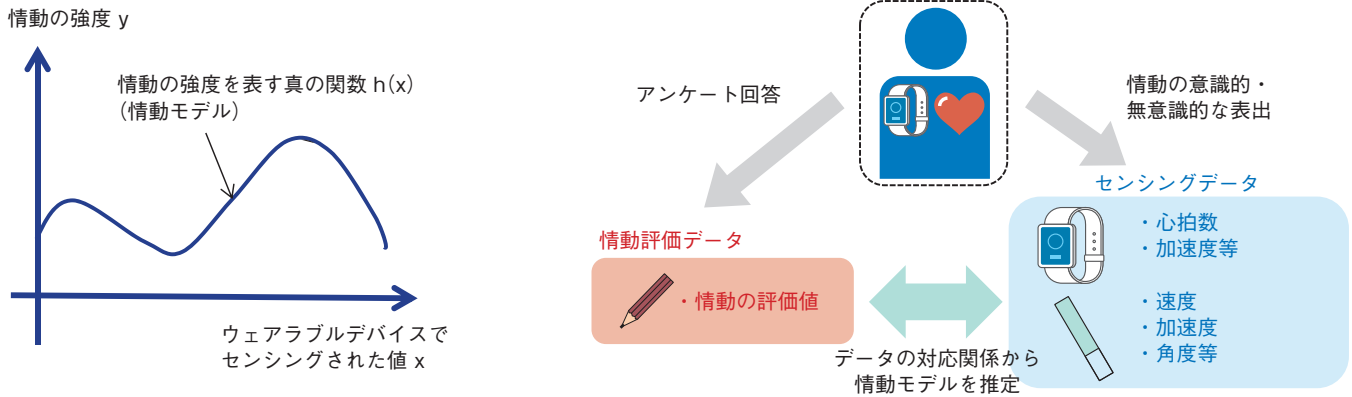


図3 情動モデルの推定

ユーザの主観回答を利用する必要があります。しかし、単純な5段階での回答では被験者間で各段階の解釈に違いが生まれるなどの問題があることが知られており⁽¹⁾、例えばある画像が猫または犬であるかといった主観の入らないデータを用いてAIを訓練する標準的な設定よりも難しい設定となります。また、画像のように大量のデータを収集することも困難です。現在、私たちはこのような困難さに対応できる技術の構築を進めており、主観データを扱うのに適したデータの収集形式およびその形式に合わせたAIの訓練手法などについて検討しています^{(2), (3)}。

■ イベント会場のライブ映像を用いて観客全体の情動を推定する技術

観客席を含むイベント会場の映像から抽出できる、演者の登場時に会場全体で声をあげる・ペンライトを振る・拍手やハンドサインをするなどの群衆としての振る舞いから、群衆としての特性、例えば演者からの呼び掛けが各観客の振る舞いに（平均的に）どのような影響を与えるか、あるいは観客全体としてどの程度同期したか、一体感のある振る舞いをしているかなどを推定する技術です。前述のウェアラブルデバイスを用いたアプローチとは異なる

り、ユーザのデバイス保有を前提とせず、任意のイベント会場で利用できるという利点があります。ただし、推定対象は個人の情動ではなく、あくまで群衆全体としての振る舞いの特性となります。ここで推定した群衆特性を用いることで、例えば、音楽ライブのどの曲が観客全体の一体感ある振る舞いを生んでいるかを把握することや、パーソナルバーチャルライブ会場内の仮想的な観客の振る舞いを現地の振る舞いと類似したものとすることが可能となります。

情動制御技術

情動制御技術は、イベントへのオンライン参加においてリモート観客が望む情動へと自然に導くためのインタラクション技術です。音楽ライブ配信などのオンライン参加では多くの場合、自室でPCやスマートフォンから参加するなど、現地会場と異なる点が多々あります。そこで、リモート環境においても、現地会場と同等もしくはそれ以上の情動体験を実現することをめざし、心理的側面と行動的側面⁽⁴⁾の2つから情動体験を高める研究を進めています。心理的側面の例としては、周囲の観客の熱狂などに引き込まれること

による盛り上がり、行動的側面の例としては、歓声や拍手、ペンライトを振るといったアクションによる盛り上がり挙げられます。

心理的側面から情動体験を高める取り組みとして、リモート観客に自身以外の観客を最適なかたちで提示する観客提示最適化手法を検討しています。最適化のイメージとしては、リモート観客自身とかけ離れすぎた振る舞いをする観客や、全く盛り上がっていない観客の表示を減らし、自身と同じような振る舞いや盛り上がりを示す観客を提示するパターンや、リモート観客自身が好きなバンドメンバーやアイドルメンバーを応援する観客の振る舞いを強調して提示するなどのパターンが考えられます。こうした最適化を実現するためにはまず観客の振る舞いをデータとして取得する必要があります。そこで、私たちはイベントにおける典型的なアイテムとしてペンライト（サイリウム）に着目し、加速度などの複数のセンサを搭載したセンシングペンライトを開発しました（図4）。

センシングペンライトは観客のペンライトの振りの有無や大きさ、周期、色変換などのデータを取得することができます。取得したデータを用いてリ



デザイン by ユカイ工学

図4 開発したセンシングペンライト

モート観客ごとに最適な観客提示パターンを生成し、それに対する観客の振る舞いを再度取得し提示パターンをチューニングしていくことで最適化の精度を高めることができます。

また、行動的側面から情動体験を高める取り組みとして、自宅などのオンライン視聴環境では多くの場合、現地会場のように大声での声援や体を大きく動かすアクションを行いにくい点に着目し、マルチモーダルなフィードバック刺激を付加することでリモート観客自身の動作を錯覚させる手法を検討しています。これにより、リモート環境であっても、あたかも現地と同様の身体動作を行っているかのような体験の実現をめざしています。

このように現地会場での体験をリモート視聴体験に盛り込むための方法論について検討を進めることで、複数の情動制御手法やそれぞれの適用パターンが生成されます。それらの選択

方法や適用強度、適用タイミングを情動推定技術によるユーザ個人や群衆の情動に基づいて最適化することで、将来的に個人に合わせた仮想現実としての演出や会場設計によって、リモート観客個人がもっとも盛り上がることのできるパーソナルバーチャルライブ会場が構築できます。

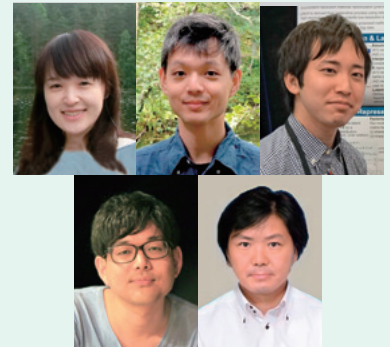
今後の取り組み

各種イベントの対面での開催が再開されても、リモート環境を用いたオンライン参加の併催はスタンダードになってきており、リモート環境ならではの体験をいかに充実させるかは重要な課題です。世界中の観客が集まる無限の観客席、自在に変化する座席配置など現実ではあり得ないオンラインならではの演出効果を活かし、自分のアクションが会場全体に波及するなど、個々のユーザが自身に最適化された空間で主体的にかかわって楽しめる究極

のパーソナルバーチャル会場という新たな体験を提供できる技術の創出に向けて、本技術の音楽ライブイベント以外への拡張も視野に入れながら、引き続き検討を進める予定です。

参考文献

- (1) G. N. Yannakakis, and H. P. Martinez: "Ratings are Overrated !," Front. ICT, Vol. 30, July 2015.
- (2) 南部・幸島・山本: "一対比較データと目的変数分布の分位数を用いた回帰モデルの学習," 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用(TOM), Vol. 15, No. 3, pp. 19-28, July 2022.
- (3) M. Kohjima: "Uncoupled nonnegative matrix factorization with pairwise comparison data," ACM SIGIR (ICTIR), 2022.
- (4) 山城・相原・小野智・金村・青柳・後藤・岩垂・中澤: "視覚的情動刺激による交感神経皮膚反応の発達の变化," 第45回日本小児神経学会総会推薦論文, 脳と発達, Vol. 36, No. 5, pp. 372-377, 2004.



(上段左から) 望月 理香/ 巻口 誉宗/
幸島 匡宏

(下段左から) 横山 正典/ 山本 隆二

距離や場所によらず一体感や熱狂といった情動の起伏をユーザに合わせて引き起こす技術を確立し、リモートワールドにおけるイベント参加体験がより豊かになるサービス創造をめざします。

◆問い合わせ先

NTT人間情報研究所
共生知能研究プロジェクト
E-mail sil-contact-p@hco.ntt.co.jp

主役登場

リモートワールド時代の 心躍るエンタテインメント 体験を夢見

井元 麻衣子

NTT 人間情報研究所
主任研究員



エンタテインメントを私なりに語源（ラテン語のinter と tenere）から解釈すると、「人の心をつかんで離さないこと・モノ」です。皆様が心を揺さぶられるのはどんなときでしょうか。私は劇場で演劇やミュージカルを観るとき、繊細な表情や超越した歌声の素晴らしさ、輝きの裏に隠れた努力に毎回胸を震わせます。

2020年、新型コロナウイルス感染症の拡大は、私たちの日常を一変させました。さまざまな行動が制限される中で、エンタテインメントにおいては、コンサートや演劇、スポーツ等のイベントが開催中止や無観客での開催を余儀なくされました。そのような状況下で、クリエイティブな演出や最新テクノロジーを活用したオンライン配信が数多く行われるようになりました。コロナ禍にオンライン配信を体験した方も多くいらっしゃるのではないかと思います。オンライン配信の広がりや、参加の手軽さ等のメリットを感じさせる一方で、私たちにオンライン配信におけるライブ感や会場・スタジアム独特の雰囲気の喪失、リアルが持つ魅力を改めて実感させ、リアルへの渴望を増幅させたのではないのでしょうか。

NTTが実現をめざすリモートワールド（分散型社会）において、リアル（実世界）とオンライン（リモート世界）の融合が進んでいくとき、自宅等の分散した小規模な環境でエンタテインメントを体験する機会が増えていくだろう

と考えています。そのような未来を想像するとき、これまでリアル至上主義であったエンタテインメントに対して、私たちはテクノロジーの力で、どのような心をつかまれる新しい体験を創出できるのか、新しい未来を創造すべく日々思考しています。

私たちヒトは実世界で瞬間的にさまざまなモノ、例えばその場の雰囲気や周囲のヒトの存在感をすどく感じ取っています。劇場では、隣の人が笑ったのにつられて自分もつい笑ってしまったり、手拍子のタイミングがそろったかと思えば一斉に止んだりします。また、その人の過去の経験や感性によっても感じ取るモノやその程度は異なると思います。リモート世界で何をどのように再現できたら一体感や高揚感の同期が生まれるのか、はたまた、実世界以上の体験としてどのような体験を創出できるのか、ヒトの理解や、認知科学、HCI（Human-Computer Interaction）への探求心が私の研究活動の原動力です。

私たちがめざす世界の実現に向けて、解決しなければならない課題はたくさんあります。しかし、リモートワールドが物理的な制約を解放し、エンタテインメント体験がより身近でリッチなものになれば、ヒトの感性はより研ぎ澄まされ豊かになっていくはずで、そのような未来を思い描きながら、NTTグループのさまざまな事業へ貢献できる技術の創出をめざし奮励努力を重ねていきます。

特集

無線アクセスネットワークの オープン化と インテリジェント化

5G(第5世代移動通信システム)の無線アクセスネットワークは、従来に比べて多岐にわたるサービスへの対応が求められている。本特集では、これを満たすための無線アクセスネットワークのオープン化,仮想化,インテリジェント化に関するNTTドコモでの取り組み状況について紹介する。

vRAN

仮想化

Open RAN

RIC

自動化

Toward Open and Intelligent

RANオープン化（Open RAN）に向けた取り組み 32

RANオープン化の概要を説明し、オープン化の標準化を担うO-RAN ALLIANCEの現況、およびNTTドコモの新たなRANオープン化の取り組みである5GオープンRANエコシステムについて紹介する。

RAN仮想化（vRAN）に向けた取り組み 37

LTEや5Gのさらなる高速・大容量化が進みつつある中、無線基地局装置において高い処理性能が求められている。RAN仮想化技術に関するNTTドコモでの取り組み状況について紹介する。

RANインテリジェント化に向けた取り組み 45

O-RAN ALLIANCEにおけるRICの標準化状況を解説し、RANインテリジェント化を実現するユースケースやロードマップについて紹介する。

Radio Access Networks

RANオープン化（Open RAN）に向けた取り組み

5G（第5世代移動通信システム）のモバイルネットワークは、従来に比べて多岐にわたるサービスへの対応が求められています。これを満たすために、サービスに応じた柔軟なネットワークを構築する必要があり、それを実現するのがRANのオープン化です。本稿では、RANオープン化の概要を説明し、オープン化の標準化を担うO-RAN ALLIANCEの現況、およびNTTドコモの新たなRANオープン化の取り組みである5GオープンRANエコシステムについて紹介します。

ひらつか だいすけ
平塚 大輔

くりう けいこ
栗生 敬子

ウメシュ アニール

もり はるき
森 晴基

NTTドコモ

はじめに

すべてのモバイルオペレータは、顧客のニーズに、より適切に対応するために、新しいネットワーク機器を追加したり、既存の機器を交換したりして、ネットワーク機能を拡張し続けることが求められます。このため、ネットワークには柔軟かつ機敏に拡張性を実現できる能力が必要です。そこで、NTTドコモではインタフェースのオープン化を推進しています。オープンインタフェースを使用することで、さまざまなベンダ製品の中から最適なソリューションを自由に選択して採用することが可能となり、柔軟かつ機敏なネットワーク拡張が可能となります。

本稿では、RAN (Radio Access Network)^{*1} オープン化の概要とO-RAN ALLIANCE^{*2}の現況に触れるとともに、グローバルへのオープン化推進に向けてNTTドコモが立ち上

げた5GオープンRANエコシステムについて解説します。また、オープン化による性能、インテグレーションそして相互運用検証における課題に対し、本エコシステムで解決するアプローチを紹介します。

RANのオープン化

(1) オープンRANの3つの要素
無線アクセスネットワークのオープン化（オープンRAN）は、主に以下3つの要素で構成されています（図1）。

- ① さまざまなベンダのRAN装置の組合せを実現するオープンインタフェース
- ② RAN装置内のハードウェア（HW）とソフトウェア（SW）の分離を可能にする仮想化（vRAN：virtualized RAN）
- ③ RANの運用の最適化および自動化を実現するインテリジェント化

(2) オープンRANがもたらす効果
オープンRANでは、基地局装置を複数のコンポーネント〔子局（RU：

Radio Unit）、親局（CU：Central Unit および DU：Distributed Unit）に分離し、それぞれを標準化されたインタフェースで接続することができます。これにより、通信事業者はベンダロックイン^{*3}から解放され、商用導入までの時間を短縮でき、消費者向けに最適化されたサービスを提供するための最善の機器構成を採用できます。また、RANの仮想化は汎用HWの利用によるコスト削減や、柔軟性および拡張性の向上をもたらすことができます。さらに、今後のモバイルネットワークの複雑化に伴い、人手によるオペレーションが困難になってきますが、RANのインテリジェント化

*1 RAN：コアネットワークと端末の間に位置する、無線レイヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

*2 O-RAN ALLIANCE：次世代の無線アクセスネットワークの拡張性をより高く、オープンでインテリジェントにすることを目的に活動している電気通信事業者および通信機器サプライヤによる団体。

*3 ベンダロックイン：基地局を構成する装置が同一ベンダにより提供され、かつベンダ独自のインタフェースにより接続されることで、通信事業者が他ベンダ装置の導入することが困難になる状態。

* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No. 1, 2022年4月)に掲載された内容を編集したものです。

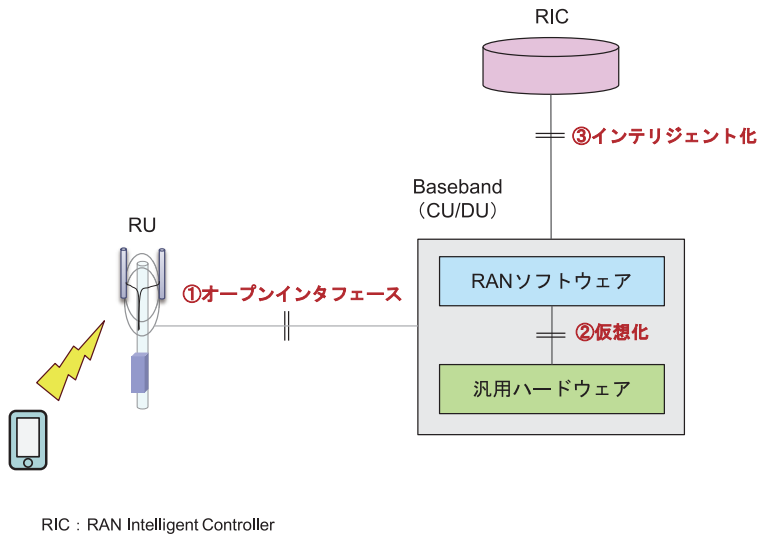


図1 オープンRANの主要素

によりその困難を解消することが可能になります。

オープンRANの標準化状況

NTTドコモは、2018年2月、世界のオペレータと連携し、RANのオープン化やインテリジェント化を目的とした業界団体「O-RAN ALLIANCE」を設立しました。O-RAN ALLIANCEの概要については、参考文献(1)を参照ください。本稿では2019年から現在までの新たな取り組みについて紹介します。

まず、2019年時点では19社のオペレータおよび55社のベンダなどがメンバーでしたが、2022年2月22日現在、オペレータが31社、ベンダなどが294社にまで拡大しています。

また、2019年時点ではWG (Work Group) 4のFronthaul*4仕様のみが公開されていましたが、2022年2月22日現在では各WG/FG (Focus Group) から新たに仕様が公開されています。その中から、NTTドコモ

が共同議長を務めているWG4とWG5において、新たにリリースされた仕様を紹介します。

WG4では、Fronthaul仕様に加えて、新たに下記3種類の仕様がリリースされ、バージョンアップもすでに実施されています。

- ① テストについての仕様：
 - ・ Open Fronthaul Conformance Test Specification
 - ・ Fronthaul IOT (InterOperability Test) Specification
- ② CTI (Cooperative Transport Interface) についての仕様：
 - ・ Fronthaul CTI Transport Control Plane Specification

オープンRANを構築する際には、異なるベンダの装置がO-RAN ALLIANCEのインタフェース仕様に準拠してマルチベンダ接続ができることを、試験によって実際に確認する必要があります。上記のようなテストについての仕様が策定されました。

またWG5では、新たに以下の仕様のリリースおよびバージョンアップが実施されています。

- ① X2*5についての仕様：
 - ・ NR (New Radio) *6 C-plane (Control plane) profile
 - ・ NR U-plane (User data plane) profile
- ② 伝送路についての仕様：
 - ・ Transport Specification
- ③ 監視制御についての仕様：
 - ・ O1 Interface specification for O-CU-UP and O-CU-CP
 - ・ O1 Interface specification for O-DU
- ④ IOTについての仕様：
 - ・ Interoperability Test Specification

また、RANのオープン化やインテリジェント化に向けて、新たにいくつかのWGやFGが新設されたので、改めて活動内容を表に示します。

2019年の設立時から現在に至るまでの間に、新たに追加されたWG/FGはWG9, WG10, SFG (Security FG), TIFG (Test & Integration FG), OSFG (Open Source FG), SDFG (Standard Development FG) です。特にオープンRANの課題の1つとして、セキュリティの懸念が挙げら

*4 Fronthaul：無線基地局において、デジタル信号処理を担うベースバンド処理部と無線送受信を担う無線部との間を光ファイバーで接続するリンクのインタフェース。

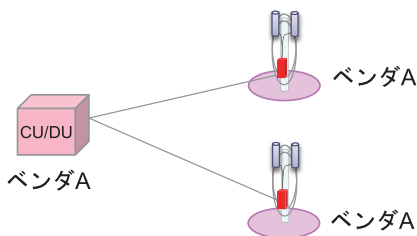
*5 X2：3GPPで定義されたeNodeB間のリファレンスポイント。

*6 NR：5G向けに策定された無線方式規格。4Gと比較して高い周波数帯（例えば、3.7 GHz帯以下や28 GHz帯）などを活用した通信の高速化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信が可能。

表 O-RAN ALLIANCEの技術検討グループ

WG/FG	WG/FG	検討スコープ
WG1	Use Cases and Overall Architecture	アーキテクチャ, ユースケース, スライシング, デモ
WG2	Non-real-time RIC and A1 Interface	Non-RT RIC, A1, rApp
WG3	Near-real-time RIC and E2 Interface	Near-RT RIC, E2, xApp
WG4	Open Fronthaul Interfaces	フロントホール
WG5	Open F1/W1/E1/X2/Xn Interface	X2, Xn, F1などの相互接続プロファイル, DUとCUへのO1
WG6	Cloudification and Orchestration	O-Cloud, vDU/vCU, AAL, O2
WG7	White-box Hardware	主にRUのハードウェアの参照デザイン
WG8	Stack Reference Design	DUとCUのソフトウェアアーキテクチャ参照デザイン
WG9	Open X-haul Transport	トランスポート装置, トランスポートNWの制御・保守プロトコル
WG10	OAM for O-RAN	SMO, O1 (全体調整)
SFG	Security	オープンRANのセキュリティリスク分析, 対策検討
TIFG	Test & Integration	テスト仕様とりまとめ, Plugfest, OTIC, 認証・バッジングプロセス
OSFG	Open Source	O-RAN Software Community
SDFG	Standard Development	標準化戦略, 他SDOとのインタフェース

シングルベンダネットワーク



マルチベンダネットワーク

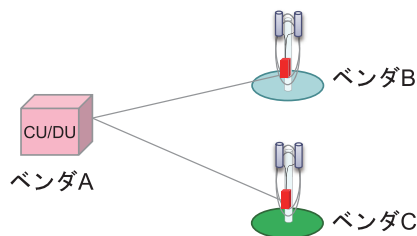


図2 シングルベンダネットワークとマルチベンダネットワーク

れますが、O-RAN ALLIANCEではSFGにてセキュリティリスク分析および対策検討を実施しています。

NTTドコモのオープンRANについての取り組み

■NTTドコモのマルチベンダネットワークの取り組み

従来、基地局はシングルベンダ構成で親局と子局共に同一ベンダで提供されてきました。シングルベンダのメリットの1つに、オペレータがベンダに導入から保守運用までワンストップで委ねられる点にあります。一方で装

置間のインタフェースがベンダ独自のインタフェースであるため、他ベンダの装置への更改ができず柔軟性に欠けるというデメリットもあります。

NTTドコモでは、5G（第5世代移動通信システム）以前から他オペレータに先駆けて、親局と子局との間のインタフェースを独自に規定することでマルチベンダネットワークを実現し、これにより柔軟性のある基地局構成が実現できました（図2）。

また、基地局装置ベンダの選択肢が複数あることにより、コスト、性能面で最適なベンダを選択することができ

るため、装置導入のコストを抑えることができました。

■NTTドコモの5GにおけるオープンRANの取り組み

ドコモは2020年の5G商用サービス開始時に、O-RAN ALLIANCE準拠のインタフェースを用いたオープンRANを世界で最初に商用網において実現しました。また、現在ドコモが開発している5G基地局のすべてがO-RAN ALLIANCEのFronthaulおよびX2の仕様に準拠したものです。さらに、オープンRANであるため、5Gプレサービス当初から現在に至るまで徐々に導入装置ベンダおよび装置種別のバリエーションが拡大し続けています。

具体的には、ミリ波（mmW：millimeter Wave）*7対応、Sub6 Inter-band CA（Carrier Aggre-

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

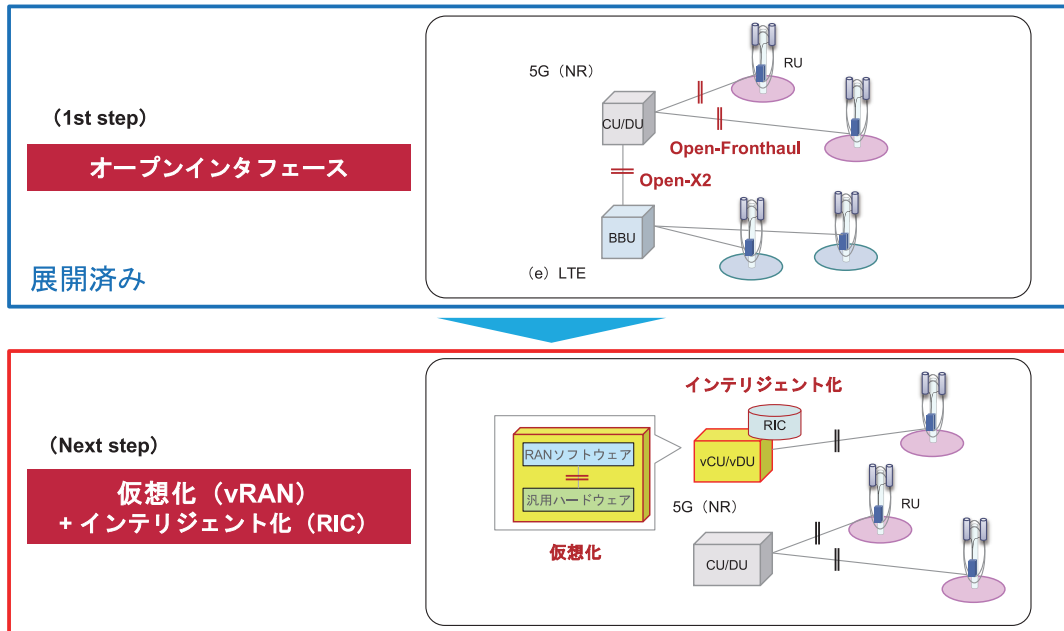


図3 NTTドコモのオープンRAN導入ステップ

gation) 対応, SA (Stand Alone) 対応などが行われてきました。また装置種別については、5Gサービス開始当初は、アンテナ分離型とアンテナ一体型のスモールセル用RU (SRU: Small RU) のみでしたが、現在ではマクロセル用RU (RRU: Regular power RU) および5G FHM (FrontHaul Multiplexer)*⁸も装置ラインアップに追加されており、CU/DUとRUもそれぞれ新しいベンダを採用しています。

NTTドコモでは、ここまでのオープンインタフェースによる装置間のマルチベンダ化を、オープンRANの1st stepとして考えており、Next stepとして前述したオープンRANの残りの2要素（仮想化およびインテリジェント化）の実現に向けた検討を進めています（図3）。

グローバルに向けたオープンRANの推進

■5GオープンRANエコシステムの設立

NTTドコモは、オペレータへのオープンRAN導入を加速させるために、2021年2月に12社と5GオープンRANエコシステムを設立しました。本エコシステムでは、vRANの検証を加速させ、オープンRANの導入を検討しているモバイルオペレータの要件に基づいた最高水準のRANをパッケージ商材化することで、オープンRANの導入・運用・維持管理をサポートします。NTTドコモは、長年にわたり培ってきたオープンRANに関するノウハウを活用することで、5GオープンRANエコシステムを推進し、高品質で柔軟なネットワークの提供に取り組んでいきます。

■オープンRANの課題とソリューション

オープンRANには、いくつかの課題も残されています。ここでは、主要な課題の概要と、その課題に対して5GオープンRANエコシステムがどのように取り組んでいくかを解説します。

(1) 性能

オープンRANの要素の1つであるvRANでは、HWとして汎用サーバを用いますが、汎用サーバ上でRANアプリケーションを動作させる場合、無線特性や収容容量が低下する可能性があります。この課題に対するソリューションとして、本エコシステムではアクセラレータ*⁹を活用し、E2E (End

*8 FHM: ベースバンド処理部と無線装置間のフロントホール回線を複数に分配する装置。

*9 アクセラレータ: コンピュータ (CPU) や画像表示などの処理性能を向上させるための周辺機器や付加装置のこと。本稿では、通信用CPUの処理速度を向上させるために追加したLSIのこと。

to End) でのvRAN検証を進め、現行の2～3倍程度の性能の達成をめざしています。

(2) インテグレーション

オープンRANでは、基地局の各コンポーネントが分離可能となる一方で、各コンポーネント間のインテグレーションが課題としてあげられます。vRANではHWとSWの分離が可能となり、異なるベンダのコンポーネントどうしを統合し提供することが考えられます。その場合、従来のRANに比べてインテグレーションが必要なインタフェースの数が増えます。

この課題に対する解決策として、本エコシステムでは後述するオープンRANの検証環境を立ち上げ、RANを検証・運用する海外オペレータに対しマルチベンダのインテグレーションの検証環境を提供するための取り組みを行っています。

(3) その他

その他コスト、自動化、装置展開においてもオープンRANでは課題がありますが、それらに対するNTTドコモのソリューションについては、本特集記事『RAN仮想化(vRAN)に向けた取り組み』⁽²⁾、『RANインテリジェント化に向けた取り組み』⁽³⁾で紹介しています。

■オープンRAN検証環境の共有化を実現

マルチベンダインテグレーションの検証においては、テストケースは製品やインタフェースの数に応じて増加し、また検証に応じた環境を各オペレータが個別に準備する必要があります。

NTTドコモは、日本に本エコシステムのオープンなテストベッド^{*10}を設置し、シェアドオープンラボとして2022年2月に公開しました。テストベッドの主な機能の1つは、それが各国モバイルオペレータのラボにあるかのように利用することを可能とするために、リモートで制御できることです。さらに、テストベッドをオペレータのコアネットワーク設備に接続することで、複数のベンダ製品を用いたvRAN装置のテストを簡単に実施することができます。これにより、オペレータは検証に費やす時間やコストを劇的に削減できるようになるため、本テストベッドがタイムリーなオープンRANの導入に貢献できると考えられます。テストベッドは2021年の夏に運用開始し、エコシステムパートナーによる製品は、2021年10月より検証を開始しています。NTTドコモは、本シェアドオープンラボを活用し、オペレータも含む幅広いステークホルダとの連携をさらに深め、多様化するニーズに柔軟かつ迅速にこたえられるオープンネットワーク、特にオープンRANやvRANの早期普及に向けて、技術やノウハウの確立に貢献していきます。

おわりに

本稿では、RANのオープン化の概要説明、オープン化の標準化を担うO-RAN ALLIANCEの現況、およびNTTドコモの新たなRANのオープン化の取り組みである5GオープンRANエコシステムについて紹介しました。NTTドコモは、今後もオープンRANのパイオニアとして、自社のネットワークだけでなく、グローバルに実現すべくオープンRANを推進していきます。

■参考文献

- (1) 安部田・河原・ウメシュ・松川：“O-RAN Alliance標準化動向,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol.27, No.1, pp.36-42, Apr. 2019.
- (2) 水田・ウメシュ・中島・久野：“RAN仮想化(vRAN)に向けた取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.9, pp.37-44, 2022.
- (3) 桂川・川名・井上・立石・橋本・藤塚：“RANインテリジェント化に向けた取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.9, pp.45-51, 2022.



(上段左から) 平塚 大輔 / 栗生 敬子
(下段左から) ウメシュ アニール / 森 晴基

ドコモは、グローバルベンダとともに5G × オープンRANを世界中へ提供し、地球のあらゆるところで、いつでも、誰もがつながることのできる世界を実現します。

◆問い合わせ先

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

*10 テストベッド：技術方式の実現性確認や性能評価などを行うための実証検証設備。

RAN仮想化（vRAN）に向けた取り組み

LTEや5Gのさらなる高速・大容量化が進みつつある中、無線基地局装置において高い処理性能が求められています。NTTドコモは、このような要求を実現するために、これまで専用に開発されたハードウェア（HW）とソフトウェア（SW）を用いてきました。一方、IT分野における技術革新は目覚ましく、HWの性能向上や、HWとSWの分離（仮想化・クラウド化）が進んでいます。それら技術を取り込んだ、優れた無線基地局装置の実現が可能になりつつあり、RANの仮想化として開発・商用化が進められています。本稿では、RAN仮想化技術に関するNTTドコモでの取り組み状況について紹介します。

みずた しんじ
水田 信治

ウメシュ アニール

なかじま よしひろ くの ゆうや
中島 佳宏 久野 友也

NTTドコモ

はじめに

NTTドコモでは、2020年3月から5G（第5世代移動通信システム）サービスを提供開始しており、現在、5Gエリアの拡大に取り組んでいます。既存のLTE基地局装置を最大限に活用しつつ5Gを展開するために、5Gサービスを実現する必要最小限のハードウェア（HW）とその上で動作するソフトウェア（SW）を開発し、それらをLTE基地局装置へ追加しました。

一方、昨今のIT分野における技術革新は目覚ましく、汎用HWの性能向上や、仮想化技術を利用したHWとSW分離によるHWリソースの有効活用、共通機能のプラットフォーム化によるクラウド化が急速に進んでいます。また、データ暗号化、AI（人工知能）技術や機械学習などを実現する

ために、さまざまな各種計算に特化したHWアクセラレータと呼ばれる製品が開発・販売されています。

このようなIT分野で利用されている汎用的なHWや無線処理にカスタマイズしたHWアクセラレータをベースに仮想化技術を無線基地局に適用する取り組みが始まっており、無線アクセスネットワークの仮想化（vRAN：virtualized Radio Access Network）と呼ばれています。vRANには、これらの技術を有効活用しつつ、汎用HWを利用することで、インフラ投資削減効果が見込める可能性があります。NTTドコモは、vRANの効果を最大化するために、2021年2月より5GオープンRANエコシステム（OREC：Open RAN Ecosystem）^{*1}の協創プログラムを開始しました⁽¹⁾。また、NTTドコモではコアネットワーク装置の仮想化技術をすでに導入済みであり、その運用経験も最大限に活かしつつ、vRAN導

入の取り組みを進めています。

RAN仮想化技術

■ネットワーク仮想化技術

ネットワーク仮想化技術とは、汎用HW上に仮想化レイヤを導入し、SWを仮想リソース上で動作させるIT仮想化の技術とオーケストレーション技術^{*2}を利用して、従来、高信頼性や高性能などの通信事業者が用いるシステムの要件を満たすため最適化された専用のHWとSWを用いて提供してきた通信サービスを、仮想化技術により実現するものです。ネットワーク仮想化技術の適用により、最先端のHWの早期導入やSWのアップデートのみ

- *1 5GオープンRANエコシステム（OREC）：多様なニーズに応えられる柔軟なネットワークの構築を可能とする、オープンな無線アクセスネットワークの海外展開を目的としたドコモとパートナー会社との取り組み。
- *2 オーケストレーション技術：アプリケーションやサービスの運用管理を自動化するために、必要となるリソースやネットワークの接続性の管理・調停を実現する技術。

* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.1, 2022年4月)に掲載された内容を編集したものです。

による新規機能の提供が可能となります。さらに、オープンソースの適用やIT分野で培われた効率的な開発手法などを利用することにより、サービス開始までのリードタイム^{*3}の短縮などのメリットが享受できます。

NTTドコモでは、2010年代前半よりネットワーク仮想化技術の研究開発とETSI (European Telecommunications Standards Institute) NFV (Network Functions Virtualisation) 等における標準化を進め、2015年度より商用ネットワークのコアネットワーク装置へ仮想化技術の導入を開始しました。2020年度末でのLTE装置以降のコアネットワーク装置の仮想化適用率は約50%を超え、2021年度に導入された5Gのコアネットワークはすべて仮想化されています⁽²⁾。これにより、NTTドコモでは以下4つのメリットを享受できました⁽³⁾。

(1) ネットワーク設備の経済性向上

従来は装置ベンダごと・通信機能ごとの装置および通信SWとなってお

り、それぞれの装置および通信SWごとの保守が必要でしたが、本技術により複数ベンダの通信SWを統一的な仮想化基盤上で動作させることが可能となり、運用保守の統一化と単純化、低コストな汎用HWの利用・共用化により経済性が向上しました。

(2) サービスの早期提供

新サービスの導入時に、既存の汎用HWを利用することで、個別のHWの準備と構築が不要になり、サービス開始までのリードタイムが短縮されました。

(3) 通信混雑時のつながりやすさの向上

災害時などに発生する輻輳や急激なトラフィックの集中に対し、短時間でネットワーク設備容量を自動的に拡張し、通信のつながりやすさが向上しました。

(4) 通信サービスの信頼性向上

冗長化されたHW構成が容易に実現でき、HWの故障を検知した際、正常系のHWに通信SWを自動構築させることが可能となり、短時間での通信機能の復帰が可能となり、即時の駆

けつけ保守作業が不要になり、通信サービスの保守性と信頼性が向上しました。

■期待されるvRANの導入効果

近年の仮想化技術の進展により、高処理性能や高いリアルタイム性などのサービスレベル要求がより厳しい無線レイヤのベースバンド^{*4}処理も対応可能になってきました。このため、国内や海外のいくつかのオペレータでは、仮想化技術を用いてvRANの実用化に取り組み、導入を始めています。期待されるvRANの導入効果は以下のとおりです(図1)。

- (1) HWとSW分離による最適なソリューションの組合せの実現
- ・汎用的かつ標準的なHW活用による設備の経済化
- ・最新HW活用による性能向上や低消費電力化

*3 リードタイム：さまざまな分野で使用されるが、本稿では開発着手や設備構築からサービス提供開始までの期間を示します。

*4 ベースバンド：無線通信の送信側および受信側において、無線周波数帯に変換する前・後の情報信号の帯域のこと。普通は低い周波数帯であり、デジタル信号処理にて実現されています。

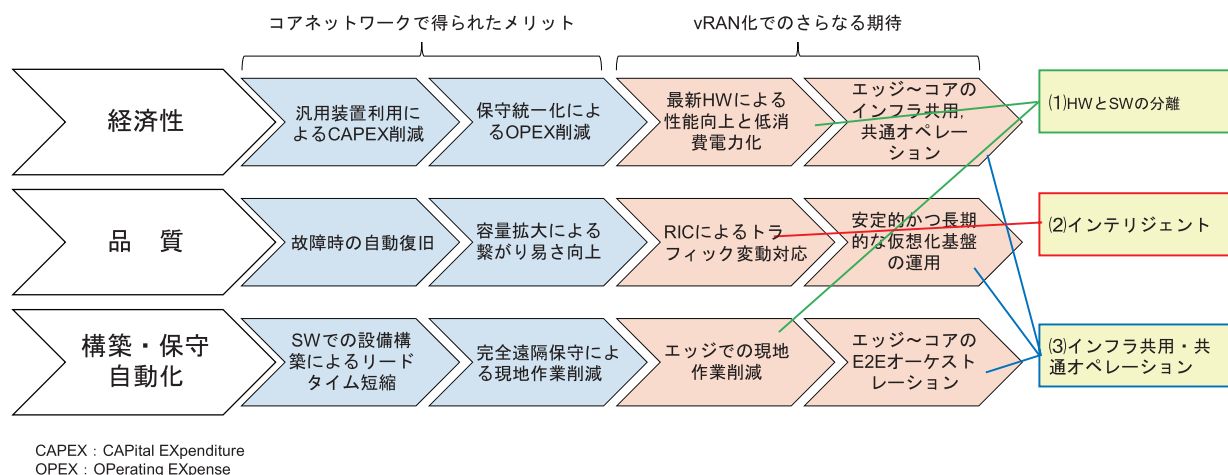


図1 期待されるvRANの導入効果

- ・ SW更新のみによるRAN系サービス・機能の拡張
- ・ 新規ベンダの収容の容易化
- (2) 仮想化・自動化によるシンプルかつインテリジェントなRANの保守の実現
- ・ 設置済みリソースプール^{*5}を最大限に利用したSWでの設備構築によるリードタイム短縮やデプロイメントの柔軟性向上
- ・ SW化に伴う遠隔保守範囲の拡大と現地作業削減
- ・ トラフィック需要変動への柔軟な容量対応によるつながりやすさの向上
- ・ HW故障時の短時間での自動復旧や信頼性の向上
- ・ RIC (RAN Intelligent Controller) によるトラフィック変動対応
- (3) エッジからコアネットワークでのインフラ共用化・共通オペレーションの実現
- ・ RANのアプリケーションを中心に、エッジからコアネットワークおよび新しいネットワーク設備に対する共通基盤化と共通オペレーションの実現
- ・ 安定的かつ長期的な仮想化基盤の運用
- ・ E2E (End to End) でのオーケストレーションの提供

■ vRAN要件に対するネットワーク仮想化技術の課題

vRANには、従来のコアネットワークの仮想化の技術課題に加え、RAN特有の要件も考慮したうえでの技術課題があります。

- (1) 課題①：HWとSW分離による最適なソリューションの組合せ

の実現に向けた課題

- ・ 基地局装置の設置環境に対応できる仕組みの構築

RANではビルの一室や屋外へ小規模かつ分散的に設置される基地局サイトも多くあるため各設置場所により、要求される性能、設置スペース、電力の制限も異なります。さらに、防塵性能や、極端な温度への適応など、より厳しい環境に対応した汎用HWが求められます。

- (2) 課題②：仮想化・自動化によるシンプルかつインテリジェントなRANの保守の実現に向けた課題

- ・ 現地作業や手作業の削減

全国に分散する基地局装置や仮想化基盤の構築から故障対応までの自動化を実現するために、全体のワークフローを設計する必要があります。特に、vRAN化に伴ってSW制御できる範囲を広げることで、現地作業を最小化し自動化の範囲を拡大することが重要です。そのため、汎用機器のキittingを含めた構築業務や予備部材の共通化や、作業遠隔化のための各種接続インタフェース (IF) の整備も必須です。

- (3) 課題③：エッジからコアネットワークまでのインフラ共用・共通オペレーションへの課題

- ・ 全国に分散された仮想化基盤の長期運用の課題

vRANでは、全国に分散した多数の小規模仮想化基盤の維持管理も重要な課題です。特にすべての仮想化基盤のバージョンアップ作業は、通信サービスを継続したまま短期間で実施することが必要となります。そのため、長期間安定的に基盤運用を行うための仕組み

みが望まれます。

課題解決に向けたアプローチ

NTTドコモでは、特にO-RAN (Open RAN) ALLIANCE^{*6}やETSI NFVにおけるvRANを実現するための標準化の推進と、ORECによるマルチベンダ環境における相互接続検証の2つのアプローチで前述の課題解決を進めます。

「HWとSW分離による最適なソリューションの組合せの実現」の課題①に対しては、RANアプリケーションベンダと汎用HWベンダが連携した技術検討と実装、性能向上のための最適化を、ORECを活用し推進しています。ORECでの取り組みについては後述します。

「仮想化・自動化によるシンプルかつインテリジェントなRANの保守実現」に向けた課題②と「インフラ共用・共通オペレーション」への課題③に対しては、vRAN自体とそれに関連するシステム間のIF・情報モデル^{*7}の策定とオペレーションの共通化を最重要として標準化を推進しています。また、標準化を行うことで、装置等のマルチベンダ化が可能となり、設備更改時等における柔軟性・安定性が向上します。さらに、標準化団体ごとの個別仕様 (標準仕様の乱立) 防止と、NTTドコモがリードしてきた標準仕

*5 リソースプール：計算機の予備などを束ねて、計算機のCPUやメモリを束ねて仮想的なコンピュータとして管理する仕組み。

*6 O-RAN ALLIANCE：5G時代におけるRANのオープン化、インテリジェント化の推進を目的に、2018年2月にドコモと海外の主要なオペレータにより設立された団体。

*7 情報モデル：システムが有するHWリソースなどを外部装置などから扱いやすくするためにモデル化すること。

様を最大限活用するために、標準化団体間での調整を推進します。

vRANに関する標準化についてはO-RAN WG (Work Group) 6にて取り組みが進められており、その中で、O-RANでの全体アーキテクチャ(図2)をベースに、NTTドコモが標準化でアプローチすべき点をまとめました。

- ・ SMO (Service Management and Orchestration) とマルチベンダのvCU-CP/vCU-UP/Near-real time RIC/O-DUの機能を有するvRANアプリケーションのIF(図2 O1)
- ・ SMO と DMS (Deployment Management Services) /IMS (Infrastructure Management Services) の機能を有するマルチベンダ仮想化基盤の収容とするIF(図2 O2dms/O2ims)
- ・ SMOおよび、複数の仮想化基盤による、統一的なオペレーション
- ・ 運用自動化に向けた、SMOで管理するvRANアプリケーションや仮想化基盤の情報モデルの統一化、パッケージの統一化
- ・ vRANを含めたコアネットワーク機能やMECの収容が可能な共通仮想化基盤
- ・ 既存のオペレーションシステムと連携する関連システムへの後方互換性を維持した安定的なIFとシステム間の情報流通方法
- ・ オペレータの既存資産を最大限活用した拡張性の高い機能分担やIF仕様

O-RAN WG6標準化最新状況

O-RAN WG6の仕様は、全体コン

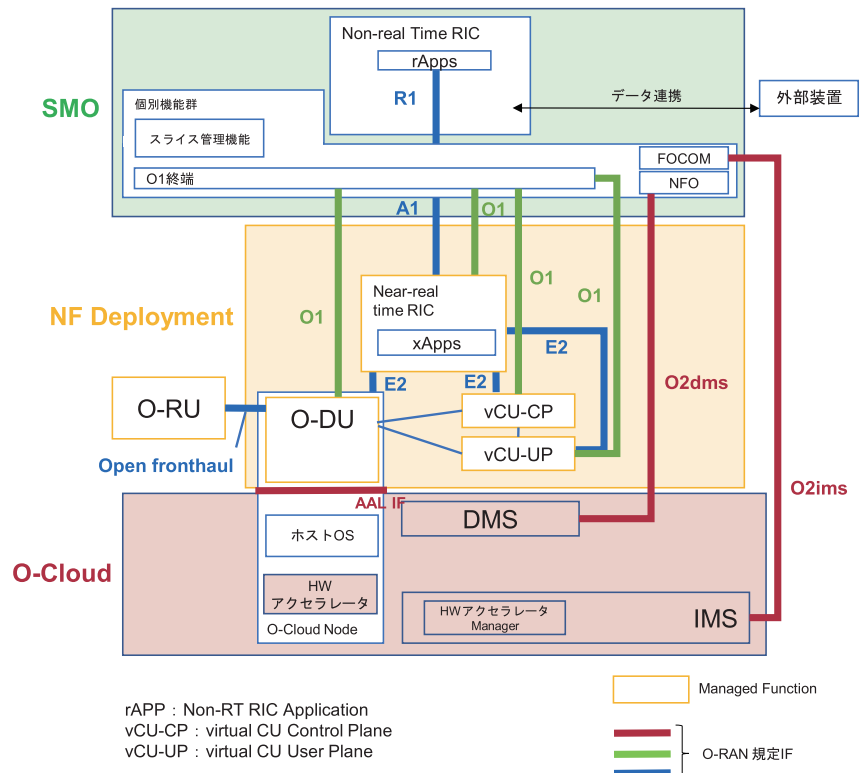


図2 O-RANの全体アーキテクチャ

セプトであるGAP (General Aspects and Principles), システム間を連携するユースケース仕様書, そしてデータモデルやプロトコルを規定するIF仕様書から構成されています。

各仕様の詳細は以下のとおりです。

① GAP

WG6においてO-Cloudを中心とした機能名の定義や関係性が記述されたもので、O2IFとAAL (Acceleration Abstraction Layer)*⁸の2種類のGAPが規定されています。

② ユースケース仕様書

O-Cloud/NF (Network Function) /xApp (Near-RT RIC Application) の Provisioning, Fault Management, Performance Managementの代表的なユースケースが規定されています。

③ IF仕様書

O2ims, AAL FEC (Forward Error Correction), AAL High-PHYのサービスおよびプロトコルが規定されています。また、現在O2dmsのプロトコルも規定中です。

vRANを実現する構成要素には、vRANアプリケーションの仮想リソースを規定するNF Deployment, NF Deploymentに仮想リソースを提供する仮想化基盤であるO-Cloud, そしてNF DeploymentとO-Cloudを管理制御するSMOがあります(図

*8 AAL: O-Cloudに搭載されるHWアクセラレータでのHWとSWを分離するレイヤであり、HWアクセラレータの使用形態やIFを規定することにより、異なるベンダ間でのHWアクセラレータとSWとを組み合わせできることを目的としてO-RANで規定が進められています。

3). O-RAN WG6では主に、SMOとO-CloudのリファレンスポイントであるO2と、NF DeploymentにO-CloudがHWアクセラレータを提供するリファレンスポイントであるAALの仕様策定を進めています。

■ SMO

SMOは、NF DeploymentとO-Cloudを制御するためにFOCOM (Federated O-Cloud Orchestration and Management) とNFO (Network Function Orchestration) の論理機能を持ちます。FOCOMはO-CloudのInventory管理・Alarm管理・Performance管理を行い、NFOはO-Cloudと連携してNF Deploymentのライフサイクル管理・Alarm管理・Performance管理を行います。

■ O-Cloud

O-Cloudは、NF Deploymentに仮想リソースを提供するO-Cloud Node、NF Deploymentを管理するDMS、O-Cloud NodeとDMSを管理するIMS、そしてHWアクセラレータを管理するHWアクセラレータManagerから構成されます。O-Cloud NodeはComputeリソース、Networkリソース、Storageリソースから構成され、ComputeリソースにはAALを実現するための機能が含まれます(後述)。DMSはKubernetesやOpenStackのような仮想化基盤が想定され、SMOとはO2dmsで接続されます。IMSは主にO-Cloud NodeのInventory管理・Alarm管理・Performance管理、DMS自体のデプロイメントを担い、SMOにO2ims IFを介して接続されます。

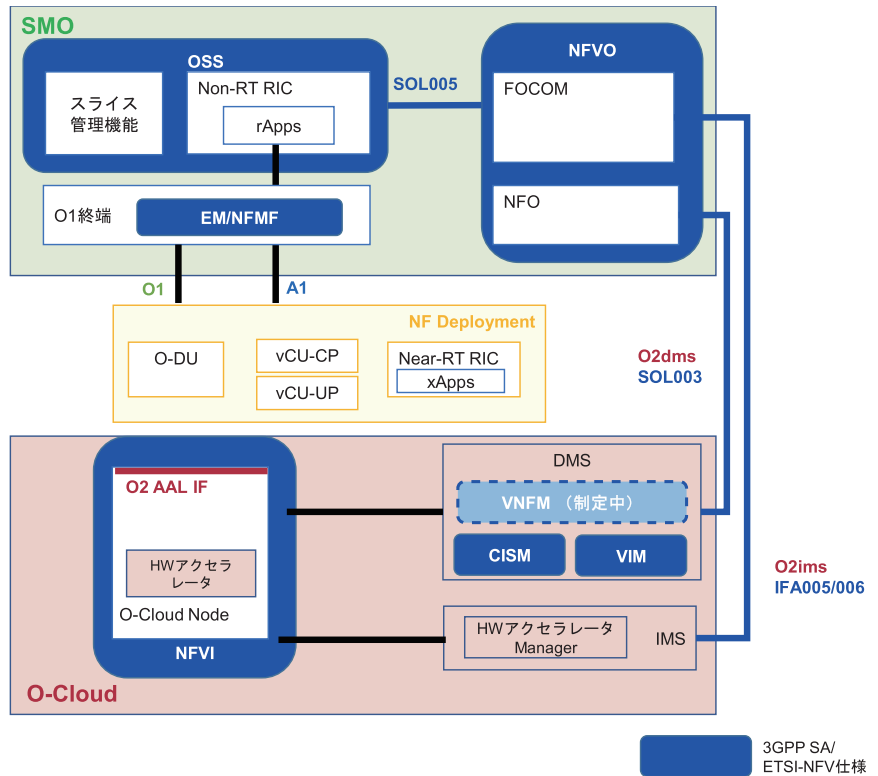


図3 O-RANとETSI-NFV仕様の関係

■ HWアクセラレータ

ETSI-NFVでは、vRANで必要となるHWアクセラレータに関する規定が存在しておらず、O-RANにて議論が進められています。AALには、物理装置としてのHWアクセラレータと、これを利用してvRANのさまざまな処理を実現するAAL Profile、およびAAL ProfileとvRANのIFであるAALI (AAL Interface) が含まれます。AAL ProfileはHWアクセラレータManagerから制御され、HWアクセラレータManagerはNF Deploymentを制御するDMSやIMSと連携しながら、O-Cloud上のAAL Profileを管理しNF Deploymentと接続します。

HWアクセラレータにおける無線処理のオフロード実現方法は、大きく分

けてLook-aside型とInline型と呼ばれる2つの方法が提案されています。前者は無線レイヤ1の一部、特に暗号化・復号化といった処理負荷が高い部分を、後者は無線レイヤ1すべてをオフロードする形態となっています。いずれの形態であっても、仮想化・オーケストレーションが実現できるように規定が進められています。

今後O-RAN WG6では、O2dmsのIF仕様書、AALのユースケース仕様書、vRANアプリケーションのPackage、そしてオペレータにとってもっとも大切な機能分担と機能定義された仕様書が規定される予定です。

標準化でのNTTドコモの取り組み

NTTドコモは、これまで積極的にETSI-NFVにてコアネットワーク仮想

化の標準化を進めてきました。その仮想化の仕様を最大限活用し、かつ、標準仕様の乱立防止のため、上記仕様に対して、図3のとおりO-RAN仕様とETSI-NFV仕様を対比しながら検討を進めています。具体的には、O-RAN WG6においてO2dmsのIF仕様の策定を行いつつ、ETSI-NFVにおいては、ETSI GR NFV-IFA 046⁽⁴⁾によるO-RAN仕様とNFV仕様のギャップ分析に取り組んでいます。

将来的には、図4のようなRANからコアネットワークまでの統合NFV Platformをめざし、標準化を推進していきます。なお基地局の分散的な設置は、基地局とRU (Radio Unit)^{*9}間のフロントホール長の制限などのように、各機能部固有の制約や特徴が必要となり、それら制約や特徴を考慮し

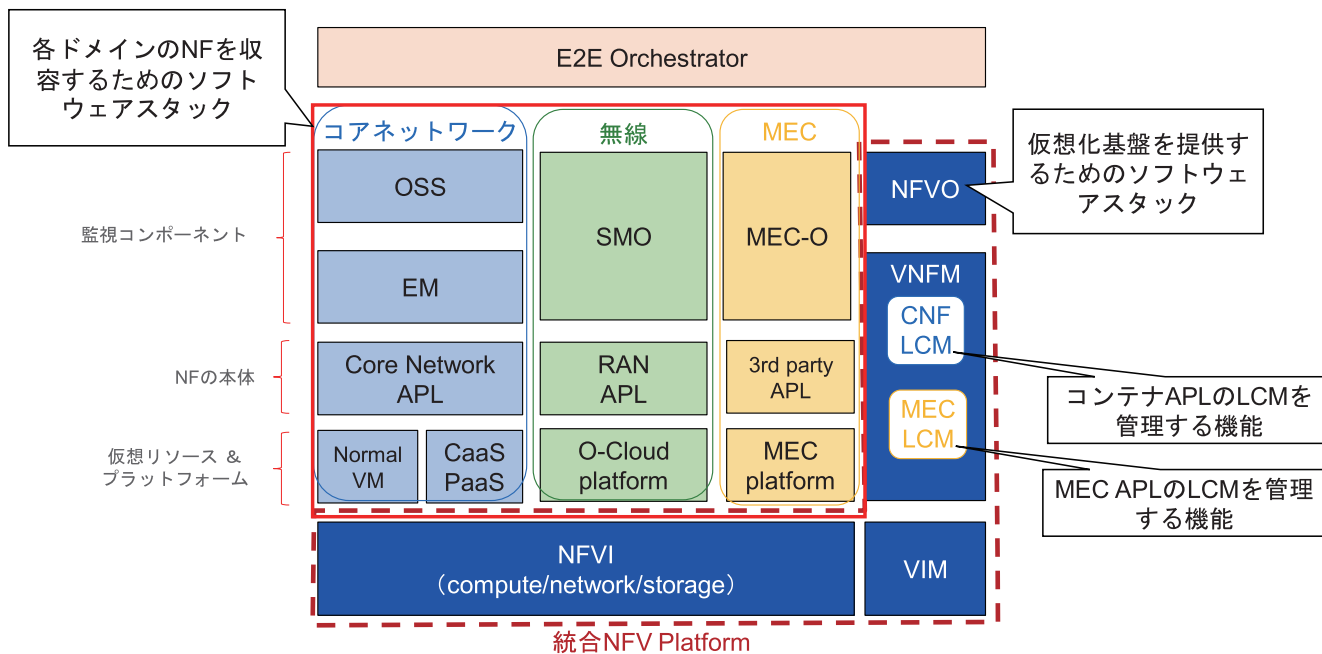
た最適な提供形態を継続して検討していきます。O-RANとETSI NFVの標準化を進めていくうえでNTTドコモが重要と考えているポイントを以下に示します。

■ SMOにおけるETSI NFVのNFVOのポジショニング

O-RAN仕様上のSMOは、3GPP-SA (Service & Systems Aspects)^{*10} 5仕様のOSS (Operations Support System) とEM (Element Manager)/NFMF (Network Function Management Function), ETSI-NFV仕様のNFVO (NFV Orchestrator)^{*11}を含む非常に巨大な機能部となっています(図3)。マルチベンダに対応したSMOの実現に向けては、標準化上のアーキテクチャをより小さな機能群に

分割することが必須であると考えています。特にOSS機能部はオペレータごとに既存設備、運用フロー、接続するOSS機能部外の装置が異なるため、現在議論されているSMOだけではすべてを担うことは難しく、OSS機能部はSMOの装置に含まれなくなる可能性があると考えています。また、O1の終端点は現状3GPP-SA5で定義されているEM/NFMFが想定されていますが、これまでのようなNFと

- *9 RU: 基地局を構成する装置の1つで、送受信するデジタル信号を無線周波数に変換し、送信電力の増幅やアンテナ素子での送受信などを行う装置。Massive MIMOにおけるビーム生成に必要な処理についても行う。
- *10 3GPP-SA: 3GPPにおいて、サービス要求条件、アーキテクチャ、セキュリティ、コーデック、ネットワーク管理に関する仕様化を行っているグループ。
- *11 NFVO: 複数のVIMをまたがる仮想リソースの統合的な管理システム。



ソフトウェアスタック: 相互運用性のあるプロトコルやソフトウェアを積み重ね、全体として1つのシステムや機能を実現したもの。

CaaS: Containers-as-a-Service
 CNF: Container Network Function
 LCM: Lifecycle Management
 PaaS: Platform as a Service

図4 RANからコアネットワークの統合NFV Platform

EMが1セットでベンダから提供される導入形態よりも、より汎用性のあるEM (Generic EM) の導入によるシンプル化が望まれています。その結果、SMOは仮想化観点ではO1を終端するGeneric EM機能部とO2を終端するNFVO機能部を担う必要があると考えています。

■O-Cloud と ETSI NFV の CISM/VIMとの関係性

現在O2dmsのIFはO-RANにて規定中であり今後詳細仕様が決定される見込みですが、DMSと関連が深いETSI-NFVの仕様として、CIS (Container Infrastructure Service) とCISM (CIS Manager) といったコンテナ基盤、VIM (Virtual Infrastructure Manager) とNFVI (Network Functions Virtualisation Infrastructure) といったVM (Virtual Machine) 基盤の2種類の基盤が規定されており、これらがDMSに該当すると考えています (図3)。現在O2dmsは、ETSI-NFV仕様のCISM向けIFであるETSI GS NFV-SOL 018⁽⁵⁾とVIM向けIFであるETSI GS NFV-SOL 014⁽⁶⁾と、それらの制御を抽象化したVNFM (Virtual Network Function Manager) 向けIFであるETSI GS NFV-SOL 003⁽⁷⁾の利用を検討しています。これによって、VNFMがSMOに属するか、O-Cloudに属するかが決まります。IMSはETSI-NFVの仕様に該当する機能部がないため、ETSI GR NFV-IFA 046⁽⁴⁾のギャップ分析後にIMSやその関連機能をNFVがサポートできるようにETSI-NFV仕様が拡張されると考えられます。

ORECでの取り組み

標準化にて規定されない実装依存の要素やオプションとなっている機能も多くあり、商用運用レベルの5Gサービスを提供するvRANを開発するためには、各種プロダクトを組み合わせるために使用するオプションやIFの合わせや検証も併せて進めていく必要があると考えています。そのためドコモは、O-RANおよびETSI-NFVの標準化推進に加えて、ORECにおいて以下の点を重点的に進めています。

- (1) vRANソリューション提供に向けた、運用方法やネットワーク設計のガイドライン作成

vRANアプリケーションベンダ、HWアクセラレータベンダ、O-Cloudベンダによるさまざまなプロダクトの組合せにおいても相互接続を担保できるvRANソリューション提供に向け、各種運用方法やネットワーク設計のガイドラインの作成を行っています。また、クラウド環境においてはネットワークや管理ノードの冗長構成は必須ですが、基地局サイトでは設置環境により十分な冗長構成がとれない可能性もあり、ネットワーク切断や管理ノードのみダウンするケースも多々あります。これらを踏まえたさまざまなオペレーションなどが必要となるため、その観点でも設計方針の検討を進めています。ドコモがめざす具体的なオープン化の姿を図5に示します。VNFMを中心に、各IFをオープン化することでETSI-NFV仕様を最大限活用し、マルチベンダでのvRANアプリケーションや仮想化基盤の相互接続の実現をめざす取り組みを進めています。

- (2) ソリューションの検証環境の

提供とE2Eでの機能・性能検証
vRANにおいては各種技術を新規に使用するため、機能面・保守面の動作検証が必須となります。また、HWアクセラレータを新規に利用するため性能面での検証も必要となります。加えて省スペースな基地局サイトに最適なHWでの検証も必要となります。これらの検証環境を提供し、上位装置から端末までのE2Eでの検証を進めています。

現状、ORECラボでの検証では、vRANアプリケーション、仮想化基盤、汎用サーバ、HWアクセラレータについて数パターンの組合せで検証を進めています。先行して商用化が進められているLook-aside型のHWアクセラレータに加えて、Inline型のHWアクセラレータについても5G SA (Stand Alone) 構成での通信の疎通確認も完了しており、今後、性能目標をめざしつつ商用品質に到達するように、さらに検証を加速していきます。

おわりに

NTTドコモは、コアネットワークで効果をあげたネットワーク仮想化を、vRAN要件に対応しながら基地局に適応させるために、標準化とORECの2つのアプローチでvRAN実現に取り組んでいます。現状では、標準仕様もORECも発展途上であり、今後の各種要求に適した最適な組合せを実現できる世界をめざして、パートナーとvRAN開発や、ORECラボでの検証を進めています。また、引き続きオペレータにとって重要な機能を安定的に提供し続けられるように、ユースケースの拡張やIF策定による標準仕様にも貢献していきます。

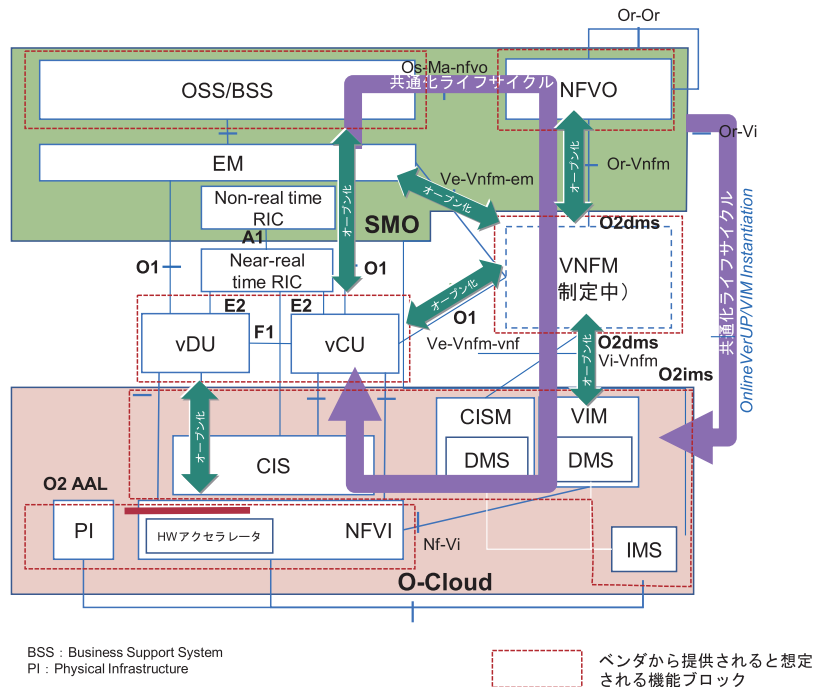
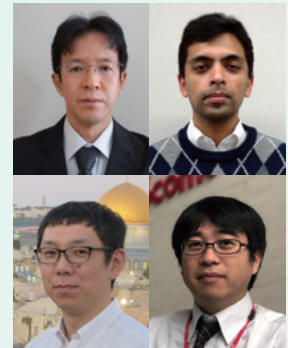


図5 ドコモがめざすオープン化

■参考文献

- (1) 平塚・栗生・ウメシュ・森：“RANオープン化 (Open RAN) に向けた取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.9, pp.32-36, 2022.
- (2) 田村・久野・鈴木：“ネットワーク仮想化基盤におけるETSI NFV stage3仕様に準拠したマルチベンダ対応MANOへの移行,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.29, No.4, pp.65-75, Jan. 2022.
- (3) 鎌田・久野・田村・岩見屋：“ドコモネットワークにおける仮想化基盤システムの実用化,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.24, No.1, pp.20-27, Apr. 2016.
- (4) ETSI GR NFV-IFA 046：“Report on NFV support for virtualization of RAN,” July 2021.
- (5) ETSI GS NFV-SOL 018：“Profiling specification of protocol and data model solutions for OS Container management and orchestration.”
- (6) ETSI GS NFV-SOL 014：“YAML data model specification for descriptor-based virtualised resource management,” May 2021.
- (7) ETSI GS NFV-SOL 003：“RESTful protocols specification for the Or-Vnfm Reference Point,” July 2021.



(上段左から) 水田 信治 /

ウメシュ アニール

(下段左から) 中島 佳宏 / 久野 友也

NTTドコモにおけるvRANの取り組みについて紹介しました。汎用HW, HWアクセラレータやオープンソースを活用して、専用装置に代わる低コストでかつ高機能な無線基地局装置の実現をめざします。

◆問い合わせ先

NTTドコモ

R&D戦略部

E-mail dtj @nttdocomo.com



RAN インテリジェント化に向けた取り組み

5G（第5世代移動通信システム）時代のネットワークは、多種多様なアプリケーションへの対応が求められ複雑化が進んでおり、ネットワークのオペレーションや最適化を、従来のように人手で対応することが困難になると予想されます。NTTドコモでは、機械学習に代表されるAI（人工知能）やビッグデータを活用し、より自律的かつ自動化されたRANオペレーションの実現に向け、O-RAN ALLIANCEで標準化が進められているRICの技術開発を進めています。本稿では、O-RAN ALLIANCEにおけるRICの標準化状況を解説し、RANインテリジェント化を実現するユースケースやロードマップについて紹介します。

かつらがわ	たいち	かわな	あきひろ
桂川	太一	川名	昭博
いもうえ	よしお	たていし	たかひろ
井上	義雄	立石	隆浩
はしもと	えいな	ふじつか	たくみ
橋本	英奈	藤塚	拓実

NTTドコモ

はじめに

5G（第5世代移動通信システム）時代のモバイルネットワークでは、高速・大容量、低遅延、多数端末同時接続など、さまざまな要求条件を満たすサービスの提供が期待されています。このような高度なサービス要求に対応するため、オペレータはRAN（Radio Access Network）機能の高度化やネットワーク規模拡大を継続的に実施していますが、その結果として、RANの設計や運用が複雑化しています。そこで、これまで3GPP（3rd Generation Partnership Project）において、オペレータのRAN構築・運用の負担軽減のため、ネットワーク構築、エリアや運用パラメータの最適化、障害復旧を自動で行う技術としてSON（Self Organizing Network）*1の標準化が行われてきましたが、ビッグデータやAI/ML（機械学習）を活用したイン

テリジェントな方式によるオペレーションの自動化が求められています。RAN制御の観点でも、AI/MLの活用によりプロアクティブな制御が可能となりRANパフォーマンスや顧客満足度の向上が期待できます。

O-RAN ALLIANCE*2では、RANインテリジェント化を目的として、ビッグデータやAI/MLを活用した運用・制御を実現するためのアーキテクチャや各種制御インタフェースの標準化が行われており、NTTドコモにおいても技術検討を積極的に進めています。

本稿では、O-RAN ALLIANCEで標準仕様が検討されている、RANインテリジェント化のためのアーキテクチャや各種インタフェースが提供する機能や制御手順について解説し、NTTドコモにおけるRANインテリジェント化のロードマップについて紹介します。

O-RAN ALLIANCEにおけるRICの標準化の概要

■ RICのアーキテクチャ

O-RAN ALLIANCEのRANアーキテクチャでは、基地局のパラメータ設計と設定、および運用の自動化・最適化を行う論理ノードとしてRIC（RAN Intelligent Controller）が定義されています。

図1に示すとおり、RICは、Non-RT（Real Time）RICとNear-RT RICの2種類が定義され、それらのうちNon-RT RICは、RANの監視・保守やオーケストレーションを行うSMO（Service Management and Orchestration）の内部に配置されます。Non-RT RICはAIインタフェースを介してNear-RT RICと接続し、

*1 SON：eNB設置時の自動設定やパラメータの自動最適化などを含む、無線ネットワーク自己最適化機能の通称。

*2 O-RAN ALLIANCE：次世代の無線アクセスネットワークの拡張性をより高く、オープンでインテリジェントにすることを目的に活動している電気通信事業者および通信機器サプライヤによる団体。

* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No. 1, 2022年4月)に掲載された内容を編集したものです。

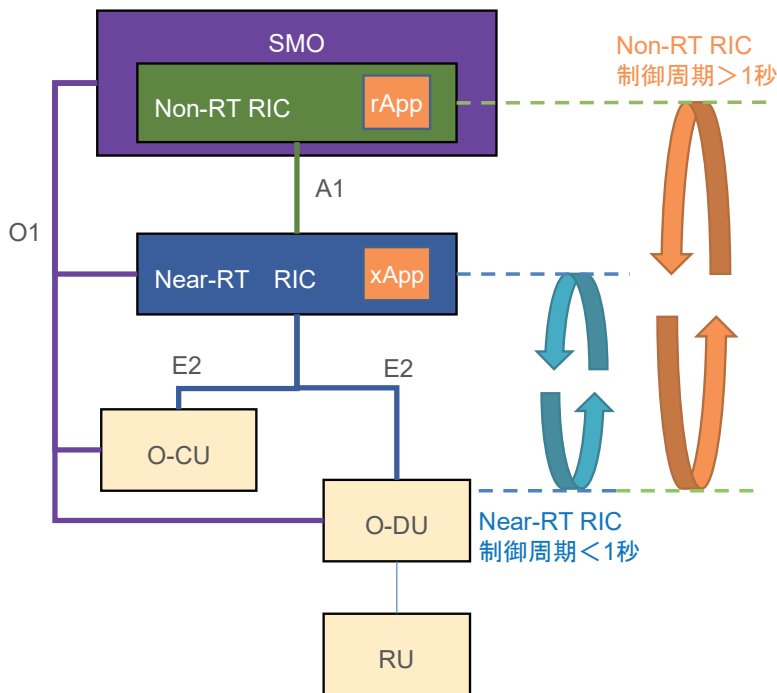


図1 O-RAN ALLIANCEにおけるRANアーキテクチャ

さらにNear-RT RICはE2インタフェースを介してO-CU (O-RAN Central Unit) やO-DU (O-RAN Distributed Unit) といったE2ノード*3と接続します。また、E2ノードやNear-RT RICはO1インタフェースによってSMOと接続しています。O-RAN ALLIANCEにおいて検討されているRANアーキテクチャに基づいて、使用する制御インタフェース、AI/MLの機能配置を組み合わせることにより、さまざまな形態のインテリジェントな制御が実現可能となります。

(1) Non-RT RIC

Non-RT RICはSMO内部のOAM (Operation Administration and Maintenance) サービスを提供する

機能部と連携することで、E2ノードからO1インタフェースを通じて、PM counter (Performance Management counter), FM data (Fault Management data), TM data (Trace Management data) といったE2ノード内で蓄積された各種データを収集します。Non-RT RICは、AI/MLを活用して無線環境やトラフィック負荷に合わせて最適化した設定パラメータを、O1インタフェースを介してE2ノードに反映することができます。また、RAN制御にかかわるポリシーの生成を行い、A1インタフェースを通じてNear-RT RICにポリシーを通知することができます。これらの制御は1秒以上の比較的長い制御周期で実施されます。

(2) Near-RT RIC

Near-RT RICはE2ノードからE2

インタフェースを用いて、E2ノードの情報を収集し、また内部で分析した結果をNon-RT RICから通知されたポリシーに従ってE2ノードの制御に反映することが可能です。Near-RT RICはE2インタフェースを介してE2ノードと直接接続することで、制御周期が数10 m秒～1秒程度の高速な制御を行います。

(3) rApp

Non-RT RICでは、各種情報の分析やポリシーの生成を行うため、rApp (Non-RT RIC Application) と呼ばれるアプリケーションが用いられます。rAppはNon-RT RICフレームワークから独立したアーキテクチャとなっており、R1インタフェースによりNon-RT RICフレームワークと接続されます。

(4) xApp

Near-RT RICのフレームワーク上で各種情報の分析や制御を実行するアプリケーションはxApp (Near-RT RIC Application) と呼ばれます。Near-RT RICにおいても、フレームワークとアプリケーションは分離されており、O-RAN ALLIANCEが仕様化するNear-RT RIC API (Application Programming Interface) により接続されます。

■O-RAN ALLIANCEで規定されるインタフェース

(1) O1インタフェース

O1インタフェースは、SMOがE2ノードやNear-RT RICに対して、FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security), ソフトウェア管理, ファイル管理といったOAM機能を提供す

*3 E2ノード：E2が接続する装置のことであり、具体的にはO-CU-CP, O-CU-UP, O-DU, O-eNBのことを指します。

るインタフェースです。Non-RT RICは、SMO内のOAMサービスを提供する機能部と連携して、E2ノードが生成するPM counterを、O1インタフェースを用いて取得し、またNon-RT RIC内のrAppが最適化したConfiguration設定値をE2ノードへ反映することができます。さらに、Near-RT RICにおいてMLを適用するケースでは、MLモデルのデプロイにもO1インタフェースを利用することが想定されています。

(2) A1インタフェース

A1インタフェースは、Non-RT RICとNear-RT RIC間のインタフェースです。A1インタフェースには、①A1 Policy Management Service (A1-P)と②A1 Enrichment Information Service (A1-EI)と③A1 ML Model Management Service (A1-ML)の3つの機能が規定されています。

(3) E2インタフェース

E2インタフェースは、Near-RT RICとE2ノード間のインタフェースです。E2インタフェースが提供する機能は、E2ノードの制御機能情報や制御履歴情報のNear-RT RICへの公開とE2ノードに対する制御コマンドの通知です。E2ノードに対しては、RRC (Radio Resource Control)のHO (Hand Over) 制御や、S1/X2/NG/Xn/F1/E1プロシーチャーの制御を行うことができます。また、制御はセル単位、スライス単位、またはUE単位で指定できます。

(4) R1インタフェース

R1インタフェースは、rAppとNon-RT RICフレームワーク間のインタフェースです。機能はrAppとNon-RT

RICフレームワーク間でデータや制御情報を送受信することです。R1インタフェースの主要な機能に、サービスの管理公開機能としてSME (Service Management and Exposure) services, データの管理公開機能としてDME (Data Management and Exposure) servicesがあり、その他にA1-related services, O1-related services, O2-related services, A1/ML workflow servicesが規定されています。

SMEには、Non-RT RICフレームワークが提供する各種サービスのエンドポイントを伝えるBootStrap, rAppが提供するサービスの登録を行うRegistration, Non-RT RICフレームワークやrAppが提供するサービスを探すDiscovery, rAppの状態監視を行うHeartbeat, rAppが提供するサービスの認証・認可を行うAuthenticationとAuthorizationといった機能があります。

DMEには、Non-RT RICフレームワークやrAppが提供可能なデータを登録するData registration, 登録済みのデータ(データカタログ)を取得するData discovery, データを要求するData request/subscription, データを収集するData Collection, データを送信するData deliveryといった機能があります。

O1-relatedは、SMOが取得できるNF (Network Function) のコンフィグやステータスなどを取得するNetwork Information service, FMとPM情報をそれぞれ取得するFM/PM serviceが現状では規定されています。A1-relatedとO2-relatedとA1/

ML Workflowの機能詳細は未規定です。なお、R1インタフェースはO-RAN ALLIANCEでも標準化を開始したばかりで、詳細は未規定のため、今後機能の更新や変更が入ることが想定されます。

(5) Near-RT RIC APIs

Near-RT RIC APIsは、xAppとNear-RT RICフレームワークの間のAPIです。A1 related APIs, E2 related APIsのほか、xAppとAI/MLモデルの管理(登録, 更新, 削除, コンフィグ), ログイン, トレース, メトリクス収集を扱うManagement APIs, SDL (Shared Data layer) 関連機能へのアクセス機能であるSDL APIs, xAppがAPIを使用するための認証や登録などを行うEnablement APIsが規定されています。

■ rApp/xApp

Non-RT RIC, Near-RT RIC上で動作する制御アルゴリズムは、前述のとおりそれぞれrApp, xAppによって実装され、これによりオペレータは、Non-RT RICフレームワークを提供するベンダのrAppだけでなく、第三者が提供するrAppを採用することも可能となります。また、オペレータがRANの運用経験やノウハウに基づいて、RANの制御ポリシーをrAppのアルゴリズムに反映し、さまざまな要求条件を満たすサービス提供を実現していくことも可能になります。

rAppはDMEを介して他のrAppとデータ共有することが可能であり、例えば、データの集計・分析に特化したrApp, その結果を受け取ってMLモデルを生成するrApp, MLモデルを利用して推論を行い、その結果に基づいてE2ノードに対する制御コマンドや制御ポリシーの生成を行うrApp,

といった異なる機能を持つrAppが連携して1つのユースケースを実現することも考えられます。

さらに、自動化・最適化の目的（ユースケース）ごとに異なるrAppまたはxApp（App）を複数適用し、例えば、App_AとApp_Bを並列して動作させる（図2①）など、柔軟な自動化サービスの適用が可能です。また、エリアごとに異なるAppを適用したり（図2②）、同一のAppであってもコンフィグ設定を変更して自動化や最適化の動作を変更したりする（図2③）ことも可能です。

■ MLの適用

近年、クラウドにより大量のデータ蓄積が容易となったことから、さまざまな分野へのMLの適用が注目されています。インテリジェントRANの実現をめざすO-RAN ALLIANCEにおいても、RAN分野へのMLの適用によるネットワークパフォーマンスの向上が期待されており、それを実現するアーキテクチャが用意されています。

MLの適用には、学習および推論のプロセスが必要となります。学習プロセスでは、データレイクに格納されているネットワークパフォーマンスデータを用いて、RICアーキテクチャの内部、もしくは外部に配置されるML

Training HostsがMLモデルを学習し、RIC上に保存します。推論プロセスでは、MLモデルをRIC上のrAppもしくはxApp上にロードし、RICアーキテクチャの内部、もしくは外部に配置されるML Inference Hostsが対象パラメータの最適値を推論します。最適化されたパラメータは、AIインタフェースやE2インタフェースを介してO-CU、O-DUに設定されます。

RANインテリジェント化の導入シナリオ

■ RANインテリジェント化のロードマップ

RICによるRANインテリジェンスの導入に際しては、採用するユースケースによって、必要となる機能や制御インタフェース、最適化のための分析に必要なデータ収集項目が異なり、また、RAN装置（gNB：next generation NodeB*4）においても対応が必要なインタフェースや機能が異なります。したがって、これらを考慮した導入計画の策定が重要となります。さらに、O-RAN ALLIANCEにおけるユースケースに関連する仕様策定の進捗状況や成熟の見通しも考慮したうえで、段階的にRANインテリジェンスの高度

化を図っていく必要があります。

図3に示すとおり、NTTドコモでは、初期のユースケースとして、従来のRAN運用システムで保守者を介して実施していた業務の自動化をターゲットと考え、運用コストの削減を図ることを考えています（図3①）。具体的には、基地局運用パラメータやアンテナ指向方向の自動最適化、トラフィック負荷の予測に基づく省電力化のための基地局スリープ制御などが想定されます。無線環境の変化やトラフィック負荷の変動に応じて数時間～数日の制御周期で適応的にネットワークの設定を最適化することにより、ユーザ観点でも快適なネットワークの提供をめざします。また、これらのユースケースは、Non-RT RICによるO1インタフェースを用いた制御によって実現でき、RAN装置（gNB）側の機能対応のインパクトも比較的小さいと想定され、導入時のコストを低く抑えられます。さらにAI/MLなどの適用領域を段階的に増加していき、RANの運用におけるより高度なインテリジェンスを実現します（図3②）。

*4 gNB：NRのスタンドアローン向けのRANにおいてNR無線を提供する無線基地局。

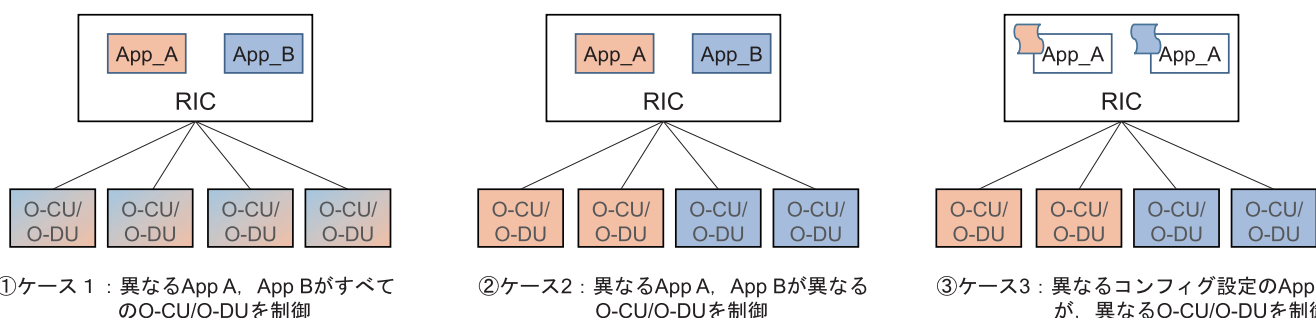
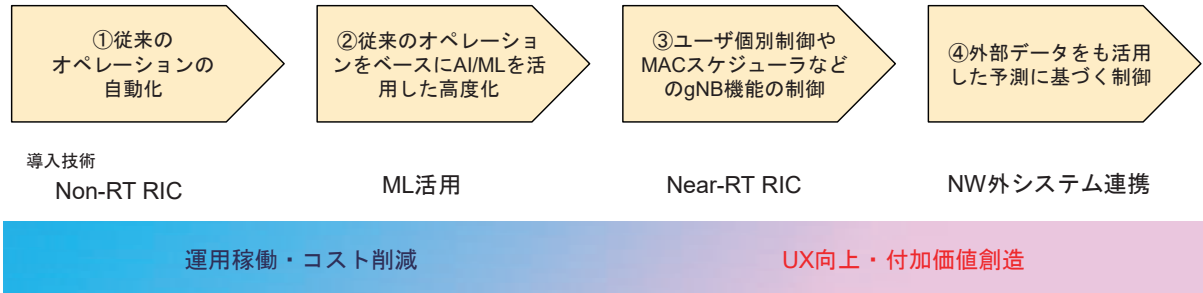


図2 rApp/xAppのデプロイメントシナリオ



MAC : Medium Access Control

図3 RANインテリジェント化の導入シナリオ

次の段階では、制御スキームの強化（例えば、低速制御から高速制御へ、セルごとの制御からユーザごとの制御へ）によってRANパフォーマンスと顧客満足度の向上につながるユースケースをターゲットとします。具体的には、ユーザやネットワークスライスごとにサービス要件に応じたリソース制御の最適化を行う「トラフィックステアリング」や「QoS/QoE最適化」などを想定しています（図3③）。これらのユースケースの実現には、Near-RT RICの導入に加えA1/E2インタフェースの対応が必要となり、RAN装置（gNB）においてもO-RAN ALLIANCEのWG3が仕様化するE2SM-RC（E2 Service Model RAN Control）で規定される各種機能の対応が必要になるため、RAN装置の機能追加、または、更改も視野に入れた中長期的なマイグレーションが必要になります。さらに、将来的には外部システムとの連携や予測技術の適用も視野に入れ、モバイルネットワークによる新たな価値創造をめざすことを考えています（図3④）。

■各フェーズのユースケース例

初期段階のユースケース例として、

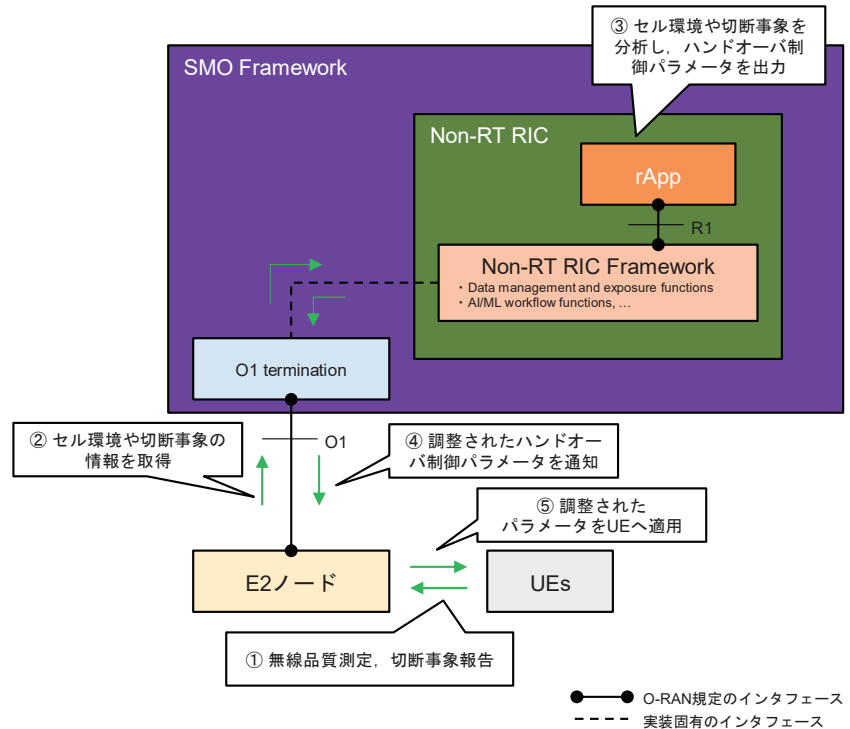


図4 Non-RT RICによるHO制御パラメータの最適化制御例

(1)HO制御パラメータの最適化と、次段階のユースケース例として、(2)トラフィックステアリングをそれぞれ紹介します。

(1) HO制御パラメータの最適化
基地局とUEの間でHOの実施が早すぎる場合や遅すぎる場合、HOの失敗となり、UEは一時的にネットワー

クから切断されてしまいます。このようなHOの失敗を防ぐために、Non-RT RICはセル環境の情報や切断事象の情報を分析することで、HO制御に用いるしきい値やタイミングを調整します。Non-RT RICによるHO制御パラメータの最適化の手順を図4に示します。セル単位や時間単位で図4の①

～⑤を自律的かつ自動的に繰り返すことで、常に最適なHO環境をUEに提供します。

(2) トラフィックステアリング

5Gでは、NRやLTE、Wi-Fiなどのさまざまなアクセスネットワークの組み合わせをサポートすることができます。それらには複数の周波数帯域での無線環境と、多様なユーザアプリケーションによるトラフィックの変化があり、安定した商用ネットワークを提供するため、以下に示すような高度なトラフィック管理が必要とされます。

- ・これまでのセル単位から多様な要件を持つUE単位の無線リソース管理 (RRM : Radio Resource Management)
- ・マルチアクセスのネットワークとUEのパフォーマンス予測による負荷分散
- ・適切なタイミングでのトラフィック制御の適用

RICによりオペレータは、上記内容の実現を目的とした、ネットワーク運用の目的に応じた最適化ポリシーを柔軟に構成し、リアルタイムでのネット

ワークやUEの適切なパフォーマンス測定を行い、プロアクティブなトラフィック管理を行っていきます。Non-RT RICとNear-RT RICによるトラフィックステアリングの手順を図5に示します。図5の①～⑨を自律的かつ自動的に繰り返すことで、負荷分散された快適なネットワークを常に提供します。

まとめ

■今後の課題

今後の課題として、マルチベンダオ

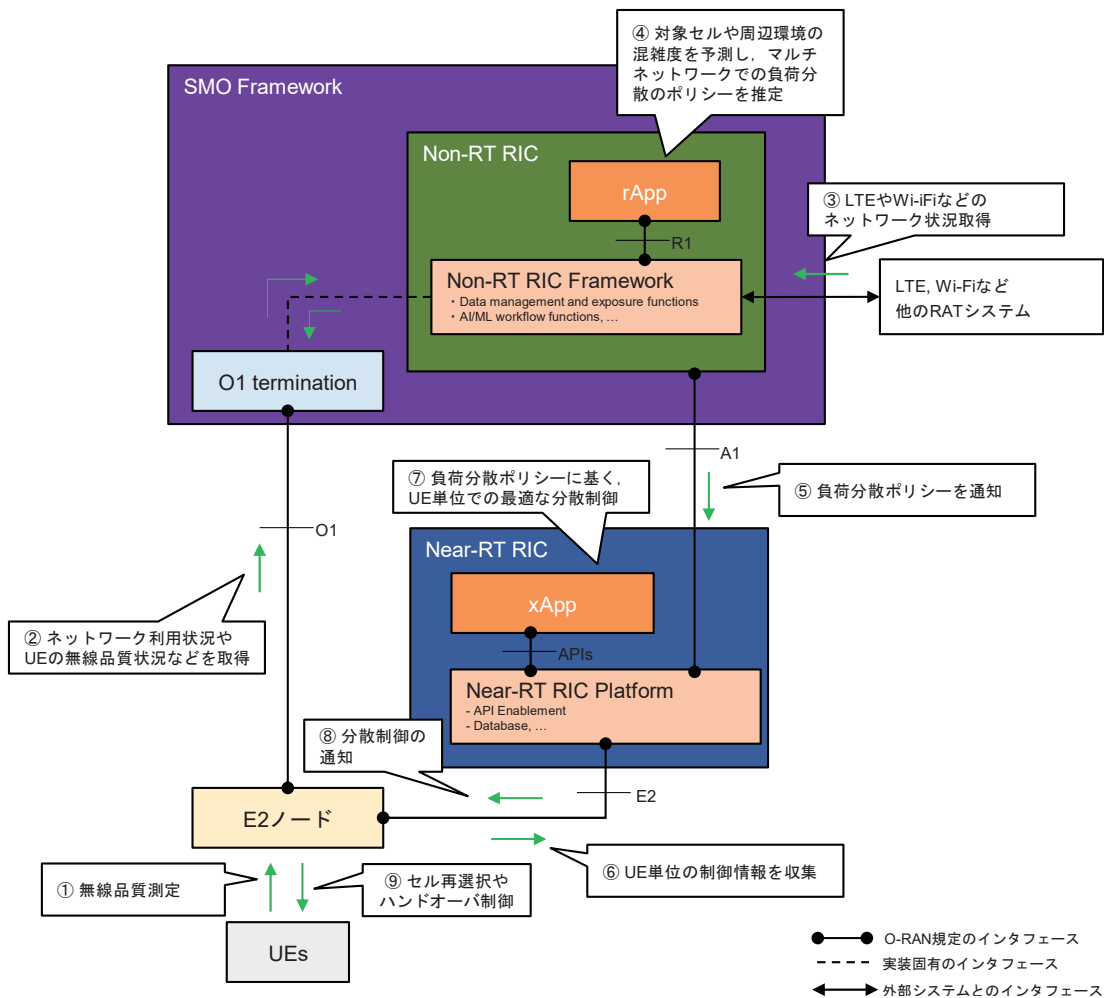


図5 Non-RT RIC, Near-RT RICによるトラフィックステアリング制御例

ペレーションの実現に向けた以下の課題があると考えています。

O-RAN ALLIANCE の WG5 で RAN装置インタフェースを対象に、マルチベンダでの相互接続の実現を目的とした活動が進められてきましたが、RICインタフェース（R1インタフェース、A1インタフェース、E2インタフェース、Near-RT RIC APIs、外部サービス・アプリケーション間の外部インタフェース）も対象に相互接続性が求められます。これらのインタフェースは、WG2、WG3で仕様化が進められていますが、ベンダ間でパラメータ解釈が異なることがないように、ユースケースごとにE2ノードに対する制御や動作を明確化していく必要があると考えています。

また、オペレーションの課題としては、Apps（rApp、xApp）で提供するAI/MLモデル管理、Apps間での競合管理、システム導入時のRIC機能の適用・非適用エリアの運用管理などが挙げられます。これらの運用管理は、初期導入段階においては保守者が判断して手動で運用することを想定していますが、RIC機能に組み込んで自動化する検討も必要になると考えています。

■将来的なユースケース

将来的には、RANドメイン以外のデータを活用してのRANのパラメータ最適化も考えられます。

一例として高速道路でのモビリティ最適化に関して、高速道路付近の基地局のデータだけでなく高速道路管理会社のリアルタイム渋滞情報や渋滞予測データも用いて、端末の移動速度や密集度に応じた基地局パラメータの最適

化をRICで行うことが考えられます。

さらには、車載センサで取得したデータをスマートフォンなどの車載インテリジェント端末からインターネット経由でRICが取得することで、状況に合わせた最適化も可能になります。具体的には、局所的なモバイルネットワークの混雑を予測して混雑解消のための対策を行ったり、ユーザ端末の移動速度や移動先の予測に基づくハンドオーバー制御の最適化や移動先のリソースを確保したりすることが考えられます。

また、電力供給が不安定な国や地域、状況において、電力供給量に見合ったネットワーク運用を行うために、電力事業者などの停電・通電予定のデータを活用し、停電エリアの基地局の停止と通電エリアの基地局のカバレッジ拡大を自動的に実現することが考えられます。電力供給が安定している場合、複数の電力小売り事業者や基地局付属の太陽光発電装置、蓄電池などの電力供給源を選択できる場合、各電源の電力供給量とコストのデータを活用し通信品質を維持したまま電力費用の最小化を行うこともできます。

さらに、大規模なスポーツイベント、音楽フェス、花火大会などの集客イベントがある場合、インターネット上のSNSの投稿などから判明した開催場所と時刻をRICに通知し、あらかじめ当該基地局のパラメータを調整することで同時接続数の拡大を行い、基地局の混雑によるつながりにくさの解消といった対応をとることも可能になります。

こうした都市インフラ関連のデータの公開が進めば、RANインテリジェント化を通じたスマートシティの実現

に向けて貢献できることとなります。

おわりに

NTTドコモは、今後も継続してO-RAN ALLIANCEにおけるRANインテリジェント化に向けた仕様策定に寄与していきます。また、現在推進している「5GオープンRANエコシステム（OREC：Open RAN ECosystem）」の取り組みにおいても、RANインテリジェンスの高度化やマルチベンダでの相互接続の実現に向けた検討を牽引していきます。



（上段左から）桂川 太一/ 川名 昭博/
井上 義雄
（下段左から）立石 隆浩/ 橋本 英奈/
藤塚 拓実

本稿では、RANオペレーションの自動化実現に向けて開発を進めているRIC（RAN Intelligent Controller）について紹介しました。RICはAIやビッグデータの活用により、オペレーションの自動化だけでなくユーザエクスペリエンス向上にも寄与します。

◆問い合わせ先

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

挑戦する 研究者たち CHALLENGERS



渡邊 淳司

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
NTT社会情報研究所
NTT人間情報研究所
上席特別研究員

研究者はちょっと先を 見せてくれる鏡のよ うな存在

「ここまで伝わる」情報通信技術の実現をめざし、情報科学、心理学、神経科学から、感覚・情動・運動にかかわる情報処理メカニズムの解明をめざすNTTコミュニケーション科学基礎研究所人間情報研究部。触覚のメカニズムの探求やその伝送技術への応用を行い、Well-beingの向上支援にも取り組む渡邊淳司上席特別研究員に研究の進捗について伺いました。



さまざまな人のWell-beingが 実現される方法論を追究

3年ぶりのご登場ですね。現在の研究活動について教えてください。

私の研究テーマは触覚のコミュニケーションと、その社会での価値の創成です。触覚は、自身のあり方を実感し、人と人との共感や信頼醸成に寄与する感覚ですし、その研究と併せてWell-being向上に関する方法論について取り組んでいます。

例えば、2020年から2021年にかけて、触覚のコミュニケー

ションツールを用いたワークショップシリーズを横浜市的小学6年生約30名に対して実施しました⁽¹⁾。「触れてつながるスポーツラボ」という名前なのですが、ここには研究所のメンバーだけでなく、NTTの特例子会社であるNTTクラリティに所属するパラアスリート田中章仁さんにも参加いただき、共生社会に向けた体験型の学びの場を実現しました。もちろんコロナ禍でしたので、感染対策をしながらも、どうやって生徒たちにとって実感ある学びの場を実現するかということに苦心しました。

このワークショップは「感覚体験の4つのSTEP」によって構成されています(図1)。STEP 1は「自己を見つめる」



図1 「触れてつながるスポーツラボ」ワークショップにおける「感覚体験の4つのSTEP」
 (NTT研究所発 触感コンテンツ+ウェルビーイング専門誌『ふるえ』Vol.35より引用)

というもので、このときに行うのが自身の心臓の鼓動を手の上の触感として感じる「心臓ピクニック」というワークです。聴診器を胸に当てると心臓の鼓動に合わせて、手に持った四角い箱が振動します。そうすることで、心臓の鼓動を手の上の触感として感じ、自身の生命としての側面を実感することができます。

STEP 2は「他者との共有」です。身近な他者に感覚の共有範囲を広げます。STEP 1でのワークの延長として、心臓の鼓動に合わせて振動する箱を周りの生徒に手渡し、自身の鼓動を他者に感じてもらったり、逆に他の人の心臓を手の上で感じたりします。他者の鼓動を感じることで、他者も自分と同じ生命であることを強く意識します。また「触覚共有ボール」(図2)を使って、触覚だけで感情を伝え合う経験をします。「触覚共有ボール」は、チューブでつながった2つの柔らかいボールで、一方を握るともう一方が膨らみます。手の中で相手の気持ちに合わせて何か膨らむという生々しい体験は、言葉以外での相手とのつながりを感じる体験です⁽²⁾。

そしてSTEP 3は、普段は触れ合うことのない、異なる感覚や身体を持つ人とコミュニケーションを行う、「特別な他者を感じる」体験です。このときは、パラスリートの田中章仁さんにお越しいただき、離れて設置された2つのテーブルの一方をたたくと、もう一方のテーブルが振動する「触覚共有テーブル」を使って、生徒が田中さんのお話にリアクションをしたりしました。最後のSTEP 4は「感覚を他の人に伝える」ということで、生徒が自身で体験した感覚や共生社会への学びを下級生に伝えます。こ

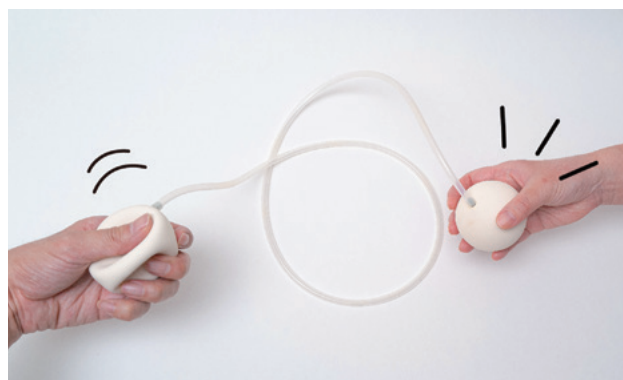


図2 触覚共有ボール

のようなSTEPによって構成されるワークショップを通じて、子どもたちは自分の感覚を発見し、他者とつながり、特別な他者と出会い、共に生きる社会へ向けた、実感を伴う学びの場が生まれたと感じています。これは、さまざまな人が生きる社会において、お互いを尊重しつつそれぞれのWell-beingを実現するための基礎となる経験だと思います。

自分の感覚を発見するという響きにワクワクします。

次に触覚を使って視覚障がい者と一緒にスポーツを楽しむためのプロジェクト「スポーツ・ソーシャル・ビュー」⁽³⁾を紹介します。一般的に、視覚障がい者のスポーツ観戦は音声解説によって行われます。しかし、音声解説にはスポーツの動きの詳細をうまく言葉で表現できないという問題や、視覚障がい者が周囲の盛り上がりから取り残されるという問題がありました。そこで、私たちは、スポーツで起きて



いることを言語ではなく身体的に表現し直し、それを視覚障がい者と共有するという観戦方法を生み出しました。例えば、柔道の試合の様子を伝える場合には、2人の晴眼者が布の両端を持ち、試合の様子を見ながらそれぞれの選手になりきって、相手の胴着を引っ張るイメージで布を引っ張り合い、力の駆け引きを再現します(図3)。視覚障がい者はその布の真ん中を握ることで言語化しにくい動きの迫力やリズムを感じるのです。私たちは、ここで行われているような、スポーツの本質を別の身体的な動きに置き換える試みを「スポーツの翻訳」と呼んでいます。その後このプロジェクトは、対象を一般の方にも広げ、スポーツの本質を問い直す試みとして、「見えないスポーツ図鑑」という名で競技の専門家とともに10種類のスポーツを身体的に表現し直すことを行いました。その成果は美術館での展示や書籍⁽⁴⁾としても発表されています。



触覚技術で感じ合い、内在的価値を認め合う

コロナ禍にあってWell-beingが問い直されていると感じていますが、いかがでしょうか。

2019年末からのコロナ禍は、私たちの生活様式に変化をもたらすとともに、自身のWell-beingを見つめ直すきっかけにもなりました。現在、Well-beingという言葉はさ

まざまな意味で使用されていますが、その1つの解釈として、私は「人の内在的価値を積極的に認めていくこと」がWell-beingにつながると考えています。内在的価値とは、ある行為や物事等、それ自体に価値があるということで、反対語は何かができるから価値があるという道具的価値です。その考え方を、人種や文化、身体や感覚の違いによらず尊重しようというのが「ダイバーシティ&インクルージョン(Diversity & Inclusion)」であり、その考え方を人以外の自然や地球環境にも広げていくと「サステナビリティ(Sustainability)」へとつながります。Well-beingはそれぞれの内在的な価値、それぞれがよく生きられるあり方を認め、お互いに尊重しようとするもので、そのためには相互理解や信頼が重要となります。私の場合、そのつながりを触覚からつくり出そうということです。

また、Well-beingはめざすべき状態、目標値のようにとらえられがちですが、どちらかという行為を行うときのあり方や態度だと考えたほうが分かりやすいかもしれません。例えば、「Well-beingをめざしてサッカーをする」のではなく、「Well-beingなやり方でサッカーをする」もしくは「Well-beingにサッカーをする」ととらえたほうが考えやすいと思います。状態だととらえると、どこか外部にWell-beingというものがあって、それに近づいていこうとするイメージですが、あり方として考えると自分やチームメイトの中にあるものだと考えられると思います。



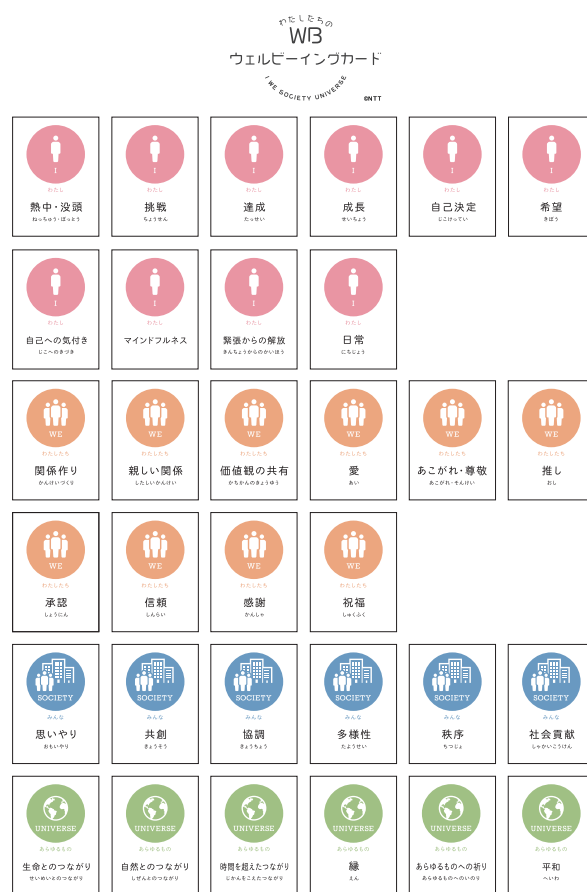
図3 スポーツ・ソーシャル・ビュー (柔道の翻訳)

このそれぞれにとって「よいあり方」を実現するときには重要となるのが、それぞれの人がどんなことを大事にし、それはどのように満たされ得るのかをチーム内で理解し合うことです。サッカーの例だとそれぞれの選手のプレイスタイルや好きな動き方ということになります。ただし、チームで集まったとしても、何もなしにいきなりお互いの大事なことを語りだすのは障壁が高いので、何かきっかけとなるものが必要になります。そこで私は、自身や周囲の人のWell-beingに意識を向け理解するきっかけを提供するツールとして、「わたしたちのウェルビーイングカード」を制作しました(図4)。

カードはどのようにしてできたのでしょうか。

カードには大学生約1300人に実施したアンケートを基に、人がWell-beingを感じる要因が書かれています。さらに、その要因は「I」「WE」「SOCIETY」「UNIVERSE」の4つのカテゴリに分類されています。例えば「熱中・没頭」といった要因は「I」、 「親しい関係」などの要因は「WE」、 「社会貢献」といった要因は「SOCIETY」、 「平和」といった要因は「UNIVERSE」となります。2021年版は27枚、2022年版は32枚で構成されています⁽⁵⁾。

これまで、このカードを使ったワークショップをいくつかの小学校、中学校、高校で行ってきました。ワークショップでは、3～5人ほどが一組になって、自分のWell-beingに大切なことをそれぞれの生徒が3つ選び、それらをカードで示しながら、その理由や背景を周りの人に説明します。次に、それらのカードを意識しながら、学ぶ場で大事にしたいことをチームで3つ選びます。このプロセスは、最初に共有したそれぞれの「わたしのウェルビーイング」を考慮しながら、学ぶ場の「わたしたちのウェルビーイング」を共創する過程だといえます。これまで生徒たちからは、「自分にとってのWell-beingに気付いた」「友だちが幸せだと思っていることが分かり、より深く理解できた」「友だちと同じところや違うところがあることが分かった」という感想がありました。また、生徒たちがこのワークショップを体験した後に、できるだけ家庭でもWell-beingについて議論できるように資料なども工夫してい



2022年版

図4 「わたしたちのウェルビーイングカード」(2022年版) 一覧

ます。

このように、「わたし」から「わたしたち」へというのは、学びの場だけでなく、コロナ禍における働き方やチームビルディング、さらには、地域の街づくりなどにおいても重要な考え方となります。この考え方をより深めるために、2019年より、京都大学の哲学者 出口康夫教授と自己観に関する共同研究も進めています。出口教授は「Self-as-We」という東アジアの思想伝統に基づく全体論的自己観を提唱しており、これまで、個人がこの自己観とどのくらい近い性格特性を有しているかを調べる尺度を開発したり⁽⁶⁾、その性格傾向を有しているとコロナ禍における抑うつ傾向が低いことを示したりしています⁽⁷⁾。現在は、あるチームに対して「Self-as-We」をどのくらい感じている



かというチームの状態に関する評価指標の開発や、その集団としてのWell-beingとの関係性について検討を続けています。



研究を社会に翻訳する

触覚やWell-beingに関する研究は学術的、社会的にも大きな価値がありそうですね。

Well-beingに生きるために重要な、人とのつながりや「わたしたち」⁽⁸⁾という感覚を、触覚に関する方法論や技術を使って支援していくというのが現在の目標ですし、学術的に価値のある新たな分野の確立へつながると思います。実際、2021年度に採択された文部科学省科学研究費学術変革領域研究(B)「デジタル身体性経済学の創成」⁽⁹⁾に、私は研究分担者として参画しています。また、実際に社会の中で触覚に関する情報が流通するために、ITU (International Telecommunication Union) という伝送方式に関する標準化団体の会議にも参加しています。

また、現在、私が強く興味を持っている技術分野としてデータを分散的に保持するブロックチェーン技術が挙げられます。ブロックチェーンは、今までの中央集権的な組織とは異なる新しい組織のあり方を実現する基盤となります。分散型自律組織 (Decentralized Autonomous Organization) と呼ばれ、特定の管理者が存在しないブロックチェーン上で、組織が発行する「ガバナンストークン」を有している参加者によって意思決定が行われます。このような仕組みによって、同じ志を持つ仲間がしなやかに責任を持ってかかわることができる組織ができたかと思えます。

最後に研究者とはどんな存在か、お聞かせください。

社会の中で研究者は、少し先の未来を映す鏡のような存在だと思います。特に情報通信技術の分野は、人々の日々の生活に直結していますし、その技術自体がどんどん変わっていく中で、少し先の社会がどのようになるのかを想像し研究を行います。予測できない未来に対して、どんな研究

領域に取り組みばよいのか、全く同じというには語弊がありますが、ベンチャーキャピタリストがどのビジネスに投資するのかを判断するような感覚とも近いものがあるのではないかという気もしています。

また、社会の中でインパクトをつくるには、社会という川の流れの中で、どこに石を置けば流れが変わるのか、ということを考えることが大切だと思います。そして、できれば仲間と「わたしたち」として取り組むことで、状況の多様な変化に対しても活力を持って対応できるでしょう。「わたし」が1人でできることは小さいですし、「わたし」が集まったとしてもいびつなものができてしまう。それぞれの人が「わたしたち」という意識を持ちながら社会にかかわることができればよいのではないかと思います。

そして、もう1つ重要なこととしてタイミングが挙げられます。物事の価値は受け取り手がつくるものだと考えると、受け手の状態や準備状況に合わせてコミュニケーションを取ることも必要です。例えば、何か相手に意見を言うとしても、相手の準備ができていなければ、取り入れられることはありません。花を咲かせるのにも水をやるタイミングを間違えば花は腐ってしまいます。そういう意味では研究も同じで、社会が必要と思ってくれるときにその研究をしていることが大事ですし、そのタイミングを感じると研究者の身体感覚が重要なのだと思います。

■参考文献

- (1) <http://furue.ilab.ntt.co.jp/book/202107/contents2.html>
- (2) 渡邊・藍・吉田・栗野・駒崎・林：“空気伝送触感コミュニケーションを利用したスポーツ観戦の盛り上がり共有：WOW BALLとしての検討,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.25, No.4, pp.311-314, 2020.
- (3) 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.
- (4) 伊藤・渡邊・林：“見えないスポーツ図鑑,” 晶文社, 2020.
- (5) https://socialwellbeing.ilab.ntt.co.jp/tool_measure_wellbeingcard.html
- (6) 渡邊・村田・高山・中谷・出口：“「われわれとしての自己」を評価する -Self-as-We尺度の開発-,” 京都大学文学部哲学研究室紀要：PROSPECTUS, Vol.20, pp.1-14, 2020.
- (7) 村田・渡邊・出口：“新型コロナウイルス感染拡大下における抑うつ傾向と「われわれとしての自己」との関係,” 京都大学文学部哲学研究室紀要：PROSPECTUS, Vol.20, pp.15-33, 2020.
- (8) 渡邊・チェン (監修)：“わたしたちのウェルビーイングをつくりあうために,” BNN, 2020.
- (9) <https://embodiedecon.digital/>

挑戦する 研究開発者たち CHALLENGERS



竹野和彦

NTTドコモ
クロスステック開発部
担当部長

「まず隗より始めよ」を モットーに、自らのスキル と社会が要求することを マッチさせる

高速・大容量、低遅延、多数端末同時接続を特長とする5G（第5世代移動通信システム）サービスの進展や6G時代の夜明け前を踏まえて、モバイルネットワークは社会インフラとしてますます重要となり、災害、環境、そしてエネルギー・電力問題への対応がこれまで以上に強く求められています。これを支えるべく、カーボンニュートラル時代のグリーン技術の研究開発に挑むNTTドコモ クロスステック開発部 竹野和彦担当部長に研究開発の概要と研究開発に臨む姿勢について伺いました。



「2030年カーボンニュートラル宣言」を 実現するグリーン技術

現在、手掛けている研究開発の概要をお聞かせください。

これまで約32年にわたって手掛けてきた研究開発の経験を活かして、電力をベースとしたモバイルネットワークの災害対策、カーボンニュートラル時代のグリーンエネルギー技術、電力ビジネスの研究開発に取り組んでいます。

NTTドコモは経営の中でSDGsを指向しています。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て2021年に国際的な気候変動イニシアチブSBT（Science

Based Targets）1.5℃目標の認定を取得し、さらに、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」を発表するなど、NTTドコモが排出する温室効果ガスの削減に取り組んでいます。

一方、2011年の東日本大震災やそれによって発生した原子力発電所の事故によって、商用電力の供給能力に対するリスクが高まり、災害発生時の無線基地局の電源確保が課題となり、それに対して環境保全にも貢献する太陽光発電などの有効活用等も検討・実施されてきました。こうした背景から、ソーラーパネルや燃料電池などのグリーン電力



を含む多様なエネルギー源から電力を供給できる無線基地局エネルギーシステムの研究開発に注力しています。

現在、具体的にはどのような課題を抱えているのですか。

無線基地局はスマートフォン等のユーザ端末と無線によりつながるとともに、フロントホールという光ファイバ回線によりコアネットワークとつながっており、端末が一番近いところにあるネットワーク装置インフラです。全国にくまなく配置されていて、設置場所において電力会社の商用電力を受け、その電力を基地局内の無線通信機器に供給すると同時に、蓄電池の充電に使用しています。停電時のバックアップ用としてエンジン発電機を使用する場合もあります。NTTドコモのモバイルネットワーク全体に必要な電力は約30億kW/hですが、そのうちの約75%を全国約20万カ所の無線基地局が占めています。

現在、ほとんどの蓄電池には鉛蓄電池が使われ、停電時

の電力をバックアップしているのですが、鉛蓄電池はエネルギー密度が低く、電池寿命が短く、さらに、重量や体積の大きさから設置上の制約が大きいために結果として長時間化が困難であるという課題があります。そこで、鉛蓄電池に代わる新たな蓄電池としてリチウムイオン電池が検討され、一部で使用が開始されていますが、コストと安全性に関する課題があります。

そして、こうした非常時の電源確保に加え、消費電力削減も大きな課題となっています。これらの課題に対して、再生可能エネルギーを利用することで、平常時の商用電力使用量を削減できるとともに環境保護にも効果がある、グリーン基地局を開発、導入推進しています(図1)。

グリーン基地局は、日中は太陽光発電により通信機器を駆動させつつ、余剰分を蓄電池に充電して、夜間等太陽電池の発電量不足時に蓄電池から通信機器等へ電力供給します。蓄電池にはリチウムイオン電池を使用しています。こ



図1 グリーン基地局の開発導入事例

これらの動作を効率良く行うためには、発電量に応じた充放電量の制御、ピークカット制御等が必要で、全国に分布するグリーン基地局にEMS (Energy Management System) 基盤をクラウド上に構築し、それにより一元制御しています (図2)。さらに、EMS基盤では天気予報と連動した制御も行っています。これらの成果として、電力コスト20%程度の節電になり、電力会社からの節電要請への対応が可能となるとともに、電力需要に応じて(余剰)電力を電力会社等へ供給するデマンドレスポンスへの対応も可能となり、2017年度から開始された政府主導の実証実験にも参加しています。また、それに比例したカーボンニュートラルへの貢献も促進することができました。現在、グリーン基地局は全国に230カ所程度ありますが、今後はさらにその数を増やすとともに、地域電力不足への貢献としてグリーン基地局電力インフラを活用したバーチャルパワープラント (VPP) や、デマンドレスポンス (DR) な

どの関与によりさらなる貢献を促進しています。

そして、グリーン電力技術の社外展開として、地域エネルギーマネジメントを実施しています。2019年には仙台市、国立大学法人東北大学とともに、市内小中学校(約200カ所)の指定避難所に設置された蓄電池の最適制御や使用電力、供給電力の可視化を実施し、平常時や災害時に電力を効果的に活用できる体制構築に向けて共同実験協定を締結しました。私は頻繁に仙台市の震災被災地域や避難所などを訪ねて対応して、地域の災害対応力向上と環境負荷の低減への実現に努めています。このほか、全国の避難所等においても設置された蓄電池のEMS基盤による管理運用を提案しています。

ただ、リチウムイオン電池を使用する以上、その安全性の確保も検討課題としてあります。

全国のグリーン基地局
約260カ所

EMS基盤
(ドコモYRPセンター内)



図2 グリーン基地局のEMS基盤



32年にわたる研究開発をベースに 社会課題解決に挑む

12年前にグリーン基地局の研究開発をスタートさせたとは、世界に先駆けて社会課題の解決に挑んだのですね。

私は1990年にNTTに入社し、NTT電子応用研究所でONU（Optical Network Unit）用電源等の通信用エネルギー機器の研究、1998年にNTTドコモに移籍後は、携帯電話用電池の開発導入や電池安全性の研究および不具合の対応、2010年から災害時の電源確保、グリーンエネルギー技術、電力ビジネスの研究開発、といった電力関連の研究開発に30年以上にわたり取り組んできました。NTTドコモにおいては電力関連の研究開発者・エンジニアが極めて少なかったこともあり、特に2010年当初の研究開発は実質的に私1人でゼロから立ち上げました。当時、基地局などでは古い鉛蓄電池を用いていた中で、私はその分野を刷新するために太陽光発電を適用し、遠隔で制御するグリーン基地局構想を2010年10月に提唱しました。社内の理解を得るために東奔西走している最中に、東日本大震災が発生し、災害時の電源確保の必要性や環境への関心の高まり、これが後押しとなってグリーン基地局構想の実現に向けた研究開発が本格的に加速していきました。

震災以降、私は全国の基地局を調査し、大型リチウムイオン電池と太陽光発電の適用、長時間バックアップ用燃料電池の開発、EMS基盤開発など多岐にわたって開発を推進しました。実際の現場への展開にあたっては、新しい発想であるため、現場の理解を得ることに苦労しましたが、経営としてSDGsに取り組むことが示されると、一気に理解が進みました。グリーン基地局は2012年から導入が始まり、災害時の電力確保の手段としてリチウムイオン電池、燃料電池の基地局への設置とともに全国へ展開されていきました。2019年には日本各地で発生した台風や水害、および北海道地震時の全道ブラックアウトへの対応としてもグリーン基地局は活躍しました。

グリーン基地局にはこれまで手掛けてきた電力関連の研究開発の経験、成果が活かされているのですね。

入社当時の出来事で関西方面の電話局内で、局舎に備えられている鉛蓄電池の過渡特性（電源が電池に切り替わる瞬間に発生する過大電圧・電流等）による停電不具合が発生したのですが、その原因の解析のために、パラメータを工夫した鉛蓄電池の等価回路化などにより、その過渡特性の原因分析と防止する方法を提案し、その後の停電対策へ貢献することができました。その後、上司からの「何かとびぬけた研究を」というアドバイスの下、大学時代に追究した低温技術ノウハウを活かして超電導電池の研究を手掛け、手製のクライオスタット（-273℃を保持する装置）や超電導コイルを用いた超電導電池などの研究をしました。

そして、日本にFTTH（Fiber To The Home）が普及してくると、家庭向けのONUのバックアップ電池やその管理機構（劣化判定）の方式を研究し、マルチメディア総合実験のCATV映像伝送におけるFTTH実証の電源装置として導入に貢献しました。

NTTドコモにおいては携帯電話のバッテリー開発を担当する中で、多発していたリチウムイオン電池の膨れや爆発事故の原因解明および現場対応、安全基準の策定などの研究にも携わりました。さらに、同時期に新しい技術として燃料電池とワイヤレス充電の技術にいち早く着目し、2000年代前半には無茶だといわれた2つの技術の携帯電話への適用を検討し、超小型の燃料電池をメーカーと試作し、燃料電池のブームの火付け役となりました。ワイヤレス充電に関しては、業界が話題になる前から実施しており、蚊取り線香型のコイルの提案やスイッチ制御方式を提案し、業界でいち早く携帯電話に適用を提案できたと考えます。現在のスマートフォンのワイヤレス充電の下地をつくったと自負しています。こうした経験やノウハウがグリーン基地局の展開に役に立っていることはいうまでもありません。



3つ4つは自分のカバンにネタを仕込んでおく

研究開発者として大切にしてください。

私は信条として、自らのスキルと社会が要求することをマッチさせることに努めてきました。日頃からアンテナを高くして、電力不足や環境対応等の社会課題を見つめ、自らの興味の範囲と照らし合わせて、テーマを見出しています。また、歴史書や地図なども参考にして、未踏の分野や諦められた課題も探しています。

一方で、このようにして探し当て、研究開発を始めたテーマであっても、時代にマッチしていない、時期尚早であると感じたら着手せずにストックとして温めておき、いわゆる技術のデスバレーを覚悟しつつ、乗り越えるべき技術かを見極めています。

私は「まず隗より始めよ」をモットーにして研究開発に臨んできました。やるからには自分から、そして基本から始めることはとても重要です。電子回路の技術者の私が入社後に、電気化学の社会人ドクターとして学位を取得し、電池の研究をしていることから分かるように、自らの専門領域以外も突き詰めることで道は拓けると考えています。

事実、専門領域ではありませんでしたが、私は世界に先駆けて携帯にリチウムイオン電池を導入する部隊で陣頭指揮を執りました。これをきっかけに、ノーベル賞を受賞した吉野彰先生（旭化成株式会社名誉フェロー）や、リチウムイオン電池の安全性の研究の世界的な権威であり、社会人ドクターの恩師であり、かつNTT研究所のOBである山木準一先生（九州大学名誉教授）等からご教授いただいたことは今でもよい思い出です。

さらに、燃料電池の開発は20年を費やして実用化へこぎつけました。基地局用の燃料電池の実用化では、導入交渉等のためにメーカーのカナダの本社や工場などに赴くなど、足で稼いで導入への道筋をつけました。グリーン技術の研究開発でもいろいろな成果が出た年の年末に、幹部から「グリーン企画、頑張ったね」と、一言触れてもらったことが

ありましたが、こういう一言が本当に嬉しく、次に向けて頑張れるのです。

今後はどのような研究開発に臨みたいですか。

現在は、これまでなかなか実現できなかった家庭向けの節電等、日本の電力問題への対応に注力しています。特に自然に節電する技術や家庭での低コストの蓄電技術と「ドコモでんき」を合わせて実現する方法を模索しています。これらは家庭での節電ビジネスとして検討しているのですが、家庭における節電制御は難しさもあって、電力の見える化やエアコンなどの遠隔オンオフなどの利用は低迷しています。この状況を打開するため、節電しやすい環境づくりやオートマチック操作を実施するなど、ユーザに寄り添った制御の検討を進めて、安心・安全な家庭向けの電力サービスを革新していきたいと考えています。

安心・安全にかかわる技術は先を見るのが難しい分野でもありますから、長い目で見ようと思っても、すぐに挫けてしまう人もいます。それでも私は後進に「3年頑張ろう、3年頑張ればなんとかなる」と話しています。成果がでなくて挫けそうになることもあると思いますが、そんなときのために、3つ4つと自分のカバンにネタを持っておきたいですね。

幸いにして、NTTは社会人ドクターを推奨しています。私自身も仕事をしながら大学院で学位を取得し、新しい力と視点を養いました。たとえ、今がつかなくても、諦めることなく頑張っていると3年ほどすれば利益が上がる等、事態が好転することはあります。もちろん、中には利益が上がらずデスバレーも越えられないこともあります。粛々と社会に貢献する姿勢で臨むことが大切ではないでしょうか。加えて、好きなことを貫くには、自らの目的や成果の最終形について、それを理解してくださる方の耳に届くようにすることも大切です。その際には開発している技術を解説するのではなく、それによって提供されるサービスとは何かを提案することが大切です。うまく成果や目的をアピールしながら3年、頑張っていきましょう。

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

鈴木貴大 特別研究員

新サービスのプロトタイプ提供を容易にする 光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化技術

光アクセスネットワークとはユーザと通信局舎間を接続するネットワークのことで、現在増加傾向にある通信トラフィックや、モバイル端末向けのサービスや、低遅延や高信頼が求められるエッジコンピューティングなどのさまざまな要求に光アクセスネットワークで対応していくことが求められています。今回は、これらの要求に対応する光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化技術について、鈴木貴大特別研究員にお話を伺いました。

◆PROFILE：2017年早稲田大学大学院博士課程修了。博士（工学）。2014年、日本電信電話株式会社に入社、NTTアクセスサービスシステム研究所に所属。2022年よりNTTアクセスサービスシステム研究所特別研究員。光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化の研究に従事。国際会議GLOBECOM 伝送・光システム技術委員会 論文賞等を受賞。



低遅延・高信頼を柔軟に実現する 光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化技術

◆「光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化技術」の研究内容について教えてください。

光アクセスネットワークの仮想化技術は、光アクセスシステムにおける専用の伝送装置における制御機能と伝送機能を分離して、制御機能を汎用サーバにもたせることで、装置を共通的に制御・管理できるようにする技術です。さらにソフトウェア化技術では伝送装置の機能自体もソフトウェア化して、汎用のサーバで実装するということを研究しています。

従来の光アクセスシステムは専用のハードウェアでアクセスネットワーク仕様や開発ベンダごとに異なる仕様で作り込まれており、それぞれの用途のみにしか使うことができませんでした。さらに、専用ハードウェアは、設計や開発で最終的なシステムが出来上がるまでに非常に長い時間と多くのコストがかかるという特徴があり、新サービスを導入するには伝送装置や制御システムを大規模に開発しなければならないため、例えば新しい伝送システムをつくる際には、それが導入時において本当にサービスの収益性を確保できるかといった検討を細部にわたって行わなければならないという課題がありました。こうした課題を解決するのが、光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化の技術です。

光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化を行うこ

とで、光アクセスシステムにおける伝送装置自体も簡単に機能を入れ替えることができるようになり、さまざまなアクセスの要件に対応することが可能になります。加えてソフトウェアであれば短い周期で開発を行い、導入後に問題が発生しても、繰り返しアップデートして修正していくことができるため、この研究によって気軽にサービスをプロトタイプ提供して実証することが可能になり、新しいサービスが次々に創出されるような世界が実現されると考えています。

◆光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化技術はどのような方法で行うのでしょうか。

光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化技術では、具体的に伝送機能でのフレームの同期機能や誤り訂正符号・スクランブラー機能・デジタル信号処理を行って、その機能を実際に汎用サーバで動かすということを行っています。ソフトウェアは専用のハードウェアより処理性能が劣るため、それを解決するために汎用のアクセラレータを活用しながら高速化することも必要です。他には入力信号をサーバの演算装置に高速に転送する技術を考案したり、伝送機能のアルゴリズム自体を抜本的に変えて、同じ性能が出るような低演算なアルゴリズムをつくり、アクセラレータとCPUをうまく協調させて高速に処理する技術を実際に取り組んで解決しようとしているところです。

図1では、光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化の取り組みと実現したい世界について示しています。現在私はネットワークプロトタイプサービスを実験の対象としていて、研究の最先端としては制御機能をSEBA（SDN Enabled

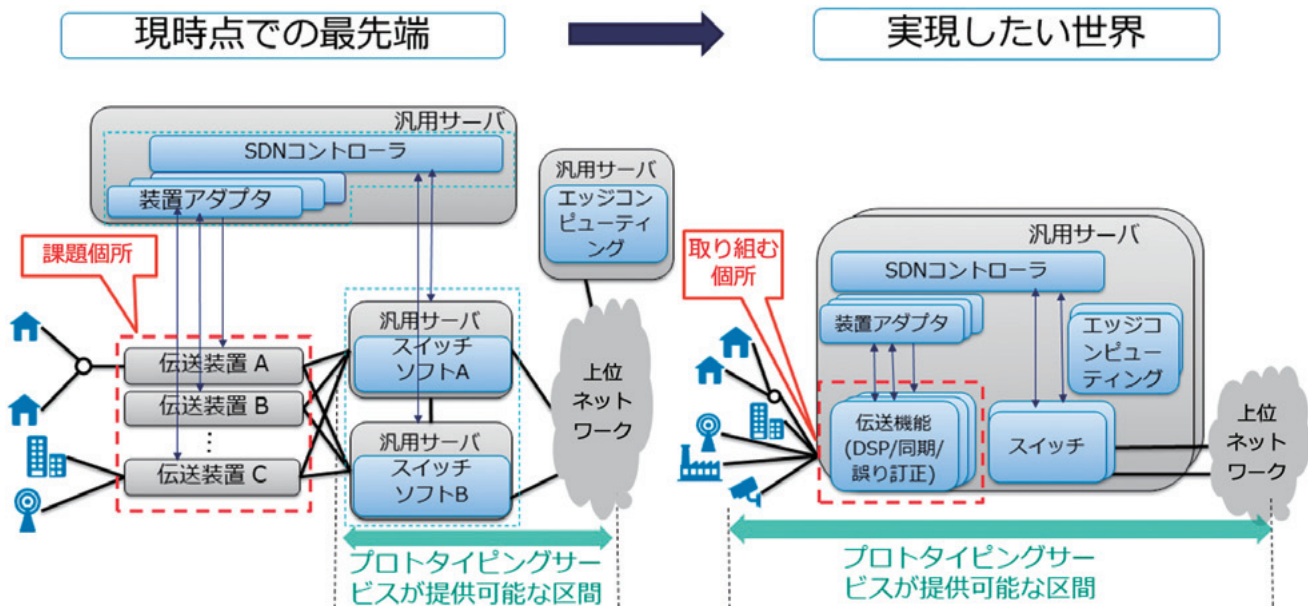


図1 光アクセスネットワーク仮想化・ソフトウェア化技術の概要

Broadband Access) というONF (Open Networking Foundation) のオープンソフトウェアで実装できる状況になりました。今後は伝送システム部分をさらにソフトウェア化して汎用サーバ化することで、これまで上位のネットワークのみで実現されていた「自由にプロトタイピングできる領域」が拡張されて、ユーザと上位のネットワークとの間で自由にネットワークをプロトタイピングすることが可能となり、これによりさまざまなサービスを試すことができるようにめざしています。

光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化技術が実現する未来の通信サービス

◆光アクセスネットワークの仮想化・ソフトウェア化技術を用いた今後の展望について教えてください。

現在、将来の高速なアクセスシステムに向けて、DSP (Digital Signal Processing) のデジタル信号処理の研究が進んでいますが、依然基本は専用のハードウェアで実装するのが前提であり、これをソフトウェア化することを考えています。実際にDSPを構成するような複数の機能をAI (人工知能) 等で利用されているGPU (Graphics Processing Unit) で処理することが可能になり、スループット出力の測定値としては10 Gbit/sの結果を出しています。しかし何人のユーザをつなげるかという拡張性の面に関しては、1ユーザしかつなげないというまだ不十分な部分

があり、また開発のさまざまなサービスをプロトタイピング可能にするための開発容易性が低いという課題が残っています。

図2は光アクセスネットワーク仮想化・ソフトウェア化技術の現状と最終目標について示したものです。今後の目標としては、年々増大するユーザトラフィックに対応するために、現状の約1万倍の高速化を行って100 Gbit/sクラスのシステムをつくるのが目標です。その他の目標として、より低遅延な数マイクロ秒の処理や、収容できるユーザ数を2桁まで増やすことをめざしています。またマイクロサービス化といった、機能を区切って開発できる単位を小さくすることを行ったり、言語を共通化して簡単に開発できるようにすることによって、手軽にネットワークをプロトタイピングできるような世界が実現できるのではないかと考えています。

そして、このような世界では、例えばFTTH (Fiber To The Home) のような家庭向けの光ファイバ通信システムと、5G (第5世代移動通信システム) や6G (第6世代移動通信システム) 向けのモバイルシステムの大部分を共通化するようなシステムの実現が可能になり、安価なサービス提供ができるようになります。現在はユーザに対して通常のインターネットの接続サービスのためにアクセス区間を提供しているかたちですが、今後は新しいネットワークをアクセス区間で提供可能にすることも考えています。具体的には、産業用の工場内でロボットや機器の制御に使っているような低遅延や信頼性が求められるようなネットワーク

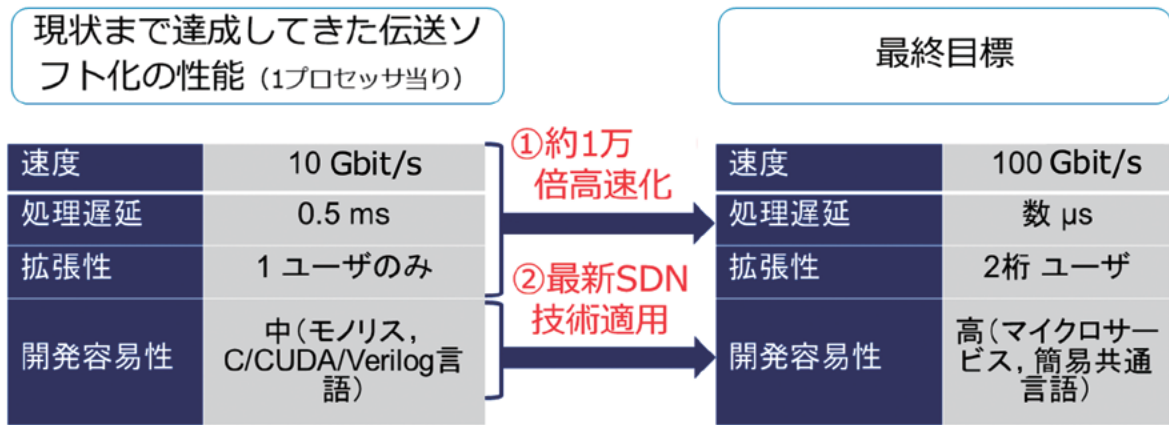


図2 光アクセスネットワーク仮想化・ソフトウェア化技術の取り組みの現在と最終目標

を、アクセスネットワークで簡単にプロトタイピングすることで、産業用ネットワークをアクセス区間に拡張したサービスをつくることができます。

また光アクセスシステムに汎用のサーバを置き、ユーザ側の処理の大部分を通信局舎にオフロードするエッジコンピューティングにより、最終的にはユーザ側に処理装置が全くなくなるという世界が実現できると思います。例えばゲームをするために家庭用ゲーム機やPCが必要なくなり、コントローラとモニタを通信端末につないでしまえばゲームができるということです。このように処理装置をすべてネットワークやサービス事業者側に持っていくことで、ユーザ側でさまざまな機器を管理する必要がなくなるという世界をめざしています。

◆研究者や学生へメッセージをお願いします。

私は現在NTTアクセスサービスシステム研究所に所属していますが、NTTは国内のみならず国際的にも影響力がある会社だ

と感じる場面が多々あります。私の体験として、米国のシリコンバレーにあるONFに1年ほど赴任して、複数の海外のキャリアやONFの団体と光アクセスシステム仮想化のオープンソフトウェアの開発を行っていました。そこではソフトウェアの仕様を複雑にする機能は開発担当者に反論されて思うように開発できないことが多いのですが、私がNTTの要件として加えたい機能に関しては「NTTが重要と考えている機能であれば、ソフトウェアの適用領域も広がり、追加していいのではないか」という信頼を得て、研究を円滑に進められるようなことがありました。やはりNTTのネームバリューは国際的に研究を進めるうえでも有利であり、日本で通信の研究を進めるならばNTTはとても良い環境ではないかと思います。

そして、これから研究職として頑張っていきたいという経験の少ない研究者や学生には、論文などで結果を出すことにこだわるところを大切にしてほしいと思います。なぜなら、研究テーマを調査して実験したり論文を投稿して査読を受ける過程でさまざまな知見が得られることに満足してしまい、最終的な論文を出すというフェーズまでたどり着かずに途中で挫折するというのは、ほぼ何も外に発信していないのと同じだと私は考えているからです。自分の書く論文が論文誌に掲載されるまでは非常に道のりが長いように思えるのですが、やはり著名な論文誌に自分の論文を出すことの喜びというのは何にも代えがたいですし、それが研究者の仕事として何か1つ達成できたという自信になるので、皆さんには途中のフェーズで満足せずに最後までやりきって論文として結果を出すところまでこだわってほしいと願っています。その過程が、今までにない全く新しい技術を生み出すことや、世の中の役立つ技術に完成させていくことにつながっていくと考えています。



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)

複合現実製作所

XR (Cross Reality) サービスで、
鉄工業界の課題解決

複合現実製作所は、XR (Cross Reality) サービスの将来性に注目する中、NTTドコモの新規事業創出活動に参画し、パートナーとの連携で課題解決のソリューションを構築して誕生したベンチャー企業だ。XRによる課題解決と、XRをベースとした工場全体のDX（デジタルトランスフォーメーション）への思いを、創業者である山崎健生社長に伺った。



複合現実製作所 山崎健生社長

XRサービスの可能性を求めて
ベンチャー企業が誕生

◆NTTドコモ発のベンチャー企業なのですね。設立の経緯について教えてください。

複合現実製作所は、NTTドコモの「39works」という新規事業創出活動の成果として、XR (Cross Reality) 技術の適用が進む建築・鉄工業界を中心としたXRサービスの企画・開発を主業務とし、技術継承問題や人手不足といった社会課題の解決を目的に、2020年8月に設立されました。私はNTTドコモの先進技術研究所において、コアネットワークやモバイルエッジコンピューティングの研究と並行して将来のモバイルサービスの検討を行っていました。その中で5G（第5世代移動通信システム）において、XRがサービスとして期待されており、将来的なサービスとして注目していたときに、「39works」を知り、そこに異動したことが会社設立のきっかけです。

「39works」ではXRに関する事業検討から始まり、検証を繰り返しながら事業性を確認しているときにパートナー（有限会社宮村鉄工様）が見つかり、課題解決のためのソリューション構築・販売をする中で、事業化に向けた検討を進め、スモールスタートを指向してNTTドコモの社内ベンチャー制度により新会社を立ち上げることにしました。設立当初は私1人が業務委託をベースに宮村鉄工様との連携を含めすべてを取り仕切っていましたが、2021年3月から開発担当の社員を採用し、現在（2022年6月）は2人体制の会社となっています。

◆XRはさまざまな活用が考えられますが、具体的にどのように活用しているのでしょうか。

宮村鉄工様の事業領域である鉄工業界は、技術者の高齢化や人手不足といった課題を抱えており、ICTの活用による業務の高度化・効率化が求められています。例えば、鉄骨の溶接にあたっては二次元の図面を正確に読み取って作業を行います。この図面を読み取るには熟練のスキルが必要ですが、熟練工が高齢化しており定年等による退職者が続いている一方で、新入社員の採用難や人材育成に時間がかかるため、熟練工が抜けた後を埋めることが非常に困難な状況になっています。また、こうしたスキル不足によりミスが発生すると、大きな手戻りになるばかりではなく、つくり直しにより、場合によっては多額の費用が発生することもあります。そこで、宮村鉄工様とXRを活用した建築鉄骨業向けの作業支援ソリューション「L'OCZHIT®（ロクジット）」を共同開発しました。

L'OCZHIT®は、AR (Argument Reality) により、作業対象に作業箇所、手順、完成イメージを重畳させて表示し、それに従って作業することで作業ミスを激減させ、誤差も少ない品質の高い作業が可能となります（写真）。また、完成品と完成イメージを重畳表示することで、検査の効率化も可能となります。さらに、図面も横に表示して実物と比較させることで、図面に関する教育ツールとしても利用できます。実際に、経験30年の熟練工が約50分かかかる作業は、6年目の職人では約100分かかかるのですが、鉄骨にCADデータをCGとして重ねて表示させて実験したところ、6年目の職人による作業がCADデータの設定等

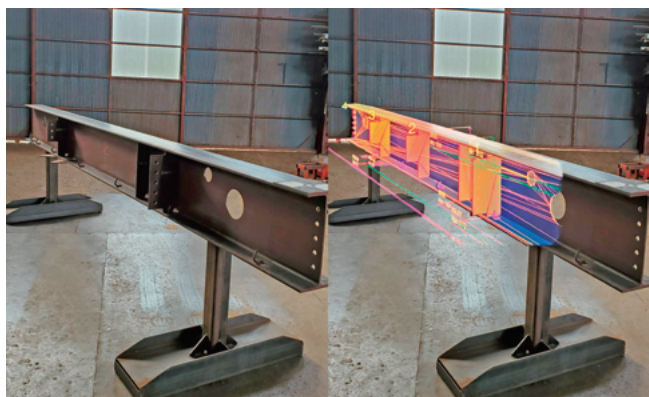


写真 L'OCZHIT® イメージ

の準備時間を除いて13分で完了したというデータも取れ、その効果も検証できました。

このようなXRの活用、特にCGの重畳については、建築では内装関連、配管関連、そして土木関連の作業において活用されている事例はいくつかありますが、鉄骨にフォーカスしたものはおそらく初めてではないかと思えます。これはCG重畳に要求される精度が、内装等の業種に比べて、鉄工所の場合は非常に厳しく、数mm以下の精度を要求されることもあるため、通常のXRでは対応できないことがその理由です。L'OCZHIT®では数mm以下の精度への対応はまだ追いついていませんが、デバイス等の工夫により鉄骨に必要とされる精度のレベルに対応可能としたことで、サービス化することができました。

◆ XRサービスの提供範囲を広げて 工場のDXをめざす ◆

◆事業概要を教えてください。

現在のメイン業務は、L'OCZHIT®のサービスとしての販売、およびストリーミング映像対応等の機能拡充です。宮村鉄工様ではすでにご利用いただいておりますが、宮村鉄工様をチャンネルとして鉄工業界へのサービス展開を行っています。

そして、建築鉄骨業以外の分野や鉄工業界以外の業界にXRサービスを展開するために、さまざまなパートナーと共同で、お客さまが抱える課題を見つけ、プロトタイプで実際に運用をしながら、段階的かつスピーディに課題解決につなげるといった、新たなサービスの企画・開発も行っていきます。ここでは、XR技術だけでなく、5Gや「ドコモオープンイノベーションクラウド®」など、NTTドコモが持つさまざまな技術やサービスを融合して最適なソリューションも検討します。

さらに、XR技術を活用したサービス導入に関するコンサルティングとして、XRサービスの導入を検討する企業に対して、XR技術が活用できる業務や具体的な活用方法をお客さまと共同で検討することにより最適な課題解決方法を提案します。

現在鉄工所以外ですと、タンクやパイプといった製管関連の企業様と検証を進めたり、溶接ではなく、設計関連業務をXRで効率化したいというご要望を受けて、ディスクッション、検証を行っています。

◆今後の展望についてお聞かせください。

直近としては、建築鉄骨以外の製造分野におけるパートナー様を見つけて、そこをベースとしてXRを活用したサービスを展開、普及させていきたいと思えます。その中で、XRで製造業務そのものだけでなく、その周辺、例えばXRで工作機械の使用方法のガイダンスや、メンテナンス、モニタリングといった業務にまで適用範囲を広げ、工作機械の自動制御の拡大による省人化促進、ロボットの活用による省人化、人手による作業についてもXRによるサポートで熟練の技を補完するといった、工場全体のDX（デジタルトランスフォーメーション）をめざし、それが将来の工場像モデルとなれるようにしていきたいです。

事業面としては、設立3年で単年度黒字をめざすという目標を独自に掲げていますが、なんとか達成できるところまでできています。これを少しでも上方に向かっていけるよう努力しています。

複合現実製作所 ア・ラ・カルト

■ベンチャーならではの自由な環境

会社設立時は1名でしたが、2021年3月よりエンジニアを1名採用し、2名の体制です。エンジニアは週4日勤務、兼業可能、裁量労働制、完全リモート勤務ということで、まさに自由な労働形態です。週に1度、協力会社のエンジニアも含めて5人程度でオンライン会議をしているそうですが、ベンチャーならではの自由な雰囲気の中で、いいアイデアが出てくるのでしょうか。

■めざすは郊外の大きなラボ

リモートワーク中心のベンチャー企業ではありますが、オフィスがあります。XRのテスト環境やデバイスを置くスペースやラボ的な機能が必要ということで、1室確保しているそうです。山崎社長は、お客さまやパートナーのオフィスや工場訪問等の外出以外はオフィスに1人常駐し、来訪されるお客さまやパートナーの対応、開発関連の業務を行う傍ら、税理士さんや税務署関係の対応、請求書の処理等のアドミニストレーション業務もこなしているそうです。事業規模を大きくして、郊外に工場のようなラボをつくり、通常の業務はレンタルオフィスやバーチャルオフィスで行うような環境をめざしているそうです。