

NTT 技術ジャーナル

12

DECEMBER
2022
Vol.34 No.12

特集

しなやかな社会の実現に向けた
環境負荷ゼロと環境適応への取り組み

3GPP Release 17標準化活動

トップインタビュー

澁谷 直樹
NTT東日本 代表取締役社長

グループ企業探訪

NTT DXパートナー

from NTT東日本

地域循環型社会の実現に向けた体感フィールド“NTT e-City Labo”



NTT 技術ジャーナル

12 DECEMBER
2022
Vol. 34 No. 12

CONTENTS

4 トップインタビュー

共感・協力・感謝の実践「心の経営」で
地域の未来を支えたい。
夢や希望にあふれる循環型社会づくりに挑戦しよう!

澁谷 直樹

NTT東日本 代表取締役社長



8 特集

しなやかな社会の実現に 向けた環境負荷ゼロと 環境適応への取り組み

10 宇宙, 環境, エネルギー分野における革新的技術への取り組み

14 環境負荷ゼロに貢献する次世代エネルギー技術

18 カーボンニュートラルの実現に向けたCO₂変換・制御技術

22 地球環境と人間社会の未来予測技術

26 極端自然現象下においても安心・安全な社会生活を
実現するプロアクティブ環境適応技術

30 主役登場 篠塚 真智子
NTT宇宙環境エネルギー研究所



32 特集

3GPP Release 17 標準化活動

34 3GPP Release 17における産業創出・ソリューション協創向け高度化技術

38 3GPP Release 17におけるモバイルブロードバンド向け高度化技術

43 3GPP Release 16および17における確定性通信の実現に向けた高度化技術

48 挑戦する研究者たち

可児 淳一

NTTアクセスサービスシステム研究所
上席特別研究員

さらに広い視野に立って考え、
本質的な目標に近づけたい



53 挑戦する研究開発者たち

大倉 平

NTT西日本 技術革新部 IOWN推進室

研究開発は試行錯誤の繰り返し。
失敗を多く経験しても果敢に
取り組んでいきたい



57 明日のトップランナー

山川 高志

NTT社会情報研究所 特別研究員

量子コンピュータ時代に安全な通信を
創出する暗号プロトコル研究



60 グループ企業探訪

株式会社NTT DXパートナー

地域のお客さまのDXに寄り添い、
地域を元気にする



64 from NTT東日本

地域循環型社会の実現に向けた体感フィールド
“NTT e-City Labo”

Webサイト オリジナル記事の紹介 68

1月号予定

編集後記

総目次 69

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東日本
代表取締役社長

澁谷直樹

PROFILE :

1985年日本電信電話株式会社に入社。1999年NTT第一部門 企業オペレーティング担当，2001年NTT東日本 企画部担当部長（ワシントンD.C. 戦略国際問題研究所 客員研究員），2008年ネットワーク事業推進本部設備部設備計画部門長，2010年福島支店長，2013年経営企画部 中期経営戦略室長，2014年取締役 ネットワーク事業推進本部設備企画部長，2017年東京オリンピック・パラリンピック推進室長兼務，2018年代表取締役副社長，ビジネス開発本部長，NTTベトナム代表取締役社長，2019年デジタル革新本部長兼務，2020年1月NTT e-Sports代表取締役社長兼務，同6月NTT代表取締役副社長，2022年6月より現職。

地域の未来を支えるソーシャルイノベーション

社長就任おめでとうございます。そして、NTT東日本でのお仕事は2年ぶりですね。

ありがとうございます。故郷に戻ってきたような気持ちで仕事に臨んでいます。社長に就任して早々、明治維新のころを起源とする私たちの電

共感・協力・感謝の実践

「心の経営」で地域の

未来を支えたい。

夢や希望にあふれる循環型

社会づくりに挑戦しよう！

日々進化する情報通信技術やAIなどのデジタル技術，多様なビジネスモデルの台頭やコロナ禍によって加速したりリモートワークの進展により社会は大きく変化しました。こうした中，少子高齢化は加速し，社会インフラの老朽化，地球温暖化対策は待ったなしの状況です。日本が抱える社会課題に先駆けて取り組むNTT東日本は従来型の課題解決に加え，未来志向のデジタルトランスフォーメーション（DX）で挑んでいます。澁谷直樹代表取締役社長に，未来志向のDXで社会を先導するとともに社会インフラとしての使命を担う，「心の経営」の極意を伺いました。

信電話事業の原点をたどり，NTT東日本の「つなぐDNA」や泥臭いスタイル，そして，今後の社会を見据えどう変革していくかといった方向性を，自らの構成・台本によるビデオを製作し伝えていきます。それとともに，より多くの社員と直接顔を合わせることを最優先にキャラバンを展開し，まずは6カ所の地域事業部を訪ねプレゼンや対話を実施しました。

さて，持株会社で過ごした2年間はNTTにとって大きな学びのあった

時期でした。私自身もガバナンスや透明性，企業文化を改めて見つめ直し，その重要性等を追究する中で，「NTTのミッションは自社だけのミッションではありません。それにより社会全体の変革を先導し日本を変えることができる。NTTにはその使命があることを忘れないでほしい」という社外取締役の話により，私たちの社会的な役割を再認識しました。これを真摯に受け止め，NTT東日本において実践していきたいと考えてい



ます。

光ファイバが99%行き渡る中、NTT東日本はこれまで地域の課題解決に貢献するために農業、芸術、eスポーツなどの新会社も立ち上げ、通信事業者の枠を超えるソリューションの提供に努めてきました。これら私たちのアセットを携えて、今まさに新しい循環型社会を実現する取り組みに着手するときだと考え、地域の未来を支えるソーシャルイノベーション企業となるべく、地域密着営業を進化させた共感型デジタルトランスフォーメーション(DX)コンサルティングの実現、つなぐDNAを進化させたフィールド実践型エンジニアリングの強化に臨んでいます。

新たなビジョンに心が弾みます。お客さまのどのような期待にこたえるのですか。

私たちの財産は豊かな人的資源です。全国津々浦々、地域で働く地域を愛する社員が地域のために頑張っています。こうした社員には、社会を変えていきたいと意気込む1万人以上の営業フロント、さらに災害のときにはいち早く現場に駆け付け、地域を支える使命感にあふれたエンジニアもいます。この豊かな人的資源と、通信アセットや光ファイバ等を存分に活かして、既存サービスや既存業務システムを大胆にDX・マイグレーションしながら、新しいデジタル社会基盤の構築を加速させていきます。

この構想に関して、ビデオの配信やキャラバンにおける社員との意見交換を通して、アンケート形式でフィードバックしてもらいましたが、約95%の方が賛同してくださるなど、皆さん、スーパーポジティブです。一部には構想と現場のギャップに関する意見や、具体的な実現のロードマップが分からないなどの意見もありますが、地域への貢献、地域の変革の先導にまず動き始めることが大切です。それを進めていく中でこうしたギャップを解消するために地域の幹部とともに、職場ごとの方向や具体的な活動への展開を始めています。

また、少子高齢化、農業や漁業などの担い手や後継者不足といった社会課題を解決してほしいというお客さまの声も届きました。中には長年培ってきた文化遺産、民芸品に携わる後継者がいない、何とか後世にも引き継がないかという切実な声もあります。

もちろん、これまでも私たちはこうした声に向き合って、お客さまの課題を分析して提案し、後継者不足の課題解決、循環型社会への取り組み、町おこしなどによる地域の活性化も精力的に手掛けてきました。しかし、これからは地域の未来を支えるソーシャルイノベーションという新たなアプローチで課題に向き合います。地域のお客さまと向き合い、ともに考え、試行錯誤しながら実行

に移す。それが共感型DXコンサルティングです。

各地域には素晴らしい伝統や文化が息づいています。「こんなに素晴らしい価値がある」と、その価値を理解し、その価値をさらに大きなものにしていくのが共感型の価値創造です。自分の価値を理解してもらえ、応援してもらえることは、「ここに課題がある」と指摘され、改善するより心が弾みませんか？ 私たちが志向しているのは、このような「心」や「思い」を大切にしたいDXです。地域に飛び込んで価値を見出し、地域の方々とともに未来へつなげる仕組みを考えます。まさに地域密着型のNTT東日本ならではのアプローチであり、新たな価値創造につながると考えています。

固定概念にとらわれず「ゼロ(無)」の心で課題を見つめる

心を前向きにしてくれるアプローチはうれしいですね。具体的なソーシャルイノベーションはすでに動き出しているのでしょうか。

すでにいくつかは動き出していますが、10年掛かりの大きな取り組みになると思います。従来型の課題解決型事業で地域の人手不足は先送りできましたが、根本的な解決には至っていません。このため、共感型DXコンサルティングの実現やフィールド実践型エンジニアリングの強化によって、衰退しつつある産業を若者が夢を感じて取り組む産業に変えるような、根本的な課題解決をめざしていきます。地域にお世話になっている企業として、社会のイノベーション、仕組みを変えることにまで踏み込みたいのです。

すでに始めているいくつかの具体的な事例を紹介します。

まず、北海道大学、岩見沢市、NTT、NTTドコモ、NTT東日本と共同で、最先端の農業機械の自動運転技術に高精度な位置情報、5G(第5世代移動通信システム)、AI(人工知能)等のデータ分析技術等を活用した世界トップレベルのスマート農業の実現と社会実装、およびスマート農業を軸とした持続可能な地方創

生・スマートシティのモデルづくり等に取り組んでいます。この取り組みでは、イノベーションを通じて岩見沢市の監視センターを活用し、請負業者が地方農場にある多数のロボット農機やドローンを遠隔地から監視・制御するような世界観をめざしています。

また、地域の伝統技術・無形資産の後継者不足対策としてのデジタルアーカイブによる保存・発信の取り組み事例として、長野県小布施町にある岩松院の葛飾北斎の天井画をデジタルアーカイブとして保存・発信、バーチャルリアリティによる新たな鑑賞体験の実現といったことが可能になる仕組みを構築しました。これにより現物を見たいと現地を訪れる旅行者の数が増加しているという効果も生まれています。DXによって地域に人を呼び、街が活性化し、文化遺産や伝統技術を保存、発信することに貢献できたと自負しています。

さらに、観光活性化、生活利便性向上を推進する新たな街づくりをめざして、ICTおよび新たなスポーツを活用した「地域活性化に向けた3者連携協定」を横須賀市とNTT東日本、NTTe-Sportsの間で締結して「YOKOSUKA e-Sports CUP」の大会企画や運営のサポートを手掛けました。また、オンラインでのeスポーツ指導、高校等のeスポーツ部創設も支援しています。



各地で精力的に取り組む新たな価値創造にはどんな思いで臨まれているのですか。

まず、現代はVUCA〔Volatility (変動性)、Uncertainty (不確実性)、Complexity (複雑性)、Ambiguity (曖昧性)]の時代とも評されるように社会全体の価値が揺らいでいます。私がNTTに入社した1985年から今日までを振り返って見たところ、1989年にベルリンの壁が崩壊し徐々に世界が1つになってきたと思ったら、デカップリングの時代に突入し、最近では多様性が叫ばれているにもかかわらず、立場や思想の違いによるさまざまな対立が表面化しています。だからこそ、もっとお互いを理解し、助け合い、その中で効率よく、多様な文化が分散しながら発展するしかけをつくる必要があると考えています。

私たちのところには各地のさまざまな立場の方々から多くの声が届きます。その声に呼応して新たな価値を創造していくために、私たちは何を、どのように改革すればいいかを考えるのですが、このとき、これまでのような大量生産・大量消費時代の固定概念や先入観にとらわれた仮説で答えを導かないように、心を「ゼロ(無)」にしたいのです。従来の産業革命や情報革命以降の価値観は必ずしも人を幸福にしているませんし、地球環境にもやさしくない、サステイナブルではないのかもしれないのです。

既存概念等にとらわれずに新たな価値を創造すること、ある意味では哲学者ジャック・デリダが西洋文明の価値観に挑んだような「脱構築」に挑みたいと私は思っています。

頭で決めずに心で決めれば「三方よし」となる

最初にお話を伺ったときから変わらず「心のあり方」を大切にしていってほしいですね。ところで、「ええやん」という姿勢も貫かれているのですか。

2年前にもお話ししたとおり、私は「心の経営」をしたい気持ちは今も変わりません。共感・協力・感謝の実践こそが経営です。頭で決めて

頭で動くよりも心に訴えることに努めて、良い関係を築ければ、企業も成長しながら社会にも貢献できる世界、両立する世界が築けるのではないのでしょうか。また、まずポジティブに受け止める、「ええやん」マインドも変わらず貫いています。ただ、現在の執務室に掲げた言葉は「心が大事」と、より「心」を重視した表現に変えました。

ところで、その心のあり方、気持ちにかかわることですが、私は「失敗」について考えることがあります。前述のとおり、固定観念や先入観にとらわれた仮説を立てずに、これまでに経験のない社会の改革に臨むとき、とにかくやってみないとその先が分からないことが多々あります。そして、誰しも仕事でトラブルを起こしているとは思っていないはずですが、ところが、実際の仕事は単年度や四半期等で評価されてしまいますから、イノベーションも「失敗しない範囲で」と、担当者は萎縮してしまうのです。このように失敗することが許されなければ、失敗によって浮き彫りになる課題を見極めたり失敗から学んだりするチャンスをも逸してしまいます。

だからこそ「新たな挑戦への道を切り拓くような学びのある良い失敗はしてもいい」と寛容にならないとイノベーションが起これないと思うのです。短期的な指標(ショートターム)ではなく、ロングターム思考で見たらその失敗が次に活かされて、良い成果につながると思います。

とは言いながら、ロングターム思考で先を見ようとしても、現実を見る、利益を追求しろと迫られることもあります。現実を突きつけられると、つい、ショートターム思考に陥りそうになります。そんなとき、ショートターム思考とロングターム思考のバランスを取るために、一段高い位置から物事を見るように日頃から心掛けています。それでも仕事が頭から離れないような難題に当たったときには、私は星を見ながら宇宙に思いを馳せませす。宇宙が誕生して138億年です。これを365日に例えると、人類の歴史は5秒以下です。それを考え、私たち人類は本当にちっぽけな存在であると思えば直すとロングターム思考の



本質を見失わずにすみませう。

もっと広く、長く見通して物事に取り組むことが大切なのですね。心や人を大事にする澁谷社長から、ともに「心の経営」に挑む皆さんに一言お願いいたします。

研究者の皆さんには限界打破のイノベーションを期待します。例えば、核融合や水素社会の実現です。ご存じのとおり、核分裂の研究・実用化は進みましたが核融合はこれからで、NTT宇宙環境エネルギー研究所のテーマにもなっています。また、光電融合技術で循環型社会を実現するIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想のように、社会をブレイクスルーする大きな研

究開発に挑んでください。成果を次々と実用化し事業会社に提案してください。それを私たちが地域で活用し磨き込んでいきます。

パートナー企業の皆さん。ソーシャルイノベーションにおいては私たちとパーパスを共有し、一緒に前線に立っていただき、地域の価値創造に取り組んでいただきたいと思います。私たちは、皆さんをチームの一員だと思っており、仕事のやりがいも、感謝の気持ちも伝えていきます。同じ仕事に臨んでいる仲間としてよろしく願いたします。

社員の皆さん。「新しい地域の未来と向き合うソーシャルイノベーション」にどうぞ失敗を恐れずに挑んで

ください。おそらく地域の方々も同様に私たちの取り組みの様子を見ながら、歩調を合わせてくださっているのだと思います。繰り返しますが、課題ありきの提案や固定概念からの目線ではなく、この地域を知りたい、盛り上げたいという気持ちで地域を見つめ、何度でも挑みましょう。地域のお客さまに溶け込み、何回も議論や提案を重ねていくことで、お客さまにも仲間だと認めていただき、「一緒にやろう!」と迎えていただけるようになります。ぜひ「心」を大事に頑張ってください。保守や点検をしている社員の皆さんは、直接にお客さまと接する機会は少なく、感謝も含めてお客さまの声に触れることも少ないかもしれませんが、その一方で、大規模な自然災害は増加しており、通信インフラを支える使命の重要性は高まっています。そこでも「社会を支えることに生きがいを感じる裏方の美学」を大切にしていきたいです。私も先頭に立って行動することで皆さんのプライドを讃えるメッセージをしっかりと発してまいります。

(インタビュー：外川智恵/撮影：大野真也)

※インタビューは距離を取りながら、アクリル板越しに行いました。

インタビューを終えて

澁谷社長にお目にかかるのは今回で3度目です。今回も満面の笑みで会場にご登場されました。そして、3度目の今回も「赤」のネクタイです。情熱やあたたかさ、力強さを表現する赤の印象にふさわしく、澁谷社長とお話をしているとエネルギーを間近に感じるせいでしょいか。だんだんとやる気が湧いてきて、いつの間にか、「その仕事を一緒にしてみたい!」と思わされます。澁谷社長のあたたかで力強いエネルギー

はどこから湧いてくるかにとっても興味が増しました。早速、ご趣味や習慣を伺ったところ20代のころからスティックに続ける筋トレに加えて、朝晩に瞑想をしているらしいとのこと。

心身ともに鍛え、磨かれて常に自らと向き合われている澁谷社長。他者に求めるのではなく、自らを高め続けるご姿勢に、人としてどうあるべきかを見つめ直す機会をいただいたひと時でした。



特集

しなやかな社会の実現に向けた 環境負荷ゼロと環境適応への 取り組み

国内外におけるカーボンニュートラルの潮流の加速、
国際情勢の不安定化に伴うエネルギー安全保障の重要性の増大、
極端気象の頻発・激甚化のリスクの増大を背景に、環境・エネルギー技術への期待がさらに高まっている。
本特集では、地球環境の再生と持続可能かつ包摂的な社会、
「しなやかな社会」を実現するための革新的技術の創出に向けて、
NTT宇宙環境エネルギー研究所で取り組んでいる環境負荷ゼロ技術、および環境適応技術について紹介する。

宇宙環境

革新的次世代エネルギー

CO₂ 変換

環境・社会未来予測

プロアクティブ環境適応

Zero Environmental Impact

宇宙、環境、エネルギー分野における革新的技術への取り組み 10

NTT宇宙環境エネルギー研究所で行っている、宇宙視点から地球を見つめ直し、地球環境の未来を変えるさまざまな挑戦の現状について紹介する。

環境負荷ゼロに貢献する次世代エネルギー技術 14

クリーンかつ無尽蔵なエネルギーである核融合発電と宇宙太陽光発電に関する技術、再生可能エネルギーを最大限に有効活用する仮想エネルギー需給制御技術、高信頼・高効率な直流電力システムによる超レジリエントな電力供給システム技術を紹介する。

カーボンニュートラルの実現に向けたCO₂変換・制御技術 18

植物と藻類の炭素固定能力の向上により大気中および海洋中のCO₂を効率的に有機物に変換する技術と、土壌微生物による有機物分解の制御により土壌からのCO₂排出量を削減する技術を紹介する。

地球環境と人間社会の未来予測技術 22

地球の再生過程を明らかにする地球環境未来予測技術と、人間社会と環境影響の未来を予測して企業のESG（環境・社会・ガバナンス）経営戦略立案を支援するESG経営科学技術を紹介する。

極端自然現象下においても安心・安全な社会生活を実現する プロアクティブ環境適応技術 26

落雷や宇宙放射線から通信装置を守る技術を応用しつつ、従来の対策を根本から変える落雷制御・充電技術、および宇宙放射線バリア技術を紹介する。

主役登場 篠塚 真智子（NTT宇宙環境エネルギー研究所） 30

行動変容を軸とした未来予測技術の実現をめざして

Environmental Adaptation

宇宙，環境，エネルギー分野における革新的技術への取り組み

NTT宇宙環境エネルギー研究所は、地球環境の再生と持続可能かつ包摂的な社会の実現に向けた革新的技術の創出を目的に誕生し、設立から2年5カ月が経ちました。これまでのNTTの研究所にはない型破りな研究テーマを多く掲げ、テーマ立ち上げから体制・仲間づくりなどに奔走し、ようやくかたちになってきたところです。本稿では、宇宙視点から地球を見つめ直し、地球環境の未来を変えるさまざまな挑戦の現状について紹介します。

まえだ ゆうじ
前田 裕二

NTT宇宙環境エネルギー研究所 所長

はじめに

NTT宇宙環境エネルギー研究所は、従来の環境エネルギーの枠にとらわれず、宇宙という高い視点、広い視野で私たちの住む地球や社会環境を見つめ直し、地球環境の再生と革新に貢献することをめざし、2020年7月に新設されました。

NTT宇宙環境エネルギー研究所のビジョンは次のとおりです。

「地球環境の再生と持続可能かつ包摂的な社会の実現に向け、核融合や宇宙発電など次世代エネルギー技術、レジリエントな環境適応を可能にする技術の創出をめざすとともに、環境負荷ゼロに貢献する」。

このビジョンをとおして実現したい具体的な社会像は、超レジリエント社会、いわゆる「しなやかな社会」です。これは、私たちの住む社会が地球環境に与える影響をプラスマイナスゼロにするだけでなく、地球環境の変化による影響を社会が受容できるようにし、クリーンエネルギーの地産地消や自律

分散協調型のエネルギーネットワークによる停電ゼロの実現、高精度な未来予測による自然災害被害ゼロの実現だけでなく、台風からエネルギーを取り出す（災害グリーンエネルギー）というようなことを実現する社会です。

設立3年目となりましたが、この間に、研究体制の立ち上げ、研究員の増強、多くの研究機関との連携等に奔走してきました。特に、外部人材獲得強化のためオウンドメディア“Beyond Our Planet”⁽¹⁾を立ち上げ、コンテンツ更新も頻繁に行い研究所の認知度向上に努めてきました。現在のところ、人員は発足当初の1.5倍に増え、スタートアップをはじめ外部機関・大学と40件以上のコラボレーションを開始しており、これまでのNTTの研究所にはなかった型破りな新領域の研究テーマにもチャレンジしています。

また、実現をめざしているしなやかな社会については、その具体例について国立研究開発法人防災科学技術研究所と共同で「レジリエンス社会」をつくる研究会を立ち上げ、1年数カ月か

けて検討した結果を、2022年4月に出版した『しなやかな社会の実現』というタイトルの書籍⁽²⁾にまとめました。書籍では、南海トラフや首都直下地震等の国難級災害を乗り越えるために、将来実現すべきしなやかな社会像を検討するとともに、防災科学技術×IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) による新しい技術を活用することで、しなやかな社会を実現できるという指針を立て、共同提言というかたちでまとめました。特に、技術だけでしなやかな社会は実現できないため、技術革新とともに必要となる新たな社会制度・社会像についてもまとめました。具体的には、めざすべき社会像として、過度に効率性を追求した大都市集中型社会を解消する「自律分散協調社会」、経済成長と環境問題を両立させる「人新世の経済社会」、および自然環境との共存を実現する「カーボンニュートラルと持続可能な社会」について言及し、災害をとおりより良くなるためにどうすればいいか、ビルドバックベター⁽³⁾の具体的

な内容を提言しました。

現在取り組んでいる研究テーマの一覧を図1に示します。研究所には2つのプロジェクトがあり、1つは同図上部の「環境負荷ゼロ研究プロジェクト」、もう1つは同図下部の「レジリエント環境適応研究プロジェクト」です。また、それぞれのプロジェクトには3つの研究グループがあり、それぞれが連携しながら研究を進めています。図1の中央に示したように、気候変動が影響を及ぼす8つの領域での研究成果適用をめざし、地球環境、社会、そして人がバランスを保ちながら気候変動の影響を減らしていくことでしなやかな社会が実現されることを目標としています。ここでは各プロジェクトの概略を説明します。

環境負荷ゼロ研究プロジェクト

本プロジェクトでは、NTTグループの環境エネルギービジョンである「環

境負荷ゼロ」への貢献をめざした研究を行っており、再生可能エネルギーを効率良く需給させるエネルギーネットワーク技術、圧倒的にクリーンな次世代のエネルギーをつくる技術、そしてCO₂を変換するサステナブルシステム技術の研究を行っています。

エネルギーネットワーク技術では、再生可能エネルギーを最大限に活用するため、NTTビルのICT装置の情報処理量や蓄電池・電気自動車の統合制御により、再生可能エネルギーの出力変動を吸収する仮想エネルギー需給制御技術と、安全で高信頼な直流給電を活用し、再生可能エネルギーの地産地消や超レジリエントな給電を実現させる次世代エネルギー供給技術の研究を行っています。すでに事業会社と連携した実証実験を開始しているほか、屋外で直流給電を安全に利用するための技術仕様など成果を創出しています。

次世代エネルギー技術については、

核融合炉の安定高出力運転を実現するための核融合最適オペレーション技術と、宇宙空間で得られたエネルギーを地上へ大量かつ効率的に無線伝送する宇宙太陽光発電技術の研究を行っています。核融合発電は、太陽で起きている現象を地上で再現する安全なエネルギー源で、2050年ごろの商用化をめざして世界各国で研究が進んでいます。私たちは、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構とITER国際核融合エネルギー機構と連携し、IOWNを駆使した核融合炉中のプラズマ安定制御に関する研究を進めています。

宇宙太陽光発電は、3万6000 km上空の静止軌道衛星で太陽光から得たエネルギーを24時間365日絶え間なく地上にレーザー光やマイクロ波で無線送電するという壮大な研究ですが、まずは地上で長距離無線送電の研究を進めており、ドローンへの給電や停電エリアへの無線送電のほか、宇宙空間や月

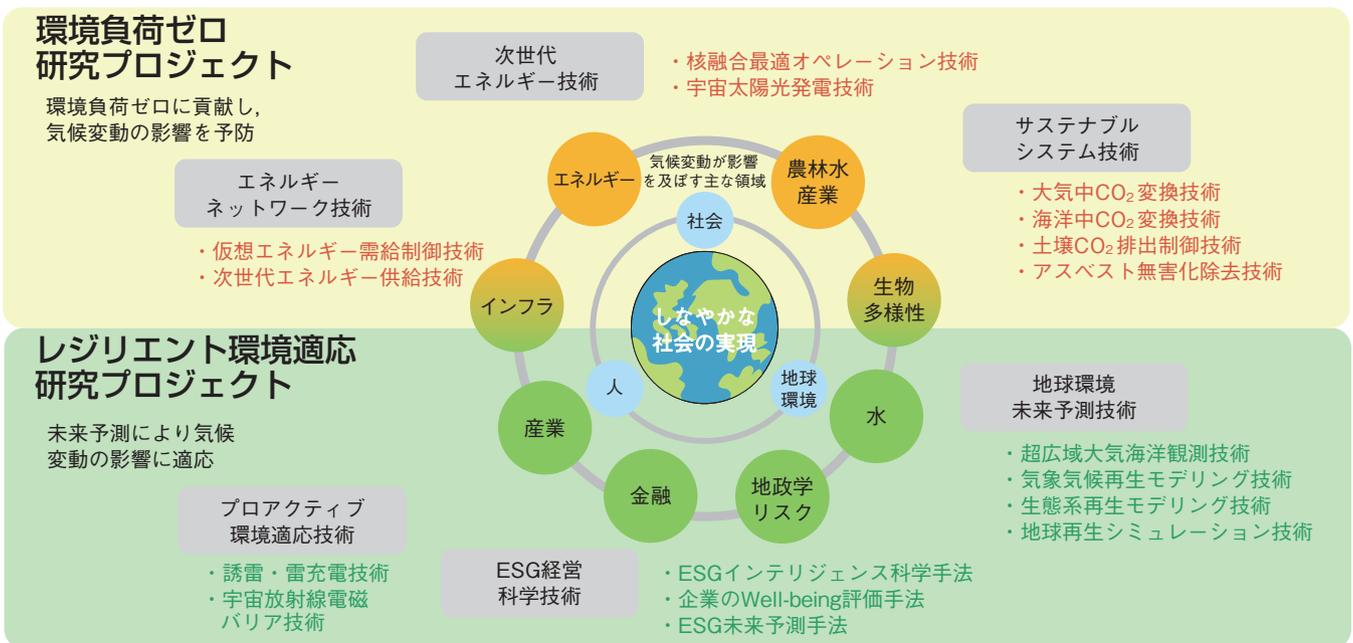


図1 研究テーマ全体像

面での利用を検討しています。

図2に地球全体でのCO₂循環を示します。図中の数字は2021年8月に発行されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）第6次評価報告書を元に算出した結果です。驚く方もいらっしゃると思いますが、人間活動から排出される主にエネルギー由来のCO₂の量は、実は地球全体の4.8%に過ぎません。もっとも多くCO₂を排出し

ているのは土壌で61.3%、海洋からも33.7%が排出されています。吸収量に関しては、57.7%が陸上植物で吸収され、海洋でも34.6%が吸収されています。つまり、人間活動による排出量を減らして実質ゼロにしていくことはもちろん重要ですが、地球全体のバランスと循環を考えると、人間活動と同時に土壌や海洋からのCO₂の収支を考えて対応することがもっと重要になり

ます。排出が吸収を上回っている陸上においては、土壌からの排出を減らすとともに植物による吸収を増やして収支を改善することが急務です。海洋についても吸収力を高め、排出を減らしていく必要があります。つまり、人間活動によるCO₂排出を削減しながら、森林破壊、土壌汚染、海洋破壊・汚染の中止・改善を同時に進めていく必要があるのです。

そこで、サステナブルシステム技術では、大気、水中、そして土壌のCO₂を削減するCO₂変換技術の研究を進めています。具体的には、ゲノム編集を植物、藻類に適応し、CO₂吸収量を増加させるとともに、食物連鎖・循環の中で大気中のCO₂量を減らし、地中や生物・有機物への長期固定量を増やす研究をしており、リージョナルフィッシュ株式会社や株式会社ユウグレナ等のスタートアップとも積極的に連携し、活動の幅を広げています。また、このほか、レーザー光を活用して建築材料のアスベストを無害化する研究にも取り組んでいます。

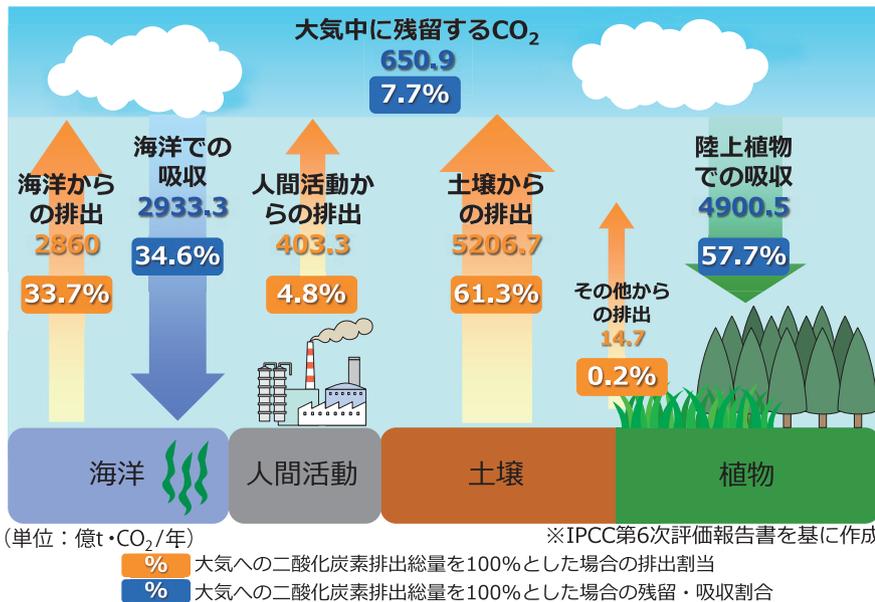


図2 二酸化炭素循環の実態



図3 レジリエント環境適応研究プロジェクト

レジリエント環境適応研究プロジェクト

レジリエント環境適応研究プロジェクトでは、地球環境および社会についての超高精度未来予測とリスク回避・低減を実現するESG経営科学技術、およびプロアクティブな環境適応技術という2つの研究テーマに取り組んできましたが、宇宙空間や地球環境全体の観測データ分析に基づく未来予測に関する研究開発を強化するため、2021年10月に地球環境未来予測技術グループを新設しました(図3)。ESG経営科学技術で人間社会・経済の予測モデルを構築するとともに、地球環境未来予測技術で気候・気象・海洋の予測モデルを構築し、これらを連成させて地球環境の未来予測を高精度に実現することで、プロアクティブに先回りして地球環境の変化へ適応し、しなやかな社会の実現への貢献をめざしています。

ESG経営科学技術では、会社経営に関する予測不能なリスクにもNTTグループがしなやかに適応できるESGに関する経営戦略の策定に向け、人間社会と環境影響の未来を予測する研究に取り組んでいます。新たな学術分野であるため、これまでさまざまな調査分析、情報源の選別と収集・分析の自動化、および外部機関との議論を重ねてきましたが、今後は学会での研究会立ち上げや実際の事業での未来予測・検証を進めていきます。

地球環境未来予測技術では、地球環境の再生の道筋を明らかにし、環境の変化に適応するしなやかな社会の実現に向けて、超広域で大気・海洋を観測することで地球の物理過程による気象・気候の高精度なモデル化を実現す

るとともに、地球の生物・化学的過程による生態系のモデル化を行い、地球の再生過程を未来予測することをめざしています。特に台風や線状降水帯などの極端気象のエネルギー源である洋上の水蒸気や海中情報については、現状ではほとんどリアルタイムに観測されておらず、未踏領域となっています。私たちは、衛星IoT (Internet of Things)⁽³⁾を活用して、これらをリアルタイムに測定・分析するとともに気象・気候モデルを高度化するため、沖縄科学技術大学院大学(OIST)、国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)、および横浜国立大学先端科学高等研究院台風科学技術研究センター(TRC)と連携し、研究を進めています。

プロアクティブ環境適応技術では、現状でもある程度予測可能な雷と宇宙線にプロアクティブに対応する研究を実施しています。雷に関しては、ドローンで落雷を捕捉し所望の場所に誘導することで重要設備への落雷被害を防止したり、雷の電気エネルギーを蓄電・活用する技術について研究しています。耐雷ドローンについては、人工雷での検証を終え、自然雷での検証を日本でもっとも冬季雷の多い地域である石川県内灘町にて2022年3月まで行いました。この冬も引き続き実証し、技術確立をめざします。宇宙線に関しては、宇宙天気予報として主に太陽活動による宇宙線の影響が国立研究開発法人情報通信研究機構より報告されています。従来から、宇宙線によって通信装置内の半導体が誤動作するソフトウェアの評価技術の高度化を行っていましたが、これを発展させ、宇宙線による宇宙機器・人体への影響の評価、

および強力な電磁界による影響の低減に向けて宇宙放射線電磁バリアの研究を行っています。今後は宇宙データセンタや月面基地など宇宙線の影響をダイレクトに受ける宇宙空間において、プロアクティブな宇宙線防護技術の実現をめざします。

おわりに

本稿で紹介した研究内容は、まだまだ入口部分に過ぎません。引き続き特集記事では、成果が出つつあるいくつかのテーマについて解説します。宇宙視点で環境エネルギー分野の革新的技術創出に挑戦する研究所の成長に、ぜひ期待してください。

参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/se/media/>
- (2) 「レジリエンス社会」をつくる研究会・高島：“しなやかな社会の実現,” 日経BPコンサルティング, 2022.
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/05/29/200529a.html>



前田 裕二

研究者の公募を常時行っています。興味のある方はぜひお問い合わせ願います。一緒に地球の未来を変革しましょう。

◆問い合わせ先

NTT宇宙環境エネルギー研究所
企画担当
TEL 0422-59-7203
E-mail se-kensui-pb@hco.ntt.co.jp

環境負荷ゼロに貢献する次世代エネルギー技術

持続可能な社会の実現をめざし、NTT宇宙環境エネルギー研究所では、クリーンで環境に負荷を与えないエネルギーの創出やスマートなエネルギー活用の実現に向かって研究に取り組んでいます。本稿では、圧倒的にクリーンかつ無尽蔵なエネルギーである核融合発電と宇宙太陽光発電に関する技術、再生可能エネルギーを最大限に有効活用する仮想エネルギー需給制御技術、高信頼・高効率な直流電力システムによる超レジリエントな電力供給システムの技術を紹介します。

とりうみ
鳥海

ようへい
陽平

ふじわら
藤原

ゆたか
大

みなみ
南

ひろや
裕也

なかむら
中村

なおみち
尚倫

たなか
田中

とおる
徹

NTT宇宙環境エネルギー研究所

核融合炉の最適オペレーション技術

核融合発電の実現には、核融合反応するプラズマを長時間安定的に維持することが必要で、私たちはIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) やAI/ML (Artificial Intelligence/Machine Learning) の活用によって、プラズマの安定化に向けた高速制御を実現する核融合炉の最適オペレーション技術の確立をめざしています。この取り組みには、核融合研究を推進するパートナーとの連携が不可欠で、ITER国際核融合エネルギー機構 (ITER機構) と包括連携協定を⁽¹⁾、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 (QST) と連携協定を締結⁽²⁾し、研究開発を推進しています。

これまでの各国での核融合研究での実験では、プラズマの維持時間は数10秒程度、エネルギー増倍率 (核融合生成エネルギー/投入エネルギー) は最大 $Q=1.25$ を達成していますが、さらなる特性向上のために、超大型プロジェクトであるITER計画にて維持時

間を約3600秒とエネルギー増倍率 $Q=10$ をめざしています。プラズマ制御には閉じ込め磁場制御、プラズマ加熱制御および燃料供給制御により行っていますが、プラズマ中には多種類の粒子種が存在し、それぞれが異なった運動速度を有することから、時空間スケールの異なった物理現象が共存し、そのすべてが相互作用するため、プラズマの挙動がとて複雑です。特に、プラズマは 10^{-8} 秒のオーダーと超高速で変動するため、ある事象変化を計測して解析しプラズマ挙動を修正する制御を行う際、計測から解析に時間を要し、制御機器の応答時間が遅いため、制御が間に合わないことが問題となっています。

そこで私たちは、核融合プラズマの時間発展データと現在の計測データからプラズマの近い未来を高速で予測し、あらかじめ制御をかけることでプラズマの安定化と高出力化をねらっていきます。これまではプラズマの位置と形状を把握することで制御していましたが、プラズマの内部の情報もリア

ルタイムで把握することで、プラズマの不安定化を高速で制御が可能となるため、実空間と同様のモデルを構築し、AI/MLを用いた新たなアルゴリズムによる開発を進めています。さらに、現在の制御ネットワークよりも高速・大容量・低遅延制御ネットワークと組み合わせることで、核融合炉の最適オペレーションを実現していきます (図1)。

宇宙太陽光発電技術

宇宙太陽光発電技術は、上空3万6000 kmの静止衛星で太陽光から得られたエネルギーを昼夜問わず地上にレーザー光やマイクロ波で送り届け、地上で電力などのエネルギーに変換して利用する技術です。私たちは、マイクロ波よりもビームの広がり角が小さく長距離を伝送させやすいレーザー光に注目し、大きく3つの技術を軸に宇宙太陽光発電の研究を進めています。

1番目は、宇宙空間で集めた太陽光をレーザー光に変換する技術です。人工衛星に搭載できるシステムは重量・容積に限りがあるため、できるだけ小型

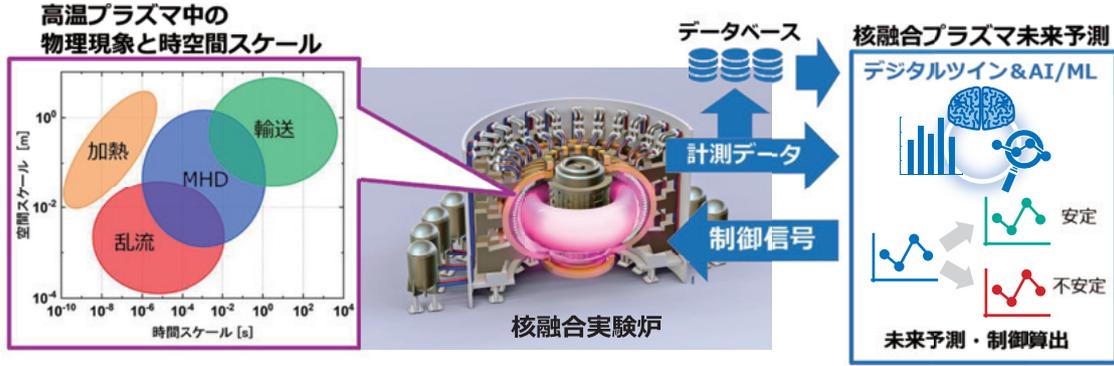


図1 核融合実験炉と未来予測を用いた制御

の構成で太陽光をレーザー光に変換する必要があります。そこで私たちは、電力を使わずに太陽光を直接レーザー光に変換することが可能な太陽光励起レーザー技術の研究に取り組んでいます。これまで私たちは太陽光の波長帯の光を吸収し、1064 nmの赤外線レーザー光を得ることができるNd/Cr:YAG^{*1}をベースとしたレーザー媒質結晶を育成し、実験室にてレーザー発振を確認しました。今後高効率高出力が得られるよう結晶の組成などの最適化を進めるとともに、耐久性向上、長寿命化の検討も行い、また太陽光を集光しレーザー内に効率的に取り込むことが可能な装置の開発を進める予定です。

2番目は、遠くまで正確に届くレーザービームの研究です。レーザー光は直進性が高く長距離伝送させやすいことが特徴ですが、3万6000 kmもの距離を伝送すると、通常のレーザービーム（ガウシアンビーム）では回折によりレーザー光が数10 mの範囲にまで広がってしまいます。またレーザー光が大気を通過する際、擾乱と呼ばれる大気の揺ら

*1 Nd/Cr:YAG：イットリウムとアルミニウムの複合酸化物（ $Y_3Al_5O_{12}$ ）から成るガーネット構造の結晶にネオジムとクロムを添加することで、太陽光の波長帯の光の吸収性を高めたレーザー発振媒質用の結晶。
 *2 ベッセルビーム：回折現象によりビームが広がらない非回折ビームの一種。
 *3 ラゲールガウシアンビーム：円偏向を持ち、渦状に位相が変化しながら進むビーム。

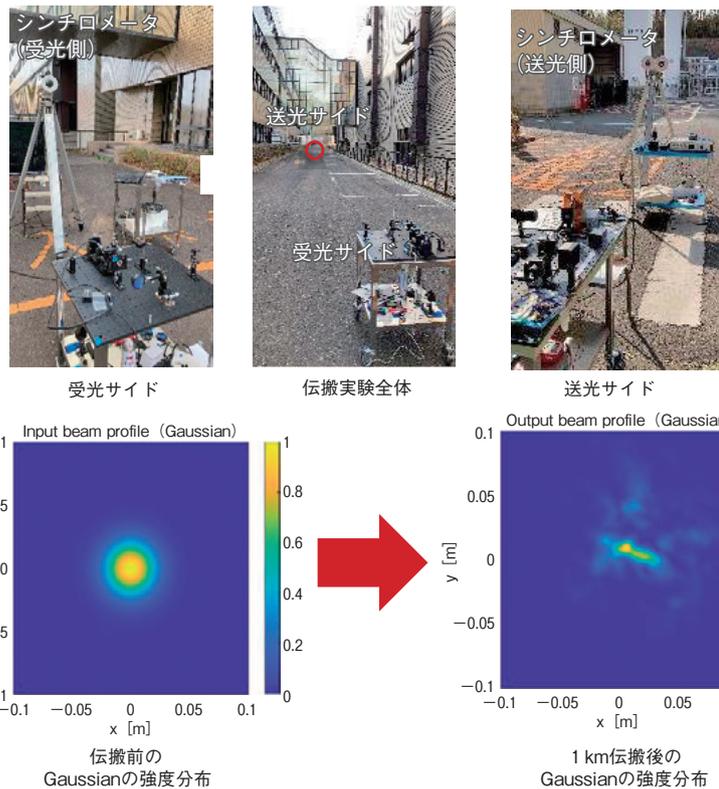


図2 レーザ光屋外伝搬実験と伝搬シミュレーション

ぎの影響を受けビームが数m単位で揺れてしまい、ねらったところにビームを送ることが困難になると想定しています。そこで、長距離伝送に適した伝送方式の検討を行っています。レーザービームに位相変調をかけることで回折や擾乱に強いといわれるベッセルビーム^{*2}やラゲールガウシアンビーム^{*3}などの特殊なビームを形成することができ、これらについてシミュレーションと地上での伝送実験で回折や擾

乱に対する影響を検証し、より擾乱に強く長距離まで届くビームの検討を進めています（図2）。

3番目は、宇宙から届く高強度のレーザー光に耐え、しかも高い効率でレーザー光を電力に変換する光電変換システムです。レーザー光の波長に特化してチューニングされた光電変換素子を開発することで、一般的な太陽電池の効率（20%程度）を大きく上回る変換効率でレーザー光を電力に変換すること

をめざしています。ただし、もっとも実現性が高いと期待される化合物半導体の変換効率の理論限界は50%程度であるため、約半分は熱になってしまいます。そこで熱化学反応を用いて水素やアンモニアを生成するなど、地上に届いたエネルギーを余すことなく利用する方法についても検討を行っています。

仮想エネルギー需給制御技術

仮想エネルギー需給制御技術は、エネルギーの地産地消をめざして、全国に分散しているNTTビル内に設置されたサーバやルータなどのICT装置の消費電力を調整することで各地の再生可能エネルギーを最大限に有効活用する技術です（図3）。気候変動問題への対策として、再生可能エネルギーの導入が進められていますが、再生可能エネルギーの多くは気象条件に応じて発電量が変動するため、導入量が増えるほどその変動が大きくなり各地で需要とのギャップが大きくなります。そこで、各地の再生可能発電量との需要との需給ギャップに応じて、NTTビルにおけるICT装置の情報処理を、地域をまたいで移動させることで、電力需給をバランスさせる技術の研究開発を進めています（再生可能エネルギー連動型情報処理移動技術）。また、定置用蓄電池と車載用蓄電池を統合制御することでNTTビルにおける需給調整能力を強

化する技術にも取り組んでいます（蓄電池・EV統合制御技術）。

NTTビルではICT装置が情報通信処理をしてさまざまなサービスを提供しており、このICT装置で処理する仕事をワークロードと呼びます。NTTビルの中でも、データセンタはワークロードの移動による消費電力の変動効果が大きいと見込まれることから、現在はデータセンタ内のサーバを対象とした各要素技術の確立に注力しています。この技術は予測と最適化、制御の3つのフェーズで構成されています。予測フェーズに関しては、計算機で実行されている全ワークロードの消費電力をワークロード単位で分解して個別に予測することに挑戦しています。最適化フェーズについては、予測される余剰・不足の日内変動に対して需給ギャップを抑えるように各時刻・各地域の消費電力量の目標値を設定し、個々のワークロードが実行される時刻・地域を定める配置パターンが無数にある中で、サービス品質を維持しつつ消費電力量が目標値に達するパターンを高速に導出して制御計画として策定するアルゴリズムを考案しました。これにより、科学技術計算のような、実行する時刻も地域も移動可能なワークロードと、仮想デスクトップのような、時刻変更できず地域のみ動かせるワークロードの双方を同時に扱うこと

が可能となりました。そして制御フェーズでは、最適化された制御計画に基づいて、仮想化技術を用いたワークロード配置変更や通信トラフィック経路制御を実施します。

今後想定されるデータセンタの地方分散化によって本技術の効果はより拡大すると考えられます。

次世代エネルギー供給技術

次世代エネルギー供給技術は、安全で高信頼な直流給電システムを活用し、再生可能エネルギーの地産地消やレジリエントなエネルギー供給を実現する技術です。NTTの通信ビルの給電システムは、ICT装置に、直流の48Vや380Vで電力を供給しており、停電時には蓄電池からの電力供給が可能で、安全で高信頼なシステムです。ここで確立した直流給電技術をさらに発展させ、NTTビル周辺の地域に再生可能エネルギーと組み合わせた電力流通と、災害時にも停電しない安心した電力供給をめざしています。また、蓄電池が電力供給線と直結していることから、高高度核爆発攻撃による電磁パルスや宇宙線が地上に降り注いだ場合にも安定した電力の供給が可能であり、2025年に活発化が見込まれる太陽フレアからの宇宙線の影響を受けにくい給電技術としても期待されています。

直流による屋外への電力供給はグリッド化することで、複数の発電装置と需要家を組み合わせた電力の相互融通と停電リスクの低減が可能です。このシステムを確立するため、直流380Vを活用して図4に示すような、3つのステップで研究開発を進めています。2020年度は、ステップ1として通信ビルと災害時に避難所となる小中学校（給電距離は400m以下）を1対1で接続可能とする技術を確認しました。電力供給線のプラスとマイナスが

①再生可能エネルギー連動型情報処理移動技術

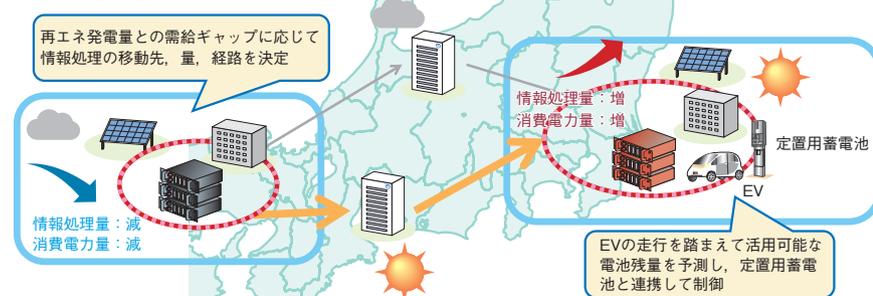


図3 仮想エネルギー需給制御技術の概要

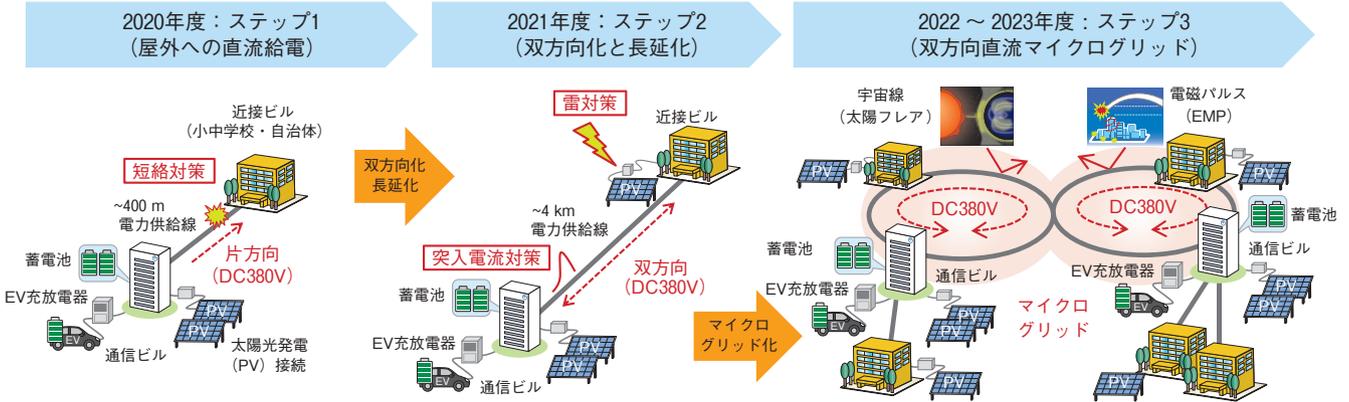


図4 直流マイクログリッド実現に向けたステップ

接触する短絡事故時において、短絡電流を遮断する従来のヒューズに加え、直流給電装置内部の過電流保護機能（ゲートブロック）と組み合わせて、高精度に検出・遮断する電気安全技術を確立しました。

2021年度は、ステップ2として通信ビルから近接ビル（需要家）の給電距離を長距離化（4 km）する技術と電力供給を双方向化する技術の確立を進めました。給電距離が延びると電力供給線のインピーダンス成分（抵抗成分）に対するインダクタンス成分が大きくなるため、直流電源装置内部のコンデンサ容量との相互作用で、電源投入時に生じる突入電流による電圧降下が大きくなり、直流電源装置と給電先の装置が停止する可能性が高くなります。そこで、給電距離とコンデンサ容量による電圧降下量の関係性を明らかにし、装置停止を回避する条件を導出しました。

また、電力供給を双方向化するため、近接ビル（需要家）に太陽光発電（PV）や電気自動車（EV）の充電器を設置することになりますが、それらに落雷が生じた際、地電位が上昇することで電力供給線を介して通信ビル側に雷サージが侵入するリスクが高まります。そこで、雷対策の基本である等電位化に着目し、各種接地極を安全かつ効果

的に接続するための条件を明らかにすることで、新たな対策品を追加することなく、地電位の上昇を抑制し、通信ビルへの雷サージの侵入リスクを低減しました。

これら確立した技術を基に、NTTアノードエナジーと連携し、千葉市におけるスマートエネルギーシステム実現に向けて災害時の避難所の電源バックアップに関する実証を行っています。今後は、ステップ3として直流マイクログリッドに関する研究を進めるとともに2025年に到来する太陽フレアに対する直流給電の耐性に関する研究に取り組みます。

今後の展開

革新的なエネルギーの創出に向けて、核融合炉最適オペレーション技術では、ITER機構やQSTと連携し技術実証を進め核融合実験炉の成功と核融合発電の実現につなげていき、宇宙太陽光発電技術では技術実証をめざすとともに、要素技術を地上でのエネルギー伝送などに活用し早期展開を進めていきます。また、今後大量導入される再生可能エネルギーの有効活用に向けて、仮想エネルギー需給制御技術では、複数ビルでの需給制御を進めエネルギーの地産地消の実現、次世代エネルギー供給技術では、直流マイクログ

リッドによる新たな電力融通とレジリエントな電力供給の実現をめざします。これらの技術の確立により環境負荷ゼロに貢献していきます。

参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/05/15/200515c.html>
- (2) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/11/06/201106a.html>



（上段左から）鳥海 陽平/ 藤原 大/
南 裕也



（下段左から）中村 尚倫/ 田中 徹

地球環境の再生と持続可能かつ包摂的な社会の実現に向けて、革新的なクリーンエネルギーの創出と地産地消のエネルギーネットワークの技術確立を進めていきます。

◆問い合わせ先

NTT宇宙環境エネルギー研究所
企画担当
TEL 0422-59-7203
E-mail se-kensui-pb@hco.ntt.co.jp

カーボンニュートラルの実現に向けた CO₂変換・制御技術

本稿では、カーボンニュートラルの実現に資する技術として、植物と藻類の炭素固定能力の向上により大気中および海洋中のCO₂を効率的に有機物に変換する技術と、土壌微生物による有機物分解の制御により土壌からのCO₂排出量を削減する技術について概説します。

さこだ かつま いたう まなみ
迫田 和馬 伊藤 真奈美
 いまむら そうすけ たかや かずひろ
今村 壮輔 高谷 和宏

NTT宇宙環境エネルギー研究所

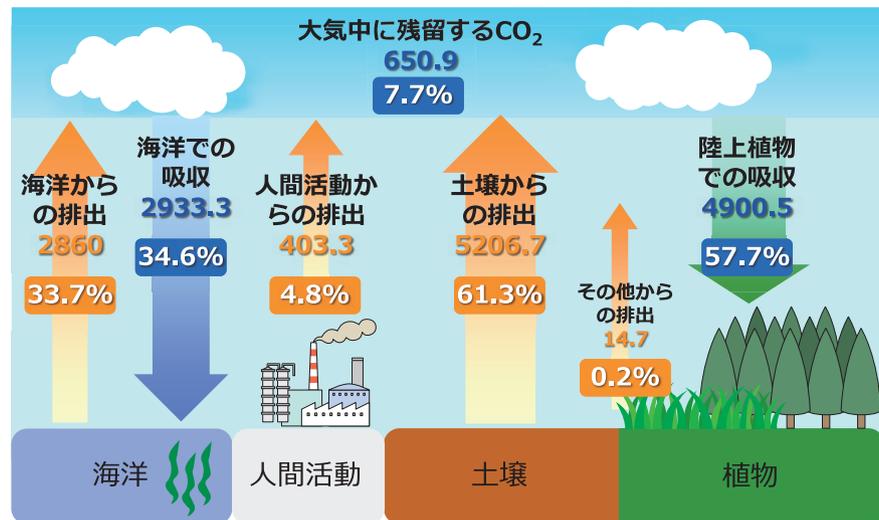
大気中のCO₂削減をめざした 3つの取り組み

地球上では、生物の活動によって二酸化炭素（CO₂）の吸収と排出が起これ、そのバランスが大気中のCO₂濃度に大きく影響します（図1）。大気中への全CO₂排出量に対して、陸上の植

物が行う光合成*¹によるCO₂吸収量、海洋によるCO₂吸収量は、それぞれ57.7%および34.6%となっています⁽¹⁾。一方、大気への全CO₂排出量のうち、土壌からのCO₂排出量は61.3%を占めています。NTT宇宙環境エネルギー研究所では、植物を利用した大気中CO₂削減技術、藻類と魚介類の食物連

鎖を利用した海洋中CO₂削減技術、土壌からのCO₂排出制御技術の開発に取り組んでいます。

*1 光合成：植物や藻類において、光エネルギーを用いて二酸化炭素から有機化合物を合成する反応系。



(単位：億t・CO₂/年)
 % 大気への二酸化炭素排出総量を100%とした場合の排出割合
 % 大気への二酸化炭素排出総量を100%とした場合の残留・吸収割合

図1 二酸化炭素循環の実態

大気中および海洋中CO₂の変換技術

植物や藻類は、環境中のCO₂を体内に吸収し、光エネルギーを利用してCO₂から有機物を合成（＝炭素固定）して自らの成長に利用します。これら生物の成長を促進し、CO₂をより吸収するように炭素固定能力を向上させることができれば、大気中および海洋中のCO₂削減にもつながると期待されます。ここでは、植物と藻類の炭素固定能力向上による大気中・海洋中のCO₂削減技術について、私たちの取り組みを紹介します。

■植物の光合成による大気中CO₂変換技術

自然環境にある植物は、好適な条件だけでなく、高温・乾燥・過湿といったストレスにさらされながら生長します。よって、植物の炭素固定能力を高める戦略として、時間当りの炭素固定量の増加（＝炭素固定速度の向上）、炭素固定期間の長期化（＝長期健全化）、ストレス環境における炭素固定量の安定化（＝ストレス耐性向上）が有効だと考えられます。これらを実現する方策の1つは、各々の制御にかかわる遺伝子を明らかにし、遺伝子の機能を人為的に改変することです。例として、炭素固定速度の向上をねらったケースを考えてみます。植物による炭素固定の全体プロセスは、CO₂を周囲から体内に取り込み細胞内の葉緑体まで送るCO₂拡散プロセスと、葉緑体で化学反応によりCO₂を有機物に変換するCO₂固定プロセスの2つに大別されます。これまで、各プロセスの制御にかかわる遺伝子が同定されており、それらの機能を改変することで、炭素固

定速度の向上に成功した例が報告されています。一方、先行研究の大部分は、実験室環境の限られた条件で実施されたものであり、自然環境における有効性を実証した例は数件に過ぎません。また、先行研究が着目する遺伝子は、植物が持つ数万という遺伝子のごく一部に過ぎず、炭素固定向上に資する遺伝子の多くが手つかずのまま残されていると考えられます。

私たちは、植物における炭素固定速度の向上、長期健全化、ストレス耐性向上を実現すべく、①標的となる遺伝子の決定、②遺伝子改変技術の改良、③標的遺伝子を改変した植物の作出とその炭素固定量の評価に取り組んでいます。第一に、先行文献の調査や独自の実験結果に基づき、炭素固定能力向上への寄与が期待される遺伝子の選定を進めてきました。遺伝子改変ツールとしてゲノム編集技術^{*2}に着目し、植物に本技術を適用する精度・効率を高めるとともに、独自のゲノム編集技術の開発にも着手しています。さらに、遺伝子改変が炭素固定に与える効果を定量的に評価するため、成長量や炭素固定速度を含めた植物の生体情報と生育環境情報を同時かつ連続的に取得できる栽培設備の構築を進めています。将来的には、実験環境を自然環境まで拡張し、得られた知見を木本植物や実用作物に適用することで、炭素貯留能力や食糧生産性に優れる植物の育成につなげたいと考えています。

■藻類と魚介類の食物連鎖を利用した海洋中CO₂変換技術

藻類においても炭素固定速度の向上をめざし、標的遺伝子の選定やゲノム編集体の作出、その炭素固定量の評価を進めています。一方、藻類の生育サイクルは短く、光合成により合成した有機物を体内に長くとどめることができず、海洋中のCO₂をよ

り削減するためには、藻類が固定した炭素を藻類以外の生体内に長期間とどめることが重要な課題となります。この観点から、私たちは海洋内の食物連鎖を担う藻類と魚介類に着目しています。海洋中のCO₂は藻類により固定され、藻類を魚介類が捕食することで、炭素は魚介類へ引き渡されます。この食物連鎖をとおした炭素固定量を増加させるため、藻類と魚介類の両方にゲノム編集技術を適用し、藻類の炭素固定量や成長速度の増加、魚介類の成長速度や貝殻、軟骨等への炭素固定量の増加をねらっています（図2）。これによって、藻類と魚介類による炭素固定の“相乗的”な増量と長期化を図り、海水中のCO₂量削減をめざしています。本研究は、リージョナルフィッシュ株式会社と共同で進めており、NTTが藻類の炭素固定量を増加させる技術、リージョナルフィッシュが魚介類に蓄積される炭素量を増加させる技術の開発を進めています。現在、藻類と魚介類の最適な組合せや給餌条件等を、陸上養殖プラットフォームを用いて検討しています。これにより、生態系に影響を与えることなくゲノム編集体を用いた実験を進めることが可能となります。今後は、最適な一組の藻類と魚介類の組合せにゲノム編集技術を適用し、海洋中のCO₂削減が実現可能かの実証試験を進めていきます。

土壌からのCO₂排出制御技術

土壌中には、動物の排泄物、植物の枯葉や根などのさまざまな有機物が蓄積されています。これら有機物は生物の働きによって無機物に分解され、再び植物に吸収されて有機物の合成に利用されます。このように、生態系内では物質が循環するかたちで生物に利用されており、土壌中の生物による有機物の分解過程でCO₂が発生します（図

*2 ゲノム編集技術：生物が持つゲノム上の任意の塩基配列を改変する技術。

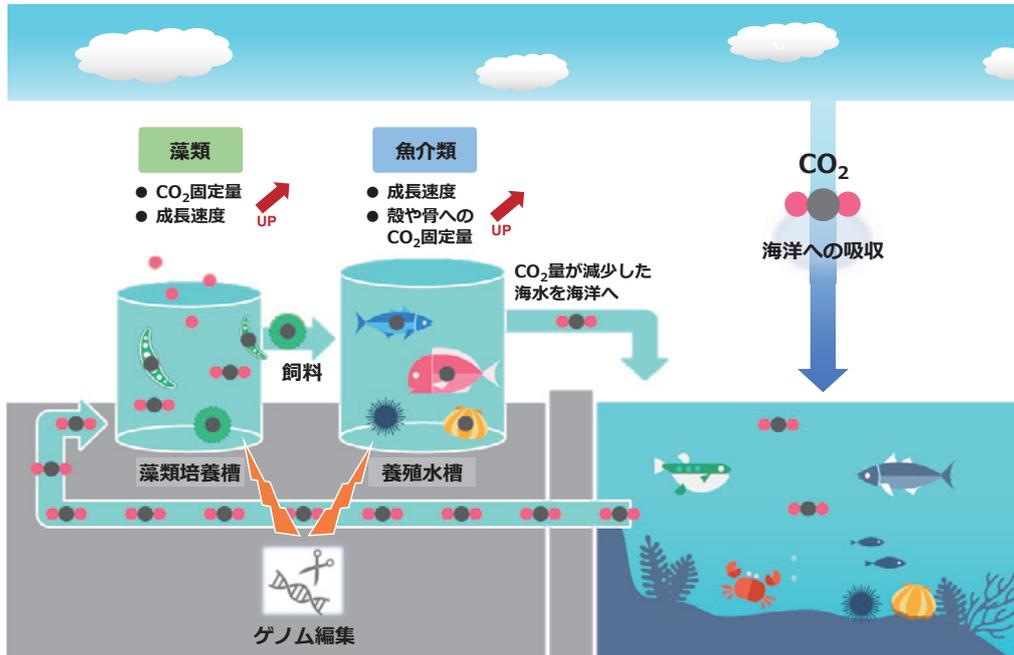


図2 藻類と魚介類の食物連鎖にゲノム編集を適用した海洋中CO₂削減の実証モデル

3). よって、有機物分解が制御可能となれば、土壌からのCO₂排出量を削減する技術の開発につながると期待されます。ここでは、土壌からのCO₂排出削減技術について、私たちの取り組みを紹介します。

有機物分解の制御によって土壌からのCO₂排出量を削減するためには、「どんな因子が作用することで、どの程度有機物が分解され、どれだけのCO₂が発生するのか」を理解することが不可欠です。土壌特性は、生物性（土壌中の生物の種類や数）、化学性（土壌中の化学物質の種類や量）、物理性（土壌の硬さや通気性）の3つに分類され、各特性は互いに影響し合いながら有機物分解に作用します。多くの場合、土壌には植物が自生しており、土壌中の栄養が豊富であれば光合成を活発に行い、多量の有機物を根から土壌へ分泌します。これは、土壌特性と植物の生長は互いに影響し合いながら、有機物分解に作用することを意味します。また、土壌特性や植物の生長は、温度や水分量などの環境条件にも影響されま

す。よって、土壌からのCO₂排出量を削減するためには、土壌特性、植物の生長、環境条件を有機物分解への作用因子ととらえ、各因子とCO₂排出量との関係を明らかにする必要があります。

これらのことを踏まえて、私たちは、①土壌特性、植物の生長量や光合成活性、環境情報、土壌からのCO₂排出量などを含めた大規模データの取得・解析と、②土壌CO₂排出プロセスの数理モデル化に取り組んでいます。大規模データを取得するため、NTTの強みであるICT、IoT (Internet of Things) を活用し、植物栽培と各種測定に要する作業を最大限自動化することで、効率的にデータ収集する仕組みを検討しています。土壌CO₂排出プロセスは、各因子が作用し合う複雑なネットワーク構造を有すると予想され、得られるデータからその全容をとらえることは難題といえます。人工知能に基づく解析手法を駆使してこのネットワーク構造を解くことで、土壌CO₂排出の制御メカニズムを明らかにしたいと考えています。それによって、有機物分解に

よるCO₂排出プロセスの数理モデル化が可能となり、任意の環境において土壌CO₂排出量の削減に必要な条件を明確化することができます。これらの実現は、環境負荷を抑えた農業生産技術や森林管理技術の開発につながると考えています。

土壌CO₂排出量を削減するにあたって、植物の生長維持との両立が課題となります。微生物などの働きによる有機物分解の過程でCO₂が発生する一方、その結果生じる無機物、特に無機態窒素*3を主な窒素源として植物は利用します。有機物の量を減らすか、その分解を抑えることで、土壌からのCO₂排出量は低下することが予想されますが、植物の生長が抑制される懸念もあります。この課題の解決策として、有機物分解におけるCO₂発生を抑えるよう微生物を制御する方法が挙げられます。ただし、土壌中には膨大な数・種類の微生物が存在し、それらの

*3 無機態窒素：アンモニウム態窒素や亜硝酸態窒素、硝酸態窒素など、炭素が含まれない窒素化合物の総称。

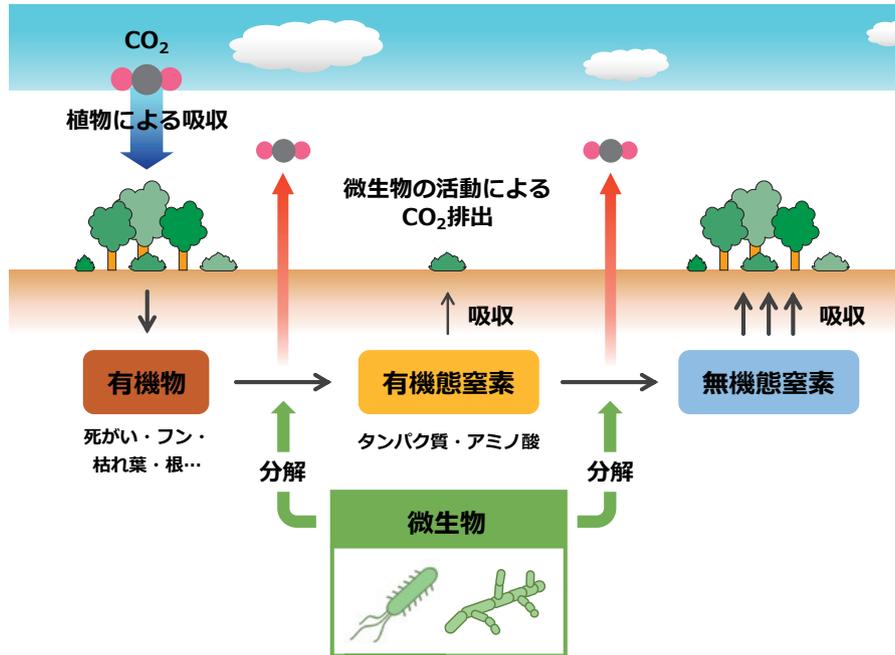


図3 土壤中で起こる有機物の分解によるCO₂の排出

生態について不明な点が数多く残されているため、微生物の働きを制御することは容易ではありません。もう1つの解決策として挙げられるのが、有機態窒素*⁴を効率良く利用できるような植物を改変する方法です。植物は有機態窒素を吸収して生長に利用すること、植物種によって吸収量に違いがあることは知られていますが、そのメカニズムの大部分は明らかになっていません。私たちは現在、植物による有機態窒素の吸収・利用にかかわる遺伝子の探索を進めています。同定した遺伝子をゲノム編集技術により改変することで、無機態窒素の少ない土壌環境においても旺盛に生長する植物を育成したいと考えています。これは、農業生産において無機態窒素供給のために多く投入される化学肥料の減量にもつながると期待され、資源節約・環境汚染防止の観点からも重要な課題だと考えています。

*4 有機態窒素：タンパク質やペプチド、アミノ酸など、炭素が含まれた窒素化合物の総称。

今後の展開

本稿では、CO₂の変換・排出制御技術の開発について、私たちの取り組みを紹介しました。CO₂変換技術の実用化においては、つくられた有機物の利用も含めてパッケージ化した技術として提供することが必須です。藻類については海洋中の食物連鎖に着目したCO₂変換・利用技術の開発を進めており、今後は植物についても同様の取り組みを展開したいと考えています。CO₂排出制御技術については、土壌中の有機物分解の制御を前提としていますが、それにかかわる生物の活動維持との両立が求められます。これを踏まえ、有機物分解の制御が生態系全体に与える影響を評価するためのシミュレーション技術も確立したいと考えています。将来的には、これら技術の社会実装を進め、環境保全や食糧生産、生物多様性を持続可能としながら、カーボンニュートラルの実現をめざします。

参考文献

- (1) <https://www.ipcc.ch/>
- (2) https://www.rd.ntt/research/JN202203_17553.html



(左から) 今村 壮輔/ 伊藤 真奈美/
迫田 和馬/ 高谷 和宏

専門を異にする多くの技術者・研究者と連携し、活発に議論しながら、生物・環境分野をまたぐ研究開発を進めています。将来的には、「カーボンニュートラル」を実現し、しなやかな社会の創造に貢献します。

◆問い合わせ先

NTT宇宙環境エネルギー研究所
企画担当
TEL 0422-59-7203
E-mail se-kensui-pb@hco.ntt.co.jp

地球環境と人間社会の未来予測技術

NTT宇宙環境エネルギー研究所では、地球環境および人間社会についての未来予測を通じて、プロアクティブに社会・自然環境の変化に適応することによって、持続可能な企業成長としなやかな社会の実現への貢献をめざしています。本稿では、地球規模の観測と、地球の物理過程並びに生物・化学過程のモデル化を行い、これらを連成させてシミュレーションすることで、地球の再生過程を明らかにする地球環境未来予測技術と、人間社会と環境影響の未来を予測して企業のESG（環境・社会・ガバナンス）経営戦略立案を支援するESG経営科学技術を紹介します。

こやま 小山	あきら 晃	ちょう 張	ぎょうぎ 暁曦
ひさだ 久田	まさき 正樹	はら 原	みなこ 美永子

NTT宇宙環境エネルギー研究所

はじめに

2015年に国連で採択されたSDGs（持続可能な開発目標）では、社会課題を民間のビジネスとして解決することが奨励されており、気候変動を緩和するための温室効果ガスの排出抑制や気候変動による影響を小さくする適応施策、貧困等の社会問題に対する企業の対応が注目されています。これら社会要請の下で企業が持続可能な成長を実現するためには、財務指標だけではなく非財務指標にも配慮することが求められています。さらに現在、台風や線状降水帯といった極端気象による災害や、世界的なパンデミック、武力を背景とした他国への侵攻に見られるように、これまで予測できなかったような事象が現実のものとなっています。このような状況の中、NTTグループでは、環境負荷ゼロと経済成長の両立という野心的な環境エネルギービジョンを掲げています。本稿では、このビジョン実現に貢献するため、地球環境と人間社会の未来を高精度に予測し、

めまぐるしく変化する地球環境と世界情勢にプロアクティブかつしなやかな対応を可能とする地球環境未来予測技術とESG経営科学技術について紹介します。

地球環境未来予測技術

地球環境未来予測技術は、地球環境の再生に向け、気候・気象・海象といった物理的な現象に加え、生態系・炭素循環といった生物・化学的な現象を地球規模の観測によりモデル化し、シミュレーションすることで、地球の再生過程を明らかにし、未来の地球環境の予測を可能とする技術です。地球の約70%を占める海洋は、台風や線状降水帯などの極端気象の発生に大きな影響を与えているにもかかわらず、リアルタイムに直接観測されていない未踏領域であるため、衛星IoT（Internet of Things）技術を活用して、気象等の物理的な現象を観測し、モデル化に取り組んできました⁽¹⁾。本稿では、沖縄科学技術大学院大学（OIST）と開始した極端気象予測精度向上に向けた

大気海洋観測実験の概要と、新たに研究を開始した、生物・化学的な現象である海洋生態系のモデル化について紹介します。

極端気象予測の取り組み

台風や線状降水帯などの極端気象による災害が多発しており、私たちの生活を脅かしています。台風、線状降水帯等の極端気象の予測精度のさらなる向上のためには、数値予報モデルの精度向上に加え、大気と海洋の相互作用の観測が重要です。特に、台風の発達に大きく影響する、海上の気温や湿度、海面や海中の水温の直接観測は、海上に十分な数の観測機器がないため台風の進路に合わせた観測が難しく、かつ、台風直下は暴風や高波といった過酷な環境であるため、有人での観測は非常に困難です。この台風直下のリアルタイムな海上観測を実現するため、海洋を無人で自律的に長期観測可能な大気海洋自律観測装置の開発を行いました。「せいうちさん」と命名し、OISTと連携して2022年7月に沖縄沖

で台風観測を開始しました（図1）。その後、沖縄沖で回遊しながら台風の観測を行いました。今後は、観測データの解析を進め、台風予測の精度向上をめざすとともに、線状降水帯などを含めた極端気象予測の精度向上のため、日本近海でリアルタイムかつ常時観測に向けて研究を進めていきます。

さらに大気海洋観測の広域化に向け、海洋研究開発機構（JAMSTEC）との共同研究により、日本近海に加えて、台風の発生エリアである赤道付近といった遠洋での観測にも挑戦していきます。

海洋生態系のモデル化の取り組み

海洋の生態系は、気候の変動による気温、水温、日光の変化をはじめ、河川などの水循環による栄養塩の供給など、人間活動を含む外部環境の影響を受けて常に変化しています。さらに、沿岸域でも海洋生物の新種の発見が続いているように観測も難しく、その変化の定量化も困難です。これに対し

て、衛星IoT技術を活用した新たな観測技術により、プランクトンをはじめとする微生物から、魚類、大型の哺乳類にわたる食物連鎖といった、海洋の生態系の観測とモデル化に取り組み、外部環境の変化と合わせて、コンピュータ上でシミュレーションすることで海洋生態系の未来予測を可能とすることをめざしています。実現に向けては、海洋生態系の循環プロセスをモデル化し、気候変動や人間の活動によ

る影響を予測する生態系循環予測技術と、魚にとってのWell-beingを指標化することで、生態系のバランスを回復する魚類生態系モニタリング技術や、数百万種以上に及ぶ微生物の多様性をモデル化し、気候変動や人間環境といった外部ストレスによる変化を予測可能とする微生物多様性モデリング技術に取り組んでいきます（図2）。

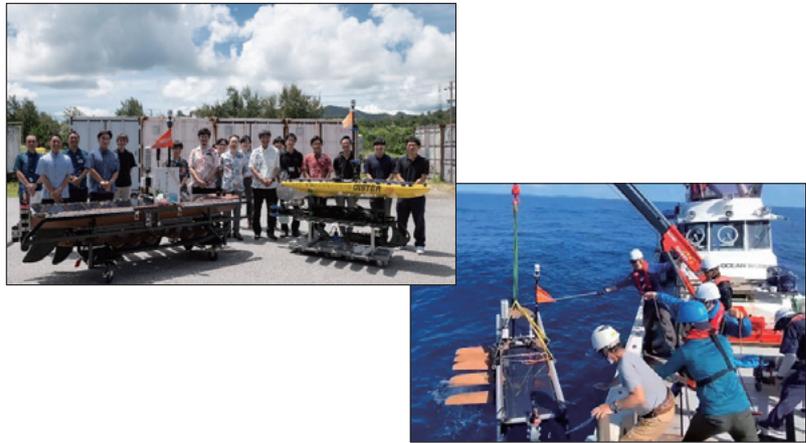


図1 大気海洋自律観測装置（せいうちさん）と海中投下の様子

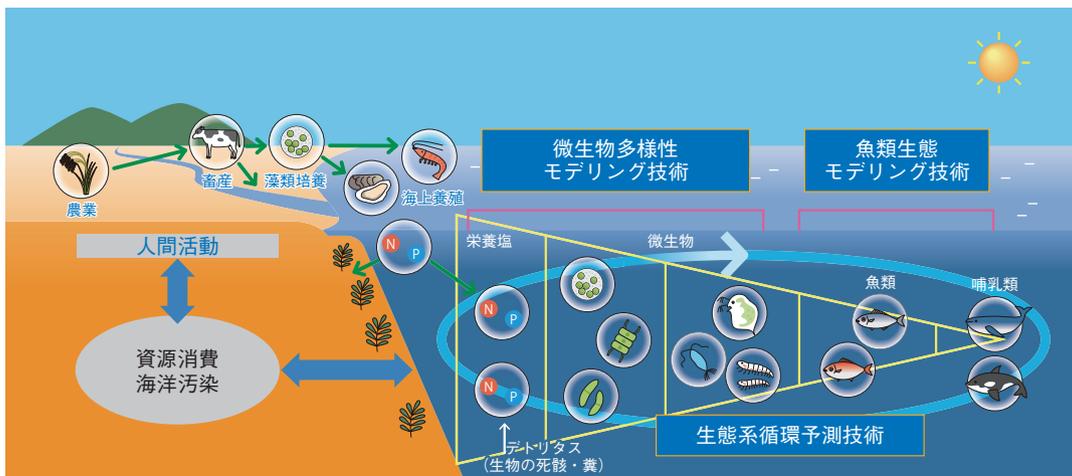


図2 海洋生態系モデル

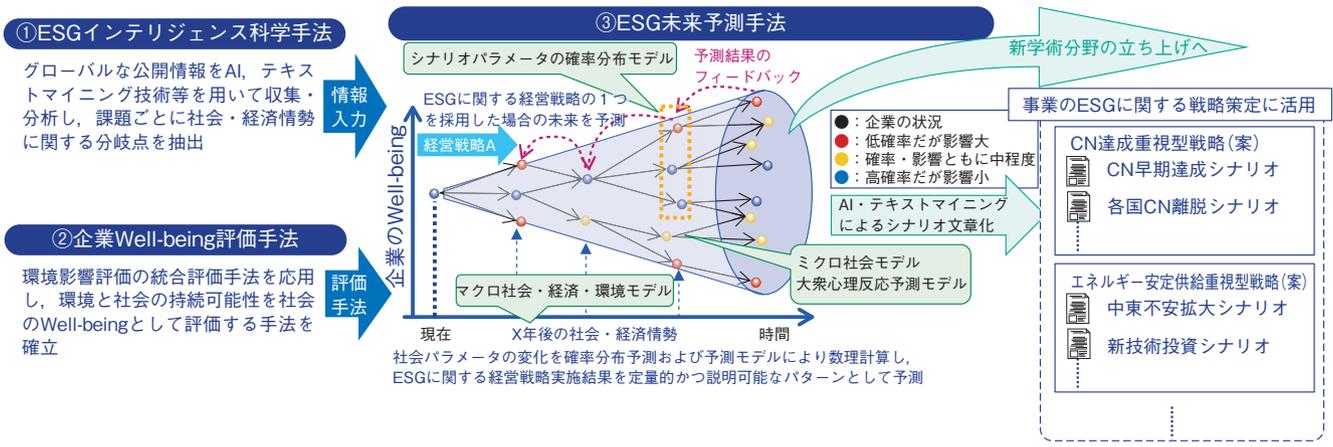


図3 ESG経営科学技術の概要

ESG経営科学技術

ESG経営科学技術では、環境、社会、ガバナンス(Environment, Social, Governance: ESG)といった非財務価値に関する企業の経営戦略策定を科学的に支援するために、人間社会と地球環境影響の未来を科学的に予測する手法の確立をめざしています。具体的にはESGインテリジェンス科学手法、企業Well-being評価手法ならびにESG未来予測手法の各研究に取り組んでいます(図3)。

■ESGインテリジェンス科学手法

政治・経済・社会・技術・環境(PEST+E)に関するグローバルな情報をAI(人工知能)、テキストマイニング技術等を用いて収集し、ESGに関する経営戦略の立案に資する情報として科学的に分析しています。例えば、世界各国の脱炭素への最新の取り組みや、ウクライナ情勢に起因したエネルギー危機を踏まえ、カーボンニュートラルとエネルギーに関する事業戦略

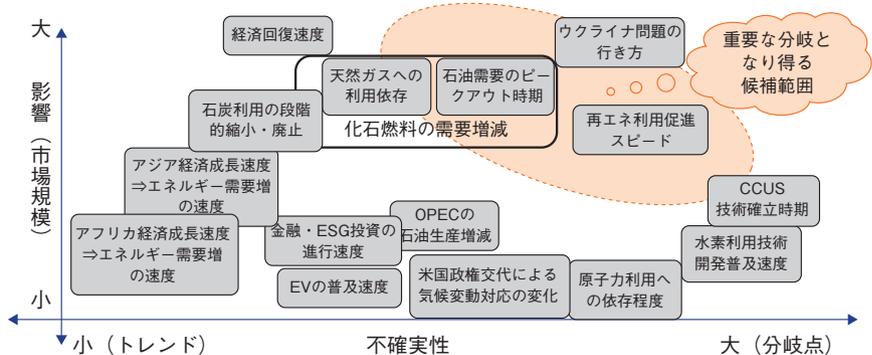


図4 従来手法による要因分析

立案に必要な情報収集・分析に取り組んでいます。考えられる複数の未来シナリオを作成するために、収集した情報を基に、重要な影響要因を抽出して、未来シナリオ作成における分岐点として設定します。従来手法による手動分析の一例を図4に示します。前述の一連の分析過程にAIテキストマイニング技術を適用し、従来手法と同じ情報源に対して、収集した情報の文章中における単語の出現頻度や係り受け関係などの分析によって、手動によるバイアスを排除し分岐点を客観的に抽出できるように、情報収集分析の自動

化を検討しています。

■企業Well-being評価手法

NTTでは、持続可能な社会の実現に向けたICTの貢献度を評価するために、地球環境、社会、経済への影響の観点からICTサービス・ソリューションによる負荷と便益を定量的に評価する社会うらおい指標(Gross Social Feel-good Index: GSF指標)を研究してきました⁽²⁾(図5)。企業Well-being評価手法ではGSF指標を発展させ、地球環境と人間社会の持続可能性を社会や企業のWell-beingとして定量的に評価する手法の確立をめざし

ています。企業Well-being評価手法は、人々が望むWell-beingな社会の実現に向けた企業の貢献について、特にESGのような非財務価値をさまざまなステークホルダーの側面から評価する新しい評価手法の研究です。2021年度から京都大学との共同研究において、企業アンケートから得られた知見に基づいて優先課題を抽出し、企業における社員満足に関する定量評価に取り組んでいます。

■ ESG未来予測手法

ESG未来予測手法では、ESGインテリジェンス科学手法で得られる分岐点を利用し、ESGに関する1つの経営戦略を実行した場合の結果を、起こり得る複数の未来として定量的に予測するための科学的予測モデル群の確立をめざしています。定量予測モデル群は、産業連関分析手法⁽³⁾を用いて、国のようなマクロレベルの経済・社会・環境変化を予測するマクロ経済モデル、地球環境影響に関連する個人の行動変容を予測するミクロ社会モデルなどにより構成されます。これらのモデルを組み合わせることにより、人間では予測できない社会情勢の変化を踏まえて起こり得る複数の未来において、企業がESGに関する経営戦略を実施する際のリスクと効果を予測します。さらに、定量予測した結果をシナリオとしてアウトプットするとともに、企業のWell-being評価手法を用いて予測結果を評価し、企業ならびに社会全体にとってより良い未来を導くことのできるESGに関する経営戦略の立案に役立てることをめざします。

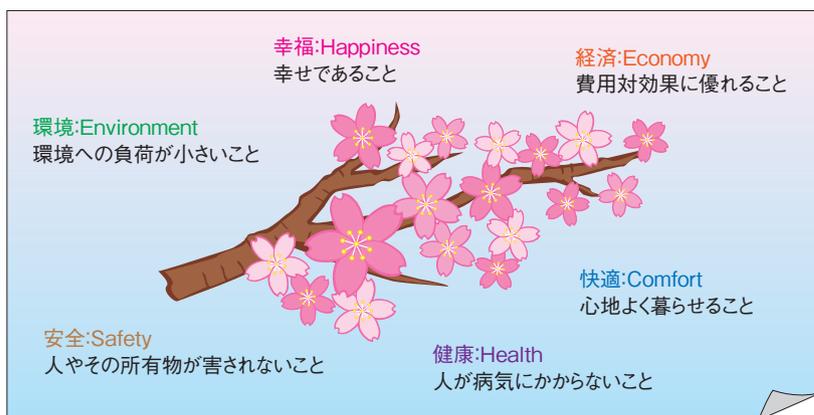


図5 社会うるおい指標の概要

今後の展開

本稿では、地球環境未来予測技術とESG経営科学技術を紹介しました。地球環境未来予測技術においては、超広域観測結果を活用し、地球の物理的、生物・化学的過程のモデル化を行い、地球の再生過程をシミュレーションする技術の確立をめざし、ESG経営科学技術においては、人間社会と環境影響の未来を予測する技術の確立をめざして研究を推進していきます。将来的には、これら2つの技術をデジタルツインコンピューティング(DTC)⁽⁴⁾技術を活用して連成させ、さらには地球環境未来予測シミュレーション基盤上に実装することによって、地球環境と人間活動の相互の影響を加味した未来予測を可能とし、プロアクティブに社会・自然環境の変化に適応していくことをめざしていきます。

■参考文献

- (1) 加藤：“安心・安全に暮らすためのプロアクティブ環境適応技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.33, No.4, pp.31-34, 2021.
- (2) 飯橋・津田・中村：“ICTサービスの環境影響評価と社会うるおい指標,” NTT技術ジャーナル, Vol.21, No.8, pp.32-36, 2009.

- (3) https://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/bunseki.htm
- (4) 中村：“デジタルツインコンピューティング構想,” NTT技術ジャーナル, Vol.32, No.7, pp.6-11, 2020.



(左から) 小山 晃 / 張 曉曦 / 久田 正樹 / 原 美永子

将来に向けてしなやかな社会の実現をめざし、私たちはさまざまなモデリング・シミュレーション技術を用いて地球環境および人間社会の未来予測研究を進めています。

◆問い合わせ先

NTT宇宙環境エネルギー研究所
企画担当
TEL 0422-59-7203
E-mail se-kensui-pb@hco.ntt.co.jp

極端自然現象下においても 安心・安全な社会生活を実現する プロアクティブ環境適応技術

NTT宇宙環境エネルギー研究所では、地上さらには宇宙においても人類が安心・安全に暮らせるように、極端な自然現象に対してプロアクティブに適応できる技術の創出に取り組んでいます。これまでに、落雷や宇宙放射線から通信装置を守る技術を開発してきました。本稿では、培った技術を応用しつつ、従来の対策を根本から変える落雷制御・充電技術と宇宙放射線バリア技術について紹介します。

いけだ 池田	たかし 高志	まるやま 丸山	まさと 雅人
いわした 岩下	ひでのり 秀徳	ますだ 栞田	としひさ 俊久
ながお 長尾	あつし 篤	いしやま 石山	ふみひこ 文彦
ひろしま 広島	よしはる 芳春	きうち 木内	りゅう 笠

NTT宇宙環境エネルギー研究所

はじめに

NTTでは、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)の創造に向けて、革新的な研究開発を推進していますが、そのような社会においては、1つの装置の障害が波及し、社会生活へ大きく影響を及ぼすおそれがあります。そのため、災害等のあらゆる現象が起きたときでも、インフラや重要システムを安定して動かし続けることはこれまでに以上に重要となってきており、昨今の技術革新によって、ドローンや衛星通信などを活用した通信の確保や早期復旧を行う取り組みも、その対応として進められています。

NTT宇宙環境エネルギー研究所では、現在、雷と宇宙放射線を自然現象のターゲットとして、人類の安心・安全な生活の実現に向けて研究開発に取り組んでいます。

落雷制御・充電技術

落雷は人類社会に大きな被害をもた

らす自然現象の1つです。落雷のメカニズムや、落雷被害を防止するための対策技術については、これまで数100年にわたって研究され、重要インフラにはさまざまな落雷対策が施されています。しかし、現代においても落雷被害はなくなっておらず、その被害額は国内だけでも毎年1000億円以上と推定されています。スマートな社会を実現するうえで、雷害防止は大きな課題といえます。そこで私たちは、これまで培ってきた通信設備を雷から守る技

術を大きく発展させ、ドローンを利用して落雷を捕捉して所望の場所に誘導したり、人や設備のない安全な場所に意図的に落雷させることで、人や重要インフラへの落雷を防止する技術の研究しています。さらには、誘導した落雷のエネルギーを蓄積・活用する技術にも取り組んでいます(図1)。

このようなシステムを実現するためのキーデバイスが、落雷を受けても故障しないドローン、通称耐雷ドローンです(図2)。ファラデーケージと呼

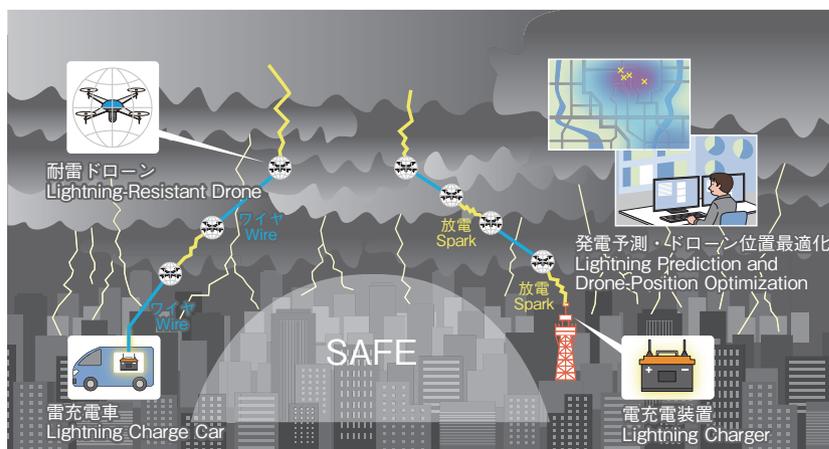


図1 ドローンを用いた落雷制御・充電システムのイメージ

ばれる金属製のシールドによって、雷電流や、雷電流によって発生する磁界からドローン本体を守ります。人工雷発生装置を用いた実験により、平均的な雷の5倍、120 kAの落雷にも耐えることを確認しました。また、ファラデーケージには雷に対する防護性能とともに、強風の中を安定して飛行できる軽量性が要求されます。相反する性能を追求し、さまざまなシミュレーション、実験を重ね、防護性能と軽量性をより高いレベルで併せ持つファラデーケージを開発中です。

この耐雷ドローンが自然の落雷にも耐えられることを実証するため、岐阜大学工学部と共同で、2021年12月より、冬季に雷雲が頻発する石川県内灘町の海岸にて、ドローンを利用して意図的に落雷を誘発する世界初の実験を開始しました(図3)。雷雲下にドローンを飛行させ、雷雲による電界が高まったタイミングで、ドローンから導電性のワイヤを投下します。これにより、ワイヤ下端付近の電界が急激に高

まり、まずワイヤ下端と大地(海面)との間で放電が発生します(図3①)。この放電でワイヤと大地が接地されることにより、今度はドローン上部の電界が急上昇します。これによりドローン上部から雲に向かう放電が発生し(図3②)、落雷に至ると想定されます。

昨冬の実験では、残念ながら落雷発生には至りませんでした。誘雷プロセスの一部であるワイヤ下端と大地間の放電が確認できました。また、雷雲下の風速20 m/s超の強風中において、開発した耐雷ドローンが安定して飛行できることも確認できました(図4)。2021年度に得られたデータを基に実験

システムを改良のうえ、2022年の冬に再度実験を実施し、誘雷成功をめざします。

このような検討と並行して、誘雷の成功率向上に不可欠な落雷予測技術について、北海道大学と共同研究を進めています。同大学の持つ「気象雷モデル」⁽¹⁾を応用し、数日後の気象状況とそれに伴う雲内電荷の発生・拡散をシミュレートすることで、落雷発生エリア予測の高精度化に加えて、落雷数についても正確に予測する技術を研究しています。さらには、落雷エネルギーの充電・活用についても検討を進めています。落雷は数msという短時間に



図2 開発中の耐雷ドローン



図4 雷雲下で飛行するドローン

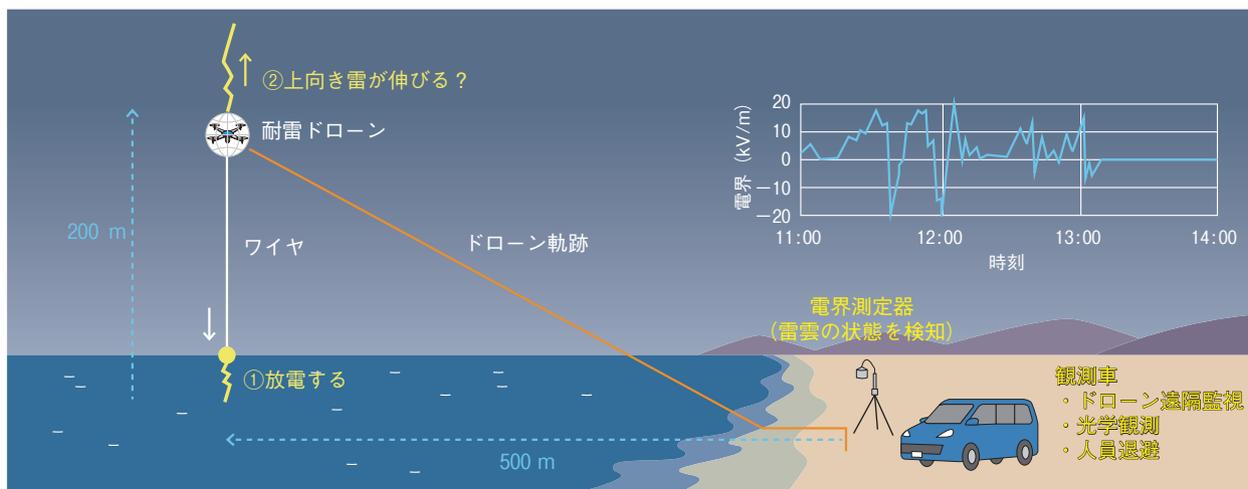


図3 落雷誘発実験のイメージ

最大で数100 kAという大電流が流れる現象であることから、直接バッテリー等に充電することが困難です。そこで、落雷の電気エネルギーを運動エネルギーや圧力エネルギーなどに変換して高効率に蓄積する革新的な方法を生み出すべく研究を進めています。落雷制御・充電という人類の夢に向かって、着実に前進しています。

宇宙放射線バリア技術

GPS (Global Positioning System) などの測位衛星や通信衛星といった宇宙インフラ、そして、宇宙探査や宇宙旅行など、今後人類が発展していくためには、宇宙への進出が鍵となってきています。近年では、特に宇宙技術開発が成熟し、従来の政府主導 (Old Space) から、「New Space」と呼ばれる民間企業主導の時代へと変わりつつあります。NTTでも宇宙を活用することで、スマートな社会に向けて、盤石な社会インフラを実現する「宇宙データセンタ」⁽²⁾を利用したサービスの全世界展開をめざしています。このように、宇宙開発は現代社会の発展には魅力のある領域でしたが、宇宙の活用には難しい課題も多くあります。

その課題の1つが、宇宙環境特有の強力な宇宙放射線です。宇宙には、太陽や太陽系外の銀河から飛来する宇宙放射線が飛び交っており、人体や電子機器に悪影響を及ぼします。また、特に11年周期で活発化する太陽活動も、電子機器を多用した近年の社会インフラに対しては大きな懸念となります。私たちは、これまでに、地上の電子機器に対して影響を及ぼす宇宙線起因中

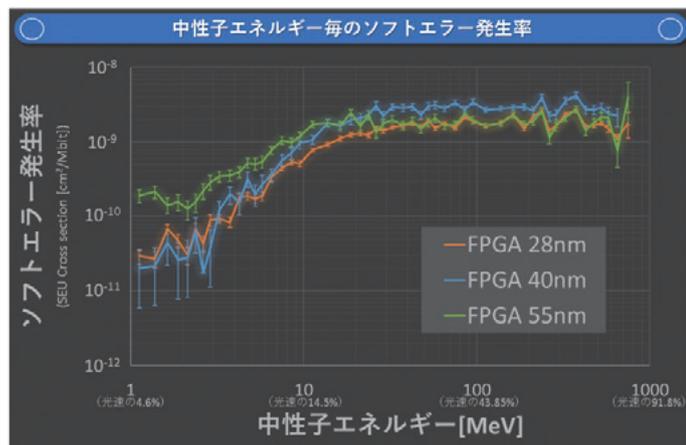


図5 世界で初めて測定した宇宙線起因中性子エネルギーごとのソフトウェア発生率

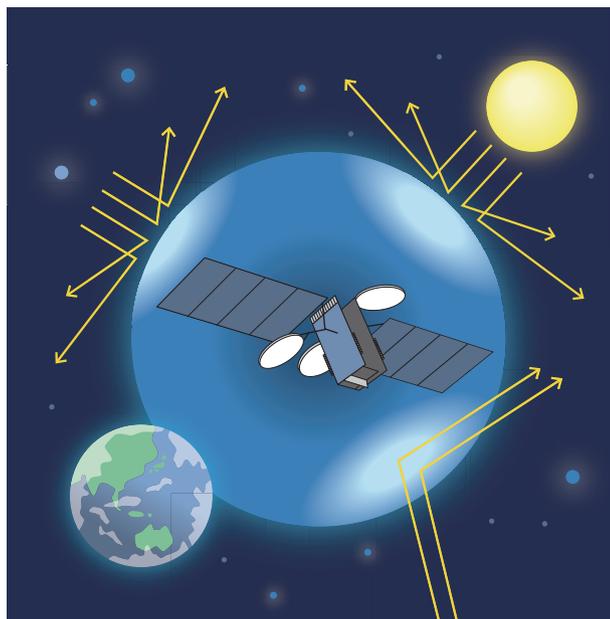


図6 宇宙放射線バリア

性子エネルギーごとのソフトウェア発生率に関して、世界初の測定手法⁽³⁾を確立してきました(図5)。

同時に、対策の国際標準化⁽⁴⁾や、試験サービスの商用化⁽⁵⁾も成し遂げました。そこで、私たちは、これらの成果を宇宙へ応用することで、人類の宇宙

空間利用を促進し、盤石な社会インフラを容易に実現する「宇宙放射線バリア」の開発に取り組んでいます(図6)。宇宙放射線は陽子を主体とした荷電粒子なので、磁場によって粒子軌道が変化します。地球では、地磁気が宇宙放射線から守るバリアの役割を果

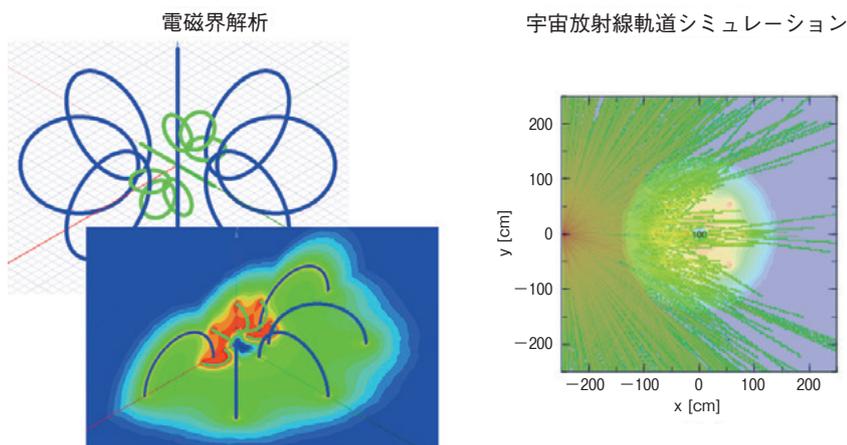


図7 宇宙放射線バリアの電磁界解析および宇宙放射線軌道シミュレーション

たしています。この原理を応用して、人工衛星や宇宙ステーション、月面基地をバリアで包めば、宇宙放射線のリスクを減らすことが可能になります。現在、電磁界解析および粒子輸送シミュレーションを組み合わせ、発生した磁界による宇宙放射線の軌道の変化を計算し、その効果を検証しています(図7)。

宇宙放射線はさまざまな運動エネルギーを持っているため、そのエネルギーによる宇宙放射線の軌跡の変化とその宇宙放射線が与える影響の把握が重要となってきます。すでに私たちは、測定が難しかった宇宙線起因中性子エネルギー依存の半導体への影響を実測しています。さらに、陽子や重粒子などその他の宇宙放射線のエネルギー依存のデータを測定することで、その効果の評価がより高精度に可能となると考えています。また、宇宙放射線を人為的に生成できる加速器を用いて実験とシミュレーションを繰り返し、効果的な宇宙放射線バリアの開発を行っています。

本研究により、高信頼な宇宙データセンタを構築することが可能となるばかりか、宇宙での長期滞在も可能となり、有人惑星探査や月面基地も夢ではなくなります。また、宇宙線中性子の半導体影響のデータを用いることにより、中性子遮蔽材の設計や、半導体の材料レベルの対策など、地上における社会インフラや医療や研究で用いられている加速器施設の電子機器を守ることが可能となります。

おわりに

本稿では、落雷制御・充電技術と宇宙放射線バリア技術を紹介しました。落雷制御・充電技術は、世界中で絶えず発生している落雷による被害をなくし、最終的には雷雲エネルギーを吸収することで、落雷自体をなくすことをめざしています。また、宇宙放射線バリア技術は、宇宙で飛び交っている宇宙放射線による影響をなくし、将来的には人類が宇宙にて安心・安全で自由に居住し活動できる世界の実現をめざしています。

今後、雷と宇宙放射線以外の自然現象に対しても、プロアクティブな対応を実現する研究開発に取り組んでいきます。

参考文献

- (1) <https://www.hokudai.ac.jp/news/2021/09/post-898.html>
- (2) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/04/26/220426a.html>
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/11/25/201125a.html>
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2018/11/22/181122a.html>
- (5) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2016/12/19/161219a.html>

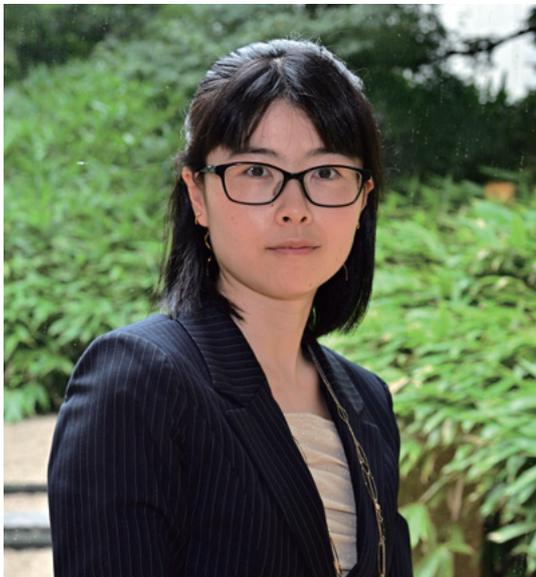


(後列左から) 丸山 雅人 / 柘田 俊久 / 長尾 篤 / 岩下 秀徳 / 木内 笠
(前列左から) 石山 文彦 / 池田 高志 / 広島 芳春

ドローンによる落雷制御をはじめとした気象制御から、地球の生活をそのまま宇宙に移植するための宇宙放射線バリアまでを駆使し、まだ見ぬ地球の未来をかたちにしていきます。

◆問い合わせ先

NTT宇宙環境エネルギー研究所
企画担当
TEL 0422-59-7203
E-mail se-kensui-pb@hco.ntt.co.jp



主役登場

行動変容を軸とした 未来予測技術の実現をめざして

篠塚 真智子

NTT宇宙環境エネルギー研究所
研究員

新型コロナウイルス感染症によるパンデミック、ロシアによるウクライナ侵攻など、これまで予測できなかったような問題が顕在化し、企業活動や私たちの生活にも影響を及ぼしています。企業は従来の利益追求型の体質から転換し、地球環境・社会問題にも取り組むことが求められており、サステナビリティ経営の重要性が高まっています。NTTグループでは環境エネルギービジョンにおいて環境負荷ゼロと経済成長の同時実現を掲げています。今回の特集で紹介しているNTT宇宙環境エネルギー研究所の取り組みは、環境エネルギービジョンの実現に直結する研究です。

私の所属するESG経営科学技術グループでは、このような社会の変化に対して企業がとるべきESGに関する経営戦略の立案に資するため、人間社会と地球環境影響についての未来予測シミュレーションに取り組んでいます。企業の経営戦略はこれまで、専門家の知見や経験に基づいて策定されるのが一般的でしたが、将来起こり得る社会の変化（災害、景気の変動などのイベントや新技術の発展）と、それらの影響に関する複数のシナリオを科学的な根拠に基づいて体系的に描けるようにすることが目標です。議論が定性的になりがちな、複雑な物事の関係性を体系化する点に難しさ、技術的な要素があります。複雑な社会構造をモデル化し、あらゆる事象を仮想空間上でシミュレーションした結果を実社会にフィードバックすること、例えば企業にとっての長期的なリスクと機会に対応するための意思決定を支援することをめざしています。

その中で私は、人や組織の行動に着目した環境・社会モデルの構築、人間の行動変容を予測するシミュレーション技術に取り組んでいます。人や組織の動きは時間とともに変化するうえに不確実性が高いため、将来起こり得る社会の変化の影響を考えるにあたり重要な要素の一つです。私自身は一見非合理と表現されるような面も含めた個人や集団の心理的な行動と、マクロな社会との相互作用に関心を持ち、入社以来、行動変容を軸としてライフサイクルアセスメントをはじめとした環境・社会影響評価技術を研究してきました。最近の研究では、エージェントベースモデルを応用しコロナ禍でのテレワーク実施率の予測モデルを構築しました。労働者と企業、感染者数や行動制限などのマクロな社会状況との関係性を構造化し、過去の類似事象発生後の統計データを援用することで、人々の感情の変化を表現し、実社会の傾向を再現することができました。

今後は事例を蓄積しながらさまざまな事象の共通性を見出し、個人、企業と社会状況の関係を汎用的に記述できるモデルを構築したいと考えています。そのためにはこれまで培ってきた環境・社会影響評価技術に加え、数理モデルや経営学、さらには人文科学といった幅広い分野の知見が必要になるため、社内外と連携し研究を加速していきます。地球環境や社会の不確実性が増していく未来を予測しあるべき姿への道筋を描くことで、NTTグループの環境エネルギービジョンの実現を支えるとともに、変化に対応しながら人々が豊かに暮らせるしなやかな社会の実現に貢献したいと考えています。

特集

3GPP Release 17 標準化活動

5G(第5世代移動通信システム)技術は、
さまざまな産業の発展や多岐にわたる社会課題の解決を支える重要な要素として考えられており、
その中でも特定のユースケース・サービスの実現に資する無線アクセスネットワークや
コアネットワークの技術の検討が進められてきた。
本特集では、NTTドコモの3GPP(3rd Generation Partnership Project)
Release 17標準化活動について紹介する。

3GPP

Release 17

産業連携

高速大容量

確定性通信

3rd Generation Partnership

3GPP Release 17における産業創出・ソリューション協創向け高度化技術 ————— 34

産業連携を主なターゲットとした各種ソリューションについて、3GPP Release 17の検討背景および実現のための無線関連の要素技術を紹介する。

3GPP Release 17におけるモバイルブロードバンド向け高度化技術 ————— 38

3GPP Release 17 NR (New Radio) 仕様の高速・大容量化、カバレッジ拡大、端末消費電力削減向けの主要機能について紹介する。

3GPP Release 16および17における 確定性通信の実現に向けた高度化技術 ————— 43

3GPP Release 16およびRelease 17で規定されている確定性通信、および時刻同期をサポートする5GSの手順の概要について紹介する。

Project Release 17

3GPP Release 17における産業創出・ソリューション協創向け高度化技術

近年、スマートファクトリーなど、移动通信業界にとどまらないさまざまな産業分野において、5G技術の活用が想定されています。3GPP Release 17 (Rel-17) では、Rel-16と比較してさらに幅広いユースケースおよび高度なソリューションをターゲットとした仕様化が行われました。本稿では、3GPP Rel-17における産業創出・ソリューション協創に資する無線アクセス仕様を解説します。

くまがい 熊谷	しんや 慎也	たかはし 高橋	ゆうき 優元
よしおか 吉岡	しょうへい 翔平	いのうえ 井上	しょうき 翔貴
びん 閔	てんよう 天楊	おかむら 岡村	まさや 真哉

NTTドコモ

はじめに

第5世代移动通信システム(5G)技術は、さまざまな産業の発展や多岐にわたる社会課題の解決を支える重要な要素として考えられており、その中でも特定のユースケース・サービスの実現に資する無線アクセスネットワーク技術の検討が進められてきました。3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release 17 (Rel-17) では、Rel-16において想定された産業連携領域に向けた無線技術のさらなる高度化、および産業連携領域を拡大する技術の仕様化が行われました。

本稿では、産業連携を主なターゲットとした各種ソリューション(産業連携ソリューション)について、3GPP Rel-17の検討背景および実現のための無線関連の要素技術を解説します。

産業連携ソリューションの検討背景

3GPP Rel-17に関連する産業連携

* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.3, 2022年10月)に掲載された内容を編集したものです。

ソリューションとその背景、および技術要件について紹介します。

■スマートファクトリー

産業連携ソリューションの1つであるスマートファクトリーでは、高信頼・低遅延な無線ネットワークを通じて工場内のあらゆる機器が相互に接続して自動制御などが行われます。Rel-16においてこれを実現するための要素技術がすでに仕様化されましたが⁽¹⁾、さらなる高信頼化・低遅延化を目的としてRel-17においても引き続きスマートファクトリーが検討の対象とされました。

例えば、工場モーション制御自動化^{*1}についてはRel-16およびRel-17において「20 bytesのパケットを、2 ms以下の遅延かつ99.9999%以上の信頼度で送信すること」を目標値としています。また、確定性通信^{*2}のための時刻同期精度として「1 μs以下」を目標値としています。加えて、スマートファクトリーの実現のためには機器の正確な位置情報をリアルタイムに取得することが求められます⁽²⁾。しかしながら、屋内においてはGNSS (Global Navigation Satellite

System)^{*3}信号の受信が難しいことから、RAT (Radio Access Technology)^{*4}信号を用いた高精度測位と低遅延測位の実現が要求され、水平誤差0.2 m未満・垂直誤差1 m未満の測位精度と、エンド・ツー・エンドで100 ms未満の測位遅延をターゲットに仕様化されました。またAGV (Automated Guided Vehicle)^{*5}のように安全性を求められるケースにおいては、位置測位の信頼性が確保できていることを確認するために、位置測位に対するインテグリティが仕様化されました。

■IoT

これまでのセルラ通信では、スマー

- *1 工場モーション制御自動化：工場内で生産マシンの動作(移動や回転など)を所定の周期で厳格にコントロールする自動制御システムのこと。例えば、大型印刷マシンやパッケージングマシンにこのモーション自動制御システムが組み込まれています。
- *2 確定性通信：許容遅延時間内にデータ到達を保証する通信のこと。
- *3 GNSS：GPSや準天頂衛星などの衛星測位システムの総称。
- *4 RAT：NR, LTE, 3G, GSM, Wi-Fiなどの無線アクセス技術のこと。
- *5 AGV：無人搬送機。移動型ロボットの一種で、自動操縦で工場や倉庫において商品や材料などを搬送することができます。

トフォンや産業用などの高機能端末、およびセンサなどのIoT (Internet of Things) 端末を対象とした無線規格が仕様化されてきました。IoT 端末のうちハイエンドIoT 端末に対してはモバイルブロードバンドの高度化 (eMBB: enhanced Mobile BroadBand) や高信頼・低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communications) にかかわる無線仕様が用いられ、ローエンドIoT 端末については、NB (NarrowBand) -IoT^{*6} や eMTC (enhanced Machine Type Communication)^{*7} といったLTE-IoT 規格が収容します。一方で、これらの無線仕様やLTE-IoT 規格などは、

ハイエンドIoT 端末とローエンドIoT 端末との間を補完するミドルレンジIoT 端末、例えば産業向け無線センサ、監視カメラ、ウェアラブル端末には最適化されておらず、ミドルレンジIoT 端末に適した無線規格の検討が進められました (図1)。それぞれのユースケースに対する要求条件を図2に示します。

■空中・海上・山間部などの新カバレッジ

多様な産業連携ソリューションの実現のために、これまでモバイルネットワークによってカバーされていないエリア、例えば空中・海上・山間部などあらゆる場所へ5Gネットワークを拡張することが望まれています。一方

で、従来の地上基地局でこれを実現することはコスト観点から非常に難しく、災害に対する堅牢性の課題も存在します。そこで5Gネットワークの領域拡大に向けて非地上ネットワーク (NTN: Non-Terrestrial Network)^{*8} が注目を集めており (図3)、衛星通信業界から多数の企業が3GPPに参加して議論が進められてきました。この5Gネットワーク拡張によりモバイルブロードバンド通信や放送サービス、安全・防災 (Public safety) サービスなどを、移動時や災害時を含めて常に提供することが可能になります。NTNの具体的な対象ユースケースは、文献(3)にまとめられており、図4に示すとおり大きく4つに分類することができます。

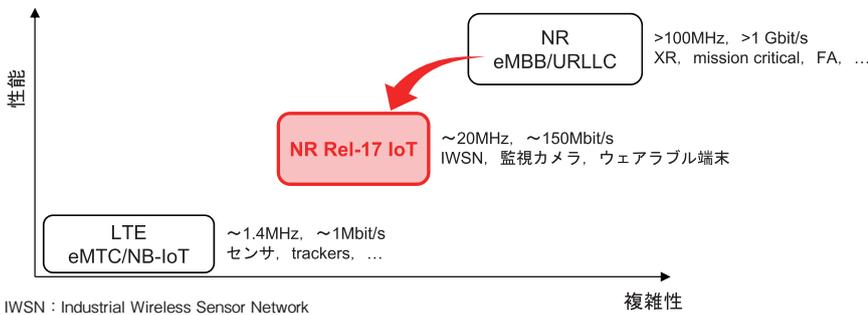


図1 Rel-17 IoTの位置付け

- *6 NB-IoT: eMTCよりもさらに狭い周波数帯を用いてIoT (センサなど) 向けに低速データ通信を行う端末用LTE通信仕様。
- *7 eMTC: 狭い周波数帯を用いてIoT (センサなど) 向けに低速データ通信を行う端末用LTE通信仕様。
- *8 非地上ネットワーク (NTN): 衛星やHAPSなどの非地上系媒体を利用して、通信エリアが地上に限定されず、空・海・宇宙などのあらゆる場所に拡張されたネットワーク。

	産業向け無線センサ	監視カメラ	ウェアラブル
端末コスト/複雑性	Rel-15/16 ハイエンドeMBB/URLLC 端末以下		
端末サイズ	コンパクト		
設置シナリオ	FR1: 410~7,125MHz, FR2: 24,250~52,600MHz, FDD/TDD全バンド対応		
信頼性	99.99%	99~99.9%	—
遅延	<100ms 5~10ms (Safety-related)	<500ms	—
データレート	<2Mbit/s	2~4Mbit/s (economic) 7.5~25Mbit/s (high-end)	DL: 5~50Mbit/s, UL: 2~5Mbit/s (reference) DL: Up to 150Mbit/s, UL: Up to 50Mbit/s (Peak)
電池寿命	数年以上	—	最大1~2週間

図2 Rel-17 IoTの対象ユースケースと要求条件

産業連携ソリューションを実現する要素技術

前述した3つの産業連携ソリューションや、これらにとどまらないさまざまな産業連携ソリューションの実現に向けて、Rel-17では以下の無線技術の検討および仕様がされました。URLLC/TSN (Time Sensitive Network)*9/Positioning*10/RAN (Radio Access Network)*11Slicingをスマートファクトリーに、RedCap (Reduced Capability) をIoTに、NTNを空中・海上・山間部などの新カバレッジに、それぞれ適用することが期待されます。それ

ぞれの要素技術において行われた技術拡張を以下に列挙します。

■ URLLC

URLLCについては、下記の技術拡張が行われました。

- ① 低遅延通信のための技術拡張：上りリンクを送信するセルの動的切り替え等を仕様化
- ② システム利用効率向上のための技術拡張：フィードバックの送信タイミングの延期等フィードバック機能の拡張機能を仕様化
- ③ 通信の信頼性を向上させる技術拡張：端末が報告する高粒度のチャネル品質指標等を仕様化
- ④ eMBBの高信頼・低遅延化の

ための技術拡張：eMBB通信とURLLC通信の同時送信を仕様化

⑤ アンライセンスバンド*12におけるURLLC機能の技術拡張：特に上りリンク機能をアンライセンスバンド向けに最適化することでさらなる遅延の低減を実現

■ TSN

TSNについては、下記の技術拡張

- *9 TSN：時刻を厳密に取り扱うネットワークのこと。
- *10 Positioning：位置測定のこと。
- *11 RAN：コアネットワークと端末の間に位置する、無線基地局および無線回線制御装置などで構成されるネットワーク。
- *12 アンライセンスバンド：行政による免許割当てが不要で、特定の通信事業者に限定されずに使用可能な周波数帯。

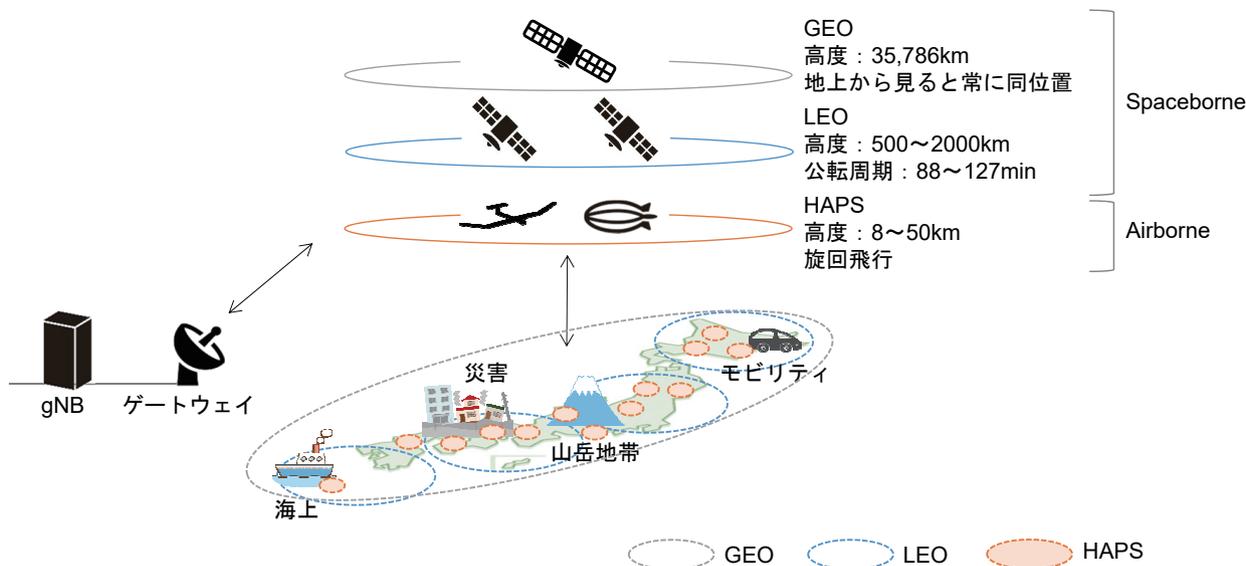


図3 NTN概要

カテゴリ	Deployment/Coverage	Availability	Multicast/Broadcast	Public safety
ユースケース	<ul style="list-style-type: none"> • Hot spot on demand • Multi connectivity • Fixed cell connectivity • Mobile cell connectivity • Trunking 	<ul style="list-style-type: none"> • Network resilience • Mobile cell hybrid connectivity 	<ul style="list-style-type: none"> • Edge network delivery • Direct to node broadcast • Direct to mobile broadcast 	<ul style="list-style-type: none"> • Wide/Local/Regional area public safety

図4 NR NTNのユースケース

が行われました。

- ① 高精度時刻同期：端末と基地局間の伝搬遅延による同期誤差を補償し、セル半径が大きい場合でも高精度同期を実現
- ② TSNトラフィックに基づく信頼性向上技術：無線品質が悪化する際に端末が自律的にデータを複製して送信することで冗長性を高め、高信頼性を実現

■ Positioning

Positioningについては、下記の技術拡張が行われました。

- ① 測位精度向上技術：測定時間誤差補償、直接波検出、測定伝搬路数拡張、補助情報拡張によって、測位精度向上を実現
- ② 測位低遅延化技術：MGの事前設定、MG-lessの測位、RRC_INACTIVE状態の測位、on-demand DL-PRSによって、測位低遅延化を実現
- ③ インテグリティ：GNSSベース測位を対象に、取得した位置情報の信頼性を計る指標を仕様化

■ RAN Slicing

RAN Slicingについては、下記の技術拡張が行われました。

- ① スライスを意識したセル再選択：スライスを意識したセル再選択のための補助情報をUEへ通知する機能を仕様化
- ② スliceを考慮したRACH (Random Access Channel) の優先制御：高優先スライス専用のRACHパラメータやリソースを導入し、高優先スライスのRACH優先制御を実現

■ RedCap

RedCapについては、下記の技術拡張が行われました。

- ① 無線機能の簡易化：端末がサポートする最大帯域幅、受信ブラ

ンチ数、変調多値数、複信方式を簡易化し、端末コストの削減を実現

- ② 端末省電力機能：待受け中の受信周期の拡張、隣接セルの無線品質測定の緩和によって、端末の消費電力削減を実現
- ③ カバレッジ拡大機能：任意の端末を対象に上りリンクチャネルのカバレッジ拡大機能を仕様化⁽⁴⁾

■ NTN

NTNについては、下記の技術拡張が行われました。

- ① 時間同期：衛星・飛行体の軌跡情報を利用して上りリンク送信タイミングを決定し、大きな伝搬遅延の補償を実現
- ② スケジューリング・HARQ：並列処理数の拡張、フィードバック機能の無効化等によって、スケジューリング機能をNTN向けに最適化
- ③ Mobility：端末とセルとの距離やセルカバレッジ有効時間をセル遷移のトリガに追加し、Mobilityの性能向上を実現

それぞれの技術詳細については、NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル2022年10月号をご覧ください。

おわりに

本稿では、Rel-17で規定された産業連携ソリューション向け無線技術について解説しました。Rel-18においてもRedCap/NTNの拡張技術や、仮想現実 (VR: Virtual Reality)・拡張現実 (AR: Augmented Reality) といったXR (eXtended Reality) 向け技術の検討が進められており、さらなる産業創出・ソリューション協創をめざした仕様化が見込まれます。NTTドコモは引き続き5Gのさらなる発展に貢献していきます。

■参考文献

- (1) 青柳・巳之口・原田・関・高橋・吉岡：“産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.28, No.3, pp.65-81, Oct. 2020.
- (2) 3GPP TS22.261 V17.10.0: “Service requirements for the 5G system,” March 2022.
- (3) 3GPP TR38.811 V15.4.0: “Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks,” Oct. 2020.
- (4) 松村・芝池・栗田・小原・小熊・渡邊・大川・高宮：“3GPP Release 17におけるモバイルブロードバンド向け高度化技術,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.30, No.3, pp.78-100, Oct. 2022.



(上段左から) 熊谷 慎也/ 高橋 優元/
吉岡 翔平
(下段左から) 井上 翔貴/ 関 天揚/
岡村 真哉

NTTドコモは、産業連携ソリューションのさらなる高度化・多様化を実現する無線ネットワーク技術を検討・仕様化し、社会課題を解決して生活を豊かにするサービスの実現に貢献していきます。

◆問い合わせ先

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

3GPP Release 17における モバイルブロードバンド向け高度化技術

2020年3月、NTTドコモは3GPP Release 15 (Rel-15) 仕様を用いた5G通信サービスを開始しました。5G通信サービスは今後の普及拡大に伴い、さらなる無線通信ネットワークの高速大容量化が求められます。このため、3GPPにおいて、Rel-15/Rel-16仕様を機能拡張・高性能化するRel-17仕様が2022年6月に策定されました。本稿では、Rel-17における高速大容量化技術の無線アクセス仕様を解説します。

まつむら 松村	ゆうき 祐輝	しばいけ 芝池	なおや 尚哉
くりた 栗田	だいすけ 大輔	おはら 小原	ともや 知也
おくま 小熊	ゆうた 優太	わたなべ 渡邊	そうき 壮輝
おおかわ 大川	りき 立樹	たかみや 高宮	こうたろう 康太郎

NTTドコモ

はじめに

2020年3月、NTTドコモは3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release 15 (Rel-15) 仕様で策定されたNR (New Radio)*¹を用いた5G通信サービスを開始しました。Rel-15仕様は、高速・大容量という特長を持ち、これによりさまざまな5G通信サービスが可能となりましたが、今後の5G通信サービスの普及拡大に伴い、さらなる無線通信ネットワークの高速・大容量化が求められています。これを踏まえ、3GPPにおいて、Rel-15/Rel-16仕様の機能を拡張・高性能化するRel-17仕様が、2022年6月に策定されました。

高速・大容量化

■ MIMO 高度化

- (1) 異なるセルIDのTRP (Transmission and Reception

* 本特集は「NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.3, 2022年10月)に掲載された内容を編集したものです。

Point)*²間のMulti-TRP
Rel-15では、下りリンクデータ共有チャネル (PDSCH: Physical Downlink Shared CHannel)*³において、基地局側は1つの送受信点を用いる、最大8 MIMO (Multi Input Multi Output) レイヤ*⁴のシングルユーザMIMO*⁵がサポートされました。Rel-16では、基地局側が同一の物理セルID (PCI: Physical Cell Identifier)*⁶の2つのTRPを協調し、最大8 MIMOレイヤのPDSCHを分散MIMO*⁷ (Multi-TRP) 送信する機能が仕様化されました。分散MIMO送信により、相関の低い無線伝搬経路数を増加させ、より高次ランクのMIMO送信を適用可能にし、システム容量およびユーザスループットを改善できます。しかしながら、実環境のFR2 (Frequency Range 2)*⁸運用を想定すると、Rel-16のMulti-TRP技術には課題がありました。

Rel-15においては、1つのセル当たり最大64個のSSB (Synchronization Signals/physical broadcast

channel Block)*⁹が仕様化されており、基地局は、最大64個のSSBビームによってそれぞれカバーされるエリアが互いに重複しないようにSSBを

- *1 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帯や4.5 GHz帯、28 GHz帯) などを活用した通信の高速・大容量化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信を可能にします。
- *2 TRP: 基地局において、1つの場所に設置された、1つまたは複数の送受信アンテナポートの集合。1つの場所に設置された送受信アンテナポートのみを用いる基地局構成をシングルTRPと呼び、複数の場所に設置された送受信アンテナを用いる基地局構成をマルチTRPと呼びます。
- *3 下りリンクデータ共有チャネル (PDSCH): ユーザデータや上位レイヤからの制御情報を送信するための物理チャネル。
- *4 MIMOレイヤ: MIMOにおける空間ストリーム。
- *5 シングルユーザMIMO: 同一時間周波数において、単一ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。
- *6 物理セルID (PCI): 物理的なセル識別子。NRでは、1008通りのPCIが繰り返し利用されます。
- *7 分散MIMO: 場所の離れた複数の基地局送受信アンテナポートを用いて異なるMIMOストリームを1つのUEに送信してMIMO伝送を行う技術。
- *8 FR2: 24.25~52.6 GHzの周波数帯域。
- *9 SSB: 基地局が定期的に送信する、通信に必要なセルの周波数と受信タイミングなどの検出を行うための同期信号および主要無線パラメータを通知する報知チャネル。

送信することで、セルのカバレッジを最大化できます(図①)。しかしながら、Rel-16 Multi-TRP機能を使うためには、基地局は、各TRPのSSBビームがカバーするエリアがそれぞれ重複するようにSSBを送信しなければなりません。このとき、図②に示すように、Rel-15 Single-TRPのネットワークと比べてカバレッジが縮小します。

そこで、Rel-17では、異なるPCIのTRP間でMulti-TRPを用いたPDSCHの協調送信を行う機能が仕様化されました。これにより、2つのTRPがそれぞれのSSBビームを重複するようにSSBを送信しても、Rel-15と同等のカバレッジを維持でき、FR2におけるMulti-TRP運用の課題を解決できます(図③)。

■52.6~71 GHz帯への周波数拡張

さらなる通信速度向上および通信容量拡大のため、Rel-17では52.6~71 GHz帯を新たなNR利用可能周波数帯としてFR2-2と定義し、その帯域におけるNR運用に必要な技術がRel-15およびRel-16機能をベースに仕様化されました。具体的な新機能として、この帯域を利用する際の課題となる位相雑音^{*10}や伝搬損失^{*11}を解決するため、Rel-15 FR2ですでにサポートされていた120 kHzに加えて、新たに480および960 kHzのサブキャリア間隔をサポートしたことが挙げられます。その結果、コンポーネントキャリア^{*12}当り最大2 GHzの帯域幅が設定可能となりました。また、52.6~71

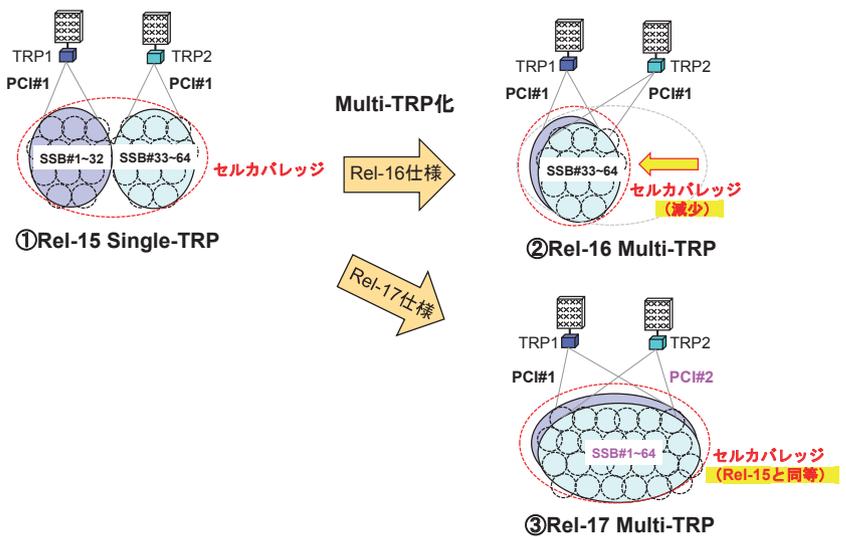


図 Single-TRP運用からMulti-TRP運用への進化

GHz帯はアンライセンスバンド^{*13}を含むことから、地域ごとの法規制に準拠するための機能として3種類のチャネルアクセス(LBT: Listen Before Talk^{*14})を規定しました。具体的には、ヨーロッパの法規制⁽¹⁾に準拠したType 1、日本などの地域での高効率な共存を目的としたType 2、LBTの不要な地域での運用を意図したType 3の3種類が規定されました。さらに、52.6~71 GHz帯で伝搬損失の影響を考慮して、これらのチャネルアクセスにおける受信ビーム^{*15}へのビームフォーミング^{*16}の適用をサポートしました。

■MR-DC 拡張技術

Rel-17では、MR-DC (Multi-Radio Dual Connectivity)/CA (Carrier Aggregation) 処理遅延の低減やUE (User Equipment) の消費電力削減を目的として、①SCG (Secondary

Cell Group)^{*17}の非アクティブ化、②PSCell (Primary Secondary Cell)^{*18}の追加と変更の信頼性・堅牢性向上、および③Temporary RS

*10 位相雑音：局部発信信号における搬送波周波数以外の周波数成分によって発生する位相変動。
 *11 伝搬損失：送信局から放射された電波の電力が受信点に到達するまでに減衰する量。
 *12 コンポーネントキャリア：使用される搬送波を1つの周波数ブロックとしたもの。LTEは最大20 MHz、NRはFR1は最大100 MHz、FR2は最大400 MHz。
 *13 アンライセンスバンド：運用するにあたり免許を必要としない周波数帯域。
 *14 LBT：デバイスがデータを無線上で送信する前に、他のデバイスがデータ送信を行っていないかを事前に確認する仕組み。
 *15 受信ビーム：ビームフォーミングを受信時にも適用することで、特定方向から到来する信号電力を増加・低下させる受信動作。
 *16 ビームフォーミング：送信信号に指向性をもたせることで、特定方向の信号電力を増加・低下させる技術。
 *17 SCG：DC中の基地局の内、MNではない基地局(SN: Secondary Node)配下のセルグループ。
 *18 PSCell：DC中のSCGに含まれるセルのうち、接続を担保するセル。

(Reference Signal)^{*19}を用いたSCellの迅速なアクティブ化の技術拡張を行いました。

(1) SCGの非アクティブ化

SCGのトラフィックが少ないときにSCGをdeactivated状態に遷移させる(非アクティブ化する)仕様が策定されました。SCG deactivated状態のときは、UEはSCGを経由してデータを送受信せず、副ノードセルの物理レイヤ^{*20}の品質測定を設定次第で省略することが可能であるため、UEとネットワークの消費電力を低く抑えることが期待されます。

(2) PSCellの追加と変更の信頼性・堅牢性向上

Rel-17ではCPC(Conditional PSCell Change)の機能向上が行われました。従来のCPCは副ノードのみ開始可能でありましたが、主ノード・副ノードのいずれからも開始することが可能となりました。さらに、PSCellの追加において、CPCのように複数の候補セルと実行条件を設定するCPA(Conditional PSCell Addition)が新たに規定されました。CPCやCPAは通信品質の変化が激しい環境において、UEが最新のmeasurement結果に基づき、迅速にPSCell addition/changeを実施することで、信頼性・堅牢性が向上します。

(3) Temporary RSを用いたSCellの迅速なアクティブ化

MAC(Medium Access Control)レイヤにて、アクティブ化

するSCellとTemporary RSの組を指定する新たなMAC CE(Control Element)を導入しました。新たなSCellアクティブ化スキームでは、基地局は当該MAC CEを送信した直後にTemporary RSを送信します。UEは、指定されたTemporary RSをCSI測定およびAGCに用いることによって、定期的に送信されるSSBの到来を待つ必要がなくなり、より迅速にSCellをアクティブ化することが期待されます。

■FR2帯どうしのキャリアアグリゲーション

5Gで新規導入されたFR2帯におけるキャリアアグリゲーションについて、Rel-16ではDL向けに、28 GHz帯と40 GHz帯の2つの周波数帯を束ねるキャリアアグリゲーションが仕様化されました。Rel-17では、28 GHz帯どうし、あるいは、40 GHz帯どうしの2つの帯域を束ねるDLのキャリアアグリゲーションが仕様化され、より多様な周波数帯の組合せに対応できるように拡張されました。

また、ULのさらなる広帯域通信実現のため、28 GHz帯と40 GHz帯の2つの周波数帯を束ねるULキャリアアグリゲーションも仕様化されました。NTTドコモは、日本国内における追加周波数の割当て対象として40 GHz帯が検討されている点をかながみて、割当済みの28 GHz帯と40 GHz帯を束ねるキャリアアグリゲーションの仕様化を3GPPにおいて推進しました。なお、現状では、消費電力と発熱

の観点を考慮し、ULキャリアアグリゲーションについては、スマートフォンなどの携帯用UEではなく、FWA(Fixed Wireless Access)^{*21}などサイズの大きなUEへの適用が想定されています。

カバレッジ拡大

■物理チャネルのカバレッジ性能改善

無線通信システムのカバレッジ性能は、基地局の置局密度やコスト、UEの接続安定性などに影響するため、重要な要素の一つとして挙げられます。Rel-17ではカバレッジ性能評価が実施され、改善が必要なチャンネルを特定するとともに、以下のカバレッジ改善技術を策定しました。

(1) PUSCH repetition type A^{*22}の改善

最大繰返し送信回数の増加、Available UL slot^{*23}に基づく繰返し送信の導入により実効的な繰返し送信回数の増加を可能としました。

(2) PUSCHの複数スロットにま

*19 Temporary RS: 迅速なSCellのアクティブ化を指示するMAC CEにおいて指定される参照信号。

*20 物理レイヤ: 無線信号伝送のため、無線周波数キャリアの変調や、符号化データ変調などの処理を行うレイヤ。

*21 FWA: 無線通信規格の一つで、固定無線アクセスシステムを指します。携帯用UEとは異なり固定されて使用する想定のため、一般的に、携帯用UEと比較して大きなデバイス容積で実装しやすくなっています。

*22 PUSCH repetition type A: Rel-15で規定されたPUSCHのスロット単位の繰返し送信。

*23 Available UL slot: PUSCHもしくはPUCCHの送信が可能なULスロット。

たがるTB (Transport Block)
送信

複数のPUSCHスロットで1つのTB送信を実現することで符号化利得の向上を可能としました。

(3) PUSCH および PUCCH (Physical Uplink Control Channel)*²⁴における復調参照信号 (DM-RS : DeModulation RS)*²⁵のバンドリング

基地局は複数スロットに配置されるDM-RSを用いてチャンネル推定することにより、チャンネル推定の精度向上を可能としました。

(4) Msg3 (Message3)*²⁶ PUSCHの繰返し送信

最大8回の繰返し送信が導入され、基地局の受信SNRの向上を可能としました。

(5) PUCCHにおける繰返し送信回数の動的な通知

UEのチャンネル品質などに応じた動的な繰返し送信回数の指示を可能としました。

■ NR Repeater

5Gエリアのさらなるカバレッジ拡大に資する装置として、NR Repeaterの仕様が規定されました。NR Repeaterは、無線基地局装置とUEの間で送受信される電波の増幅中継を行うRF RepeaterをNR向けに拡張したものです。基地局対向リンク (上りリンク) とUE対向リンク (下りリンク) を持ち、それぞれのリンクに対して各無線特性要件が規定されました。利用可能な周波数帯は、5G無

線基地局装置用に規定されている全周波数帯のうち、アンライセンスバンドと前述したFR2-2以外のFDD・TDDバンドをすべて対象としています。なお、受信した信号の復号や復調を行わずに電波の増幅中継のみを行うことを前提に検討がなされているため、制御信号に基づいて各UEに対して好適なビームを設定する適応ビームフォーミング制御は、想定されていません。

■ FR1 High power UE

FR1におけるULのカバレッジ拡大のため、UEの送信電力を向上する技術 (High power UE) が期待されています。Rel-17において、Rel-16以前で規定済のUEの最大送信電力から2倍まで引き上げる技術や、従来TDDバンドのみ導入されてきたHigh power UEの機能をFDDバンドに導入する新機能が議論され、High power UEの機能拡張が行われました。

単一キャリア送信におけるUE送信電力について、Rel-16以前においては、スマートフォンなど携帯用UE向けの最大出力は最大23 dBmのパワークラス3、あるいは最大26 dBmのパワークラス2が規定されてきました。今後のさらなるカバレッジ拡大のために、パワークラス2よりもさらに2倍の大きな電力 (29 dBm) で送信可能なパワークラス1.5の規定が導入されました。

また、パワークラス2について、従来ではTDDバンドに限定されてきましたが、Rel-17では新規にFDDバンドにも導入されました。

UE消費電力削減

■ 待受け状態のUE消費電力削減

NR SA (Stand Alone) 運用における待受け状態のUEは一定周期ごとにページングメッセージの監視が必要であり、その受信に必要な時間・周波数同期およびAGCを行う必要があります。その際に無線品質などに応じて複数の参照信号が必要となり、SSBの送信周期である数10 msごとにUEがwake upしなければなりません。SSBの送信周期間では十分なスリープ時間が確保できないことで電力効率が悪く、消費電力効率の悪化が見込まれるため、上記課題の解決にあたって以下機能がRel-17で追加されました。

(1) ページングの早期通知 (Paging early indication)

待受け状態のUEは、自身宛のページングメッセージの有無が事前には分からないため、ページングの早期通知を行うことにより、事前にページングメッセージの有無をUEに通知し、不必要な時間・周波数同期およびAGCを削減することでUE消費電力の改善を可能としました。

(2) 待受け状態UE向けTRS (Tracking Reference

*24 PUCCH : 上りリンクで制御情報を送受信するために用いる物理チャンネル。

*25 復調参照信号 (DM-RS) : 下り・上りリンクの送受信データを復調する際に用いられるチャンネル推定用の参照信号。

*26 Msg3 : ランダムアクセス手順においてMsg2を受信した移動局が送信するネットワークへ接続を要求する情報。

Signal)^{*27}の通知

Rel-16ではTRSは接続状態のみに利用可能でしたが、Rel-17では待受け状態においても利用可能となるように、報知情報^{*28}によりTRS関連情報が通知可能となったため、時間・周波数同期およびAGCにおいてSSBに加えてTRSを活用することで、SSBのみで同期を行う場合と比較してUE消費電力の削減が可能となりました。

■接続状態のUE消費電力削減

接続状態のUE消費電力削減について、FR2運用における下り制御信号モニタリングの削減および物理リンク監視・ビーム障害検出測定の緩和の観点から、以下の機能がRel-17で追加されました。

(1) 下り制御信号モニタリングの削減

FR2運用ではスロット長が短くなるため、一般には単位時間当りの下り制御信号モニタリングの回数が増加することになります。そこで、ユーザデータの送受信がないことが見込まれる場合に、不要な下り制御信号モニタリングを削減するために以下の機能が導入されました。

① 下り制御信号モニタリングスキップ：基地局は、UEに下り制

*27 TRS：主に同期処理などに用いる参照信号。
*28 報知情報：移動UEがセルへの接続手順を実施するために必要となる規制情報、共通チャネル情報、ランダムアクセスチャネル情報などを含み、セルごとに一斉回報されます。
*29 サーチスペースセットグループ：UEが下り制御信号の復号を試みる領域群（サーチスペースセット）が複数含まれるグループ。

御情報を用いて、指定した期間の下り制御信号モニタリングのスキップを通知することが可能となり、UEのスリープ期間を確保することでUE消費電力の削減が可能となります。

② 下り制御信号モニタリング設定の動的切替え：基地局は、UEに下り制御情報を用いてサーチスペースセットグループ^{*29}の切替えを指示することが可能となり、サーチスペースセットに紐付く下り制御信号モニタリング設定を動的に切り替えることが可能となりました。例えば、トラフィック状況などに応じて高頻度もしくは低頻度なモニタリング周期を設定することで、不要な下り制御信号モニタリングを減らしUE消費電力削減が可能となります。

(2) 物理リンク監視・ビーム障害検出測定の緩和

FR2運用では小さいセル半径やビームフォーミングの活用により、物理リンク障害の発生やビーム切替えが頻繁に発生する可能性があります。そこで、低速で移動するUEや受信品質が良好なUE向けに、物理リンク監視・ビーム障害検出測定にかかわる規定を緩和することで、消費電力削減を可能としました。

おわりに

本稿では、Rel-17 NR仕様の高速・大容量化、カバレッジ拡大、端末消費電力削減向けの主要機能を解説しまし

た。本稿で解説した機能をはじめとしたRel-17 NRの機能を用いることで、5G NRの通信ネットワークのさらなるユーザエクスペリエンス向上が期待できます。NTTドコモは、3GPPにおける5G標準化推進に寄与しており、今後も5G標準化のさらなる発展に貢献していきます。

■参考文献

- (1) ETSI EN302 567 V2.2.1 : "Multiple-Gigabit/s radio equipment operating in the 60 GHz band ; Harmonized Standard for access to radio spectrum," July 2021.



(上段左から) 松村 祐輝 / 芝池 尚哉 / 栗田 大輔 / 小原 知也
(下段左から) 小熊 優太 / 渡邊 壮輝 / 大川 立樹 / 高宮 康太郎

NTTドコモは、グローバルベンダとともに5Gの高度化を通じた通信ネットワークのユーザエクスペリエンス向上に貢献し、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

3GPP Release 16および17における 確定性通信の実現に向けた高度化技術

5GS (5G System) は、有界遅延、無衝突、高信頼性を担保し、確定性通信をサポートします。3GPP Release 16 (Rel-16) で規定された5GSは、IEEE 802.1Qブリッジネットワークと統合され、製造業および関連する産業用アプリケーション向けのイーサネットベースの確定性通信をサポートします。Rel-17で拡張された5GSは、IPベースの確定性通信もサポートします。本稿では、Rel-16およびRel-17で規定された5GSの確定性通信機能の概要について解説します。

Jari Mutikainen

Riccardo Guerzoni

みのくち あつし
巳之口 淳

NTTドコモ

確定性通信のユースケース

確定性通信とは、TSC (Time-Sensitive Communication)*¹のために、最大遅延、最大ジッタ*²、無衝突を保証するネットワーク機能のことです。確定性通信で想定されるユースケースは、製造業やリアルタイムのメディアアプリケーションです。

5GSとIEEE TSNの統合

Release 16 (Rel-16) では、5GS (5G System) をIEEE TSN (Time-Sensitive Networking) ネットワークと統合することができます。5GSは、3GPP (3rd Generation Partnership Project) で制定されたドキュメント、TS23.501⁽¹⁾で規定されているように、TSN機能の一部をサポートする仮想IEEE 802.1Qブリッジとしてモデル化されます。5GSブリッジのIEEE TSN機能は、完全中

央制御モデル^{(2),(3)}を使用して、外部のCNCによって管理されます。

■アーキテクチャ

5GS内の仮想IEEE 802.1Qブリッジの内部アーキテクチャを図1に示します。

CNC (Central Network Controller) はTSN AF (Application Function)*³を介して5GSと通信します。CNCとTSN AFの間のインタフェースは3GPPで規定されていますが、CNCとTSN AFは、例えば、IEEE 802.1QおよびSNMP (Simple Network Management Protocol)*⁴で規定されている管理対象オブジェクトを用いて通信できます。TSN AFは、管理対象ブリッジとして5GSをCNCに公開し、CNCと、5GSブリッジの一部であるDS-TT (Device-Side TSN Translator)*⁵とNW-TT (NetWork-side TSN Translator)*⁶との間で制御メッセージを配信する役割を担います。

DS-TTはUE (User Equipment)*⁷と結び付き、NW-TTは

UPF (User Plane Function)*⁸と結び付きます。この2つが、5GSのブリッジ機能のほとんどを実装します。1つの5GSは複数の仮想ブリッジを持つことができ、それぞれの仮想ブリッジは、TSN AF、UPF/NW-TT、複数のDS-TT/UEで構成さ

- *1 TSC：遅延やジッタの許容値を超えずに配送されることが要求されるデータストリームを扱うために3GPPで仕様化されている通信サービス。
- *2 ジッタ：信号などにおける、遅延時間の揺らぎ、時間軸方向のずれのこと。
- *3 TSN AF：5Gコアネットワークの一部であり、5GSとIEEE TSNネットワークの統合のために、制御プレーントランスレータ機能を提供。5GSとCNCが協働動作をすることを可能にします。
- *4 SNMP：IPネットワーク上のネットワーク機器を監視・制御するための情報の通信方法を定めるプロトコル。
- *5 DS-TT：デバイス側のTSNトランスレータ。UEの背後の相互接続デバイスに向けたTSNの入口ポートと出口ポートおよびPTPポートを提供。
- *6 NW-TT：ネットワーク側のTSNトランスレータ。データネットワーク (DN：Data Network) の相互接続デバイスに向けたTSNの入口ポートと出口ポートおよびPTPポートを提供。
- *7 UE：ユーザ端末。3GPP仕様向け無線インタフェースを介したネットワークサービスへのユーザアクセスが可能。
- *8 UPF：5Gコアネットワーク内のユーザデータの送受信処理機能。

* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.3, 2022年10月)に掲載された内容を編集したものです。

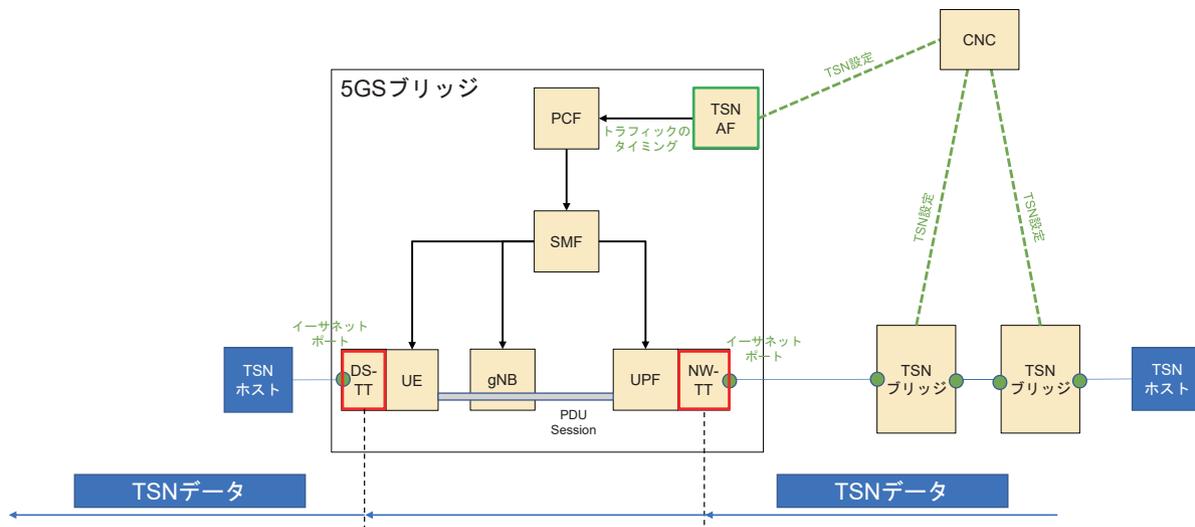


図1 5GSにおけるIEEE TSNのサポート

れます。DS-TTとNW-TTはイーサネットポートを外部のネットワークに公開します。DS-TT/UEは、イーサネットタイプのPDU (Protocol Data Unit) Session*⁹を介してUPFに接続されています。5GSブリッジ内のルーティングはイーサネットフレーム*¹⁰の宛先MACアドレスとVLAN IDに基づいて実行されます。

■ブリッジ遅延と伝搬遅延を読み取る機能

CNCの重要な機能の1つは、5GSブリッジからブリッジ遅延および伝搬遅延を読み取る機能です。ブリッジ遅延とは、データフレームがブリッジ内で入口ポートから出口ポートに通過する際に費やす内部滞留時間です。これは、ポートペアごと、サポートされるトラフィッククラスごとにCNCに示されます。伝搬遅延は、5GSブリッジの出口ポートから隣接するデバイスの入口ポートまでの遅延です。5GSブリッジ (DS-TTまたはNW-TT内)の出口ポートはgPTP (generic PTP)*¹¹を使用して伝搬遅延を測定します。TSN AFはこの測定値をCNCに報告します。

■ブリッジ設定の流れ

CNCは、ブリッジ遅延、伝搬遅延、そのほかのブリッジ情報 (例：リンク層トポロジ) を使用して、ネットワーク内での、TSNストリームに関するスケジューリングや明示的な経路を決定します。CNCは、ネットワークの各ブリッジからブリッジ情報を取得したところで、それらのブリッジを設定する準備が整うこととなります。TSN AFは、CNCから設定情報を受け取ると、対応するDS-TTおよびNW-TTにその情報を配信します。設定にTSNストリームのPSFP (Per-Stream Filtering and Policing) 情報が含まれている場合、TSN AFはその情報を使用して、要求5GS遅延、最大バーストサイズ、プライオリティなどのTSC QoS情報を決定します。またTSN AFはPSFP情報を使用して、TSCAC (TSC Assistance Container)*¹²を決定します。TSCACは、TSNストリームのトラフィックパターン、つまり、UL (Up Link) 方向およびDL (Down Link) 方向のBAT (Burst Arrival Time)、および周期性を定義します。最後に、TSN AFはTSC QoS情報とTSCAC

をPCF (Policy Control Function)*¹³に提供します。

SMF (Session Management Function)*¹⁴は、PCFが決定したQoS情報を用いて、QoSフロー*¹⁵を設定します。SMFは、PCFが転送するTSCACを使用してTSCAI (TSC Assistance Information)*¹⁶を導き出し、QoSフロー設定要求とともにgNB (gNodeB)*¹⁷に提供します。gNBは、TSCAIを参考に、UL方向の設定グラントやDL方向のセミアシステントスケジューリング*¹⁸など、

*⁹ PDU Session：UEとデータネットワーク間の論理接続。
 *¹⁰ イーサネットフレーム：イーサネットLANの通信を行う際に使用するデータのフォーマット。
 *¹¹ gPTP：IEEE 1588 (PTP) のプロトコルプロファイルの1つであり、IEEE 802.1ASで規格化されたもの。
 *¹² TSCAC：TSNストリームのUL方向およびDL方向のBAT、および、周期性を定義する情報。TSN AFあるいはTSCTSFからSMFに通知されます。
 *¹³ PCF：QoSやポリシーを決定しSMFに提供する5Gコアネットワーク内の機能。
 *¹⁴ SMF：PDU Sessionを管理し、QoSやポリシーの実施などのためにUPFを制御する5Gコアネットワーク内の機能。
 *¹⁵ QoSフロー：5GSのQoS転送処理におけるもっとも細かい粒度。
 *¹⁶ TSCAI：QoSフローのUL方向およびDL方向のBAT、および周期性を定義する情報。SMFからgNBに通知されます。
 *¹⁷ gNB：5Gの無線方式に対応した無線基地局。

無線リソースを割り当てます。

5GSにおける時刻同期のサポート

Rel-16は、外部IEEE TSNネットワークとの統合をサポートしており、時刻同期に関して、PTPのプロトコルプロファイルの1つであるgPTPをサポートしています。5GSを外部IEEE TSNネットワークと統合すると、5GSはPTPリレー^{(4)*19}として動作します。DS-TTとNW-TTはPTPリレーのPTPポートを実装し、イーサネットポートを外部IEEE TSNネットワークに公開します。この場合、イーサネットタイプのPDU SessionがDS-TT/UEとUPF/NW-TTの間で使用されます。

Rel-17ではIEEE TSNを統合しない網構成のサポートが追加されています。この場合、5GSは境界クロック^{(5)*20}か、透過クロック^{(5)*21}として動作し、PTPメッセージはIPタイプのPDU Sessionを使用して直接UDP/IP上で伝えることができます。

5GS内のgPTPあるいはPTPのメッセージは、NW-TTおよびDS-TTが同様に処理します。詳細を、図2を用いて解説します。なお、図中あるいは以下の解説で(g)PTPと示す場合、

gPTPあるいはPTPを指します。

(1) GMの位置とPTPポート状態
Rel-16では、5GSは、N6^{*22}インタフェースに接続する外部ネットワークにあるGM (Grand Master)、およびNW-TT内部のGMをサポートしています。ブリッジ外にPTPメッセージを送るPTPポートはマスタ状態、ブリッジ外からPTPメッセージを受けて処理するPTPポートはスレーブ状態であることから、つまり、NW-TTのPTPポートは、外部GMの場合はスレーブ状態、内部GMの場合はマスタ状態となり、DS-TTのPTPポートは常にマスタ状態です。Rel-17はDS-TTに接続する外部ネットワークにあるGMもサポートしており、したがってDS-TTのPTPポートもスレーブ状態となる場合があります。

Rel-16では、DS-TTやNW-TTのPTPポート状態は、5GSでローカルに事前設定する必要があります。Rel-17は、そういった事前設定に加えて、BMCA (Best Master Clock Algorithm)^{*23}もサポートしています。BMCAは、ネットワークの最適なGMを選択し、PTPポートの状態を適切な方法で自動的に構成する手順です。

(2) 内部滞留時間の測定

時間情報の誤差を引き起こす重要な原因の1つは、(g)PTP Syncメッセージ^{*24}を入口ポートから出口ポートに配信する際にブリッジ内で費やされる内部滞留時間であると考えられます。ここで、入口ポートおよび出口ポートは、DS-TTポートあるいはNW-TTポートです。内部滞留時間を考慮するために、入口ポートは、(g)PTP Syncメッセージを5GSユーザプレーンを介して出口ポートに送信する前に、メッセージに受信時刻のタイムスタンプを追加します。出口ポートでは、タイムスタンプを使用して内部滞留時間を計算し、それを(g)PTP Syncメッセージに追加したうえで、5GS外に送出します。

- *18 セミパーシステントスケジューリング：gNBが端末にあらかじめ周期的にDL無線リソースを割り当てておくこと。
- *19 PTPリレー：PTPでプロファイルの1つであるgPTPを用いる場合の、高精度な時刻同期をするための装置。
- *20 境界クロック：GMとなり他のクロックに時刻情報を提供する能力のあるクロック。
- *21 透過クロック：内部滞留時間を測定し、PTP関連メッセージに書き込んで転送することのできる装置。
- *22 N6：UPFとDNの間の参照点。
- *23 BMCA：ネットワーク内の最適なGMを選択し、各PTPポートの状態を自動的に構成する手順。
- *24 Syncメッセージ：PTPプロトコルで時刻同期を行うために交換されるメッセージ。

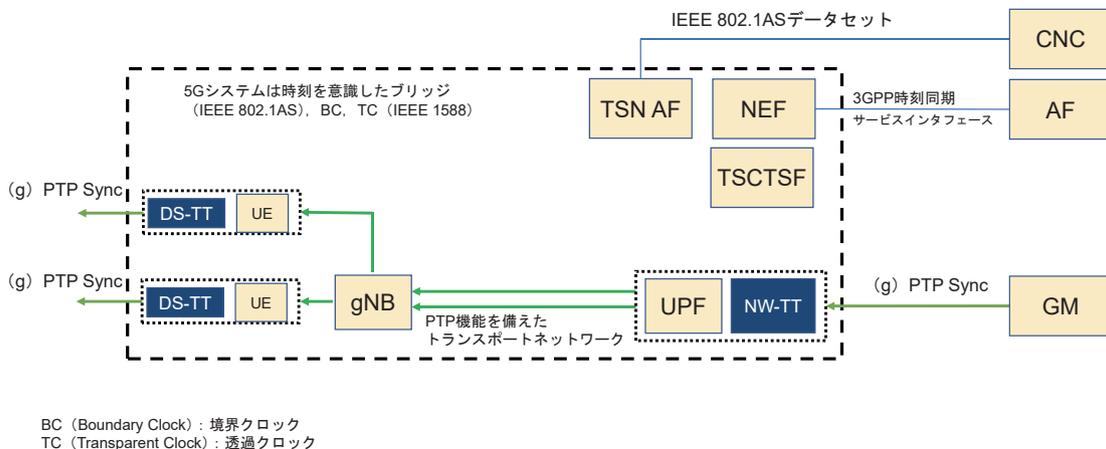


図2 5GSにおける時刻同期のサポート

内部滞留時間を正確に測定するには、DS-TT/UE、gNB、UPFの内部参照クロックが同期していることが必要です。これは、gNBとUPFの間に、PTPのテレコムプロファイル（ITU-T G.8265.1など）をサポートするトランスポートネットワークを配備、あるいは、ローカルGNSS（Global Navigation Satellite System）をgNBおよびUPFのタイムソースとして使用することで実現できます。gNBは、TS38.331⁽⁶⁾で定義されているRRC（Radio Resource Control）シグナリング^{*25}を介して、gNBの内部参照クロックをDS-TT/UEに配信します。ここで配信される時刻はgNBが送信した時刻を示すため、UEは、正しい時刻を得るために、gNBとUEの間の伝搬遅延を加える必要があります。Rel-16では、UEは、自身が測定するタイミングアドバンス^{*26}を流用し、gNBから受け取る5G参照時刻を修正します。

(3) 伝搬遅延を考慮した修正の正確さの向上

伝搬遅延を考慮した修正の正確さは、Rel-17で向上しています。Rel-17では、gNBは、自身で送受信時間差を計測してUEに提供し、UEは、自身で送受信時間差を計測します。その後、UEは、2つの送受信時間差を用いて、伝搬遅延を計算します。

(4) ブリッジ内外のクロックの進み方の違いを考慮した内部滞留時間の調整

GMが5GSの外部にある場合、5GSの内部クロックと外部のGMは同期されません。これはつまり、これら2つのクロックの間で時間の進み方に違いがある可能性があるため、測定された5GSブリッジの内部滞留時間は調整する必要があります。DS-TTとNW-TTのPTPポートが、自身が

依存する時計、すなわち5GSの内部クロックと外部のGMとの間の時間の進み方の比を測定し、5GSの内部クロックで測定された内部滞留時間をその比率により調整します。

(5) PTPインスタンスの遠隔設定

Rel-17は、DS-TTおよびNW-TTにおけるPTPインスタンス^{*27}の遠隔設定をサポートしています。

5GSを外部IEEE TSNネットワークと統合した場合、5GSのPTPインスタンスはTSN AFによって管理されます。TSN AFから外部コントローラに至る実際のインターフェースは3GPPで規定されていませんが、例えばIEEE 802.1ASおよびSNMPで規定されているデータモデルが使用可能です。

IEEE TSNを統合しない網構成では、TSCTS F（TSC Time Synchronization Function）^{*28}がTSN AFの役割を果たして、5GSのPTPインスタンスを管理します（図2）。

この網構成の場合、Rel-17では、TS 29.522⁽⁷⁾で規定されているように、外部AFが、NEF（Network Exposure Function）^{*29}およびTSCTS Fを介して5GSのPTPインスタンスを制御する、3GPP固有のサービスインターフェースも定義しています。このようにして、外部AFは、例えばPTPドメイン番号、PTPインスタンス種別（PTPリレー、境界クロック、透過クロック）、PTPプロファイル（SMPTEなど）、トランスポートプロトコル、GMが5GSに存在する場合の(g)PTP Syncメッセージ伝送間隔などを、NW-TTおよびDS-TTに設定することができます。また外部AFは、サービスインターフェースを使用してgNBを設定し、5G内部参照クロックを一群のUEに配信することもできます。この場合、5GSは(g)PTP

Syncメッセージを生成しません。代わりに、UEが、実装依存の手法で、自身を利用するアプリケーションに5GS参照時刻を配信します。

IEEE TSNによらない網構成における確定性通信のサポート

Rel-17では、IEEE TSNによらない網構成、つまり外部ネットワークにブリッジを制御するCNCがない場合でも、5GSで確定性通信をサポートできます。この場合、5GSは仮想IEEE 802.1Qブリッジとしてモデル化されず、IPタイプまたはイーサネットタイプの複数のPDU Sessionのセットとして動作します。そのような網構成で確定性通信をサポートする場合の5GSの内部アーキテクチャを図3に示します。

外部のAFは、TS29.522⁽⁷⁾で規定されているサービスインターフェースを介して、PDU SessionのQoS情報を5GSに提供できます。

イーサネットタイプのPDU Sessionの場合、UPFがUEからイーサネットフレームを受信すると、そのイーサネットフレームの送信元MACアドレスがPDU Sessionに関係付けられます。IPタイプの場合、PDU Sessionは、ネットワークがUEに割り当てたIPアドレスに関係付けられ

*25 RRCシグナリング：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するレイヤ3プロトコル。

*26 タイミングアドバンス：ULフレームの端末からの送信タイミングをDLフレームの端末での受信タイミングと比較して早めるための値。

*27 PTPインスタンス：必要な設定がされた、PTPを処理する実体。

*28 TSCTS F：時刻に敏感な通信および時刻同期のためのネットワーク機能。5GSがIEEE TSNと統合されていない網構成において5GSの時刻同期および確定性通信サービスを管理。

*29 NEF：機能やイベントをサードパーティーのAFなどに向けて公開できるようにする機能。

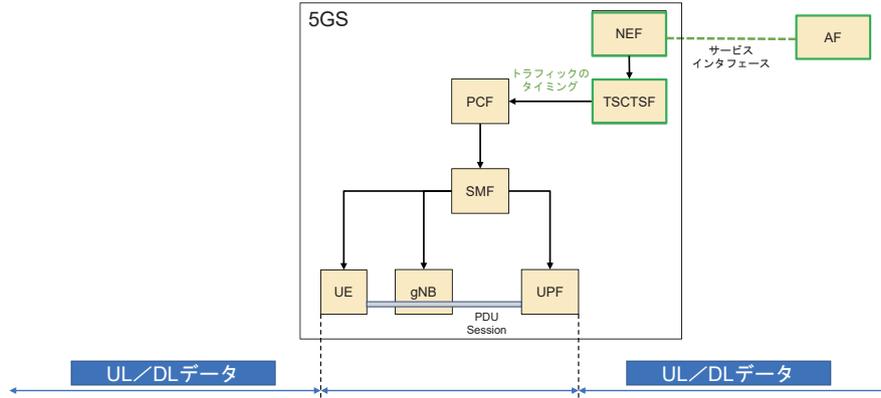


図3 IEEE TSNを統合しない確定性通信のサポート

ます。

AFは、イーサネットタイプのPDU Sessionに関連付けられているMACアドレスまたはIPタイプのPDU SessionのIPアドレスをNEFに示すことによって、要求メッセージを特定のPDU Session向けとすることができます。

AFから5GSへの要求メッセージは、要求するQoSパラメータ（要求5GS遅延、保証ビットレート、最大ビットレート、最大バーストサイズなど）、およびトラフィックとの照合に使用するトラフィックフィルタのフロー記述（IPタプル^{*30}またはイーサネットフレームのプライオリティの値など）を含みます。AFから5GSへの要求メッセージは、トラフィックパターン（UL方向およびDL方向のBAT、周期性）を説明する属性を含む場合もあります。QoS要求はNEFを介してTSCTSFに送信され、TSCTSFはPDU Sessionを管理しているPCFを呼び出します。PCFは、前述の説明と類

似の方法で、SMFに対してディレイクリティカルGBR (Guaranteed Bit Rate)^{*31}QoSフローを設定するよう指示します。AFによってトラフィックパターンが提供された場合は、SMFはTSCAIを決定してgNBに提供します。アプリケーショントラフィックフローが周期的で、アプリケーションが時刻同期を要求する場合は、AFは時刻同期サービスインタフェースを介してPDU Sessionに対して時刻同期を起動することもできます。

おわりに

本稿では、Rel-16およびRel-17で規定されている確定性通信および時刻同期をサポートする5GSの手順の概要について解説しました。Rel-16の規定により、5GSは産業用アプリケーション向けの主要なIEEE TSN機能をサポートすることができます。さらにRel-17では、5GSは、IEEE TSNを統合しない網構成におけるIPベースの確定性通信および時刻同期をサポートしています。

参考文献

- (1) 3GPP TS23.501 V17.5.0: "System architecture for the 5G System (5GS); Stage 2," June 2022.
- (2) IEEE Std 802.1Qcc-2018: "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Bridges and Bridged Networks - Amendment: Stream Reservation Protocol

(SRP) Enhancements and Performance Improvements," Oct. 2018.

- (3) IEEE Std 802.1Q-2018: "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Bridges and Bridged Networks," Sept. 2018.
- (4) IEEE Std 1588-2008: "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems," July 2008.
- (5) IEEE Std 802.1AS-2020: "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications," June 2020.
- (6) 3GPP TS 38.331 V17.1.0: "NR; Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification," June 2022.
- (7) 3GPP TS 29.522 V17.6.0: "5G System; Network Exposure Function Northbound APIs; Stage 3," June 2022.

*30 IPタプル: 送信元IPアドレス, 送信元ポート番号, 宛先IPアドレス, 宛先ポート番号, プロトコル番号.

*31 ディレイクリティカルGBR: QoSフローのリソース種別の1つ。遅延要求の厳しいQoSフローをサポートすることを目的に導入されました。GBRで指定する属性に加え、最大データバースト量 (MDBV: Maximum Data Burst Volume) も指定。



(左から) Jari Mutikainen/
Riccardo Guerzoni/
巳之口 淳

NTTドコモは、お客さまに新しい体験を提供するため、また、お客さまのビジネスのデジタル化対応をお支えするため、今後とも研究開発や標準化活動に取り組んでいきます。

◆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



可児淳一

NTT アクセスサービスシステム研究所
上席特別研究員

さらに広い視野に 立って考え、本質的 な目標に近づけ たい

我が国では高精細動画配信サービスやクラウドストレージ・ワークアプリケーション等のネットワークアプリケーションの普及を背景に、高速通信サービスの提供が加速し、これを支える光アクセスネットワークの研究開発には大きな期待が寄せられています。Beyond 5G/6G時代を見越し、当該研究領域をけん引するNTTアクセスサービスシステム研究所 可児淳一 上席特別研究員に研究活動の進捗と研究に臨む姿勢について伺いました。



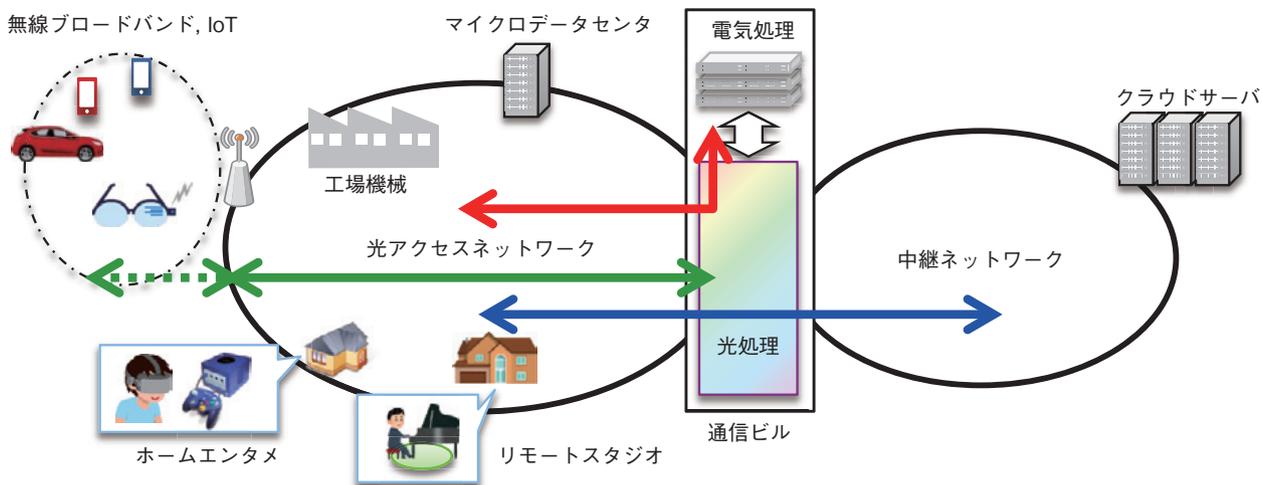
情報通信サービスの進化を加速する 新たな光アクセスネットワークを追究

2年ぶりのご登場ですね。まずは手掛けていらっしゃる研究の概要をお聞かせください。

継続して、情報通信サービスの進化を加速する新たな光アクセスネットワークを追究しています。システムの性能や柔軟性を抜本的に高める要素技術、アーキテクチャの研究にチームで取り組むとともに、グローバル連携の活動を通じて、新たな光アクセスネットワークの実現・普及をめざしています。

現在の光アクセスネットワークは、通信ビルにおいて中継ネットワークにトラフィックの乗せ換えをしています。バスの乗客が駅で電車に乗り換えるようなイメージです。この乗せ換えは光信号を電気信号に変換し、乗せ換えのための処理を行い、その電気信号を再び光信号に変換することで行われています。将来的にアクセスネットワークと中継ネットワークを融合させることで、トラフィックを乗せ換えることなく、必要な場所まで光信号のまま伝送できるようなネットワークをめざしています（図1）。

光アクセスネットワーク技術は、これまで各家庭まで光サービスを提供するFTTH（Fiber To The Home）と呼



- ・光と電気の処理を分離し、必要な場所まで光のままアクセス（従来はバスから電車に乗り換えていたのに対し、車でどこへでも移動できるようになるイメージ）
- ・電気処理はなるべく汎用サーバで実現（従来はワープロ、電卓、携帯音楽プレーヤーなどのように専用装置を用意していたのに対し、パソコンやスマホのようにソフトウェアの追加や変更でいろいろなことができるようになるイメージ）

図1 将来の光アクセスネットワーク

ばれるブロードバンドサービスの発展を支えてきました。現在は高速モバイルインターネットが普及してきていますが、通信ビル内の設備と5G（第5世代移动通信システム）のアンテナや次世代の無線LANのアンテナ等はすべて光ファイバのネットワークでつながっています。

また、工場の機械や各種のセンサ、交通システムや電力システムなど、あらゆるものがネットワークでつながっていくことを考えると、帯域や遅延などの要件はこれまでよりも一層幅広いものになっていくでしょう。このような背景から、光アクセスネットワークはFTTHの基盤から多様なサービスやシステムに共通のアクセス基盤になると考え、将来に向けて光アクセスネットワークを進化させるべく研究開発を行っています。

注目を集める研究成果を上げていっしょに同いまして。進捗をお聞かせください。

要素技術の研究として、光アクセスネットワークの伝送性能の抜本的な向上と伝送機能のソフトウェア化による柔軟性の向上についてご紹介します。

先述のように、現在、FTTHの展開に向けて、日本をはじめとした世界各国でPON（Passive Optical Network）と呼ばれる光アクセスシステムが導入されています。現在のPONシステムでは、二値の強度変調信号を送信し、光強度のみを受信する方式を用いており、伝送レート1~10 Gbit/s、分岐数32、伝送距離20 km程度のアクセスネットワークが普及しています。

このPONシステムの伝送性能を抜本的に向上させるために、世界に先駆けて「デジタルコヒーレントアクセス」という方式の研究に取り組んできました。マイルストーン



として、リアルタイム検証実験を行い、上り下りともに10 Gbit/sのPONシステムで、伝送距離40 km、送受信バジェット50 dBを達成して、2021年、国際論文誌Optics Expressで報告しました。

この結果は、既存の10G-PONに対して、距離を2倍、送受信バジェットを20 dB（100倍）改善できることを示しています。米国ではケーブルTV関連の規格を策定するケーブルラボがデジタルコヒーレントアクセスの標準化を開始しましたが、そのような技術進展の流れに貢献できたと自負しています。

伝送機能のソフトウェア化による柔軟性の向上においては、課題となっていた低遅延化に取り組み、代表的な光アクセスシステムである10G-PONの処理を、専用LSIを使わずに汎用サーバ上のソフトウェアで、1 ms以下で実現することができました。こちらは、難関論文誌IEEE Networkに採択されました。

そして、長距離伝送に必須となっているデジタルコヒーレント方式の信号処理を、専用LSIを使わずに汎用サーバ上のソフトウェアで実現し、10 Gbit/sの伝送速度を達成することができ、トップ国際会議であるECOC 2021に採択されました。



光学関連のトップジャーナルでの発表、世界トップレベルの研究成果を継続的に創出

学術的にも社会的にも高い評価を得ている研究活動に注目が集まっているのですね。

おかげさまで、2021年は日本ITU協会賞功績賞をいただきました。ITU-T SG15において、課題アソシエートラポータとして光アクセスシステムの標準化を主導し、光アクセスネットワークの高速化・高機能化に貢献し、技術フォーラムFSAN (Full Service Access Network Initiative) において、光アクセスシステムに関する技術ディス

カッションを推進するとともに技術ロードマップの策定を主導し、ITU-Tにおける勧告策定の加速に貢献したことが評価されました。

また、テラヘルツ波という新しい領域の電波で超高速の無線通信を行う研究を、テラヘルツ通信の第一人者である大阪大学の永妻忠夫先生と共同で進めています。光周波数コムと呼ばれる多波長光源を使うと、正確なテラヘルツ波を発生できることに加えて、光ファイバネットワークと非常に親和性の高いシステムができます。実験により、光周波数コムとイントラダイン受信器を使ったテラヘルツ波通信では世界のトップデータとなる128 Gbit/sの速度を達成しました（図2）。この成果は国際会議OECC 2022で報告しました。

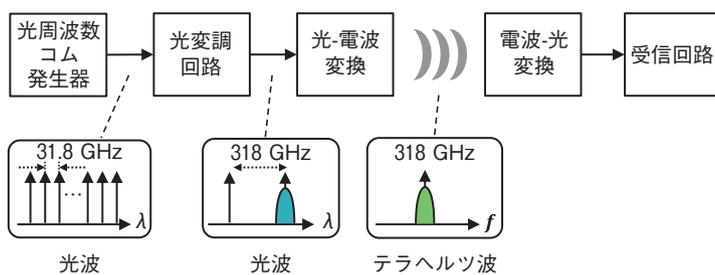
さらに、アーキテクチャの研究においては、通信ビルの光処理部分のつくり方をチームで議論して考案し、将来のオール光ネットワークの入り口ということから、Photonic Gatewayと名付けて、実際に部品を組み合わせで動作させ、難関国際会議（OFC 2021, OFC 2022）で報告しました。

これらの成果は、日本がめざすべき未来像の実現に貢献するものです。科学技術基本計画においてSociety 5.0として示されているサイバー空間とフィジカル空間の融合の実現には、一般的にはAI（人工知能）やVR（仮想現実）などに注目が集まりますが、基本的にはこれらを支えるインフラ部分で光通信により情報がスムーズに伝送されることが非常に重要となります。

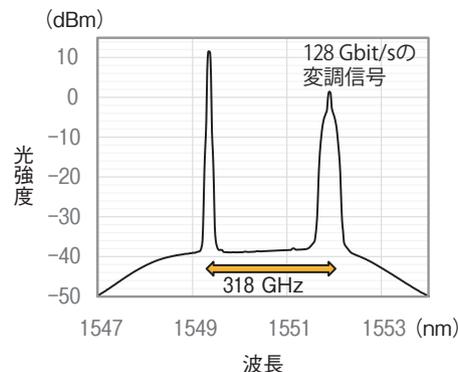
私が追究する光通信は土台の部分を支える技術という意味では裏方ではありますが、情報通信サービスの進化を加速させて社会の役に立つ重要な技術です。引き続き、光アクセスの先端技術を担っていきたいと考えています。

IOWN構想の実現にも注力されていますね。

NTTは2019年に光ベースの革新的なネットワーク・情



(a) 実験で用いた構成



(b) 光変調回路の出力スペクトル

図2 光周波数コムを使ったテラヘルツ波通信技術

報処理基盤の将来像としてIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を発表しました。2022年度からは、まだ特定用途、特定エリアに限定されますが、サービス導入を開始し、その後段階的に、性能向上と利用拡大を進めていきます。

構想は、ネットワークから端末まですべてにフォトリクス（光）ベースの技術を導入した「オールフォトリクス・ネットワーク (APN)」, 実世界とデジタル世界の掛け合わせによる未来予測等を実現する「デジタルツインコンピューティング」、あらゆるものをつなぎ、その制御を実現する「コグニティブ・ファウンデーション」から成り立ちますが、私はこのうちのAPNの実現に向けたアクセス面のアーキテクチャや伝送技術に特に力を入れて検討を行っています。

現在は、IOWNグローバルフォーラム (IGF) にも参加し、APNのアーキテクチャの議論を進めています。IGFにおけるAPNの議論では、段階的な発展を実現するために、短期解をしっかりとつくることもポイントになってきますから、研究から少しギアチェンジして取り組んでいるところです。

このように長年、追究してきた研究がこの構想に貢献できることを嬉しく思います。これからますます新しい世界、新しいネットワーキングにチャレンジし、新しいICT世界を実現したいと考えています。

また、この構想とその普及をめざすIGFでは、国内外のさまざまな有識者と議論する機会が増えており、非常に良い刺激をいただき感謝しています。2020年に米国法人として設立して以来、コロナ禍にあってミーティングはオンラインでの開催でしたが、2022年になって初めて対面での開催が実現しました。



研究者人生20年. 技術の進化を予想することだけでも面白い

研究活動において大切にしていることを教えてください。

さまざまな立場の方々と議論することを大切にしてきました。先ほどもお話ししたとおり、私は国際標準化活動にも長く携わり、研究者人生も20年以上となりました。若いころには採択されることが目標だった国際会議 OFC では、2021年に ジェネラルチェアを務めさせていただきました。



光通信業界の進化に胸を躍らせる毎日を過ごす中で、その業界全体をカバーするOFCの運営や企画に携われたことはとても刺激的でした。今後も、学会や標準化をはじめとするグローバルの場で多くの研究者・技術者と協調し、2030年をめざして大きなチャレンジをしたいと思って活動に勤しんでいます。

このような場で議論を重ねると、課題についての視点の違いを知ることができます。私が手掛けるネットワーク分野で世界標準を追究するのであれば、ことさらに広い視野に立って考え、本質的な目標に近づけたいと思いを新たにすることもあります。

私にとってのゴールは研究成果が世の中の多くの人の役に立つことですので、そのためにも長期的な技術の進化を見極めていきたいという考えは前回から引き続き大事にしています。

なぜなら、2年、3年、5年と短期の目標を設定するとどうしても研究がこじんまりしてしまうからです。前回、アマラの法則についてお話ししたとおり、新しい技術のインパクトは、短期間では過大評価され、長期的には過小評価されるものです。短期的には「技術トレンド」と称していろいろな技術に期待が寄せられる一方で、長期的には大胆な予測は避けがちになります。しかし、実際には10年、20年のスパンで見ると、さまざまなことが予想していたより大きく変わっているものだと思います。

世界トップレベルの研究者として競い合うとき、どんな思いで研究に臨まれているのでしょうか。後進の研究者に一言お願いいたします。

私は単純に技術の進化を予想することだけでも面白いと感じます。予想のあたりはずれそのものにもワクワクします。例えば、研究活動において、もうこの分野は進展しないだろうと思っているとまた新しいテーマが持ち上がるなど、良い意味で裏切られます。研究者は自らの専門分野に

おいて飽くなき追究ができる面白い仕事だと思います。

ですので、他の研究者が先んじて成果を発表したときに感じるのは、単純に「負けた」という思いではありません。同じようなアイデアを持っていて、もう少し追究する時間をとれば良かったということは何度かありましたが、自分が携わる技術が皆の力で進歩すること自体には嬉しい気持ちがありますので、次は頑張ろうと思います。そして、すでに顕在化したテーマではなく、アマラの法則の長期的な変化に結びつくような潜在的なニーズをうまくとらえられるかに注力したいと思っています。

この年になって実感するのは好きなことは続けられるということ、「継続は力なり」ということです。好きなことは後から得意になるのだと実感しています。おそらく、誰しも、最初からずば抜けていることはないのではないのでしょうか。

最近では、上席研究員として若手のチャレンジを応援する役割も担っています。後進の研究者の皆さんには、これまで私自身が育てていただいたことへの恩返しのためにも応援していきたいと思っています。

そして、私自身も現役の研究者としてチャレンジ精神は忘れずにいたいですね。日清食品の創業者である安藤百福さんは51歳のときにカップラーメンを発明し、90代まで新商品の開発にチャレンジしています。私も50代となりましたがまだまだ頑張りたいですね。今後も、知的好奇心と世の中の役に立つかのバランスをかんがみながら、若手の皆さんと同じ目線で研究に臨んでいきたいと考えています。

挑戦する 研究開発者たち CHALLENGERS



大倉 平

NTT西日本
技術革新部 IOWN推進室

研究開発は試行錯誤 の繰り返し。失敗を多 く経験しても果敢に 取り組んでいきたい

農業は担い手の減少・高齢化の進行等により労働力不足が深刻な問題となっています。農業人口の減少や少子高齢化などの社会問題を解決するべく、脱属人的な農業の実現をめざしてスマート農業の最前線で研究開発に臨むNTT西日本 大倉平氏に研究開発の概要と仕事に向き合う姿勢について伺いました。



Smart10x：生産から流通まで農業に関する課題解決に挑む

現在手掛けている研究開発について教えてください。

NTT西日本グループがソーシャルICTパイオニアとして、10の重点分野を通じて地域社会のスマート化への貢献を目的に、あらゆる産業や社会のDX（デジタルトランスフォーメーション）を推進し、社会課題の解決を図るとともに、地域のお客さまやパートナーとの新しい価値共創に向けた取り組み「Smart10x」重点分野のうち、私はスマートアグリ分野で、農作物の生産量と品質の安定化と農作物の需

給をベースとした流通の最適化を主テーマとして、研究開発に取り組んでいます。

農作物の生産量と品質の安定化について、このテーマに関する社会的背景として農業就業人口の減少によって少数の大規模農家が多数の圃場を管理して生産する形態への構造変化があります。大規模農家では、少ない労働力で効率的に広大な圃場を管理し、高品質な農作物の安定的な栽培を実現していくかが重要な課題となっています。しかし、複数の区画からなる広大な圃場では、耕作エリアごとの条件差を踏まえた栽培管理が難しく、作物の生育状況にばらつきが生じ、安定的な生産が難しいというのが現状です。



さらに、この課題解決のためには生育状況の分析が必要になるのですが、従来の分析方法では高コストにならざるを得ない、という新たな課題も出てきます。これらの課題解決に向けて、レタスを一例に作物の生育状況を把握するための実証実験を2021年に行いました。

どのような技術で課題解決に臨んだのですか。

ミッションはドローンソリューション、クラウド基盤および愛媛大学が開発した低コストで導入できる圃場分析技術を組み合わせた農作物の育成状況を分析する仕組みの構築と、圃場の分析・評価結果に基づく施肥による、生産量と品質の安定化です。

具体的には、まず、圃場を廉価な汎用ドローンで空撮してその俯瞰画像データからSPAD値と呼ばれる植物の葉の葉緑素含有量を分析します(図1)。そして、葉緑素の推定濃度から生育状況を分析・可視化して、それに基づいて必要な個所に必要な量を施肥する可変施肥を行えるようにします。これにより、生育、品質のばらつきを抑制をめざし、収益性に優れた営農手法の確立をめざします。

実証実験では、空撮画像からのレタスの自動個体識別に

関して、レタスの結球初期の適合率：80%、収穫前の適合率：88.3%という結果を得ることができ、空撮高度40 m、60 mにおける結球初期、収穫前の個体識別のための学習モデルを作成することができました。また、ドローンセンシングによるSPAD値分析によりレタスの生育状況を可視化しましたが、精度は約60%ですから、サービスとしてリリースしていくためには、さらに精度を高めることや圃場ごとに特有な事例にも対応できるようにチューンしていく必要があると考えています。

このように、現段階では社会実装までには課題はあるものの、農作物のサイズ(生育状況)判定技術における知見については、お客さまから有効との評価もいただいたことから、今回の実証実験で得られた知見を活かしてスマート10Xメンバとサービス化をめざしています。



IOWN 関連技術で仮想市場を実現

低コストで収益性に優れた営農手法の確立には期待が高まります。

農作物流通の最適化に関しては、流通コストやフードロス削減、フードセキュリティの確保に向けた取り組みです。

現在、野菜など青果の約8割が全国1000を超える卸売市場を経由して取引されていますが、大部分は東京や大阪のような大都市の市場に出荷されます。しかし、市場の原理から考えると、農作物が集まりすぎると価格は低下し、そ

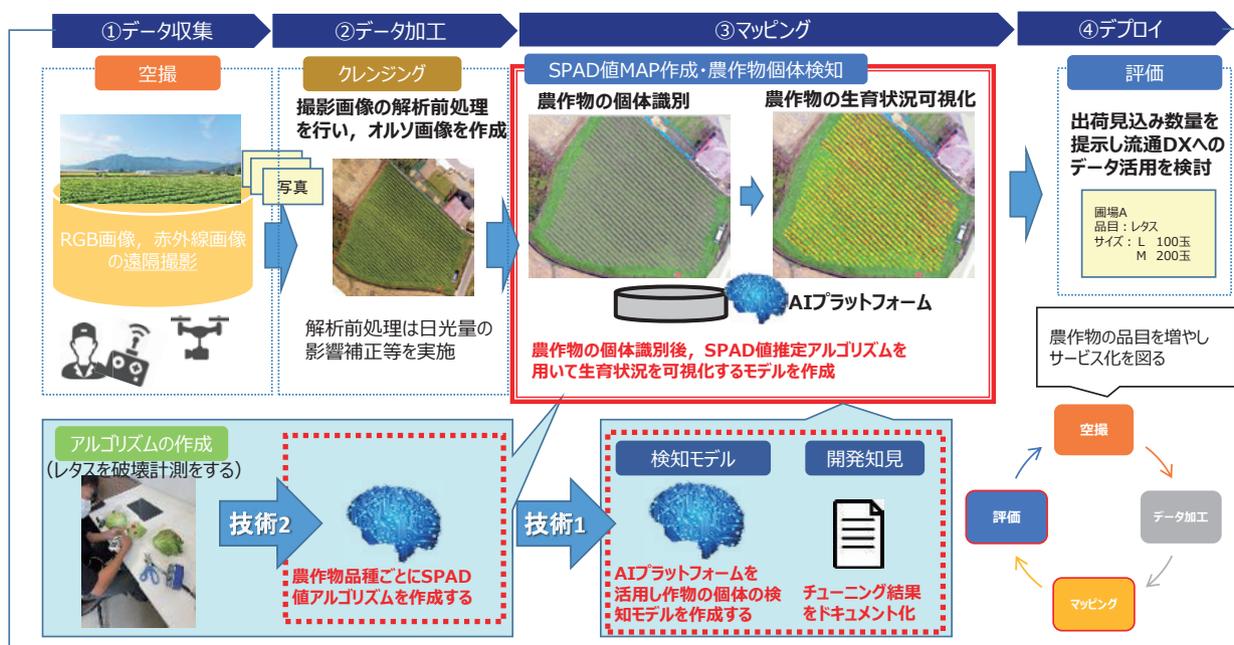


図1 農作物の育成状況を分析するプロセス

【流通】農産物流通DX

市場に集まる農産物の需給情報などを最先端のデジタル技術で分析・予測し、
「情報」「物流」が最適化された世界の形成をめざす

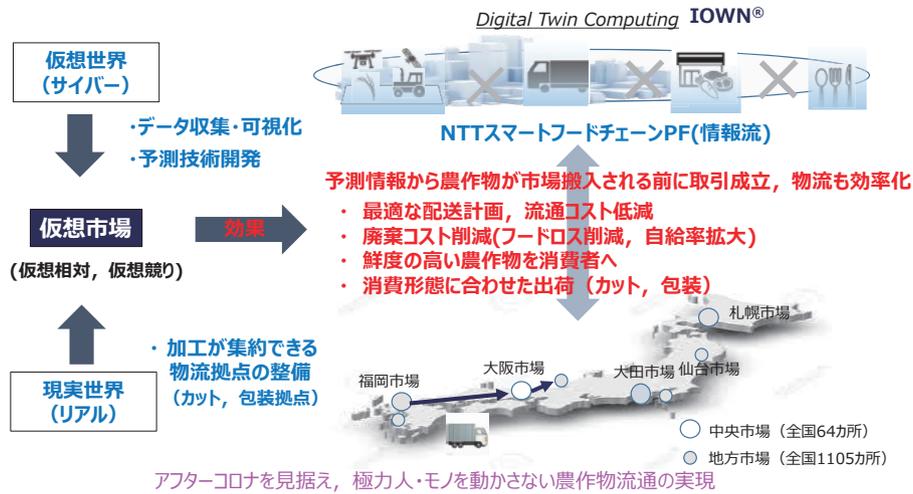


図 2 農産物流通 DX のイメージと効果

の調整のための余剰分は他の市場に転送することでその分のコストが発生します。結果、地方市場に物が集まらないことや都市の市場から地方市場への転送による鮮度の低下などの課題を抱えています。また、農作物を運ぶドライバー不足も深刻な課題となっています。この現状には昨今のネット通販等による個別配送の増加、新型コロナウイルス感染拡大が拍車をかけています。

このような農産物流通における課題を解決するため、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 関連技術のデジタルツインコンピューティングにより、市場に集まる膨大なデータをベースに需給の未来を可視化し、市場に農作物が運び込まれる前に仮想空間上で売買を完了させる仕組みの構築をめざしています。

これによって供給側は必要な時期、場所、量の農作物を供給でき、逆に需要側は必要な時期、場所、量の農作物を確保できます。ドライバー不足の解消、廃棄ロス・輸送コスト削減、フードセキュリティ確保など、フードバリューチェーン全体を意識した取り組みを通じて社会課題を解決することに加え、SDGsに貢献する取り組みになると考えています。

2021年度は仮想市場構築に向けて、業務フローの精査および情報流通基盤の有用性評価を目的に、情報流通基盤(プロトタイプ版)を構築しました。

また、需要と供給の偏りを平滑化する必要性が分かりましたので、配送コスト最適化を考慮した需給マッチング技

術を開発する予定です。

2022年度は仮想市場のイメージを小口から大口までの需要供給を吸収してマッチングして、もっとも効率的な配分で配送することで全体コストを抑えます。買い叩かれず、安くて新鮮で、かつロスの少ない青果流通を実現して、需給マッチング技術や配送最適化技術、サービスの姿を評価するべくUI (User Interface) の開発に持株会社を中心に実験パートナーの各社と臨んでいます(図2)。

加えて、流通DXにおいて、NTTビジネスソリューションズのフードバリューチェーンオーケストラの構想のためにさまざまな情報を収集、可視化・分析することで仮想市場(複数の市場)における需給マッチングの実現をめざして実証実験を進めています。現状では市場のデータに着目していますが、生産や小売りのデータを掛け合わせ価値のあるデータとしていくことや、社会全体のロスをなくしていくことがフードロス各諸問題の解決につながると考えています。

農産物の生産や流通をDXすることで社会は大きく変わりそうですね。他にも新たな取り組みがなされていると伺いました。

NTT西日本は、未来を見据えて社会課題を解決する事業アイデアの社会実装を推進することを目的に、未来共創プログラム「Future-Build」をスタートさせました。医療、生活、経済、環境の4つの分野において共創しています。

その中で、「環境」というテーマの下、専門的技術やノ



ノウハウを有するパートナーとともに、藻類などの海洋資源を活用した炭素吸収やその効果測定をビジネスに育てることをめざして検討を始めています。

海洋の二酸化炭素量は大気の50倍ともいわれ、ブルーカーボンとして注目されています。周囲を海に囲まれた日本がブルーカーボンの可能性を追求し、サステナブルなカタチで実用化に尽力することは、私たちが果たすべき未来への責任であると同時に日本全域に展開し得るビジネス創出の機会でもあります。

スタートアップ企業や大学など研究機関等と共創し、お互いの技術やアセットをポジティブに面白がり、お互いをリスペクトすることで新たな発想と活動につながっていくことが楽しみです。これはNTT西日本にとっては通信事業を軸にさまざまな課題解決に臨む企業としての成長だけではなく、それに従事する私自身の成長にもつながると期待しています。



新しい情報に敏感でありたい

農業に関する研究開発を手掛けるきっかけはおありだったのでしょうか。

IOWN推進室に配属され、Smart10x事業に携わるようになったことがきっかけですが、実は大学院で農学を専攻し、植物工場や画像解析理論も学修していたのです。しかも、修士論文のテーマはトレーサビリティでした。

入社して15年余りですが、IOWN推進室に配属される前は、ネットワークの保全やコールセンタのSEでしたし、IOWN推進室に配属されて、上司から農業に関する取り組みを任せられるとも思ってもみなかったのです。自ら学んできたことを活かせる業務に就けたのはまさに奇跡という感じです。そして、いざ実証実験を含め研究開発に取り組んでみると、コールセンタでダイレクトにお客さまのご意見を伺ってきた経験が、農家の方々と円滑なコミュニケーションを図るうえで役立っています。農家の方々のお話によると、今私が手掛けている収益性や成育のばらつき、流通における課題はもう何十年も前から認識していたというのです。こうした長年の課題に、実際に解決に挑んでくれて非

常にありがたいという声をいただいています。

一方で、DXを促す際に、農業、特に露地物と呼ばれる農作物は、屋外での生育であるため自然現象である天候などに左右されやすく、この自然現象の人為的なコントロールができないため、課題解決、DX推進に関する難易度は非常に高いものになります。ある意味では、ビジネスとしては対象になりにくい分野かもしれません。

こうした懸念もありつつも、今回、予測の難しさとコスト面をかんがみ、長年の課題に一步踏み出しました。社内外においてこの取り組みの重要性をしっかりと伝え続けていきたいと考えています。

研究開発者個人として大切にしてきたことを教えてください。そして、後進の研究開発者の皆さんにもメッセージをお願いします。

研究開発のテーマを模索する際には、お客さまに対して批評家にならないよう一人称で取り組むことを意識して、お客さまの視点や自身ならどのように課題を解決するかを主体的に考え、パッションを持ってご提案することを心掛けています。それから、新しい情報に敏感になること、新しい技術には実際に触るように努めています。技術は絶え間なく進化していますから、研究開発者として業界の動向や分野の最新情報に常に敏感であることが重要だからです。

また、情報をアップデートし続けることで、優れた研究開発者とも出会うことができますし、研究開発に役立つ情報を得ることもできます。コロナ禍ですから頻繁ではありませんが、学会やセミナーへ参加する等の機会は大切にしています。

こうした姿勢を一言で表現すると現場主義というのかもしれませんが。これに関しては、保全業務やSEなどを担当してきた経験が活かしています。現在の職務においても、現場がどうなっているのか、そこにどのような貢献ができるかを意識し続けています。例えば、自らの専門外においても、学びやヒントがあると思いますから、現地を見ることや業界の課題などのリサーチを行うことも大切にしています。

最後に、研究開発の仕事は試行錯誤の繰り返しです。失敗も多く経験すると思います。こうした中でも果敢に取り組んでいきたいですね。研究開発の仕事は社会を良くしていく仕事です。NTT西日本なら社会に大きなインパクトを与えられる仕事ができます。スタートアップ企業やパートナー等とつながることもでき、こうした方々とともに課題解決に挑みましょう。課題はまだたくさんありますから、まずは自身の疑問に対して取り組んでいきましょう。

明日のトップランナー



NTT社会情報研究所

山川高志 特別研究員

量子コンピュータ時代に安全な通信を創出する 暗号プロトコル研究

近年、従来のコンピュータとは根本的に異なる原理に基づく、量子コンピュータの開発が急速に進んできており、これを用いて現在実際に実用化されている暗号の多くが解読できてしまうことが分かっています。そのような脅威に対応するために、量子コンピュータを使っても解読することのできない「耐量子計算機暗号」が求められています。今回は、暗号を使ってこのような社会の課題を解決する研究について、山川高志特別研究員にお話を伺いました。



◆PROFILE：2017年東京大学大学院新領域創成科学研究科にて暗号理論の研究を行い、博士号を取得。同年、日本電信電話株式会社に入社。2022年よりNTT社会情報研究所特別研究員。量子計算と暗号理論の融合領域における研究に従事。2020年から2021年までプリンストン大学に滞在し、当該分野の第一人者であるMark Zhandryと共同研究を行う。国際暗号学会（IACR）主催Eurocrypt、CRYPTOやIEEE主催FOCS等に論文が採択され発表。



量子コンピュータ到来の時代に備え、
安心・安全な通信を提供

◆耐量子計算機暗号とはどのようなものなのでしょうか。

耐量子計算機暗号とは「高性能な量子コンピュータの攻撃に対して安全性を保つことができる暗号」のことです。近年では、量子コンピュータの研究開発が急速に進んできており、近い将来に量子コンピュータが一般に普及する可能性があります。現在の暗号方式は素因数分解の難しさに安全性の根拠を置いているのですが、量子コンピュータでは従来の古典コンピュータには不可能であった素因数分解が可能であるという特徴があります。そのような量子コンピュータが一般に普及した場合、暗号が数分で解読され、社会的混乱が起きると予測されています。そのため、汎用量子コンピュータが実現する前に、実用上の暗号をすべて耐量子計算機暗号に置き換える準備を行い、未来の安心・安全な情報通信を実現することが求められています。実際に、米国立標準技術研究所（NIST）では、2017年から耐量子計算機暗号の標準化計画に乗り出しており、量子コンピューティングに抵抗できる情報セキュリティシステムの需要はかなり高まっているため、私もNTTで耐量子計算機暗号の研究を始めました。

私が入社後最初に取り組んだのは、耐量子安全な公開鍵暗号の研究です。「そもそも暗号とはどういったものか」を表す例として、公開鍵暗号方式における南京錠の例がよく知られています。

南京錠は誰でも箱（データ）にロック（暗号）をかけられるのですが、それを開けるためには鍵（暗号解読）が必要になります。そこで箱（データ）を送る際には南京錠を用意し、ロック（暗号）をかけた箱にデータを入れて送ることで安全な通信ができるようになります。これが公開鍵暗号と呼ばれる暗号です。具体的に私の研究では、弱い安全性（CPA安全性）を持つ暗号方式を変形して、強い安全性（CCA安全性）を持つものにするための、汎用的な手法を提案していました。この手法はその後NTRUという鍵交換・公開鍵暗号方式において採用され、NISTによる、耐量子計算機暗号の標準化コンペティションにおいて、最終候補まで残りました。

◆現在、具体的にどのように耐量子計算機暗号の研究を行っているのでしょうか。

耐量子計算機暗号分野の中で、特に私が研究を進めているのが「ゼロ知識証明」と「秘密計算」の研究です。「ゼロ知識証明」とは、簡単に説明すると「ある命題が正しいことを、その正しさ以上の知識を与えることなく証明する」ことを実現する暗号プロトコル（暗号を使った通信手順）です。これは例えば、「あるパズルにきちんと答えが存在することを証明したい」とします。答えをそのまま開示すれば「答えが存在すること」の証明になりますが、これでは答えという「知識」を与えてしまうことになってしまいます。そこでパズルに答えがあることの「知識」を教えることなく、証明することを可能にする技術がゼロ知識証明です。

従来の暗号理論では、基本的にゼロ知識証明の安全性におい

て古典コンピュータを用いる攻撃者しか考慮しておらず、攻撃者が量子コンピュータを用いた場合に安全になるかが不明であったため、ゼロ知識証明の耐量子安全性の研究に取り組んでいます(図1)。現在研究を進める中で、否定的結果と肯定的結果の2つの結果を得ています。否定的結果としては、この古典安全な方式と同等の良い性質を満たす、耐量子安全なゼロ知識証明の方式は「存在しない」ことを証明しました。これは古典安全なゼロ知識証明と耐量子安全なゼロ知識証明の本質的な差を示すものであり、驚くべき結果です。肯定的結果としては、ゼロ知識性の定義を実用上問題ない範囲でわずかに緩和すれば、上記古典安全な方式の適切な変形がそのまま耐量子安全になることも証明しました。この研究の応用例としては「自身の身分を明かすことなく正当な身分証を持っていること」を証明する等の匿名認証プロトコルへの応用があります。

そして「秘密計算」とは、複数の人がそれぞれ持っているデータ自体を開示することなく、例えばそれらのデータの何らかの統計量を計算するための暗号プロトコルです。従来の研究ではゼロ知識証明と同様に、基本的に古典攻撃者のみが考えられており、耐量子安全性は不明でしたのでその研究に取り組んできました。具体的な研究内容としては、通信を行う二者間において、古典安全な方式と同等の良い性質を満たす耐量子安全と、わずかな緩和版安全性を持つ方式を構成しました。

◆量子計算と暗号理論の融合として、ほかにどのような研究が行われているのでしょうか。

その他の取り組みとして「量子計算機を用いて新たな暗号機能を創出する研究」を行っています。従来の古典暗号プロトコルには、すべてがデジタルデータで表されることに起因する不可避な問題があります。例えばあるデータを一度手に入れば、それはいくらかでもコピーでき、またそのデータを削除したことを別の人の立場から確認する術はありません。しかし一方で現実的な要求としては、あるデータのコピーを防止したり、データが削除されたことを保証したりするという、通信における社会的な要求が多くありました。そこでこのような機能を暗号学的手法で実現するために、量子計算機を用いた暗号プロトコルの研究を行ってい

古典暗号・耐量子暗号との関係

	古典暗号	耐量子暗号
古典コンピュータによる攻撃	○	○
量子コンピュータによる攻撃	?	○

図1 古典暗号・耐量子暗号との関係

ます(図2)。

具体的な研究内容としては、量子力学における「複製不可能定理」という、与えられた量子状態を複製することは不可能であるという定理を上手く活用することで、実現したい暗号機能を実現します。これはいくらかでもコピーが可能な古典的デジタルデータとは本質的に異なるため、これを利用して暗号文を削除したことを証明できるような暗号方式の研究を行いました。また安全にソフトウェアを貸し出すため、暗号プロトコルの研究を行っています。これはつまり、ソフトウェアを貸し出している間はそのソフトウェアを実行できるのですが、それを返却した後は実行できないというような機能を実現するものです。このようなプロトコルはすでに提案されていましたが、研究を行いより信頼性の高い安全性を持つ機能を実現することに成功しました。

これらの量子計算機を用いた新たな暗号機能については、新たな技術であるため、まだこれから基礎理論が成熟していくという段階です。現時点では概念実証の段階ですが、コピー不可能なプログラムやデータの削除証明等の社会的需要もあると考えられており、将来的に現実世界で有用な応用はこれから多く出てくると思います。

また暗号理論を利用して、量子計算機の検証の研究も行っています。量子計算機は現在急速に開発が進んできていますが、一般に普及するまではかなり時間がかかるため、それまでに一般のユーザが量子コンピュータを使うためには、古典コンピュータからクラウドを通じて量子コンピュータを用いると考えられています。その際にクラウドが正しい計算結果を返してくれていることを保証するため、量子計算の正しさを検証する必要があります。研究内容のイメージとしては、正しく計算したときのみ正しい答えが出るような「パズル」を量子コンピュータに解かせます。このパズルはユーザ側が生成するためユーザは答えを知っており、量子コンピュータがもし正しい答えを出した場合、ユーザは計算結果が正しいと確認できます。反対に、もし答えが正しくなかった場合、量子コンピュータは正しく計算しなかったというこ

削除証明可能暗号



安全なソフトウェア貸し出し

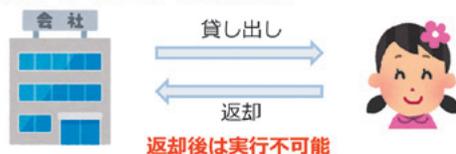


図2 「量子計算機を用いた新たな暗号機能」による社会問題の解決

とが分かります。実際にはこれを実現するために、上手く暗号学的なツールを量子計算に埋め込むことにより実現します。

また、その前の量子コンピュータの研究開発段階においても「本当に正しく動作する量子コンピュータをつくることができるのか」ということを検証する必要があります。この研究の進捗としては、量子計算の正しさの検証を非常に高速に行う方法を提案しました(図3)。また、「量子計算機を持っていること」の検証を行うプロトコルで、暗号学的な道具としてハッシュ関数と呼ばれるランダムにふるまう関数だけを用いるという、従来とは根本的に異なる全く新しい方法を提案しました。

山積みの問題を解決し、 将来的な研究と人類の発展に貢献する

◆現在研究で苦労されている点について教えてください。

古典暗号理論は長年の積み重ねにより基礎的な結果が整備されている一方で、私の研究している量子暗号理論は始めて間もない研究のため、まだ全くの未整備状態であり、非常に基礎的な部分において未解決問題が多く存在します。一例を挙げれば、古典暗号理論における多くの暗号機能は「計算が容易にできる一方で計算結果から元の入力を求めることが困難」という性質を持つ、一方向性関数の存在と等価であることが分かっていますが、量子暗号理論においては同様の結果はまだ知られていません。最近では2019年に大手IT企業が、量子コンピュータが古典コンピュータよりも速く問題を解決できること(量子優位性)を主張する論文を発表したのですが、この方法は暗号理論的な意味で「検証可能」ではなく、本当に古典計算機を超えたということを第三者の立場で確信できるものではありませんでした。一般論としても、基礎的な理論の欠如が、より複雑・高機能な暗号の構成において障害になる場合があります。そのためまずは、暗号理論的な方法で量子優位性を検証する方法の研究を推し進めて、基礎的な問題を解決することが課題です。

◆これからの研究目標とビジョンについて教えてください。

私が研究を行ううえで大切にしている信条は、「世界中の研究



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)

量子コンピュータの正しさ検証

- 量子コンピュータは特定のタスクにおいて非常に高い計算能力を持つ
- 2019年:Googleによる「量子優越」の実証
- 汎用量子コンピュータの完成は2030年代以降が見込まれる
→すぐには一般に普及せず、クラウド上での使用が想定される



- 計算内容をクラウドに漏らしたくない(プライバシー)
- 計算結果の正しさを確かめたい(検証可能性)

最終目標：安全な量子クラウドの実現

図3 暗号理論を利用した量子コンピュータの正しさ検証

者を驚かされるような、極めて難しいと考えられている問題を解決すること」です。確かに難しい問題を解こうとする中で、試みの多くは失敗に終わります。しかし高い目標を掲げることによって、副産物的にさまざまな面白い研究成果が得られることも多くあるため、高い目標を掲げて研究に臨むことは非常に大切であると感じています。これからの研究の目標としては、直近での応用をめざすのではなく「基礎的な理論の研究を通じて将来の研究開発に貢献したい」という思いがあります。具体的には、量子暗号理論における基本的な未解決問題を解決することで、数十年後・数百年後にも残る成果を挙げたいです。そしてこれらの研究成果により、人類の「計算」に対する理解が深まれば、より量子計算機を利活用した、より豊かな社会が実現できると信じています。

◆研究者や学生へメッセージをお願いします。

暗号理論の世界では、NTTの名前は世界的に知られていて、国際会議等でNTTといえばまず伝わるので、名刺代わりになるというメリットがあります。また世界中から招聘教授や優秀なポスドク・インターン生等が集まり、国際的な人脈が形成できるというのは、研究を進めていく中でどのような分野においてもとても大きなアドバンテージです。私の所属しているNTT社会情報研究所の阿部特別研究室では、特に暗号理論の基礎的な研究に特化していますが、このように基礎理論研究の重要性を認識し、研究を続けさせていただいていることはありがたいですし、世界的にも数少ない優れた研究機関の1つであると思います。そしてそうした基礎研究こそが、将来のNTTの競争力の源泉にもなると信じて、これから日々研究を続けていきます。

最後に、いつも研究と議論にお付き合いただいている、共同研究者の皆様にお礼申し上げます。日々、さまざまな方々との議論を通じて、新たなアイデアが生まれていると思っています。これからも、ご興味がある方はぜひ一緒に研究を進めていければと思います。

NTT DXパートナー

地域のお客さまのDXに寄り添い、地域を元気にする

NTT DXパートナーは、地域の企業や自治体のDX（デジタルトランスフォーメーション）をスタートからゴールまで寄り添いながら支援する会社だ。言葉が先行しているDXを現実のものとするため、コンサルティングから実装までをお客さまとともに推進していくことで地域の活性化をめざす思いを近藤俊輔取締役兼DXコンサルティング部シニアマネージャーに伺った。



NTT DXパートナー 近藤俊輔取締役兼DXコンサルティング部シニアマネージャー

DXコンサルティングでスタートからゴールまでお客さまに伴走してDXを推進

◆設立の背景と会社の概要について教えてください。

NTT DXパートナーは、NTT東日本で非通信領域の事業にチャレンジしている中で、DX（デジタルトランスフォーメーション）に関するコンサルティングを中心に事業展開する会社として2022年1月31日に設立されました。

NTT東日本は自治体や地域企業とのお付き合いが多いのですが、昨今DXという言葉が広く使われるようになり、こうした自治体や企業の関心が高まっています。一方で、その多くがDXに向けて何をどのようにすればいいかわからない、誰に相談していいかわからない、といったようなその入り口の課題に直面しているという現状もあります。そこで、こうした課題に対してコンサルティングというかたちをきっかけとして寄り添い、地域の企業や自治体を元気にしていくことを目的として事業を始めました。

こうした設立の経緯を具体的なものにしていくために、**図1**のように「Vision」「Mission」「Value」からなる企業理念を掲げ、社員24人一丸となって地域の活性化に向けて取り組んでいます。

◆どのような事業をしているのでしょうか。

事業としては、DX人材育成を含むDXコンサルティングから、DXの実装・推進までをNTTグループ、ビジネスパートナーが有するノウハウや技術を活用して、DXのビジョンとゴールをお客さまと考え、共創・伴走することで実現します。DXの実現に向けては、単なるコンサル

ティングだけではコンセプト的なところで終わってしまうので、ゴールの形態に応じて各企業、自治体に対するBPR（ビジネスプロセス・リエンジニアリング）やデータ連携基盤などの実装に加え、地域という観点ではコミュニティやプラットフォーム等を構築しながら参加者全体も底上げし、DXを推進します。

まもなく会社設立1年になるところですが、すでにいくつか事例も出てきています。

山梨県では、県内の金融機関、IT企業等を中心とした民間企業、経済団体、商工会議所、商工会、教育機関等でコンソーシアムを結成し、「やまなしDXエンジン」というポータルを立ち上げて県内企業のDX推進を支援しています。

また、新潟県佐渡市、新潟大学と連携した地域活性化モデルとして、担い手不足の解消、地域活性化、安心して快適なまちづくりに向け、地域住民、学生、社会人が一体となり取り組む、佐渡イノベーション共創拠点にコミュニティプラットフォームを構築し、ソーシャルイノベーションをめざす佐渡ローカルイノベーションプログラムを推進しています。

さらに、信金中央金庫様と連携して中小企業の経営課題、事業活動をサポートしていくDXプラットフォームを構築し、中小企業が金融機関とキャッシュフローの状況等を共有し合うことで、資金繰りサポートを受けられたり、勤怠管理や経費精算といった日常業務をデジタルで完結させることができるなど、中小企業のDXを推進する取り組みを始めています。

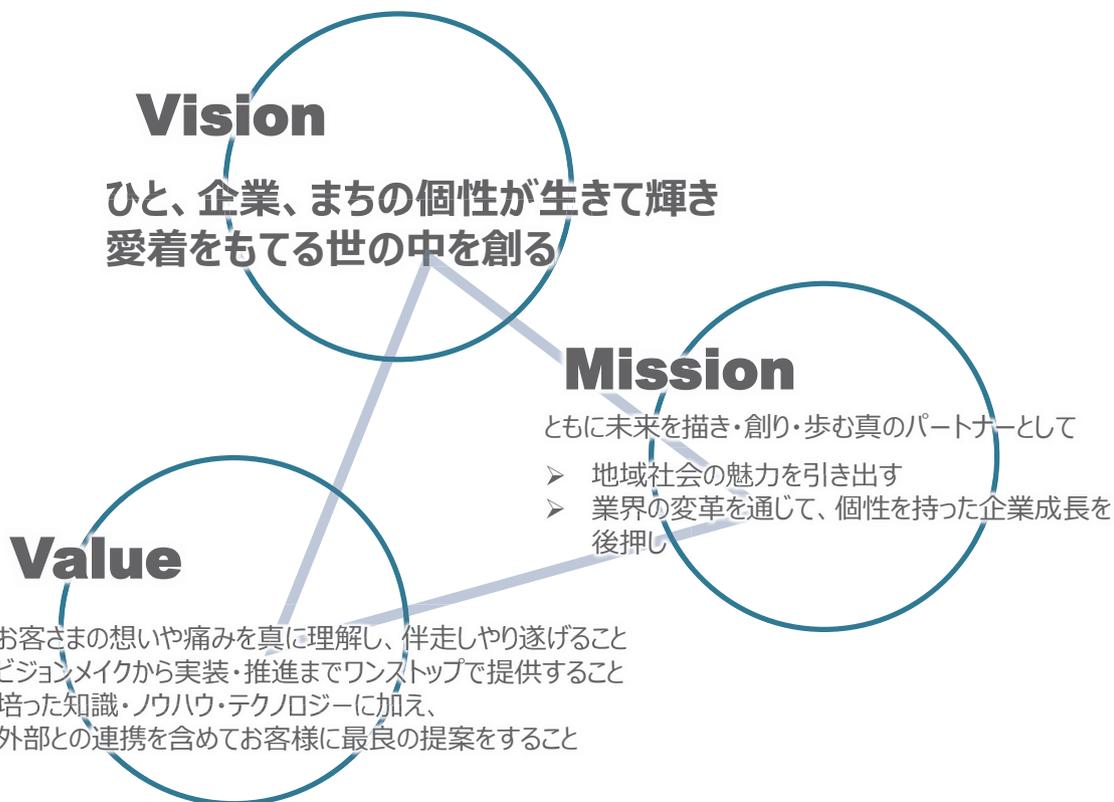


図1 NTT DXパートナーの企業理念

◆地域のDXは思いを共有する仲間づくりが
大事、NTTグループの本領発揮◆

◆DXに対する世の中に関心も高くなってきていますが、
市場はどのような状況にあるのでしょうか。

特に地域においては、DXという言葉は知っているものの、具体的に何から始めていいかわからない、相談先がないなどの課題があり、DXを実装する前の段階でのご相談をいただくことも多いです。経営や事業課題の可視化や実業務の棚卸など、課題の抽出からご支援させていただくのですが、より幅広い領域をワンストップでご支援するため、自治体をはじめ金融機関、経済団体など、地域企業をサポートしたいと考えている方々とコミュニティをつくりながら地域全体を支えていき、地域が自走できる仕組みをつくっていくことが重要だと考えます。

NTT東日本の各支店は、地元自治体や企業とのお付き合いの中で、地域の課題発見から解決まで取り組み、信頼関係も構築しています。こうした課題の中にDXも含まれており、まさに私たちの真価を発揮できるフィールドではないかと考えています。

◆今後の展望についてお聞かせください。

地域においては前述のとおり、DXへの関心は高いものの、その多くがDXに向けて、緒に就いたばかりの状況です。またDXそのものもめざすゴールが広範にわたっています。こうした潜在需要やゴールを1つでも多く掘り起こしていくことに当面取り組んでいきます。その先には、地域のDXをコンサルティングから推進まで支援するビジネスを通して、地域を活性化する、元気にするエコシステムがあることを確信しています。

「山梨DX推進コミュニティ」で地域の皆が元気に

DXコンサルティング部
ビジネスデザイナー
小林 和貴 さん



◆担当されている業務について教えてください。

山梨DX推進支援コミュニティが発足し、山梨県内企業のDX推進を支援しています。県内の中小企業はDXという言葉は知っているものの、それが何なのか知らない、あるいは業務効率化をめざすいわゆるデジタル化と混同して、DXの本質である価値創造に至れないといった現状にあります。こうした企業は金融機関や商工会議所、場合によってはIT企業等の支援企業に相談を持ち掛けるのですが、支援企業の方々も新しい分野でもあり知見やノウハウもないことから、その対応に苦慮していました。

そのような現状を解決するため、コミュニティをつくって皆で取り組むという提案をしたところ、多くの賛同が得られ、金融機関1、商工会議所3、地元経済団体3、地元企業2、NTT東日本、NTT DXパートナーの11団体で山梨DX推進支援コミュニティを発足するに至りました。また、その活動の中心として、図2の「やまなしDXエンジン」というコミュニケーションプラットフォーム（ポータルサイト）をオープンし、コミュニティの活性化を図る仕組みづくりを行っています。

◆コミュニティでは具体的にどのようなことが行われているのでしょうか。

やまなしDXエンジン（NTT DXパートナーが運用）ではDXに関するセミナーや研修、個社別DX相談の受付、



図2 山梨DX推進コミュニティ全体像

DX事例共有、ビジネスマッチング、ソリューション紹介、等を提供する機能を具備しています。

県内企業がやまなしDXエンジンにアクセスし、開催されているセミナーの受講や掲載されているDX事例や各種ソリューション情報などから情報を収集していただき、個別に相談をしたい場合はポータル上の相談窓口からコミュニティメンバへコンタクトをとることができます。「個社別のDX相談」ではコミュニティメンバの実例を含むさらに詳細な事例の紹介、戦略策定や業務改善の支援、また補助金の相談、申請等各種支援を受けることができます。コミュニティには参加者がお互いに意見交換する場も設けられており、それが他社のDXへの支援情報になる等、いい循環もできてきています。

◆今後の展望について教えてください。

立ち上げから2カ月たった2022年10月現在では30社にご登録をいただいております。今後は2022年度中に100社をめざしたいと思います。

コミュニティを盛り上げていくことで、多くの実例や意見も出てくるとともに、実際にDX推進活動も活発になり、それがさらなる参加者増を誘引することにつながります。成功する企業をどんどん生み出していき、その方々が自らのコミュニティ参画企業を支援していく好循環を創出していくことで、新たな価値創造、ビジネスにつなげていきたいと考えています。この取り組みもまさにDXそのものなのです。そして、その先には他の地域への水平展開も視野に入れていきます。

睡眠課題解決が経済損失からの脱出

プラットフォームビジネス部
ビジネスデザイナー
梅田 貴大 さん



テックリード
中村 元 さん



◆担当されている業務について教えてください。

睡眠医学の専門医が創業したブレインスリープ社と共同

で、デジタル技術を活用した睡眠分野のソリューションを「スリープテックプラットフォーム」として提供しています。

Well-beingや健康経営といった言葉をしばしば目にするようになりましたが、これらの分野では睡眠が非常に重要なファクターとなっています。そこで、ある意味 DXの創造価値や課題解決の対象として睡眠に着目し、それをプラットフォームとして構築しました。

このプラットフォームは、スタンフォード大学生体リズム研究所所長の西野教授が創業したブレインスリープ社の医学的知見とNTTグループのICTを連携させ、睡眠ステージやいびき、寝姿勢等のデータの分析レポート、これらのデータが平均値とどのような位置関係にあるのかを可視化した「睡眠偏差値forBizやブレインスリープコイン」、睡眠時無呼吸症候群（SAS）に関する簡易スクリーニング結果等の情報や各種API（Application Programming Interface）、EC機能を提供するものです。

このプラットフォームを活用して、健康経営推進企業には分析レポートを含む「従業員睡眠改善プログラム」、睡眠商品開発企業には睡眠事業プロデュース（コンサルティング）、医療・警察・運輸関連にはSAS簡易スクリーニング（開発中）、個人・企業社員・自治体職員には睡眠改善サポートとしての睡眠改善コンテンツや睡眠専門クリニック連携、快眠グッズ販売等のソリューションを多角的に展開しています。

また、Sleep Network Hub「ZAKONE」という企業や個人をつなぐコミュニティ兼メディアを立ち上げ、「睡眠にかかわる、かかわりたい企業どうしがつながる機会の提供」「共創プロジェクトを生み出すイベントやプログラムの開催」「睡眠に関するプロダクトの先行体験機会の提

供・啓蒙活動」を通して、睡眠関連業界のDX推進を支援しています。

◆睡眠を測定・可視化すると、具体的にどのようなことでしょうか。

「ブレインスリープコイン」という上下、左右、前後の3軸に対する加速度や温度を計測する小型のセンサデバイスを腰付近に装着し、寝ている間の寝床内温度と加速度による3次元の体の動き（寝姿勢や寝返り回数）を測定します。ブレインスリープコインはスマートフォン（アプリ）と接続されており、同時に環境音やいびき音も測定します。これらの時系列データをスマートフォンの画面に表示します。

また、定性的な観点から全国1万人以上から収集されたアンケートベースの測定アルゴリズムも持っており、偏差値/平均値を基準として客観的に見た自身の睡眠の質が可視化できる「睡眠偏差値forBiz」も提供しています。

◆今後の展望について教えてください。

日本人の5～6割程度が睡眠、特に睡眠の質に悩んでいるといわれており、経済産業省の調査では生活習慣病やメンタル等の一般的な健康問題よりも、睡眠問題による経済損失が一番大きいといった結果も出ており、睡眠問題は日本の社会課題となっています。一方で、健康経営に積極的に取り組んでいる健康優良法人認定取得企業の中でも、睡眠問題に取り組んでいるところはまだまだ少ない状況です。

こうした社会課題解決を支援するのが、「スリープテックプラットフォーム」や「ZAKONE」であり、これにより健康経営の促進、経済損失の解消等につなげていきたいと考えています。

NTT DXパートナー ア・ラ・カルト

■全社員でつくる企業理念・スピリッツ

一般的に会社の企業理念は、会社設立時にその背景をベースに定められることが多いと思いますが、NTT DXパートナーは会社設立後に、初期メンバー10人を中心に何を成し遂げたいのかというビジョン、そのためにどんなことをミッションとするのか、価値・バリューは何かについて週1回リモート会議で意見を出し合い、そして、全社員からの意見を集約して企業理念に紐づくスピリッツをつくり上げたそうです。スピリッツは10項目で、その裏側には幾多のメンバー1人ひとりが考えたスピリッツがあり、それらをまとめあげたものになります。なおスピリッツは社会環境等の変化に応じて入れ替わっていくことも考えているようです。



DXコンサルティング部
ビジネスデザイナー
熊坂 英莉 さん

地域循環型社会の実現に向けた体感フィールド “NTT e-City Labo”

NTT東日本グループは、これまで情報通信分野において“地域密着”を強みとして事業を展開してきましたが、地域の社会課題は時代とともに刻々と変化し、多岐に及んでいます。特に、持続的な成長が可能な循環型の社会への転換ニーズが高まっていると感じています。NTT東日本グループでは、地域循環型社会の実現に向けて、スマート農業・ドローン・eスポーツ・デジタルアートなどさまざまな分野に取り組んできましたが、2022年5月、お客さまが地域循環型社会を実証・体感できる施設として、“NTT e-City Labo”を開設しました。

NTT e-City Labo 開設の目的とこれまでの取り組み

NTT e-City Laboは、NTT東日本グループがめざす地域循環型社会を実現するために、地方創生の主体となる地域の自治体や各分野の参画企業の皆様にお越しいただき、地域課題の解決に向けた議論・実証を行い、社会実装をめざすための施設としてオープンしました（図1）。

NTT e-City Laboを開設するにあたって、こだわったことが3つあります。

1番目は、本物感（Reality）です。本施設では、最新技術を活用した、最先端農業ハウスや都市型バイオガスプラントなど、実際の産業で活用される機器や資材を稼働させています⁽¹⁾。資料、映像、オンラインでは伝わらない現物・本物を五感で体感いただくことができます。

2番目は、共感（Sympathy）です。本施設で紹介する、NTT東日本グループの取り組みは、社会課題の解決に向けて、地域の皆様や、パートナー企業の皆様とともにつく

り上げていったものです。机上の空論ではなく、皆様とともに汗を流し、課題解決に取り組んだNTT東日本グループ社員の生の姿を紹介します。

3番目は、共創（Co-Creation）です。本施設は、地域と地域、地域と企業を結びつける循環型社会に関するさまざまな取り組みや最新技術の情報流通基地として活用できます。地域や企業の皆様と地域課題の解決やビジネスをともにつくり上げていくことをめざしていきます。

このようなコンセプトの下オープンしたNTT e-City Laboですが、自治体や企業の皆様にも、足を運ぶだけの価値があるご理解をいただき、これまでに見学された自治体・企業の皆様は、約150件、総見学者数は1200名に上ります（2022年10月10日現在）。

見学された方からは、「地域循環型社会やスマートシティなどについては、取り組むべき分野もさまざままで具体的に何をやればよいか分からなかったが、今回の見学を通じて、実物や取り組み事例を見ることができ、自身の地域で取り組むべき課題が分かった」といった声もいただいています。実際にコンテナ型バイオガスプラントの導入による再生可能エネルギーの取り組みや文化芸術のデジタル保存など、すでに具体的な相談を多数いただいています。

NTT e-City Laboの施設について

NTT e-City Laboでは、2022年10月時点で14の施設を用意しています（表）。

今回はこの中でも、屋外で実際に稼働している「最先端農業ハウス」と「再生可能エネルギー」を活用した都市型循環モデルの取り組みと、地域内外の交流促進として注目されている「eスポーツ」「文化芸術」について、詳しく説明します。



図1 NTT e-City Laboについて

表 NTTe-City Laboの展示施設一覧

分野	施設概要
最先端農業ハウス	[先進テクノロジー活用による最先端農業の実装] ● 4Kカメラ, スマートグラス, 遠隔操縦走行型ロボット, 遠隔指導コックピット等を用いた最先端農業ハウスの見学
陸上養殖	[水産資源の持続的確保に向け陸上養殖ビジネス化へ挑戦] ● 福島市で行っているベニザケ養殖実証プラントの遠隔モニタリング
ローカル5G オープンラボ	[ローカル5Gの社会実装に向けたユースケースの共創] ● 「ギガらく5G」環境をはじめ, 複数メーカ基地局を備えた国内有数のローカル5G検証環境
スマートストア	[働き手不足解消と売上向上を両立する次世代型店舗] ● 無人運営店舗 (Grab and Go型ストア) の購買体験
自動運転	[ローカル5Gによる自動運転技術実証] ● 自動運転バス (レベル4相当) のご紹介
詐欺対策・防災	[AIを活用した安心・安全な暮らしを守る電話ソリューション] ● AIを活用した安心・安全な暮らしを守る電話ソリューションの体験 ● Iオートコール技術を用いた地域住民への一斉通知デモ体験
スポーツテック	[ICTを活用した地域のアマチュアスポーツ振興] ● 部活動や地域のスポーツ活動を専門家が遠隔で指導する双方向コミュニケーションのご紹介
再生可能エネルギー	[食品リサイクルを通じた都市型循環エコシステム構築] ● 食品残渣を利用してメタン発酵により再生エネルギーや液肥を創出するコンテナ型バイオガスプラントの見学
ドローン	[農業や各産業への国産ドローンの社会実装を推進] ● 無農薬散布や, カメラと組み合わせた測量点検など, ドローンの多様な活用方法を, 実機とともにご紹介
eスポーツ	[ICT×eスポーツによる新たな体験やつながりの創出] ● イベント開催や配信スタジオ機能等を備えた最先端のeスポーツ施設「eXeFieldAkiba」を再現 ● 地域の課題に応じたeスポーツのさまざまな取り組みやイベント事例を紹介
文化芸術	[デジタル化を通じた文化財保護と鑑賞機会の拡大] ● 高精細デジタル化技術を用いたデジタル絵画の鑑賞体験
DX人材育成	[地域のデジタル化を推進するDX人材の育成] ● 地域のデジタル化を推進するDX人材の育成から実装までをトータルサポートするNTT東日本の取り組みを紹介
体調管理・熱中症対策	[持続的な企業の健康経営・働き方の改善, 業務DX] ● バイタルデータをリアルタイムで収集・分析による健康経営の取り組みを紹介
スリープテック	[睡眠×ICTによる生産性向上] ● 日本有数の情報ソリューションで培ったデータ解析技術と, 医学を掛け合わせた, スマートな睡眠ソリューションを体験

■最先端農業ハウスと再生可能エネルギーを活用した都市型循環モデル

農業経営体数は年々減少の基調であり、15年前と比べて、経営体数が約100万減少⁽²⁾しているといわれており「生産性の高い農業」と「省力化」の両立が社会的要請となっています。

また、小規模分散型の東京農業においては「技術指導員にかかる人手不足の解消」が課題となっています。

本実証ハウスでは、農業分野に注力した会社であるNTTアグリテクノロジーが、農林水産分野における東京都の政策連携団体と協力して、最先端技術を活用し、遠隔

からの効率的かつ高品質な農業指導や、データを基にした最適な農作業支援の実現に取り組んでいます⁽³⁾。具体的には、4Kカメラやスマートグラス、遠隔操作走行型カメラで撮影された調布市の農業ハウスの様子を高解像度の映像データとしてローカル5Gを介して、立川市にある研究所に伝送し現地に赴くことなく高品質な技術指導を実現しています。

なお、栽培したトマトは市場流通するだけでなく、NTT東日本の食堂や地域の小学校と連携してフードロス削減・都市型循環モデルの取り組みを実施しています。

具体的には、①まず栽培したトマトを市内の小学校の給

— 都市型資源循環モデル —

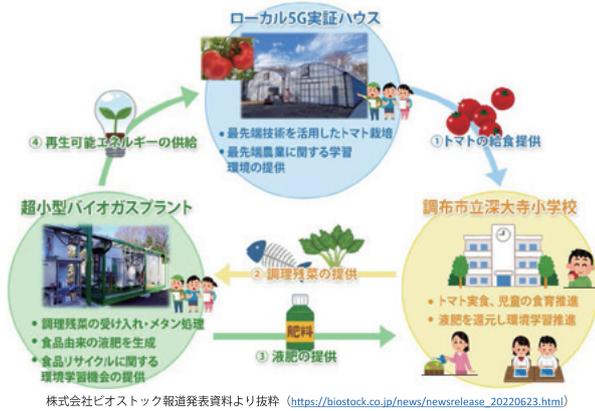


図2 都市型循環モデル

食として提供します。②続いて、給食の調理残菜は、NTT e-City Labo内にあるコンテナ型バイオガスプラントで処理することで、再生可能エネルギーと食品由来の液体肥料を生成します。③生成された液体肥料は、市内の小学校へ提供し、環境学習の機会を提供します。④再生可能エネルギーは、農業ハウスの予備電源に活用しており、NTT e-City Laboの中で都市型循環モデルを再現しています(図2)。

■eスポーツの取り組み

eスポーツは、2000年ごろから海外では大会が開かれ、2018年を境に、日本でも競技団体の設立、大会やイベントなどの開催がさかんになり、海外市場規模は約1000億円を突破⁽⁴⁾し、国内市場も2022年には約100億円に達する見込み⁽⁵⁾です。このような成長分野に対して、企業や自治体の皆様からは「eスポーツを社会課題の解決に活用できないか」という相談を多数いただいていた。

このような相談を受け、NTT東日本グループでは、eスポーツに必要な低遅延・高品質で安定した通信ネットワークやICTをベースに、新会社であるNTTe-Sportsがeスポーツを活用した地域課題の解決および地域の新たな価値創造を提案しています⁽⁶⁾(図3)。

NTT e-City Laboでは、NTTe-Sportsが運営する、「ICT×eスポーツ」を通じて新しい文化・社会を創造する交流施設「eXeField Akiba(エグゼフィールドアキバ)」を再現しました。最先端のICTと最新の機材に触れていただきながら、人と人、地域と地域をつなげる、eスポーツの事例や新たな可能性を体感いただけます。

eスポーツによる地域活性化・地域課題解決をワンストップで実施する唯一の会社であり、地域活性を実現するために5つの事業セグメントを設けている。

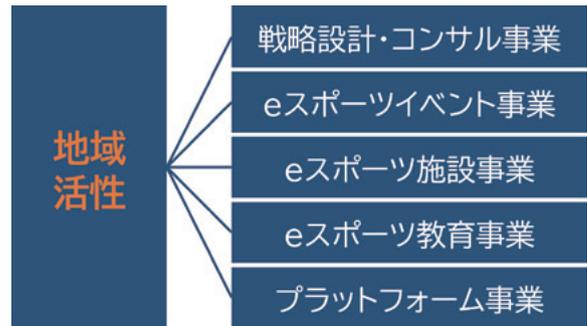


図3 NTTe-Sportsのミッション

■文化芸術の取り組み

日本の文化芸術は「少子化に伴う地域の伝統技術の後継者不足」や「災害・経年劣化・異常気象等による文化遺産の損失・消失」といった危機にさらされています。

また、新型コロナウイルス感染症の拡大を受け、非接触や時間や場所に縛られない新たな文化芸術鑑賞のあり方が求められています。

そのような中、文化芸術分野に注力したNTT東日本グループの新会社NTT ArtTechnologyでは、地域の文化芸術に最先端技術を組み合わせ、文化芸術のデジタル化を通じた地方創生を実現する「デジタルアート推進事業」に取り組んでいます。

この事業のコンセプトの第一に、文化芸術のデジタル化によって「守る」といったことがあります。自治体や美術館・博物館、企業などが所蔵する絵画や彫刻といった貴重な文化財を協業パートナーが保有する画像処理技術を活用することで、オリジナルの作品の魅力を忠実に再現した高精細なデジタルデータとして記録します⁽⁷⁾。

また、文化芸術をデジタル化することにより、これまでにない新しいかたちで「活かす」ことが可能になります。さまざまな場所への配信が可能となるだけでなく、AR・VR・3D・プロジェクションマッピングなどの先進技術と組み合わせることで、新しい鑑賞体験を提供することができます。

最後に、このように地域の文化芸術の魅力と、ICTの力を組み合わせ、地域と地域、地域と世界を「つなぐ」ことで、地域の文化芸術を通じた地方創生にチャレンジしています。NTT e-City Labo内では、実際にデジタル化され

地域の価値ある文化や芸術を集積して「守り」
先進テクノロジーを用いて発信することで「活かす」
当社がつなぎ役となり、地域と地域、地域と世界を「つなぐ」

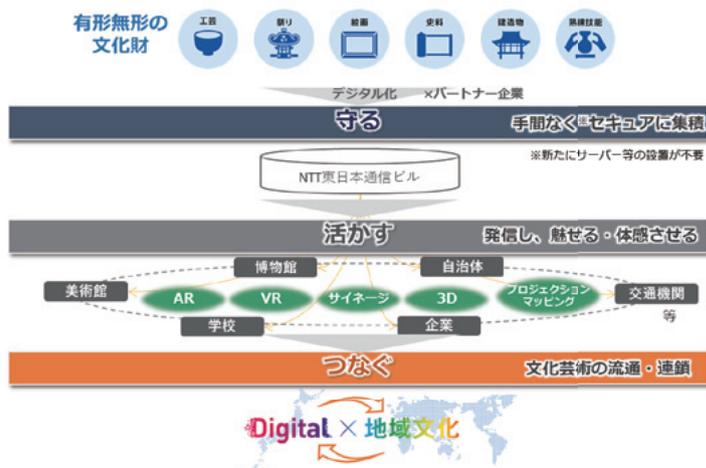


図4 文化芸術におけるNTT東日本グループの強み

た文化財を複数展示しています。「守る」「活かす」「つなぐ」のコンセプトの下、地域の活性化に挑むNTT東日本グループの取り組みを体感いただけます（図4）。

今後の展望

NTT e-City Laboは、地域循環型社会をよりリアルに体感いただくために、順次展示施設を増改築しています。そのための取り組みの1つとして、2022年10月末より、NTT e-City Laboを疑似的な都市と見立てて、各種データの収集・連携・分析を行う都市OS*の構築・展示を開始しています。具体的には、施設を見学される地域の自治体や企業の皆様を来訪者、施設の展示内容を説明する人物を地域住民に見立てて、各展示場所に設置されているデバイスやセンサから取得したデータを、NTT東日本が東京・蔵前に有する地域エッジクラウド上に集積し、分析を行います。分析結果は、見学者へその場で提示し、具体的なアクションまでをリアルに体感することができます。都市

* 都市OS：OSは、オペレーティング・システム（Operating System）の略語で、コンピュータがその機能を果たすために不可欠なソフトウェアのことであり、コンピュータを都市に置き換えて考えるため都市OSと呼ばれています。都市OSでは、さまざまなサービス連携および都市間の連携を実現するために、システム的な共通の土台を用意することで、さまざまな事業者や他の地域が提供するサービス・機能を自由に組み合わせ活用できるようになります。

OSは、概念的で実際の活用イメージが湧きづらいとよくいわれますが、このようなリアルな体感を通じて、社会実装ひいては地域循環型社会の形成に貢献していきたいと考えています。

このような取り組みを通じて、NTT e-City Laboは、産（企業）・官（自治体）・学（教育研究機関）・民（地域）と連携したデジタルイノベーションを生むオープンな体験型プラットフォームとして、NTT東日本グループのケーパビリティの拡大および技術力を確保しつつ、SDGs（持続可能な開発目標）企業としてのブランドを確立していくことをめざしています。

■参考文献

- (1) <https://journal.ntt.co.jp/article/7831>
- (2) <https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/index.html>
- (3) <https://journal.ntt.co.jp/article/1866>
- (4) <https://newzoo.com/insights/trend-reports/newzoo-global-esports-market-report-2019-light-version>
- (5) <http://gzbrain.jp/pdf/release181211.pdf>
- (6) <https://journal.ntt.co.jp/article/642>
- (7) <https://journal.ntt.co.jp/article/16064>

◆問い合わせ先

NTT 東日本
経営企画部 営業戦略推進室
TEL 03-5359-3450
E-mail e-city_lab@east.ntt.co.jp

NTT技術ジャーナル

2022 年

総目次

Vol.34 No.1 ~ No.12

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

〈編集部〉

■ トップインタビュー ■

新しいものはすべて「人」から生まれる。サービスやプロダクトの原点は「人」である	島田 明 NTT代表取締役社長	8	4
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	9	4
若かりし頃の熱い思いが滾る。新しい価値を生み出し、社会のあたりまえになるまで育んでいきたい	前田 義晃 NTTドコモ 代表取締役副社長	10	4
着眼大局・着手小局の姿勢、高い志とパッションを携えて、真のグローバル企業へと成長	本間 洋 NTTデータ 代表取締役社長	11	4
共感・協力・感謝の実践「心の経営」で地域の未来を支えたい。夢や希望にあふれる循環型社会づくりに挑戦しよう！	澁谷 直樹 NTT東日本 代表取締役社長	12	4

■ 特集 ■

● NTT R&D フォーラム - Road to IOWN 2021

What is IOWN ?	澤田 純 NTT代表取締役社長	1	4
Road to IOWN 2021	川添 雄彦 NTT常務執行役員 研究企画部門長	1	10
「NTT R&Dフォーラム - Road to IOWN 2021」開催報告	NTT R&Dフォーラム事務局	1	20

● デジタルツインコンピューティング構想実現に向けた技術開発

IOWN デジタルツインコンピューティングで実現する世界	内藤 一兵衛・稲家 克郎・藤村 滋・中村 高雄・北原 亮・森 航哉	1	28
感性コミュニケーション技術の実現に向けた熟練度と対話満足度に関する取り組み	西條 涼平・徳永 陽子・山口 大地・リドウィナ アンダリニ・松尾 翔平・戸嶋 巖樹・倉橋 孝雄・小澤 史朗	1	32
Another Meを実現する技術群	大塚 淳史・高山 千尋・二瓶 美巳雄・石井 亮・西村 徹	1	36
未来社会探索エンジン実現に向けた取り組み	重松 直子・磯村 淳・上野 磯生・沖 宣宏・荒川 豊・吉田 和広	1	39
環境と経済社会の循環を可視化する連成シミュレーション技術	丸吉 政博・六藤 雄一・徳永 大典	1	43

● データセントリック時代のソフトウェア技術

データセントリック時代のソフトウェア技術	木原 誠司・田中 裕之	2	6
組織を越えたデータ利活用を安全・便利にする次世代データハブ	大村 圭・ジェイ ホンジェ・片山 翔子・河井 彩公子・柏木 啓一郎・馬越 健治・除補 由紀子・木村 達郎	2	9
将来のスマートシティを支える高解像度多カメラ分析基盤	三上 啓太・史 旭・井上 規昭・榊林 亮介・松尾 嘉典・山崎 育生	2	14
繰り返し型の効率的なテストを実現するテスト活動データ分析技術	丹野 治門・切貫 弘之・川口 敬宏・但馬 将貴・生沼 守英・村本 達也	2	18
主役登場 AIの省電力化をめざして	榎本 昇平	2	22

● ナノメカニクス研究の最前線

ナノメカニクス研究の概要と展望	山口 浩司・後藤 秀樹	2	26
ナノメカニカル振動子による新しいカオス信号生成手法	山口 浩司・Samer Hourri・浅野 元紀	2	30
フォノン導波路やフォノン結晶を用いた弾性波の制御	畑中 大樹・黒子 めぐみ・山口 浩司	2	34
光のエネルギー損失が極めて少ないオプトメカニカル素子の創出	太田 竜一・Victor M. Bastidas・山口 浩司・岡本 創	2	39
光キャビティを用いたナノワイヤ振動子の高感度検出と制御	浅野 元紀・章 国強・山口 浩司・岡本 創	2	43
インクジェット技術を用いた架橋ナノワイヤ電気機械素子の作製	佐々木 智・館野 功太・岡本 創・山口 浩司	2	47
主役登場 物体の小さな振動を利用する	岡本 創	2	51

● グローバルパートナーと紡ぐ IOWN 構想

「IOWN構想の実現に向けた技術開発」の進捗について——Progress of IOWN Technology Development	川島 正久・荒金 陽助	3	6
IOWN Global Forumにおけるオープンオールフォトンクス・ネットワークの検討	西沢 秀樹・可児 淳一・濱野 貴文・高杉 耕一・吉田 智暁・安川 正祥	3	12
IOWN Global Forumにおける次世代コンピューティング基盤の検討	益谷 仁士・シューマッハー クリストフ・清水 健司	3	17
IOWN Global Forumにおけるストレージサービスの検討	井上 知洋	3	23

● NTT グループの社会変革に向けた ICT ソリューション

お客さまとの共創による先端技術の社会実装の取り組み	長谷部 豊・今村 達也・佐藤 和輝・会田 悟・中村 元・秋宗 瑠美	3	30
3D-Viewで建設・製造・あらゆる現場のDXを推進するファシリティマネジメントサービス「Beamo™」	田口 陽一・木付 健太	3	35
DXビジネス拡大を阻む4つの課題	勝田 弘和	3	40

● NTT グループの食農分野の取り組み——食農の新たな価値創造への挑戦

NTTが描くこれからの農林水産業——生産力向上と持続性の両立	久住 嘉和・吉武 寛司・村山 卓弥	4	6
超小型バイオガスプラントによる社員食堂残渣の食品リサイクルを通じた都市型循環エコシステム	井上 翔吾	4	10
農業を起点にしたコネクテッド・ドローンの開発と社会実装	山崎 顕・関口 勇二・鈴鹿 真也・北川 侑・佐瀬 穂高・堤 美音	4	14
NTTデータが取り組むデータ駆動型土づくり	大関 知夫・山根 和也	4	16

コンシューマ向けに農作物を販売するマルシェ by goo	寺崎 宏・久須美 達也	4	18
------------------------------	-------------	---	----

● IOWN/6G に向けた光・無線伝送技術

幅広い領域をカバーし新たな通信パラダイムを切り拓く研究開発	岩科 滋・島野 勝弘・高杉 耕一・赤羽 和徳・才田 隆志	5	6
デジタルコヒーレント光伝送技術の今後の展開	木坂 由明・西沢 秀樹・山崎 悦史・才田 隆志	5	11
スケーラブル光トランスポート技術の研究開発	宮本 裕・渡辺 啓・中島 和秀	5	16
6G時代の多様な無線アクセスを支える先端無線技術の研究開発	増野 淳・藤野 洋輔・工藤 理一	5	20

● NTT とトヨタでつくるコネクティッドカー向け ICT 基盤の取り組み

コネクティッドカー分野の技術開発・検証の全体概要	小泉 敦・三橋 慎	5	28
実証実験の取り組みと成果——基盤関連	千葉 祐	5	31
実証実験の取り組みと成果——ネットワークエッジ基盤	野地 亮介・亀井 貴行・船引 魁人・村田 大輔・金丸 侑賢	5	35
高速時空間データ管理技術 (Axispot®)	磯村 淳・重松 直子・上野 磯生・沖 宣宏・荒川 豊	5	39
車両データ選択的収集アルゴリズム	高木 雅・松尾 和哉・中田 亮太・森 航哉	5	44
垂直分散コンピューティング技術	松尾 和哉・高木 雅・中田 亮太・森 航哉	5	48
レーン別渋滞検知技術	森 皓平・横畑 夕貴・林 亜紀・秦 崇洋・神谷 正人	5	53
集計突発指標算出技術	林 亜紀・横畑 夕貴・秦 崇洋・森 皓平・神谷 正人	5	57

● オールフォトニクス・ネットワーク (APN) の実現を支えるデバイス技術

400 Gbit/s 40 kmの伝送を実現する高光出力光送信器と高感度光受信器	金澤 慈・進藤 隆彦・中西 泰彦・名田 允洋・葉玉 恒一・陳 明晨・辰己 詔子・神田 淳・中村 浩崇	6	6
大容量ネットワークの柔軟性を実現するC+LバンドCDC-ROADM	鈴木 賢哉・葉玉 恒一・山本 秀人・谷口 寛樹・木坂 由明	6	11
IOWNの実現に向けたメンブレン光変調器の開発	開 達郎・相原 卓磨・藤井 拓郎・武田 浩司・瀬川 徹・松尾 慎治	6	15
電流注入結合フォトニック結晶レーザを用いた例外点縮退の観測	高田 健太・野崎 謙悟・倉持 栄一・松尾 慎治・武田 浩司・藤井 拓郎・北 翔太・新家 昭彦・納富 雅也	6	20
主役登場 未来のネットワークを支える半導体レーザ	進藤 隆彦	6	25

● 光を用いた次世代コンピューティングを実現するデバイス技術

光による次世代コンピューティングと光デバイス技術	岡田 顕・橋本 俊和	6	28
高速光量子コンピュータ実現に向けた連続波・広帯域スウィーズド光源	柏崎 貴大・井上 飛鳥・梅木 毅同	6	32
光を用いて計算する次世代コンピューティングに向けた光回路技術	橋本 俊和・阪本 隼志・小仁所 志菜	6	35
光デバイスによるリザーバコンピューティングの物理実装	中島 光雅・鶴谷 拓磨・田仲 顕至・橋本 俊和	6	39
主役登場 光で計算機を再考する	中島 光雅	6	43

● IOWNに向けたアクセスネットワーク技術

サービスを創造し支え続けナチュラルでスマートな社会を実現するアクセスネットワーク技術	青柳 雄二	7	6
社会インフラ事業の課題解決を実現する研究開発の取り組み	粟田 輝久	7	10
ユーザやサービスに合わせるネットワークの実現に向けたワイヤレス技術への取り組み	鷹取 泰司	7	14
DXスパイラル実現に向けたオペレーション技術の取り組み	柴田 朋子	7	19
筑波研究開発センタの50年	高橋 央・川田 秀雄・小山 良・田中 亮・大槻 信也・後藤 和人・田所 将志	7	24

● インテントを用いたネットワーク、クラウドサーバ、アプリケーション連携技術

インテントAIメディアータ (Mintent) による快適なサービスの実現	山岸 和久・小林 正裕・堀内 信吾・田山 健一	7	30
Mintent実現に向けた多様かつ曖昧なインテントの抽出・変換技術	恵木 則次・堀内 信吾	7	35
クラウドサーバリソース最適化による快適なWeb会議サービスの実現	菊島 宏明・呉 超	7	39
映像配信サービスにおけるインテントに基づくアプリケーション・ネットワーク協調制御技術	河野 太一・小林 正裕	7	44

● 人と社会の Well-being を可能にする研究開発の取り組み

Well-beingなデジタル・リアル融合社会に向けた取り組み	鈴木 勝彦・宮本 勝	8	10
Social Well-being: 個人の自律と集団の調和を利他的に共存できるつながり	宮本 勝・中嶋 良彰・古賀 祐匠・西川 嘉樹・宮島 麻美・折目 吉範・今野 俊一	8	14
生涯健康をサポートするWell-being健康科学——心身のリズムを可視化し、自分なりに整える	中島 寛・瀬山 倫子・田島 卓郎・江口 佳那	8	18
人デジタルツイン×Well-being	深山 篤・永徳 真一郎・戸嶋 巖樹・小澤 史朗	8	21
人々のWell-beingの理解と向上をめざした人間情報科学研究	西條 直樹・藤野 正寛・村田 藍子・大石 悠貴・渡邊 淳司	8	24
主役登場 Well-beingのための情報通信技術のデザインをめざして	赤堀 渉	8	29

●変化する現在、持続する未来

変化する現在に適用し、持続する未来を切り拓くコミュニケーション科学——人・社会・環境との調和と共生をもたらす技術の創出	納谷 太	8	32
あなたの声を「すぐそば」品質で聴くAI——遠くからでも近接マイク品質で混ざった音を聞き分ける革新的音響処理技術	中谷 智広・池下 林太郎・加茂 直之・木下 慶介・荒木 章子・澤田 宏	8	36
モバイルセンシングを活用したパーソナル心臓モデリング	柏野 邦夫・渋江 遼平・塚田 信吾	8	41
デジタルツインでモビリティ群を賢く制御する——分散深層学習がもたらす未来の可能性	丹羽 健太	8	45
対称性に基づく解析学と幾何学による数論と量子相互作用	若山 正人	8	50
主役登場 とっさに判断して動く脳のメカニズムの解明に向けて	小林 明美	8	57

●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

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	青野 裕司	9	10
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	井上 照久・小池 幸生	9	13
人の身体性を伴う遠隔作業を実現する身体遠隔化技術	近藤 重邦・佐藤 大祐・後藤 充裕・高木 基宏・松村 成宗	9	17
リアル会場とリモート観客との調和再現技術	黒住 隆行・長谷川 馨亮・松本 英一郎・江浦 俊彦・深津 真二	9	21
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	望月 理香・巻口 誉宗・幸島 匡宏・横山 正典・山本 隆二	9	25
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て	井元 麻衣子	9	29

●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

RANオープン化 (Open RAN) に向けた取り組み	平塚 大輔・栗生 敬子・ウメシュ アニール・森 晴基	9	32
RAN仮想化 (vRAN) に向けた取り組み	水田 信治・ウメシュ アニール・中島 佳宏・久野 友也	9	37
RANインテリジェント化に向けた取り組み	桂川 太一・川名 昭博・井上 義雄・立石 隆浩・橋本 英奈・藤塚 拓実	9	45

●宇宙統合コンピューティング・ネットワーク

宇宙統合コンピューティング・ネットワークの取り組み概要	鈴木 耕世・堀 茂弘・兼清 知之	10	10
宇宙コンピューティングに向けたイベント駆動型推論の検討	江田 毅晴・内藤 一兵衛・山崎 育夫・田端 啓一・史 旭	10	14
宇宙RANにおけるHAPS実用化に向けた取り組み	外園 悠貴・岸山 祥久・浅井 孝浩	10	17
衛星センシングプラットフォーム	山下 史洋・糸川 喜代彦・藤野 洋輔・鈴木 賢司	10	23

●NTT Technology Report for Smart World

「NTT Technology Report for Smart World 2022」の公開について	兼清 知之・白井 大介・井上 鈴代	10	28
---	-------------------	----	----

●IOWN 実用化に向けたトランスポートネットワーク技術

APNの早期実用化加速に向けた光トランスミッション技術	須田 祥生・青柳 健一・菅野 康隆・武智 宏人・犬塚 史一・伊達 拓紀・白井 宗一郎	11	10
ネットワークディ disaggregation・移動固定融合に向けたサービスノード構成技術	横井 俊宏・望月 このみ・中村 孝幸・西山 聡史・高橋 謙輔・大坂 健	11	14
ネットワーク運用の高度化に向けたネットワークコントロールシステム構成技術	林 裕平・木原 拓・須藤 篤史・武井 勇樹・渡辺 裕太	11	18
主役登場 社会を変える通信基盤をめざして	伊達 拓紀	11	23

●3GPP Release 17 標準化活動

5Gおよび5G-Advanced標準化動向	原田 浩樹・永田 聡・巳之口 淳・竹田 真二・ウメシュ アニール	11	26
3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要——システムアーキテクチャ	巳之口 淳・鈴木 悠司・Srisakul Thakoisri・Riccardo Guerzoni・Malla Reddy Sama・Tugce Erkilic Civelek	11	31
3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要——コアネットワークと端末	石川 寛・彦坂 真央樹・西田 慎・Ban Al-Bakri	11	35
3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要	原田 浩樹・熊谷 慎也・小原 知也・谷口 真人・下平 英和	11	39

●しなやかな社会の実現に向けた環境負荷ゼロと環境適応への取り組み

宇宙、環境、エネルギー分野における革新的技術への取り組み	前田 裕二	12	10
環境負荷ゼロに貢献する次世代エネルギー技術	鳥海 陽平・藤原 大・南 裕也・中村 尚倫・田中 徹	12	14
カーボンニュートラルの実現に向けたCO ₂ 変換・制御技術	迫田 和馬・伊藤 真奈美・今村 壮輔・高谷 和宏	12	18
地球環境と人間社会の未来予測技術	小山 晃・張 曉曦・久田 正樹・原 美永子	12	22
極端自然現象下においても安心・安全な社会生活を実現するプロアクティブ環境適応技術	池田 高志・丸山 雅人・岩下 秀徳・栢田 俊久・長尾 篤・石山 文彦・広島 芳春・木内 笠	12	26
主役登場 行動変容を軸とした未来予測技術の実現をめざして	篠塚 真智子	12	30

●3GPP Release 17 標準化活動

3GPP Release 17における産業創出・ソリューション協創向け高度化技術	熊谷 慎也・高橋 優元・吉岡 翔平・井上 翔貴・関 天楊・岡村 真哉	12	34
3GPP Release 17におけるモバイルブロードバンド向け高度化技術	松村 祐輝・芝池 尚哉・栗田 大輔・小原 知也・小熊 優太・渡邊 壮輝・大川 立樹・高宮 康太郎	12	38
3GPP Release 16および17における確定性通信の実現に向けた高度化技術	Jari Mutikainen・Riccardo Guerzoni・巳之口 淳	12	43

■挑戦する研究者たち■

人とコンピュータが同じ音空間を共有して、自由に協力し合える鉄腕アトムのような世界を実現したい	中谷 智広	1	55
研究者にはゴールはない。満足したら終わりだと思えるのが健全	中島 和秀	2	58
課題解決によって研究テーマが減るとは考えない。できることが増えて新たな研究領域を開拓	澤田 宏	3	52
最大の願いは「貢献」。年齢を重ねても研究するスピリットを持ち続けたい	武居 弘樹	4	22
研究者は「やりたいことドリブンで何でも実行」。好奇心優先で、まずは何でもやってみる	東中 竜一郎	5	61
あらゆる技術者がセキュリティの素養を持つことが当たり前の世界になったらいい	秋山 満昭	6	44
内発的動機が一番強いドライビングフォース。志の共鳴が新しい流れをつくる	柏野 牧夫	7	49
医学と情報通信の橋渡しにより、発作による突然の不幸を減らしたい。抜きでた研究者に共通するのはグッド・コミュニケーターである	塚田 信吾	8	58
研究者はちょっと先を見せてくれる鏡のような存在	渡邊 淳司	9	52
探究心と好奇心を持って隣接領域にも挑む	小林 哲生	10	59
一発逆転でなくていい。しっかり正しく追究すればその知識の蓄積が貴重な貢献となる	古川 茂人	11	44
さらに広い視野に立って考え、本質的な目標に近づけたい	可児 淳一	12	48

■挑戦する研究開発者たち■

AIに「Do you really want to hurt me?」と質問して、その回答が「君は完璧さ」と思える日を夢見て	川前 徳章	1	59
シンプルなコードにこだわるという美学。最後の番人として「中身まで分かる人」でありたい	藤井 雅雄	2	63
ユーザの一步先を行くために、技術の本質的な使い方を迎えるに行こう	橋本 昭二	3	57
ミッションは、高品質、高アジリティ、低コストな伝送ネットワークの実現	鈴木 繁成	4	26
つくったモノは使っていただいてナンボ。「これ、どう?」と、問い続けていきたい	安藤 智浩	5	65
信念とパッションを胸に妄想しよう! 心の声に耳を傾けてワクワクする未来を描く	池田 大造	6	50
ギブ&ギブ&ギブこそが将来のテイクにつながる	中島 佳宏	7	54
グローバルな視点、コミュニケーション力、そして好奇心で研究開発に臨む	増田 昌史	8	63
「まず腕より始めよ」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	竹野 和彦	9	57
世の中の「当たり前」を変革し、社会課題の解決に挑む	尾島 優太	10	64
めざすサービス像を営業と研究開発の観点から多角的に検討する	金城 皓羽	11	49
研究開発は試行錯誤の繰り返し。失敗を多く経験しても果敢に取り組んでいきたい	大倉 平	12	53

■明日のトップランナー■

毎秒1テラビットの長距離光伝送を実現する「超高速マッハツェンダ型光変調器」の研究	小木曾 義弘	1	64
「インテリジェント空間形成技術」を実現するインテリジェント反射板制御および無線センシングの研究	村上 友規	2	67
藻類と魚介類による炭素循環にゲノム編集技術を適用し海洋中のCO ₂ を低減させる研究	今村 壮輪	3	61
次世代インタラクティブメディアを実現する「視覚モデルに基づく表示映像最適化」の研究	吹上 大樹	4	30
二次元画像から三次元情報を推定 AR-GANで「三次元世界を理解する」コンピュータの実現へ	金子 卓弘	5	69
信号を「折りたたんで」送信。帯域幅のボトルネックを解消する「帯域ダブラ技術」	山崎 裕史	6	55
IOWN構想の未来に欠かせない高性能な光機能デバイスのためのスマートフォトンクス技術	鈴木 賢哉	7	58
電気刺激による効率的な運動学習で人間の可能性を拓ける筋肉インタフェース技術	新島 有信	8	68
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	鈴木 貴大	9	62
共生社会の未来を描く「AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解」	堀川 友慈	10	69
高品質・低遅延の通信を実現する「電界制御による波長可変光源」	上田 悠太	11	54
量子コンピュータ時代に安全な通信を創出する暗号プロトコル研究	山川 高志	12	57

■from NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル■

適正なドローン利用を実現するIoT認可技術	山崎 公輔・石井 一彦	1	47
スポット画像特徴量を用いた観光スポットマイニング手法「ジェネリック観光地」抽出技術	勝見 久央・山田 渉・落合 桂一	2	52
5G MBHにおけるSegment Routing対応ルータ装置の開発	伊賀上 義夫・原田 拓弥・松田 雄大・小川 弘頭	3	45

■グループ企業探訪■

ワンストップの決済・送金サービスで着実に成長 NTTスマートトレード株式会社	1	72
移動通信関連の研究開発を通じて培った強みを活かしお客様の期待にこたえる ドコモ・テクノロジー株式会社	2	70

タイトル	執筆者	月	頁
自動運転車のコアとなるソフトウェアを研究開発 株式会社NTTデータ オートモビリジェンス研究所		3	64
新しい独自の「メソッド」により、「学びの変革」にチャレンジ 株式会社 コードタクト		4	34
持続可能な地域社会への変革をめざして持続可能な地域創生活動を支援 株式会社地域創生Coデザイン研究所		5	72
AM (Additive Manufacturing) 市場を牽引する AMソリューション専業会社 株式会社 NTTデータ ザムテクノロジーズ		6	58
AIによる機械翻訳で多言語対応で高精度な翻訳サービスを提供 株式会社 みらい翻訳		7	62
趣味の活動をきっかけに、プログラミング教育ビジネスを展開 株式会社e-Craft		8	71
XR (Cross Reality) サービスで、鉄工業界の課題解決 株式会社複合現実製作所		9	66
dポイントクラブでお客さまに付加価値を提供 NTTドコモ スマートライフカンパニー コンシューママーケティング部		10	72
数理系のエンジニアがお客さまや社会の課題を解決する専門家集団 株式会社NTTデータ数理システム		11	58
地域のお客さまのDXに寄り添い、地域を元気にする 株式会社NTT DXパートナー		12	60

■from NTT■

マルチAI制御フレームワーク Infratector [®] コア NTTコムウェア	1	67
データ流通とDXにて実現する「日本版Smart Society」——未来の可能性と選択肢が開かれた社会をめざして NTTコミュニケーションズ	2	74
医用画像診断支援技術MaestroAI [®] の実用化に向けた取り組み NTTデータ	3	68
IOWN構想の実現に向けたNTT西日本R&Dセンター/IOWN推進室における研究開発の取り組み NTT西日本	4	38
運転データを用いた空調機故障予見技術の開発 NTTファシリティーズ	5	76
林業での労災と獣害抑止サービスに向けた、山間部におけるLPWA電波伝搬の実地検証 NTT東日本	7	66
社会課題を解決するビジネス創出へ、OPEN HUBの挑戦 NTTコミュニケーションズ	8	74
ユーザ行動の時系列予測モデルを利用したレコメンドエンジンの開発 NTTドコモ	10	74
デジタル人材育成最前線——NTTデータの次世代トップ技術者育成施策 NTTデータ	11	62
地域循環型社会の実現に向けた体感フィールド“NTT e-City Labo” NTT東日本	12	64

■テクニカルソリューション■

宅内設備のネットワーク構成を自動作成支援するツール「NeST」 NTT東日本 技術協力センター	1	76
鉄塔塗装の早期劣化を防ぐ取り組み——鉄塔塗装に関する技術資料の紹介 NTT東日本 技術協力センター	4	41
無線サービスのトラブル解決をサポートする無線電波可視化ツールの開発 NTT東日本 技術協力センター	7	68