

# NTT

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可  
令和6年1月1日発行 毎月1回1日発行 第36巻第1号(通巻418号)

# 技術ジャーナル

# 1

JANUARY  
2024

Vol.36 No.1

特集

## NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION

### サステナブルでしなやかな社会を実現する 環境エネルギー分野での取り組み

For the Future

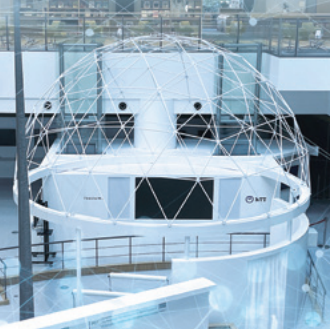
期待と失望が渦巻くメタバース, 最前線を「温故知新」で読み解く—前編—

グループ企業探訪

ネクストフィールド

from NTT東日本

地域の未来を支えるソーシャルイノベーション企業への転換に向けたNTT東日本の新たな挑戦  
“地域循環型ミライ研究所”



### 特集1

## NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION

- 4 「挑む 人と地球のために」 NTT R&Dの取り組み  
島田 明 NTT代表取締役社長 社長執行役員
- 9 IOWN ACCELERATION～想像と創造～  
大西佐知子 NTT常務執行役員 研究開発マーケティング本部長
- 15 LLM +X IOWN～IOWNの進展, NTT版LLMの誕生, そして2つの相互作用～  
木下 真吾 NTT執行役員 研究企画部門長
- 22 「NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION」開催報告



### 特集2

## サステナブルでしなやかな社会を実現する 環境エネルギー分野での取り組み

- 34 NTT宇宙環境エネルギー研究所の取り組み最前線
- 38 クリーンでサステナブルな社会を実現する環境負荷ゼロ技術
- 42 宇宙太陽光発電実現に向けた長距離レーザーエネルギー伝送技術と地上での利用
- 47 環境変化への適応力を高めるレジリエント環境適応研究の最前線
- 51 包摂的サステナビリティの実現に向けた環境社会循環予測技術
- 54 主役登場 落合 夏葉 NTT宇宙環境エネルギー研究所



### For the Future

- 56 期待と失望が渦巻くメタバース,  
最前線を「温故知新」で読み解く—前編—

62 挑戦する研究者たち

高村 誠之

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所 客員上席特別研究員

映像に含まれる雑音を活用し、  
各画素の「真の明るさ」を推測する



特集

66 挑戦する研究開発者たち

折口 壮志

NTT東日本 技術協力センタ 担当部長

技術のプロ集団として、  
現場の特異故障の解決に挑む



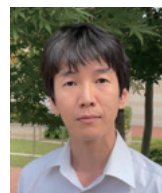
For the Future

70 明日のトップランナー

開 達郎

NTT先端集積デバイス研究所 NTTデバイスイノベーションセンタ  
NTT物性科学基礎研究所ナノフォトニクスセンタ 特別研究員

光電融合技術の未来を加速させる  
「異種材料融合と集積技術を用いた高性能光デバイス」



特別企画

挑戦する研究者たち

74 グループ企業探訪

株式会社ネクストフィールド

建設業界に対してインサイドとアウトサイドの両方の視点から  
アプローチできる唯一無二の会社



挑戦する研究開発者たち

78 from NTT東日本

地域の未来を支えるソーシャルイノベーション企業への転換に向けた  
NTT東日本の新たな挑戦「地域循環型ミライ研究所」

明日のトップランナー

82 Webサイト オリジナル記事の紹介

2月号予定  
編集後記

グループ企業探訪

本誌掲載内容についてのご意見、ご要望、お問い合わせ先

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

本誌ご購入のお申し込み、お問い合わせ先

日本電信電話株一般社団法人電気通信協会 ブックセンター  
TEL (03)3288-0611 FAX (03)3288-0615  
ホームページ <http://www.tta.or.jp/>

NTT技術ジャーナルは  
Webで閲覧できます。

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



from  
NTT東日本



# 「挑む 人と地球のために」 NTT R&Dの取り組み

NTT 代表取締役社長

社長執行役員

**島田 明** Akira Shimada

本記事は、2023年11月14～17日に開催された「NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION」における、島田明NTT代表取締役社長の基調講演を基に構成したもので、人と地球のために挑戦し続けるNTTのR&Dについて紹介します。



## 社会が抱える課題

現在社会が抱えるさまざまな課題のうち、3つを挙げたいと思います。

最初は労働力不足の問題です。労働人口の減少に加えて、直近ではいわゆる2024年問題を抱えていて、建設業界、運送業界などでは大変大きな問題となっています。

2番目は世界規模で課題となっている環境エネルギー問題です。データ量の飛躍的な増加により電力消費量が急増し、特に都市部のエネルギー需要は伸びる一方です。技術革新の歩みを止めず、環境とエネルギー問題の解決を調和していくことが求められています。

3番目は、高齢化社会の到来に伴い、日本の財政圧迫の大きな要因の1つになっている医療費増大の問題です。さらに、さまざまな人々が心身ともに満たされて、健やかに暮らせる生活を送れるWell-beingな社会の実現も求められています。

これらの課題を大容量、低遅延、低消費電力で実現する次世代コミュニケーション基盤である「IOWN (Innovative Optical and Wireless Network)」と、世界トップクラスの言語処理能力を持つ小型/省電力の大規模言語モデルであるNTT版LLM (Large Language Model) [tsuzumi]を中心としたNTTのR&Dで解決していきたいと考えています。

## IOWN

増大するデータ量や電力消費量の課題に

対し、IOWNの最終目標である、電力効率100倍、伝送容量125倍、エンドエンド遅延200分の1をめざして開発を進めています。

IOWNのロードマップとして、2022年末にIOWN1.0を商用化しました(図1)。具体的なユースケースについては後述します。IOWN2.0は2025年度までにボード接続用の光電融合デバイスを開発する予定です。その後2028年度までにIOWN3.0としてチップ間向けのデバイスを開発し、2032年度にIOWN4.0としてチップ内の光化を進めていきたいと考えています。

IOWN2.0のポイントは、光電融合デバイスをコンピューティング領域に適用していくことです(図2)。そのためのキーとなるのが大容量低消費電力小型の光エンジンです。この光エンジン、および光エンジンを搭載したスイッチボードを利用してxPUやメモリ間を電気ではなく、光で接続することで、超低消費電力であるIOWNコンピューティングを実現していきます。IOWNコンピューティングにより電力効率を従来に比較して8倍まで上げることが可能です。

現在光エンジンに関してはおおむね開発が完了しており、商用に向けた試験を実施しています。そして2025年度に光エンジンを搭載したスイッチボードの提供を開始する予定です。このIOWNを利用したサービスを2025年の大阪・関西万博で皆さんに体験していただこうと考えています。NTTパビリオンのテーマは「感情をまとう建築」です(図3)。パビリオンを覆う「布」が

来場者の盛り上がりに応じて動く仕掛けや、自然の光や風に応じて表情を変えるなど、「生きているパビリオン」を表現していきたいと考えています。これらをオールフォトニクス・ネットワーク(APN)とIOWNコンピューティングを利用して、遠隔でAI解析を行うことで実現したいと考えています。

## NTT版LLM [tsuzumi]

次に、40年以上の自然言語処理研究ノウハウを結集したNTT版LLM [tsuzumi]を紹介します。tsuzumiの特長は次の4つになります。

まず1番目は言語対応力です。日本語はもちろん英語、多言語にも対応していきます。特に日本語は各種ベンチマークにおいても世界トップクラスの性能を誇っています。

次に高いコストパフォーマンスです。GPT-3と同程度の高性能でありながら、少ない消費電力GPUで高性能を発揮できるサスティナビリティな点が特長となっています。

3番目の特長は低コストでチューニングができることです。業界や組織に固有のデータに基づくカスタマイズや頻繁に情報を最新化することもできます。

4番目の特長は、図表等、さまざまな形式にも対応できることです。国産モデルとして初めて、表が含まれる契約書や請求書を読み込むことが可能となります。

tsuzumiの日本語性能を他社と比較して

■ 光電融合デバイスをAPNサービスおよびサーバにも適用していくことで、IOWNの高度化を図っていく

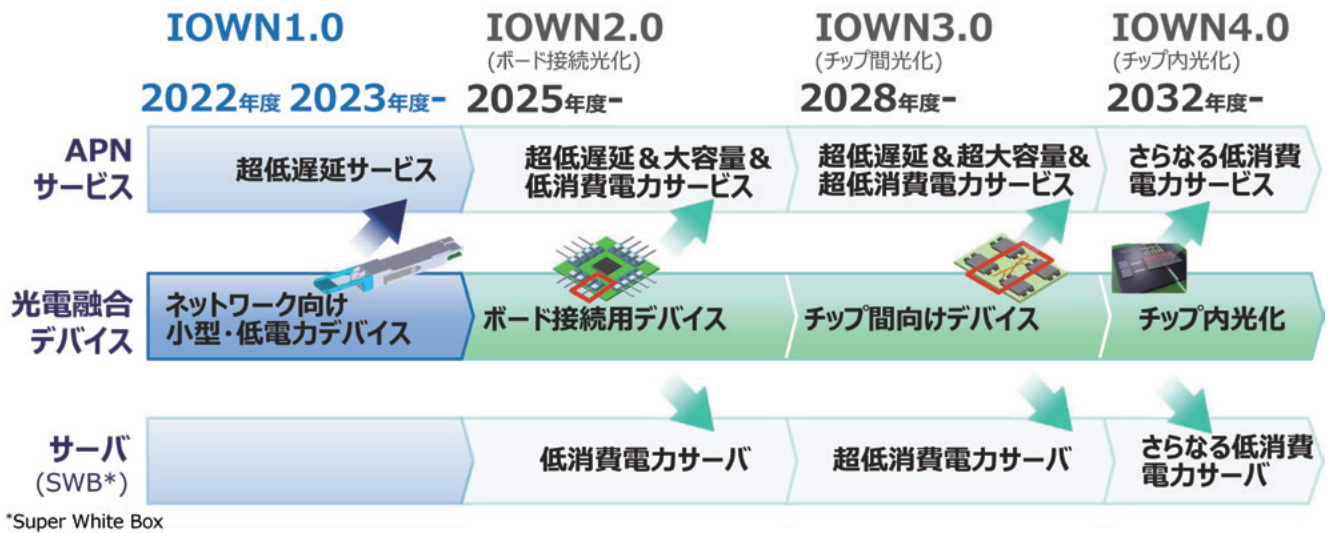


図1 IOWNロードマップ

■ コンピューティング領域を切り開く大容量・低電力・小型の光エンジンを開発

- xPUやメモリ間を電気ではなく光で接続することで超低消費電力なIOWNコンピューティングを実現
- 光エンジンは商用に向けた試験を実施中。光エンジンを搭載したスイッチボードを2025年度提供予定

開発中の光エンジン・スイッチボードイメージ

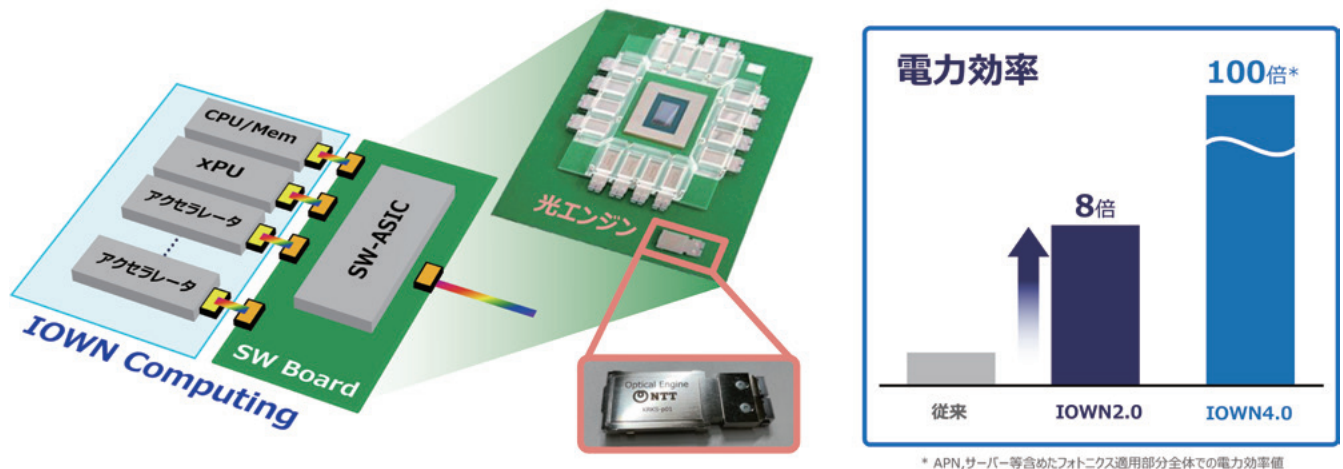


図2 IOWN2.0 コンピューティング領域へ

みました。日本語はOpenAI社の大規模なChatGPT-3.5を上回り、同クラスの国産LLMを大きく上回る世界トップクラスの性能です。英語でも、世界トップクラスのMeta社のLLMと同程度の性能を実現し、多言語にも対応していきます。

高いコストパフォーマンスについて、GPT-3 規模のLLMと比較したものが図4になります。tsuzumiは、必要とするGPU数が少ないので、GPT-3 規模のLLMと同程度の性能を25分の1のハードウェアコストで実現します。利用するときも同様

に20分の1程度で済むこととなります。さらに、GPU数が少ないので消費する電力も少なくなります。

tsuzumiは、2024年3月にサービスを開始します。2023年10月から、社内外で幅広いトライアルを開始しており、すでに効果

- 万博会場のネットワークとしてAPNを提供
- IOWNコンピューティングを利用して、NTTパビリオン“感情をまとう建築”を実現

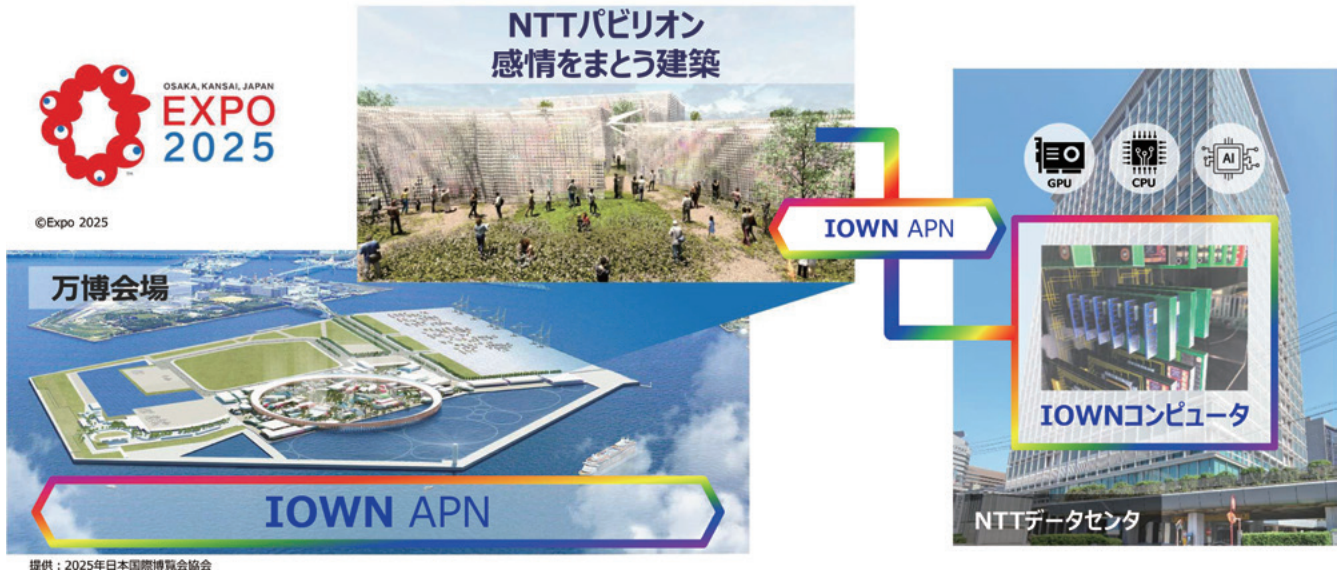


図3 IOWN in 大阪・関西万博

も出ているところです。また、2024年4月以降に、文書、図表の読み込みを行うだけでなく、例えば子どもの声、声色の読み込みや、日本語、英語に加えて多言語対応なども順次リリースしていきたいと思っています。

### 社会課題を解決する取り組み

ここからは、IOWNやtsuzumiといったNTTのR&D技術・サービスを用いて、社会課題を解決する取り組みについて紹介します。

#### ■労働力不足への対応

最初は労働力不足への対応です。

昨今、建設業界では人手不足、長時間労働、技術者の高齢化などが深刻化しています。また、2024年度からは時間外労働の上限規制が適用されますので、作業の効率化、雇用の多様化などの働き方改革が求められています。

それに対して、NTTはEARTHBRAIN社様、ジザイ工様、竹中工務店様と協業して、効率のかつ安全な工事を実施するために、建設機械の遠隔操作を推進する営みを行っています。具体的には、遠隔操作に大容量、

低遅延かつ遅延揺らぎのないIOWN APNを利用することで、あたかも現場で操作しているかのように建設機械を操作することができるようになります。

#### (1) リモートプロダクション

ソニー様と検討を進めているリモートプロダクションの事例を紹介します。

今までは、各地のスタジアム等で試合やイベントがあるたびに、大がかりな制作スペース、人員、機材、中継車等が必要となりました。APNで全国各地の放送局とスタジアムを接続することでリモートプロダクションを実現することができます。これにより、コンテンツ制作等は遠隔にて実施できるようになりますので、イベント時に必要となるスペース、人員、機材、中継車等のリソースの削減が可能になります。

#### (2) コンタクトセンターでの生産性向上

コンタクトセンターでの生産性向上として、東京海上日動火災保険様との協業事例を紹介します。

tsuzumiを用いることでコンタクトセンターの生産性の向上をめざしていきます。東京海上日動火災保険様は、事故対応部門にて全国で1万人を超えるオペレータの方が日々お客さまの損害保険のサポートを対応

されています。オペレータの皆様は、電話で事故の状況や怪我の状況などを丁寧にヒアリングされて、電話が終わった後に、対応内容を整理して必要な情報をシステムに投入していきます。そのアフターコールワーク（ACW）に年間約80万時間の稼働がかかっているとのこと。すでに音声マイニングなどによりACWが少しずつ削減されていますが、さらにtsuzumiを組み合わせることで対応内容の要約、整理が進捗し、ACWの稼働を50%以上削減が見込めるのではないかと想定しています。

#### (3) 自動運転システムの提供

自動運転システムの提供について紹介します。

地域のバスやタクシーなどの公共交通において、地域における運転手不足が顕在化しています。自動運転技術によりさまざまな社会課題の解決が期待されています。NTTはこのたび自動運転技術に強みを持つ米国のMay Mobility社に出資をして、同社の自動運転ソリューションの日本国内独占販売権を獲得しました。交通課題を抱える複数の地方自治体との協業を通じて、まずはコミュニティバスによるサービスの提供に取り組み、その後、自動運転車両を

## 生成AI導入・運用時に必要となるハードウェアコストを低減しつつ、高性能を実現

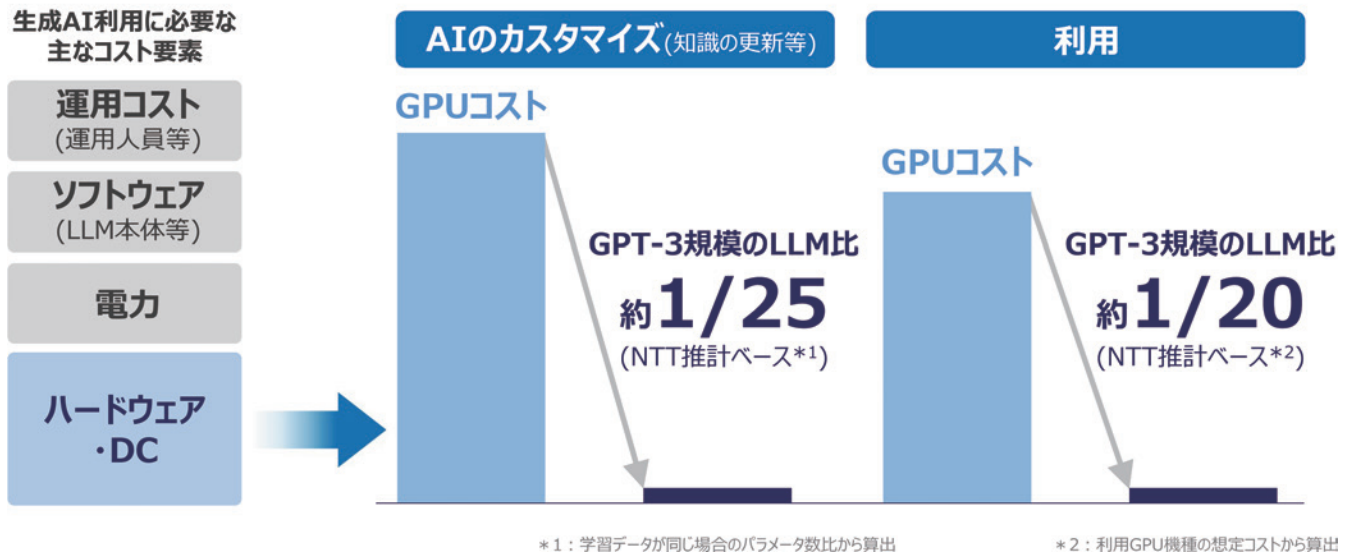


図4 高いコストパフォーマンス

さまざまな車両に拡大していくことで、運転手不足をはじめ、多くの社会課題の解決をしていきたいと考えています。

### ■環境・エネルギー問題への対応

環境エネルギー問題への対応について紹介します。

データドリブン社会では、急増するデータを処理するために膨大な電力が必要となります。例えば、データセンタの消費電力量は2018年と2030年では、日本で約6倍、世界では約13倍に増えると予測されています。またAI（人工知能）は今後ますます普及拡大していくこととなりますが、ChatGPTのようなLLMの場合、1回当りの学習に必要な電力は1300 MWhになるといわれています。これは原発一基を1時間稼働させた発電量以上に相当します。

このようにデータドリブン社会においては、データセンタのニーズはますます高まるとともに、これまで以上に膨大な電力を消費することになります。それに対してNTTはAPNを使った分散型のデータセンタによってこの課題を解決していきます。分散型データセンタの活用例をいくつか紹介します。

#### (1) APN×LLM

最初に国内のデータセンタ間をAPNで接続してLLMの学習に利用した事例です。tsuzumiの学習のために今回APNを利用したクラウドとオンプレミスとの連携環境を構築しました。

横須賀にあるNTTの研究所に膨大な学習データがありますが、電力の問題で近くにGPU装置の設置をすることが難しいということが分かりました。そこで三鷹のデータセンタのGPUクラウドと横須賀の学習データストレージをAPNで接続して学習を行いました。その結果、ローカル環境と比較し、全く遜色のない環境を実現することができています。

#### (2) OracleクラウドとNTTのAPN接続

次にオラクル社様と協業している事例です。現在、オラクル社様とのクラウドとNTTのデータセンタ間をAPNで接続する実証を行っています。そうすることで大規模な大事なデータは手元に置いて、必要となるデータのみをリアルタイムでクラウドに連携させて分析することが可能となります。

#### (3) 海外データセンタ間のAPN接続 最後にNTTの海外のデータセンタ間に

APNを導入する事例です。

分散型のデータセンタの実現に向けて、国内だけではなく海外、まずは英国と米国でデータセンタ間のAPN接続の実証の準備を進めています。これにより例えば英国では、通信経路で約100 km離れているデータセンタ間をあたかも1つのデータセンタとして運用が可能となります（図5）。この試験を2023年度中に完了させる予定です。また米英だけではなく、アジアなどの他のエリアでも同様に展開していく予定です。

### ■高齢化・医療費増大への対応、Well-beingの追求

高齢化による医療費増大への対応とWell-beingの追求について紹介します。

#### (1) LLMを活用した電子カルテの構造化

まず医療分野についての課題です。日本では電子カルテの導入は進んでいますが、例えば同じ症状でもカルテの書き方は病院、ドクターにより異なりますので、カルテデータを集積して分析活用することは非常に難しい状況でした。

tsuzumiは超軽量で柔軟にセキュアにカルテデータを学習できるため、ドクターが記録した医療データを読解し、共通フォーマットに適切に表現・配置し、分析できる

- 分散型データセンタ実現に向け、国内および米英でデータセンタ間のAPN接続の実証実験を予定
- 約100 km離れているデータセンタをあたかも1つのものとして運用可能に
- 今後、米英以外のエリアでも展開予定

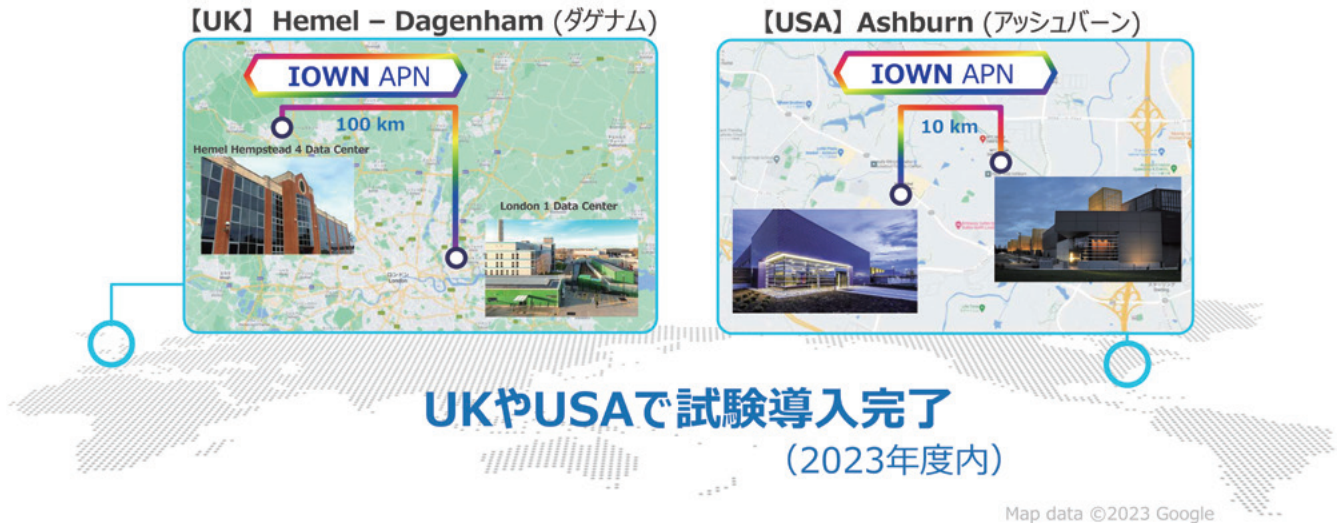


図5 分散型データセンタ促進（海外データセンタ間のAPN接続）

状態にします。電子カルテデータの構造化にすでに取り組んでいる京都大学医学部附属病院様では、「tsuzumiによって電子カルテデータを統計データとして扱えるため、治療方針を決めるときに、サポート的なデジジョンメイクとなり、1人ひとりの患者さんに適した効果的な治療、いわゆるプレジジョンメディシンが可能となる」とのことです。これによって、社会全体の医療費の適正化にもつながっていきます。

さらに、構造化された電子カルテデータにより投薬による効果や、副作用などの医療データの分析も容易となります。医薬品開発の時間の短縮や費用削減に貢献し、効果的な医薬品の開発につながると考えています。

## (2) Project Humanity

最後にWell-beingの社会の実現に向けての取り組みを紹介します。

DJ MASAこと、武藤将胤さんは、元博報堂の社員でDJなどの音楽活動を行っていました。2014年、当時27歳のころに身体を動かす運動神経が老化し徐々に動かなくなっていく、難病のALSの宣告を受けられました。「声は聞こえるが、反応ができない。ここで俺の人生はもう終了なのか。なんで

自分なのだろうか」と思われたそうです。

武藤さんは、たとえ体が不自由でもテクノロジーの力で表現の可能性は必ず切り拓けると考え、DJとして視線操作で音楽を奏でるなど、さまざまなイベントに参加されています。NTTとしてもぜひ彼の取り組みに協力したいということで、武藤さんに「体を動かせるとしたら何をしたいか」を尋ねました。「お客さんと一緒に盛り上げりたい」との回答があり、それを実現するために仮想とリアルとの融合が必要と考え、アバターを通じて体を動かすことに挑戦をしました。世界最高峰のメディアアートの祭典「Ars Electronica」で、MASAは自分の声で英語のコミュニケーションを行い、ライブパフォーマンスではアバターを通じて挙げられた彼の手に多くの人が呼応し、大成功をおさめました。

NTTではALSといった重度の障がい者であっても、コミュニケーションができるような技術の研究や開発を進めています。具体的には、例えば今回のようにわずかな筋肉の動きや脳波から意識を読み取る、身体能力転写技術を使い、アバターを介して身体表現をすることや声が出せなくなった人に対してクロスリンガル音声合成技術を

使用して、過去の自分の声を合成することにより、自分の声で日本語だけでなく、英語など外国語で話すことも可能にする営みも進めています。

人と地球のためにこれからもNTTは挑戦し続けていきたいと思えます。





# IOWN ACCELERATION～想像と創造～

NTT 常務執行役員

研究開発マーケティング本部長

## 大西 佐知子 Sachiko Ohnishi

本記事は、2023年11月14～17日に開催された「NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION」における、大西佐知子NTT研究開発マーケティング本部長の基調講演を基に構成したもので、プロダクトアウトの視点でのR&Dと、マーケットインの視点でのR&D、2つの側面について紹介します。



### はじめに

NTT 研究開発マーケティング本部は、2023年6月に新たに発足しました。従来からのプロダクトアウトの研究開発とマーケティングの融合による新たな価値創造をミッションとしています。本稿では、プロダクトアウトの視点でのR&Dと、マーケットインの視点でのR&D、2つの側面から紹介します。

電話という人と人をつなぐテクノロジーに始まり、深化探索を経て、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) が誕生しました。プロダクトアウトの研究開発による成果です。これに加えて、人を想い、社会を想い、地球を想い、どうすれば持続可能な、そしてわくわくするような未来が創造できるのかをイメージし、それを実現するための研究開発を進めていくことがマーケットインの視点だと考えています。

テクノロジーは、社会に実装されて初めて息吹きます。IOWN構想の発表から4年、動き出したIOWNの息吹きを感じていただき、最後に、わくわくするような未来を想像いただけたら嬉しいです。

### プロダクトアウトの視点でのR&D

#### ■人と人をつなぐテクノロジーからIOWN構想へ

1890年、今から133年前の最初の電話を図1に示します。ここから「つなぐ」テクノロジーは始まりました。当時電話をかけて、

相手と話ができるまでの時間はどれくらいだったでしょうか。最初の電話はダイヤルもなく、受話器をあげると交換手につながりました。「Aさんへつないでください」とお願いして待つこと6時間7分、お昼にかけて、夕方にAさんと話ができるという感じでした。ちなみに、倍の通話料金を支払う「至急」でも、2時間26分かかりました。

電話第一号ができてしばらくして、今から75年前に逓信省電気通信研究所が発足しました。光ファイバの研究も1966年に始まりました。人と人をつなぐ技術が、人と情報、人とモノ、リアルとバーチャルをつなぎ、伝えるものも音から映像、データ、そして技能や経験、空間をも伝えることができるようになります。そして、光の研究から50年を経てIOWN構想へとつながりました。光技術を伝送のみならず、データ処理部分にまで利用することだと考えたのがIOWN構想です。

#### ■電気と光の違い

電気は伝送距離が長くなればなるほど必要な消費電力が極端に増えます<sup>(1)</sup>(図2)。また、データ処理速度を早くすればするほど、動作周波数が増えさらに消費電力が増えるという特徴があります。

一方、光では伝送距離が長くなっても、またデータ処理スピードを速めても、消費電力が増えないという特性があるのです。この特長から、伝送だけではなく、情報処理のレイヤーでも光を活用することで消費電力のさらなる低減が可能となります。

こうした光の特長を活かし、ネットワークから端末の処理まですべてに光の技術を導入するIOWNは、低消費電力はもちろん、大容量・高品質、そして低遅延を可能とします。

例えば、エンド・エンドを光にするAll Photonics Network (APN) は、従来のように電気と光に切り替えなくてよいので、遅延もなく速く、そのうえ電力効率も高いのが特長です。



図1 人と人をつなぐテクノロジーの始まり

移動で例えるなら、従来は乗り換えを何回かしてゴールにたどり着くため、どうしても遅れが生じていました。APNは、新幹線で乗り換えがなく直通で行くようなイメージです。

1970年の大阪万博では、人と人をつなぐ音の伝送、初めてのコードレスホンの展示でした。2025年の大阪・関西万博では、IOWN APNでNTTのパビリオン会場とデータセンター (DC) をつなぎ、空間をリアルタイムで伝送します。AI (人工知能) によりNTTパビリオン会場を分析、ご来場された方が感じる躍動感やわくわく感に応じてパビリオンが動くような「生きているパビリオン」を表現する予定です。

■ IOWN APN1.0始動

固定電話は、最初の電話から90年以上を経て、全世帯に普及していきました。自動車は世帯普及率80%以上までに30年、インターネットは15年、スマートフォンはたったの5年です。技術革新によって生まれたサービスの世帯普及率は加速しています<sup>(2)</sup>。

IOWNも加速します。構想から4年、2023年3月にIOWN APN1.0をサービス開始しました。技術革新によりサービスの社会生活への浸透の加速と同時に、必要となる電力量の増加も加速しています。生成AIの普及も加わり、2018年と比べて、2030年には、データ量が16倍、消費電力は13倍になると想定されています<sup>(3)</sup>。

こうした状況に伴い、DC需要はますます大きくなっており、DCの今後の需要見通しでは、すでに供給不足となることが想定されています<sup>(4)</sup>。オランダやシンガポール等、DCでの電力消費が増加し、かなりのウエイトをしめるようになったため、新たなDC建設を停止、制限する動きもあつたほど、非常に厳しいDC周辺環境となっています<sup>(5)~(8)</sup>。

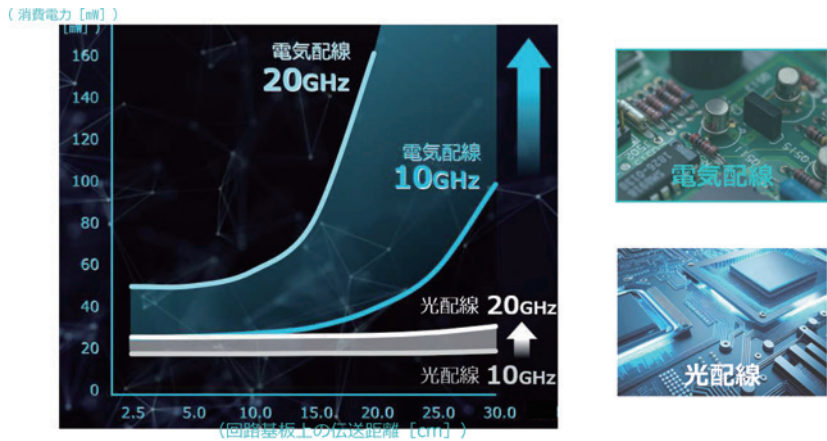
こうした状況を打破するのが、IOWN APNです。DCを分散設置し、DC間をAPNにより低遅延で接続することで、あたかも1つの大きなDCとして利用できます。

少ないスペースに中小規模のDCを分散

設置する、または電力にゆとりがある場所や、地産地消のエネルギーが活用できる場所にDCを構築し、複数のDC間をAPNで接続することで、DC不足の解消と消費電力低減ができると考えています。

DC間の距離も遅延なく、DC間を接続可能な距離が従来は60 kmが限界でしたが、APNで100 kmまで可能となります。

すでに英国では、ロンドンと約100 km離れたダゲナムのDC間をAPNで接続して実証実験を実施しています。図3左のように、ロンドンから60 km圏内ですと、地価も高く、DC構築可能なスペースが不足していますが、100 km圏内まで広げると、地価も下がりDC構築できる場所も見つか

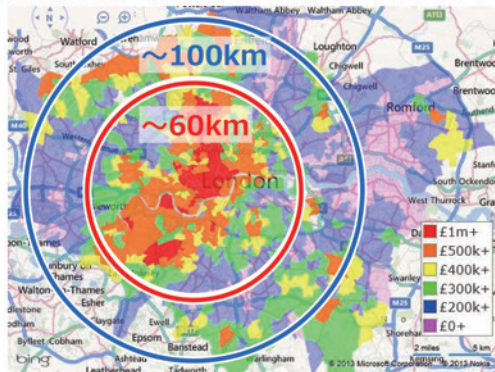


出典：NEDO 光エレクトロニクスシンポジウム資料 (2015.6.16)

図2 電気と光の違い

【ロンドン近郊の地価】

60km内では£500k~£1mの地価  
約100kmまで広がると地価エリア£300以下

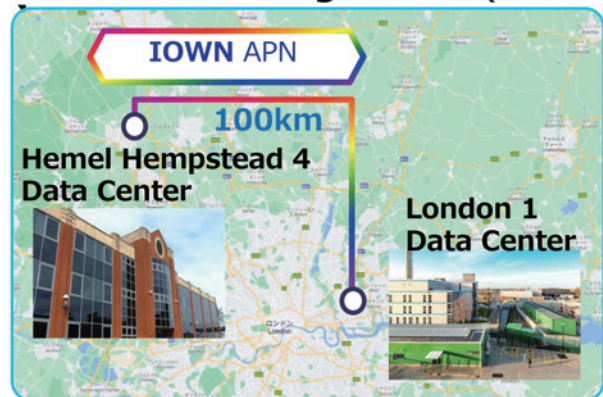


※距離は、直線距離ではなく、DC間を接続した場合の光ファイバー距離

<https://www.findahood.com/articles/property/london-house-price-heat-map/23>

試験導入完了

(UK Hemel – Dagenham (ダゲナム))



(2023年度内)

GoogleMapを使用

図3 ロンドン近郊での実証実験

## 国内最大級レタス温室

面積 サッカー場の1.5倍

自社ファームで作成した野菜（サニーレタス）を  
都内や地場スーパーマーケットに提供中

山梨ファーム

※病害虫予防のため、  
視察の受け入れは現在行っていません。

## 国内最大級パプリカ温室

面積 サッカー場の3倍

自社ファームで培ったノウハウとICTスキルにより  
顧客のファームの設計・建設の請負

アグリテクノロジー社が設計施工したファーム

対露地栽培の10倍以上	収量	対露地栽培の4倍
従来の1/2	人手	従来の1/2
全自動栽培・環境制御	技術	ガラス温室・環境制御
水の完全循環利用	環境	ヒートストレージタンク



図4 水の完全循環利用で環境負荷軽減

るようになると考えています。

こうしてつなぐテクノロジーの深化、プロダクトアウトの研究成果により生まれたIOWNは、電力効率を100倍にし、伝送容量も125倍にし、技術革新によるデジタル情報社会を、省エネでサステナブルに支えます。

## マーケットインの視点でのR&amp;D

次に、マーケットインの視点でNTTのR&Dを紹介します。

伝えるものが音から、映像、データ、触感や空間まで広がり、それが私たちの生活、社会、そして地球にどのように機能するのか、さまざまな社会課題をR&Dがどのように解決し、わくわくするような未来創造へつなげていくのかについてご紹介します。私たちの生活そのもの、衣食住、健康、エンタテインメントやエネルギー、そして最後は人間だからこそそのHumanityがどう変わっていくのか。この中から、3つの領域についてご紹介します。

## ■「食」フード

食の安定供給に関するリスクは高まるばかりです。すでに食生活への影響がはじめています。加工食品、調味料等、平均20%の価格上昇、我が家の食費も、1年前と比べて、1.5倍から2倍近い状況で、ひしひしと現実を感じています<sup>(9)~(12)</sup>。しかし、日本の食料自給率は、38%、主要13カ国中第12位です<sup>(13)</sup>。

また、日本の農業従事者数は、2000年に比べて70%近くも減少しています。平均年齢も上がる一方で68歳となっています<sup>(14)</sup>。これに合わせて、耕作放棄地は、1995年の1.7倍に増え、42万ヘクタール、東京都の2倍の面積もあります<sup>(15)</sup>。一方、農業人口の減少や、土地や天候等の逆境をイノベーションで改革し食料自給率を挙げてきた国もあります。

オランダは農業大国ですが、実は国土の2割が水面、日本の4割の農地面積しかありません。しかし、技術革新によって、大規模施設園芸を普及させ、農産品輸出額世界第2位までになりました。

英国も農業人口減少ながら、農業科学を発展させ、食料自給率70%超まで発展させています。

NTTグループでは、食の安定供給に向け、育種から農業生産、畜産、水産、そして流通等、食のバリューチェーンにおいて、NTTのR&D技術やソリューションによりイノベーションを起こそうとしています。その中から3つほど紹介します。

## (1) 農業生産、施設園芸

NTTアグリテクノロジーでは、山梨に、サッカー場の1.5倍の大きさ、国内最大級のレタス温室の施設園芸を構築しました。従来の半分の手で収穫量を10倍以上に増やすことに成功しています。このノウハウは国内のみならず海外からも問合せをいただいています。

図4右は、お客さまから相談を受け、設

計構築を請け負わせていただいたファームの写真です。サッカー場の3倍のパプリカ農場を構築しました。従来の半分の手で4倍の収穫量を実現できたとお客さまから伺っています。「大規模農業」と「省力化」の両立、そして、「収穫量拡大」と「環境負荷軽減」の両立ができるようになりました。

また、栽培未経験者の方でも始めていただけるように、高精細映像配信とロボティクスを使って、全自動ハウスを通じた遠隔営農支援も行っています。遠隔での営農支援ができるようになることで、1人の専門家の方が複数の生産者の農作業支援ができるようになりました。

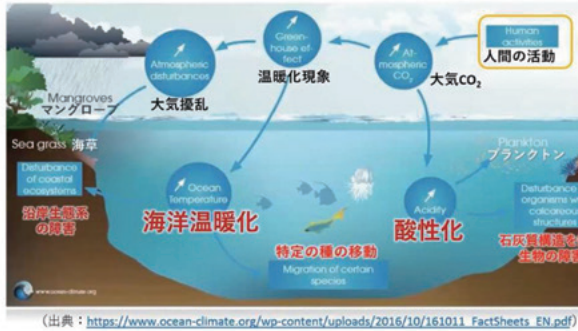
## (2) 農産物流通

農産物は、生産者から価格が決まらないまま、高く取引できそうな大市場に出荷されます。そのため、産地にもっとも近い市場ではなく、1日トラックに揺られて遠い大市場に出荷されることが多いようです。また、そのときの農産物の集まり具合等で余ってしまった農産物は、さらに他の市場へ転送したり、最近では、物流のトラックが確保できずに破棄することもあるようです。

そこで、市場に集まる農産物の需給情報などを分析・予測し、鮮度の高い農産物が必要な分だけ消費者に届き、フードロスやCO<sub>2</sub>削減で地球にやさしい農産物流通をIOWNで実現したいと考えています。

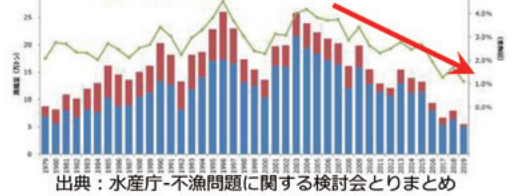
専門家と生産者を、オペレータと現場を

## CO<sub>2</sub>増加による生態系への影響



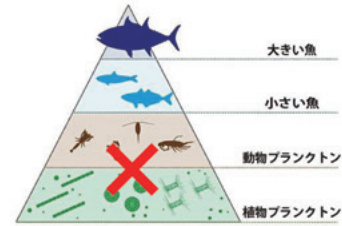
## 海洋温暖化の影響

例) 生息可能な海域が減り、サケの漁獲量・回帰率：長期的に減少



## 海洋酸性化の影響

魚の餌となる植物・動物プランクトンが減少



## CO<sub>2</sub>が海の中では炭酸に分離して水素イオンが発生

図5 海洋温暖化・酸性化の影響

つないで、また生産者と仮想市場をつないで、IOWNで、地球にやさしい、そして食べたい食材を新鮮にお届けできる、さらには日本の食料自給率が今よりもっと高く、安心して美味しいものが食べられるように、そんな近い未来を考えています。

### (3) 水産

CO<sub>2</sub>の増加により、海洋の温暖化と海洋酸性化が起きています<sup>(16)</sup>。海洋温暖化によって、生息可能な海域が減り、例えば図5右上のグラフのように、サケの漁獲量は長期的に減少しています<sup>(17)</sup>。また海洋の酸性化により、魚の餌となる植物・動物プランクトンが減少していることも事実です。

ところが、世界的には、水産生産量が倍増しているのです。漁獲量が横ばいのため、この不足分を養殖で補っているからです。世界の水産量は倍増していますが、日本は、逆の動きで減少しています。このため1980年には水産生産量で世界1位でしたが、2021年では11位へ転落しています<sup>(18),(19)</sup>。こうした水産業の衰退、食料問題、環境問題の解決をめざし、リージョナルフィッシュ様とNTTは合併会社を設立、NTTグリーン&フードが2023年7月に誕生しました。

取り組みの1つが品質改良技術です。通常の真鯛に比べて、食べられる部位「可食部」を最大1.6倍にしたり、魚の餌である藻類の光合成を活性化し、成長速度を速め

るとともに、通常よりも多くのCO<sub>2</sub>を藻類の体内に固定するなど「サステナブルデザインフード」の創出に取り組んでいます。

もう1つが、サステナブル陸上養殖システムです。大気中のCO<sub>2</sub>を海洋が吸収し、それを藻類が通常よりも多く吸収、その藻類を魚が食べ、CO<sub>2</sub>を魚の骨等に吸着する、サステナブルな仕組みです。

そして2023年10月に静岡県磐田市に、生産規模としては国内最大級の「陸上養殖プラント」を建設中です。希少な国産種苗を用いた完全国内生産のシロアシエビ（通称：バナメイエビ）を生産予定です。

### ■健康、ヘルスケア、メディカル

バナナとクッキー、食べた後に血糖値が上がるのはどちらでしょうか。ちなみに、その食品を食べたときに血糖値がどのくらい上がるかを、ブドウ糖を基準100とした場合の相対的な数値で表した「GI（グリセミック・インデックス）」の値は、バナナが58<sup>(20)</sup>、クッキーが77<sup>(21)</sup>とクッキーのほうが高い数値となっていますので正解はクッキーと思われる方も多いと思います。実は、正解は「個人個人によって異なる」でした。実際に、糖尿病予備軍の方にバナナとクッキーを食べていただき、食後の血糖値を図ったところ、445人は、バナナを食べたことで血糖値は上がりましたが、クッキーを食

べても血糖値に変化はありませんでした。また他の644人の方は、全く逆の傾向となったのです<sup>(22)</sup>。血糖値の変化は個人によって異なることが分かっています。一方、世界の糖尿病予備群の人は20年間で3.6倍にも増えているといわれています<sup>(23)</sup>。また、血糖値の乱高下は、糖尿病のみならず心血管疾患のリスクを高めます。慢性的な高血糖は全身の血管を傷つけ、さまざまな障害をもたらすのです。食後の血糖値が安定していると、心疾患やがんのリスクも下がるといわれており、つまり血糖値は、健康状態そのものに大きな影響を及ぼします<sup>(24)</sup>。

そこで、どの食材で血糖値が上がるのか、血糖値測定が常にできるようにするための技術、「血糖値センサ」を紹介します。通常の血糖値測定は、採血するか、または針を体に刺して測定する手法となるため、現状では、常に血糖値を図ることは難しい状況です。

NTTの血糖値センサは、皮膚にデバイスを密着させるのみで血糖値を測定できます。2022年のR&Dフォーラムでは図6中央の写真のとおり、かなり大きかったのですが、今回は時計サイズまで小さくなりました。具体的には、腕時計程度の大きさのセンサから電波を皮膚に照射します。電波が反射してセンサに戻ってくる信号を分析すると、血管から染み出た皮膚内のグルコー

## 皮膚にデバイスを密着させるのみで血糖値を測定

### 市販の血糖値 グルコース値測定デバイス



<https://medicomrhi.jp/24620>

採血する／針をからだ  
に刺して測定する手法



[https://brain-gr.com/tokinaika\\_clinic/blog/diabetes/a-tool-that-realizes-visualization-of-blood-glucose-level-has-appeared/](https://brain-gr.com/tokinaika_clinic/blog/diabetes/a-tool-that-realizes-visualization-of-blood-glucose-level-has-appeared/)

### 昨年のR&Dフォーラム展示

針は不要、皮膚にデバイスを密着させるのみ



### R&Dフォーラム2023

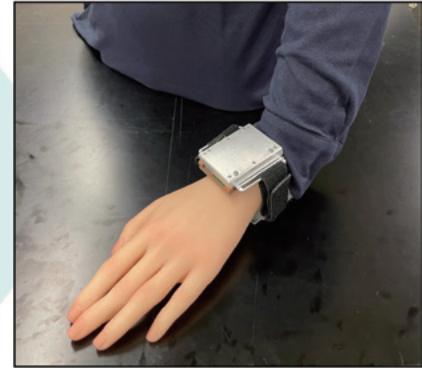


図6 バイオデジタルツイン“血糖値”測定

ス濃度の変化を測定できるという仕組みで、センサをつけていれば、血糖値がリアルタイムに分かるようになります。

糖尿病予備群でも、リアルタイムに簡単に血糖値を測定できるようになれば、血糖値が上がらないかどうかをみながら、好きなものを食べられるようになります。

実際に、血糖値を図りながら、適切な食事を続けた際、糖尿病予備群レベルの血糖値からたった1カ月で正常値に戻ったという事例も報告されています<sup>(25)</sup>。血糖値は自分でコントロールできるのです。血糖値センサによって、我慢せずに、好きなものの中から、自分にとって血糖値に影響を与えないものを選んで楽しく食事ができます。

コーヒーを飲むと、血管を収縮させる？血管を若返らせる？ コーヒーに含まれる抗酸化物質には、血管を若返らせ、心臓を健康に保つ働きがあるといわれています。一方、カフェインには血管を収縮させる可能性があるともいわれています。実はある研究で、カフェインを素早く分解できるDNAを持っている人は、コーヒーを飲むことで心筋梗塞のリスクが減少するのに対し、カフェインの分解速度の遅いDNAを持つ人は、コーヒーを飲むことで心臓に負担がかかってしまう可能性があることが分かったそうです<sup>(26)</sup>。

カフェインと同じように、薬に含まれる

成分の代謝能力には、人によって違いがあります。血栓を溶かす抗凝固薬「ワルファリン」。日本人の中でも、DNAのタイプの違いによって、1日当りの必要な投与量には、なんと20倍以上も個人差、つまり、1錠でよい人と、20錠も飲まなければならない人がいるということが分かっています<sup>(27)</sup>。どの薬をどの程度摂取すべきか遺伝子解析や電子カルテデータを解析することで、個人個人の特性に基づいたテーラーメイド投薬や予防医薬が可能になります。NTTライフサイエンスでは、NTTのビッグデータ解析、AI技術を使った遺伝子検査サービスで、アルコール代謝能力等の体質や疾患リスクを解析しレポートしています。

また、電子カルテ等のデータをNTT版LLM (Large Language Model) [tsuzumi]により自動的に構造化することで個人差を分析しようとしています。個人の体質や特性、環境、病歴等、NTT版LLM tsuzumi等のAIでの解析、心身に負担のないセンシングを可能とするさまざまなバイタル情報の取得が可能でセンサデバイスの研究技術によって、食事や薬、または過度な運動量等さまざまなパーソナライズを実現できると考えています。そして、それは、最適化につながり、あらゆるロスをなくし、社会、地球にやさしいサステナブルなヘルスケアにつながると思っています。

### ■ Humanity・わくわく・五感

#### (1) 聞く

最初は、五感の中でも「聞く」です。NTTが初めて人と人をつなぐ電話で伝えたのも音で、それ以来90年以上前から研究している分野です。ある音波に180度反転させた音、つまり逆位相を重ねるとお互いに干渉し合い音を打ち消し合います。この原理を活用した、音漏れせずに、とても良い音質を自分の耳元だけに聞こえるようにするパーソナライズドサウンドゾーン技術は、2020年に初めてNTT R&Dフォーラムで展示して以降、開発を進め、2022年にイヤホンとして商品化しました。「耳スピ」として、ラインナップも豊富に用意しています。耳の穴をふさがないオープンイヤーですので、ランニングしながら、自転車に乗りながら、または建設現場でも利用しやすいと思います。今回のR&Dフォーラムの事務局も、この耳スピのトランシーバでイベント運営をしています。

#### (2) 触感

聞く、見るに加えて、触感を伝えることが、よりリアルに近くにいるようなつながりを実現できます。図7右の道具は、聴診器を当てて聞こえる心臓の鼓動が電波を通じてこのボールを振動させるものです。2023年7月の世界子ども未来会議では、国連本部のあるニューヨークと東京をつなぎ

ました。図中央のプロジェクトに映っている東京の男の子が心臓に聴診器を当てると、男の子の心臓の鼓動がインターネット回線を通じて、ニューヨークにあるボールにシンクロさせて振動させます。

これに触った女の子が、東京の男の子の鼓動を感じて思わず「すぐ近くにいるみたい！」と叫んでいたといいます。

見る、聞くという映像でのコミュニケーションのように、何かができるというような「道具的」な価値を伝え合うだけではなく、触感を伝えることは、その人が存在していること自体を感じ合う、内在的価値 Intrinsic Value を感じ合うということにつながるのではないかと考えています。

コロナ後、リアルに回帰している傾向もありませんが、触感の伝送は、まさに求められているようなリアルに近い感覚でのつながりのためのテクノロジーになると考えています。

続きまして、あたかも遠い空間に自分がワープしたかのような体感ができる技術です。リアル世界を自転車で行った際の振動音・路面の凹凸等もデータ化しているため、メタバース空間で走行する際も、路面の状況や速度に応じて自転車が振動するような感覚を再現します。

### (3) 人間拡張

聞く、見る、触るを超えて、体験や技能を自分の力を超えて体感する人間拡張の技術もあります。人と人をつなぐテクノロジーの深化探索で、伝えられるものが広がりました。あらゆるものがデジタル化され、情報、データ化され、IOWNにより低消費で効率良くAIで分析できるようになることで、可視化、最適化、省エネ化とともにパーソナライズ化の価値を創造します。そして、その価値は、衣食住から、ヘルスケア、エンタテインメント等の社会生活の中で、Humanity、人間の五感に回帰しながら、1人ひとりのWell-beingと、地球にやさしいSocial Well-beingな未来を創造することにつながるのではないかと考えています。

AIにより、さまざまな情報が整理され、選択肢が提示されますが、そこから何を感じ、どのような未来にしていきたいのかは、やはり人間しかできない五感を使ったイマジネーション力、想像力が必要だと思って

会場であるニューヨークの国連本部から6800マイル離れた東京のNTT本社をつなぎ、東京にいる子どもの心拍を会場の子どもたちへ。

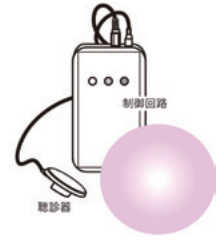
### 国連を支える世界子ども未来会議 ～プロジェクト発表イベント in New York～

実際は地球の反対側にいるのに、すぐ近くにいるみたい



©Masahiro Noguchi ©Masahiro Noguchi  
2023・07・19/国連本部DDR (米ニューヨーク)

図7 心臓の鼓動の触感を日本から伝送



います。人を想い、社会を想い、地球を想う感性でイマジネーション、想像してみえてくるサステナブルなわくわくするような未来、その未来をクリエイト、創造するためのR&Dでありたいと思っています。

## おわりに

IOWN構想の発表から4年、動き出したIOWNの息吹きを感じていただき、わくわくするような未来をイメージいただきましたでしょうか。新たなテクノロジーによって、どのような未来をお届けできるのか、社会はどう変わっていくのか、イノベーションによって私たちの生活はどう変わるのか等、イメージいただいた活用シーンが浮かびましたら、ぜひ一緒に共創させていただければと思っています。

### ■参考文献

- (1) NEDO：“光エレクトロニクスシンポジウム資料,” 2015. 6.
- (2) 内閣府：“月例経済報告閣僚会議資料,” 2018. 12.
- (3) 国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター：“情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響,” Vol.2, Vol.4, 2022. 2.
- (4) 富士キメラ総研：“データセンタビジネス市場調査総覧 2022年版<市場編>,” 2022.
- (5) <https://cafe-dc.com/design/digital-realty-acquires-9-acres-for-20mw-data-center-in-amsterdam-the-netherlands/>
- (6) <https://www.icr.co.jp/newsletter/wtr398-20220613-sadaka.html>
- (7) <https://cafe-dc.com/politics/new-conditions-for-data-centres-in-singapore-to-kick-in-from-q2-2022/>
- (8) <https://biz.optage.co.jp/article/20220817/p2/>
- (9) 帝国データバンク：“「食品主要105社」価格改定動向調査 (2023年1月),” 2023.

- (10) 新電力ネット：“電気・ガス販売単価 (2022年10月),” 2022.
- (11) JILS：“売上高物流コスト比率 (2021年度),” 2021.
- (12) GD Freak：“梱包用材の価格推移 (2022年12月),” 2022.
- (13) [https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/2302/spe1\\_02.html](https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/2302/spe1_02.html)
- (14) 農林水産省：“農業労働力に関する統計 (2022年),” 2022.
- (15) 農林水産省：“2020年農林業センサス,” 2020.
- (16) [https://www.ocean-climate.org/wp-content/uploads/2016/10/161011\\_FactSheets\\_EN.pdf](https://www.ocean-climate.org/wp-content/uploads/2016/10/161011_FactSheets_EN.pdf)
- (17) 水産庁：“不漁問題に関する検討会とりまとめ,” 2021.
- (18) 農林水産省：“水産白書,” 2022.
- (19) 国連食糧農業機関 (FAO)：“世界の漁業・養殖生産量,” 2021.
- (20) <https://www.gi-gl.com/kudamono-50/>
- (21) <https://www.gi-gl.com/keisyoku-118/>
- (22) D. Zeevi et al.：“Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses,” Cell, Vol.163, No.5, pp.1079-1094, 2015.
- (23) 世界糖尿病連合：“IDF糖尿病アトラス,” 第10版, 2021.
- (24) <https://www.amed.go.jp/news/seika/kenkyu/20210115-02.html>
- (25) <https://www.nhk.or.jp/gendai/articles/3239/>
- (26) NHKスペシャル：“人体,” 2021. 5.
- (27) [https://www.nhk.or.jp/kenko/atc\\_969.html](https://www.nhk.or.jp/kenko/atc_969.html)



# LLM +× IOWN ～IOWNの進展, NTT版LLMの誕生, そして2つの相互作用～

NTT 執行役員  
研究企画部門長

**木下 真吾** Shingo Kinoshita



本記事は、2023年11月14～17日に開催された「NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION」における、木下真吾NTT研究企画部門長の基調講演を基に構成したもので、NTT版LLM (Large Language Model) [tsuzumi] とIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の実用化に向けた取り組みについて紹介します。

## LLMの誕生

NTTでは、NTT版LLM (Large Language Model) [tsuzumi] を開発し、2023年11月1日に報道発表しました。ここではtsuzumiの4つの特長を紹介します。

### ■軽量

まず1番目の特長が軽量ということです。LLMはパラメータ数の競争に入っており、非常に大規模化しています。そのため、課題はサステナビリティといわれています。例えばGPT-3のパラメータ数は175 Billion (B)で、1回の学習に約1300 MWhの電力が必要だといわれています。これに対してtsuzumiは次のような戦略を持っています。

めざす方向性としては、何でも知っている1つの巨大なLLMではなく、専門知識を持った小さなLLMをつくらうと考えています。そのためのアプローチとしてパラメータサイズを単に増やすだけでなく、それに加える学習データの質と量を向上させることによって賢くさせていきます。今回tsuzumiを2種類発表しました。超軽量版tsuzumi-0.6 Bは、パラメータサイズが0.6 BでGPT-3の約300分の1となっています。軽量版tsuzumi-7Bは、GPT-3の25分の1のサイズとなっています。このように軽量化するメリットの1つとして、学習コストが非常に低く済みます。例えばGPT-3相当の学習を行うのに、4.7億円ぐらい1回

の学習にかかるといわれています。それに対してtsuzumi-7B、0.6Bは、それぞれ1900万円、160万円と25分の1から300分の1の低コスト化を図ることができます。

もう1つのメリットとして推論のコストがあります。言語モデルを使うときのコストです。GPT-3の場合は上位機種種のGPUボードが約5枚必要となり、金額換算で約1500万円かかります。これがtsuzumi-7B、0.6Bでは、約70万円、20万円となります。GPUの数では、各々下位のGPUを1基、CPUを1基で済みますので、低コスト化につながります。

### ■言語性能

2番目の特長が言語性能です。GPT-3.5に「日本のエネルギー政策と環境保護のバランスについて、現状と改善策を提案してください」という質問をして出てきた答えを図1に示します。図1左を見るときちんと分析されたかたちの日本語が出ています。このように、tsuzumiやGPT-3、他のLLMにも同じ質問をして、どちらの性能が高いかを比較したものが、データ分析・自動化技術RakuDAのベンチマークです。例えば、tsuzumi対GPT-3.5に同じ質問をして、出てきた回答をGPT-4にインプットして、どちらが優れているかの勝率を判定し、勝敗を決めます。GPT-3.5には52.5%で勝っており、残りの4つは日本のトップクラスのLLMですが、これも71.3%、97.5%というかたちで圧倒的な勝率を誇っています。

また、質問に対し日本語で答えるだけではありません。人工光合成という研究の発表を最近行いましたが、それに対して「デバイス名、実現したこと、展示イベント、今後の予定という4つの構造化データに対してjson形式で回答してください」と命令をすると、それぞれのタイトルに対して構造化した結果を出すことができます。日本語の性能が高いということで、英語ではどうかといった疑問があると思いますが、英語に関しても世界トップレベルの言語モデルと同じくらいの性能を出しています。Llama2というMeta社が開発した英語専門の言語モデルと比べて、ほぼ同じくらいの英語ベンチマークの結果を出しています。例えば、「日本語を英訳してください」といえばすらすら出てきますし、英語だけではなくプログラム言語を「こういうかたちのコードを書いてください」といえば、コードをはき出してくれます。英語、プログラム言語、そして今、中・韓・イタリア・ドイツ語を学習していますので、多言語での回答ができると思います。

### ■柔軟なカスタマイズ

3番目の特長が柔軟なカスタマイズです。言語モデルは、基盤モデルと呼ばれるものがあり、ある程度汎用的な質問に対して答えることができますが、例えば、金融に詳しいものとか、あるいは公共分野に詳しいものとか特化型を行うにはチューニングが必要になってきます。図2に示す3種類のチューニングあり、図2左がプロンプト工

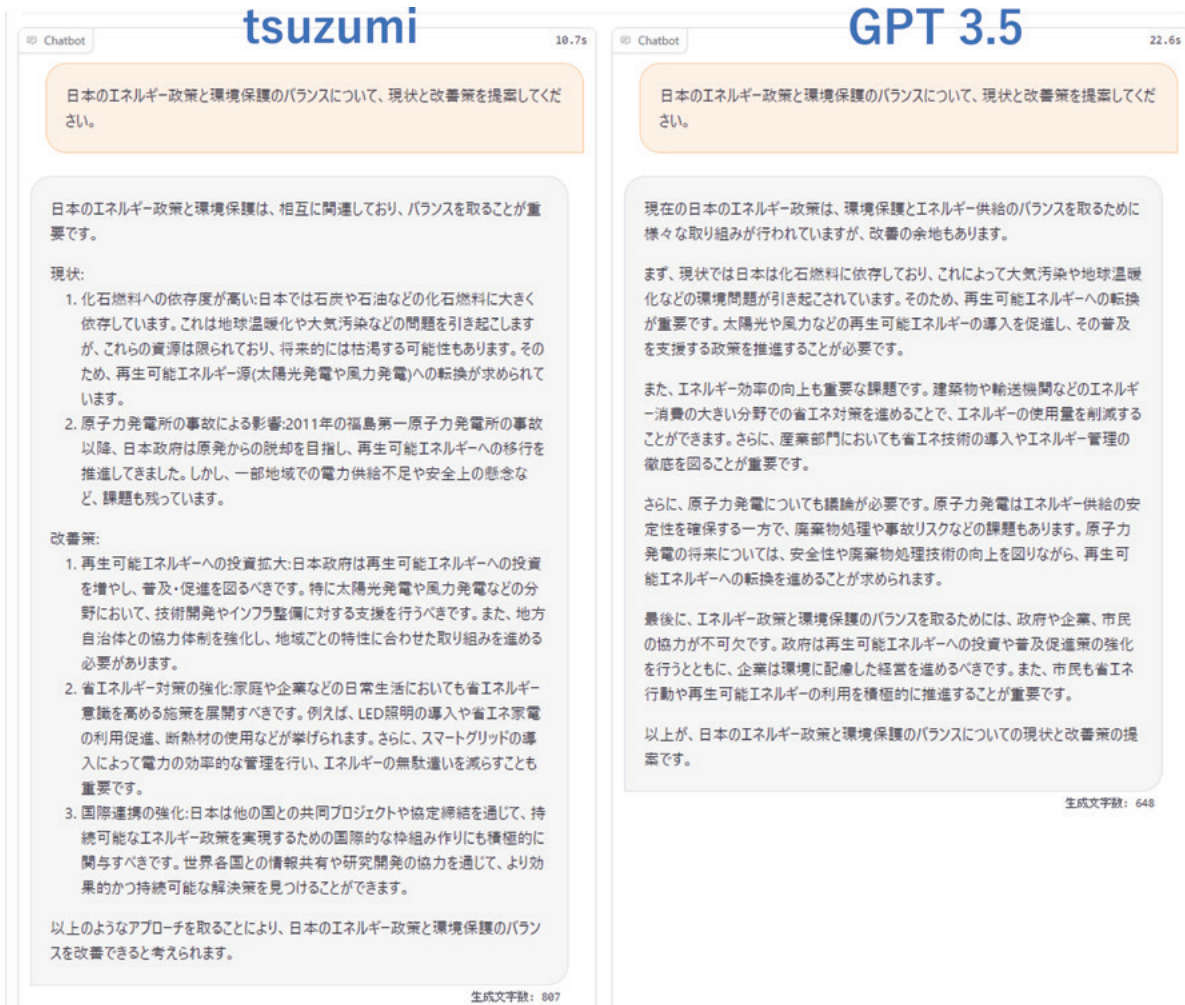


図1 tsuzumiの言語性能

エンジニアリングです。これは基盤モデルに対して入力するときに金融関係の情報を入れると、金融特化型の質問に答えられるようになります。図2中央がフルファインチューニングで、これは基盤モデルに対して、金融関係のデータをもう一度再学習させて、パラメータ全体を変えていくことによって金融特化のモデルをつくるものです。図2右がアダプタチューニングで、基盤モデルはそのままにして、青い帽子をかぶせるみたいにそこに金融の専門知識を追加したものです。それぞれコストと精度の関係で、優れているところと優れていないところが出てきます。例えば、このようなチューニングができると基盤モデルを中心に業界に特化させたり、あるいは企業や組織に特化させたり、最新情報にアップデートさせたり、さらに、タスクに特化することで要約、翻訳等、新しいタスクを学習させることに

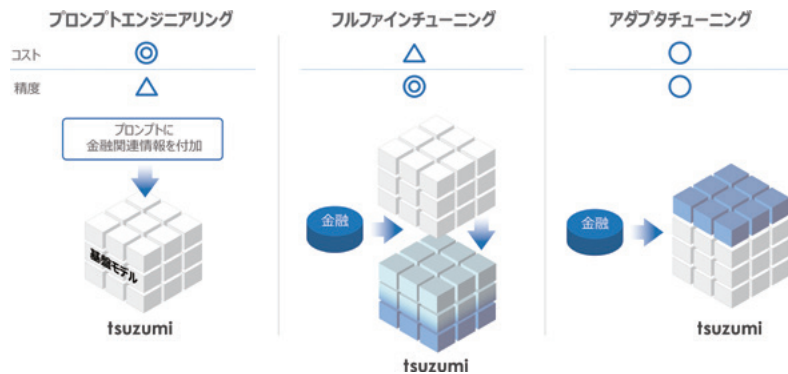


図2 さまざまなチューニング方法

よって、機能を追加することもできます。

図3は金融業界のファインチューニングの例です。右がチューニング前のデータで、左が金融業界にファインチューニングにした後のものです。「東京証券取引所の市場区分について各区分の説明をしてください」

という質問に対して、右はかなり古い状態で、東証一部、二部とかジャスダックとかマザーズが出ていますが、左は2022年の4月4日以降に東証が新しい区分を設けたこと（プライム、スタンダード、グロース）をちゃんと学習して回答できているのが分



金融業界にフィンテック後

東京証券取引所の市場区分について、各区分の説明を教えてください。

東京証券取引所は、日本の金融市場を代表する主要な株式市場です。そのため、各市場区分も国内外から注目されています。

1. プライム(Prime):これが最も流動性と信頼性が高い市場であり、大企業や大手機関投資家向けに提供されます。この市場には多くの大型株が上場しており、時価総額ベースでは世界最大級の規模となっています。また、東証一部にも含まれる重要なセクターでもある「情報・通信業」など特定業種についても重点的に取り扱われています。

2. スタンダード:次に位置するのがスタンダード市場で、より小規模かつ新興企業に対して開放的な市場となります。こちらも一定の流動性と信頼性を持っていますが、特に成長著しいベンチャー企業にとっては非常に魅力的な市場となっています。

3. グロース:最後に位置するのがグロース市場ですが、ここでは主に中小型の成長企業が対象となります。これらの市場への新規参入者は比較的容易であり、資金調達の手続きとして利用できます。ただし、マーケット全体の流動性や価格形成力はプライム市場に比べると劣ります。

このように、それぞれの市場区分は異なる特徴を持ちながらも、日本経済の健全な発展と資本市場の活性化に寄与するという共通した目的を果たしています。

2022年4月4日に変更となった東証の新しい市場区分「プライム市場」「スタンダード市場」「グロース市場」を正しく回答

生成文字数: 648

チューニング前

東京証券取引所の市場区分について、各区分の説明を教えてください。

東京証券取引所の市場区分は、株式市場をより細分化し、それぞれ異なる投資家層や業種に対応するために設けられています。以下に各市場区分とその特徴について説明します。

- 東証一部(Tokyo Stock Price Market):
  - 最も大きな市場であり、国内外から多くの企業が上場しております。
  - 時価総額が大きい大企業が多く存在しますが、新興企業も含まれていることが多いです。
  - 主に資本金が大きく、知名度が高く、業界においても影響力があるような会社がこの市場に上場しています。
- 東証二部(Second Section of Tokyo Stock Exchange):
  - 次に大きな市場であり、中小企業などが上場しています。
  - 時価総額が小さい小規模な企業が多く存在します。
  - 特定の産業分野に特化した企業が多く存在します。
- JASDAQスタンダード(Japan Association of Small and Medium Enterprises Standards):
  - ベンチャー企業や成長途上の企業向けの市場です。
  - 比較的小さな規模の企業が多く存在します。
  - 技術・サービス関連の企業が中心となっています。
- マザーズ(Mothers Market):
  - スタートアップ企業や新しいビジネスモデルを持つ企業向けの市場です。
  - 特に女性起業家支援や社会的課題解決型ビジネスに対応が進んでいます。
  - IT・インターネット関連の企業が多数存在します。

古い市場区分「東証一部」「東証二部」「マザーズ」「ジャスダック」と誤回答

図3 金融業界のフィンテックの例

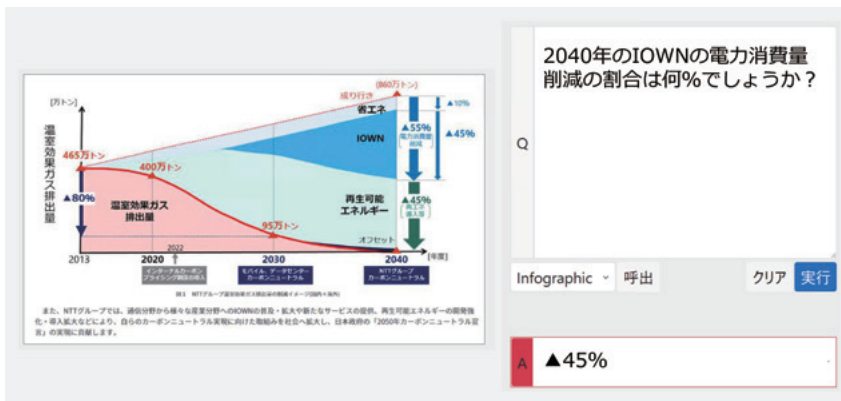


図4 モーダル拡張 言語+視覚

世界12位, 国内1位

順位	企業名
1	Google (USA)
2	Microsoft (USA)
3	Facebook (USA)
4	Amazon (USA)
5	IBM (USA)
6	Huawei (China)
7	Alibaba (China)
8	NVIDIA (USA)
9	Tencent (China)
10	Samsung (South Korea)
11	Baidu (China)
12	NTT (Japan)
13	Apple (USA)
14	OpenAI (USA)
15	Intel (USA)
16	Adobe (USA)
17	Salesforce (USA)
18	Yandex (Russia)
19	NEC (Japan)
20	VinAI (Vietnam)

Top 100 Global Companies Leading in AI Research in 2022<sup>\*1</sup>  
<sup>\*1</sup>: <https://thundermark.medium.com/ai-research-rankings-2022-4pubtrik-moment-for-china-64b693386a4>

図5 AI分野論文数

かると思います。

■マルチモーダル

4番目の特長がマルチモーダルです。今まで言語モデルに関しては言語を入れて言語のアウトプットを得るといったモデルが一般的でしたが、今回のマルチモーダルは、視覚や聴覚等を追加することができるようになりました。例えば請求書のデータに加えて、言語で「10%の消費税を抜いた合計金額はいくらですか」という質問をします。そうするとLLMは、この請求書の単価と数量の欄を見ながら掛け算をして合計9500円と回答を出します。

もう1つの例が図4左です。NTTが出したグリーンビジョンのグラフですが、この複雑なグラフを見せながら、右上にある「2040年のIOWNの電力消費量削減の割合

は何%でしょうか」と質問をします。このような複雑な図でも、ここが正解だということを言語モデルが分析して、答え45%と出しています。このように、いろいろな図と質問を組み合わせながら回答することができます。

ではどのようにして4つの優れた特長を実現できたか、NTT研究所の技術力について紹介します。

NTT研究所の技術力

図5は論文数をランキングしたものです。これは米国のベンチャーキャピタリストがまとめて毎年報告しているものです。NTTは世界で12位、国内では1位の順位となっています。1位から11位を見るとGAFAsの

ように、米国、中国の非常に大きいITベンダがあります。彼らは研究費を何10倍も使い、研究員は何倍もおり、それでもかなり効率良く研究を行っており、このようなランキングを実現できています。また、言語モデルはAI分野の中でも自然言語処理が非常に重要ですが、その分野に限ってのランキングでは、国内ではもちろんNTTがナンバーワンの論文数を誇っています。国内の言語処理学会でも表彰件数でナンバーワンをとっています。長い歴史と研究の積み重ねを持って、LLMの開発に挑みました。今回の開発にあたり、学習データがどれだけ素晴らしいものを用意できるかがポイントとなり、1兆以上のトークン数(単語数)を用意しました。言語の種類では日英だけ

ではなく、21言語さらにプログラミング言語の学習をしています。領域的にも専門分野からエンタテインメント（エンタメ）まで含めて非常に幅広い分野をカバーしています。さらに、インストラクションチューニングが、事前学習でつくったモデルで、さらに人に近いかたちに持っていくための教師データです。この教師データが、NTTのノウハウにあたるところで、今まで40年間の歴史があり、日本語のいろいろなコーパスを活用して、生成AIに向けたチューニングデータを新規に作成しました。

今回のR&Dフォーラムでは11種類の展示を用意しました。代表的なものを紹介します。

■実世界を統合的に理解する tsuzumi

上司と部下がオンラインのコミュニケーションで会話していますが、そのときに上司がパワハラをします。そのパワハラの様子をtsuzumiがちゃんとディテクトして注意を促します。「すいません。ちょっと他の仕事で立て込んでいてすぐに返信できなくて」「他の仕事で忙しいならそれを報告するのが社会人の基本でしょ？」このように上司がパワハラ的な発言をしますが、図6上は上司の顔、下は音声、この2つの情報を分析します。笑っているところ、怒っているところが何%位になるかを分析しています。次に図6左のブルーのところは上司がしゃべった言葉の内容です。そこに対して、ハラスメントの割合が71%になりま

す。また、話している最中の割り込みが73%で、ハラスメント的なものが多くなります。それに対してピンクは、LLMが上司に対して行動変容のアドバイスをしているものです。「確かに仕事に関する適切な報告が重要ですが、部下の報告を促すことも必要です。定期的に上司が部下の状況を確認する機会をつくり、必要に応じて部下の仕事量を調整することも有効です。部下の話最後まで聞くことで、部下が安心して働ける環境をつくることも重要です」と上司に対して適切なアドバイスをすることもできるようになっています。

■ユーザの状況を理解する tsuzumi

tsuzumiは、ユーザの属性や好みなどを基に、道路の混雑状況などを踏まえて、具体的な旅行計画を作成します。図7左にブルーで書かれているところがユーザの発言です。例えば、「明日、足尾銅山で採掘体

験を楽しんだ後、宇都宮で有名な餃子を食べる予定。息子は地学に興味があり、鉱石採掘に興味している。また、家族全員が餃子好きで、宇都宮の名物を楽しみにしている」とカーナビに発言すると、出発時間が何時で出発地がどこと構造化して分析してくれます。さらにルート案内、ホテル予約、グルメ予約という情報をWebからかき集めて、最終的に旅行計画をつくり上げて、ユーザに提案してくれます。

■身体感覚を持つ tsuzumi

tsuzumiを搭載したロボットがユーザの要求に応じてメニューや、テーブル配置を整えてくれます。例えば「寒い冬の日に温まる夕食のテーブルをつくってください。左利きを意識して」と言うと、ロボットが分析して「温まる食べ物はカレーがいいよね、サラダもいいよね、季節感もあるので春巻きもいいよね、お茶は体を温めるよね」



図6 実世界を統合的に理解する tsuzumi



図7 ユーザの状況を理解する tsuzumi



図8 ソフトウェア開発を超高速度化

と回答をしながら実際に配膳していきます。また、左利きであることから箸とスプーンは右利きと反対の方向に置きます。このように説明しながらこのロボットが配膳することができます。

### ■ソフトウェア開発を超高速度化

ショッピングサイトに新しい機能、例えばレビュー機能等を簡単に追加することができます。図8左のWebサイトは普通に商品を紹介しているだけで、レビュー機能がありません。これに対してtsuzumiに「商品レビューの機能を追加したい」と言葉で投げかけると、ソースを分析して簡単にレビュー欄が作成できます。

### ■次世代セキュリティオペレーション

次世代セキュリティオペレーションでは、セキュリティの専門家に代わってインシデント対応を会話形式で行ってくれます。例えばPCにウイルスが検知されるとするとtsuzumiが分析して、「あなたのPCにウイルスが検出されました。至急〇〇の対応をしてください」と順を追って、セキュリティの対応を促してくれます。

### ■セキュリティ

Webサイトを入力することによって言語モデルが分析して、フィッシングサイトを検出・判定することができます。なんとフィッシングサイトの判定精度が98%以上で、人間が見るよりも精度良く検出でき

ます。

## IOWNの進展

IOWNの進展について紹介します。まずIOWNのロードマップを改めて整理したいと思います(図9)。

IOWN 1.0はデータセンタとデータセンタを光でつなぐネットワークングの技術です。IOWN 2.0はさらにそのデータセンタの中のサーバのさらに中のボードとボードを光でつなぐ技術です。IOWN 3.0は、さらにその中のチップとチップを光でつなぎ、そしてIOWN 4.0では、そのチップ中の光化というかたちで進化を遂げていきます。

次に、年代別にロードマップをみてみます。IOWNを構成する要素技術はいくつかありますが、例えば光電融合デバイス(PEC)では、IOWN 1.0, 2.0, 3.0, 4.0というその世代の進化とともに、第2世代、第3世代、第4世代、第5世代と進化していきます。All-Photonics Network (APN)は、IOWN 1.0の中で機能を追加し、性能を上げて進化をとげていきます。さらにData Centric Infrastructureのスーパーホワイトボックスは、IOWN 1.0, 2.0, 3.0の進化、光電融合デバイスの進化とともに、Step 0, 1, 2というかたちで進化をとげていきます。このようなかたちでロード

マップを進めていきます。

IOWN 1.0の中で、今年何が実現できたかを紹介したいと思います。まずAPNのプロダクト化がかなり進みました。APNはコアネットワークのAPN-I、エッジネットワークのAPN-G、ユーザ拠点に設置するAPN-T、ユーザ端末のOTN Anywhereから構成されます。それぞれ各社から具体的な製品が出ています。こういった製品を活用して、2023年3月に、NTT東日本・西日本から具体的なネットワークサービスを提供開始しました。これは100 Gbit/sの専用線サービスで、ユーザがエンド・エンドで光波長を専有することができます。さらにこのOTN Anywhereを使うことによって、遅延時間の可視化や、バラバラになっている遅延時間を調整する機能も実現することができました。これを使い、2023年はいろいろなPoC (Proof of Concept)を実現しました。例えば、コンサート、eスポーツ、お笑い、ダンスのようなエンタメ分野のPoCを行いました。

エンタメの次は未来のデータセンタをAPNによって実現していきたいと思っています。従来のネットは遅延時間が結構多かったので、データセンタ間接続の範囲がかなり限定的でした。一説によるとデータセンタ間接続の距離は60 kmぐらいが限界といわれましたが、大都市の中心部からこ

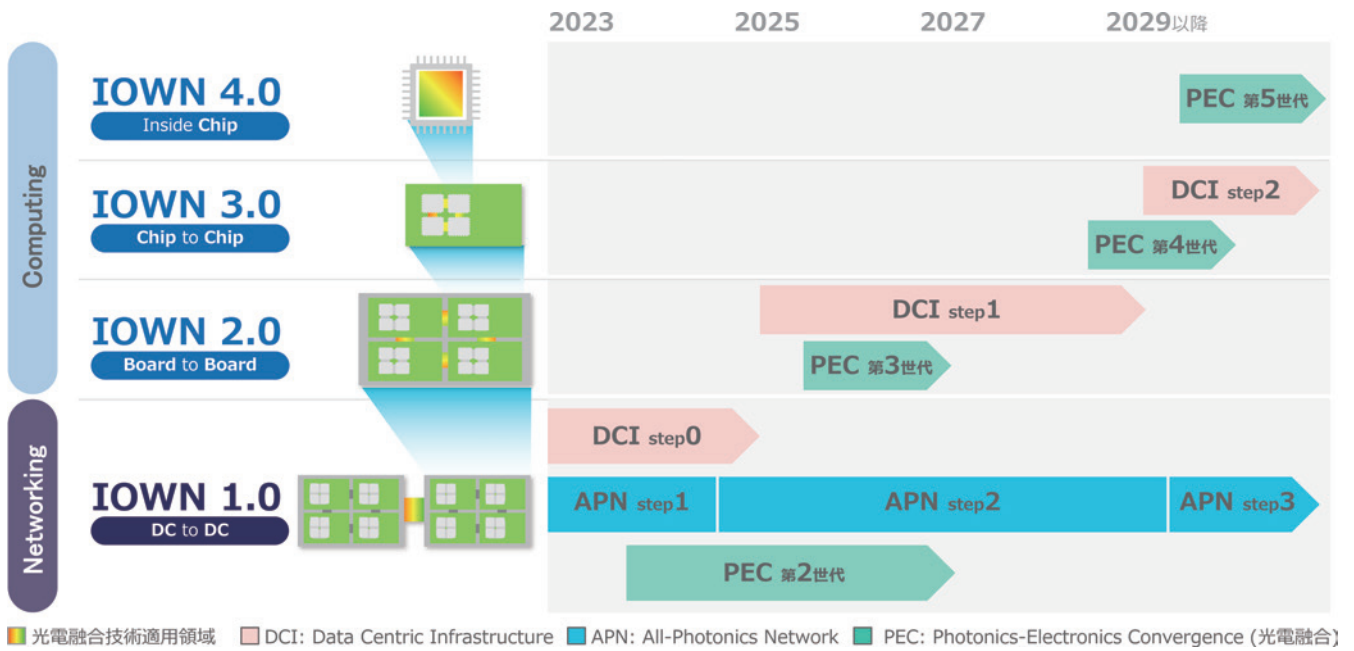


図9 IOWNの進展

の範囲では土地が余っておらず、データセンタを増設するのが難しいのですが、APNを使うことでこのデータセンタ間の接続距離を60 kmから100 kmまで増やすことができます。この範囲ではまだまだ土地が余っているので、増設が可能になります。APNはこのようなデータセンタの拡充に非常に向いているのではないかと、いろいろところで実証実験を行っています。さらに、首都圏だけではなく、日本各地の主要都市、さらには世界的なところに広がっていくと、世界規模のAPNのネットワークが構築できるのではないかと考えています。

次にIOWN 2.0, 3.0の状況を報告します。まずData Centric Infrastructure (DCI)です。こちらは計算機リソースを細分化することによって、データをその中心に添えて、最適に細分化した計算機リソースを配分します。これは省電力で高性能を実現する次世代のコンピューティングアーキテクチャです。

Step 0では、計算機リソースの細分化の単位をサーバとストレージと考えて、その間をAPNでつなぎます。次にStep 1では、細分化の単位がサーバの中のボードになります。このボードの間を第3世代の光電融合デバイスで接続することによって、超低消費電力、超高速なスイッチングを

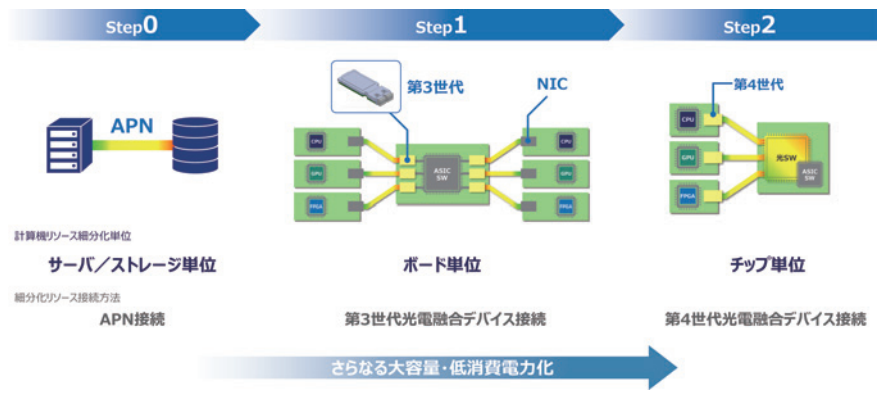


図10 DCI (Data Centric Infrastructure)

現しようと考えています。さらにもっと進化するとStep 2になり、チップ単位で細分化してチップの間を第4世代の光電融合デバイスで接続することによって、低消費電力、高性能を実現していきたいと考えています。このStep 1を実現するためのキーデバイスが光電融合デバイス第3世代の光エンジンといわれるものです。図10の黄色い部分が1つひとつの光エンジンに相当します。ブロードコム様と一緒に実験していますが、チップが約5 Tbit/sのスイッチング能力を持っており、1つひとつの光エンジンが3.2 Tbit/sの伝送能力を持っています。これ1つで約5 Tbit/sのスイッチング能力を持ったデバイスにすることができます。第4世代ではチップ間を光でつなぎ、第3世代よりも実装効率を6倍、電力

効率を2倍と、さらに高性能化、低消費電力化を図っていきます。

### LLM-IOWNの相互作用

LLMとIOWNの相互作用では、IOWNのDCI Step 0, APNとLLMを組み合わせた実験を行っています。横須賀に学習データがありますので、横須賀にGPUを持ち込みたかったのですが、電力や場所がなかったため、今回三鷹のGPUのクラウドを利用しました。その間をAPNでつないでリモートアクセスしています。本来であればこれだけ離れると、NFS (Network File System) も結構遅く、性能低下につながりますが、100 km離れたところでもほとんど性能低下がなく実現することが

きました。具体的には0.5%ぐらいの性能低下です。この光スイッチを使って各CPU、GPUを光によりダイレクトにつなぐことによって、LLMの学習や推論を最小限、最適化されたような計算機リソースの組合せで行うことができます。GPUすべてをフルに動かせながら、なるべく最小限の計算機リソースで実現することをねらっています。

さらに未来の話になりますが、NTTがめざすAIの世界として、AIコンステレーションというものを考えています。これは1つのモノシリックな巨大なLLMをつくるのではなく、小さく専門性を持ったLLMを複数組み合わせることによって、1つの大きなLLMをより賢く、より効率的に解くことができなにか、ということで次世代のアーキテクチャを考えています。例えば人事部長、臨床心理士、トラックの運転手、小学校教諭のようなキャラクターを持ったAIが「人口が減っている我が地域の活性化に何が必要ですか」という問題に対して、それぞれが自分たちの意見を言いながら、その意見を組み合わせたり、あるいは合意形成を取ったり、たまに人が入ってインタラクションを取りながら1つの合意形成をつくっていく仕組みができなかと考えています。

今回、AIコンステレーションを実現するにあたり、sakana.ai様と業務提携を行い、これから共同研究等を進めていく予定です。このsakana.ai様は、今非常に注目されているベンチャー企業で、実は創業メンバーがGoogle BrainのDavid HaさんとChatGPTのTの部分、Transformerの発明者の1人であるLlion Jonesさんです。この2人がつくったsakana.aiと、新しいLLMやAIコンステレーションの研究開発を行っていきます。

## 研究所の3つの覚悟

最後に、「研究所の3つの覚悟」を紹介いたします(図11)。

「知の泉を汲んで研究し実用化により世に恵みを具体的に提供しよう」は1950年にNTT研究所の初代所長吉田五郎が研究所のビジョンを語った言葉です。これは、「知の泉を汲んで研究し」という土台があって、

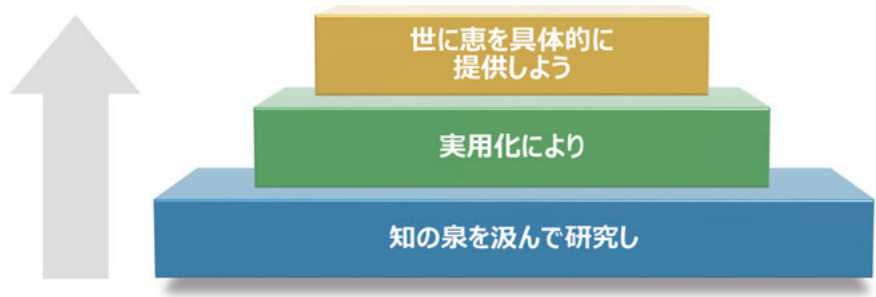


図11 研究所の3つの覚悟

## 世界11位、国内1位<sup>\*1</sup> ICTエンジニアリング系企業、2017-2021

順位	企業名	国・地域	論文数	順位	企業名	国・地域	論文数
1	IBM	USA	8096	16	Hitachi	JAPAN	2586
2	Microsoft	USA	7050	17	Facebook	USA	2553
3	Siemens	GERMANY	6628	18	Merck KGaA	GERMANY	2516
4	Samsung	SOUTH KOREA	6353	19	Thermo Fisher Scientific	USA	2280
5	Google	USA	5926	20	Alibaba	CHINA	2245
6	Huawei Technologies	CHINA	5392	21	Thales	FRANCE	2190
7	Intel Corporation	USA	4982	22	Siemens	GERMANY	2090
8	SINTEF	NORWAY	4602	23	STMicroelectronics	SWITZERLAND	2022
9	General Electric	USA	4309	24	Ericsson	SWEDEN	1857
10	Philips	NETHERLANDS	3822	25	Tencent	CHINA	1706
11	NTT	JAPAN	3439	26	Philips	NETHERLANDS	1700
12	Nokia Corporation	FINLAND	3352	27	ABB	SWITZERLAND	1641
13	Bosch	GERMANY	2821	28	NEC	JAPAN	1527
14	Samsung Electronics	SOUTH KOREA	2782	29	Philips Healthcare	NETHERLANDS	1521
15	China Electronics Technology	CHINA	2727	30	Infineon Technologies	GERMANY	1433

<sup>\*1</sup>: Web of Science, InCites Benchmarkingを用いたNTT調査

図12 論文数ランキング

その上に「実用化により」という開発のフェーズがあって、最後に「世に恵みを具体的に提供しよう」と、この3つを積み重ねることによって実現できるものだと思っています。

まず一番大事なことが1番下にある研究のところ「知の泉を汲んで研究し」です。図12はAIだけではなく、エンジニアリング全部の領域における論文数のランキングですが、NTTは11位になっています。世界トップクラスの研究も実はいろいろあり、音声認識、情報セキュリティ、光通信、量子計算機等をGoogleやIBMにも勝って、世界1位の論文数を誇っています。このような実績をさらに順位を上げる、あるいは世界ナンバーワンの研究領域をもっと増やすことを推し進めていき、世界最高峰の研究地位を確立していきたいと考えています。これが覚悟の1番目です。

次が真ん中の開発のところ「実用化により」です。これは前述のとおり、IOWNとLLMの重要な2つのキーファクターを確実に実用化していくことを覚悟の2番目としたいと思います。

最後は社会実装のフェーズである「世に

恵みを具体的に提供しよう」です。これに関しては、2023年6月に研究開発マーケティング本部を新しく作り直しました。これまでは研究所と研究企画部門が一体となってお客さま、パートナー企業、事業会社の方と連携を取っていました。これに対して研究開発マーケティング本部をつくり、マーケティング部門、アライアンス部門と協力することによって、より幅広い活動をしていきたいと考えています。ここで最後に述べる覚悟が研究成果、開発成果を社会に実装をしていくものです。

NTT研究所は、この3つの覚悟を持って、R&Dを推進していきたいと思っています。



# 「NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION」開催報告

2023年11月14～17日の4日間にわたり、「NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION」を開催しました。本稿では本フォーラムの開催模様を紹介し

ます。  
キーワード：#R&D FORUM, #IOWN, #最新技術

## NTT R&D FORUM 2023の概要

2023年3月にサービスを開始したIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) は、さらなる進化に向けて着実に歩みを進めています。「IOWN ACCELERATION」と題した今回のR&Dフォーラムでは、昨今さまざまな領域で注目されるNTT版LLM (大規模言語モデル) [tsuzumi] (2023年11月公表)をはじめ、IOWNの最新動向について紹介しました。

まず講演においては、NTT幹部が語る事業戦略や技術戦略をはじめ、社内外の有識者がグローバルでホットな技術テーマについて紹介する特別セッション、各界にて著名な登壇者が世界の未来像について語る未来セミナーの合計9つの講演をリアル会場にて実施し、オンライン会場においてもその模様を公開しました。

また技術展示においては、NTT版LLM [tsuzumi] を柱とする技術を「IOWN Pick Up」として展示したほか、IOWN関連技術をその成熟度合いで「IOWN Now」「IOWN Evolution」「IOWN Future」の3つのタイムラインに分けて最新動向やデモによる実演を交えて紹介しました。今回はさらにタイムラインを分類した「次世代コンピューティング基盤」や「サステナブル技術」「APN」「次世代無線技術」など幅広い18のテーマに沿ったかたちで展示することにより、領域ごとの進歩がIOWN実現へと着実につながっている点も伝えました。

11月13日の内覧会には報道関係者の皆様をご招待し、さまざまなTV番組やメディアにて開催模様を放映いただき、新聞およびWebにも多数の記事を掲載いただきました。

11月14～17日においては、NTTがご招待しました国内外延べ約1万2000名の多数の来場者の皆様にリアル会場であるNTT武蔵野研究開発センタにお越しいただき大変ご好評をいただきました。加えて、オンライン会場も世界から約1万9000名の方にご覧いただき、大盛況の中幕を閉じました。

本稿では、「NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION」開催の模様をお届けします。

## 基調講演

NTT代表取締役社長の島田明からは、未来に向けた新しいテーマに表した社会に貢献するNTTの姿と、IOWNとNTT版LLM [tsuzumi] がもたらす未来について、研究開発マーケティング本部長の大西佐知子からは、プロダクトアウトに加えマーケットイン視点でとらえた研究開発について講演を行いました。研究企画部門長の木下真吾からは、技術的な解説を盛り込んだIOWNとNTT版LLM、およびその相互作用について紹介しました。

### ■基調講演1：「挑む 人と地球のために」 NTT R&Dの取り組み

NTT代表取締役社長 島田明による講演は、NTTの新しく打ち出したテーマ「挑む 人と地球のために」を掲げ、社会が抱えるさまざまな課題の解決・人がよりよく生きるWell-beingな社会の実現という大きな目標を示すとともに、その達成の鍵となるのがIOWNとNTT版LLM [tsuzumi] であると述べて幕を開けました。

世界的な社会課題となっている労働力不足や環境・エネルギー問題をはじめ、少子高齢化、医療費増大などの難題をIOWNとNTT版LLM [tsuzumi] がどの

ように解決できるのか、さらにNTTがWell-beingな社会をめざすとは—NTTの技術が社会課題を解決する具体的な事例やパートナーと共創する未来像を紹介しました (写真1)。

IOWNについては、3月に商用化を開始した「IOWN 1.0」のオールフォトニクス・ネットワーク (APN) に続く「IOWN 2.0」以降の計画として、ネットワークからコンピューティングへとより内部へと光化を進めていくロードマップを改めて紹介し、来たる2025年の大阪・関西万博では、IOWNの技術を“体感”できるパビリオンにも注目してほしいと話しました。

また、現在世界的に注目を集める生成AIの分野に一石を投じるNTT版のLLM [tsuzumi] の商用化開始に向け確実な手ごたえを持って取り組んでいると語ります。そして、IOWNと「tsuzumi」が両輪で社会課題の解決、その先のWell-being実現へ大きく貢献するとし両技術が持つ大きな可能性を強調しました。

講演の最後に掲げたのは、「Innovating a Sustainable Future for People and Planet」のメッセージ。NTTが今後も人と地球のために挑戦し、イノベーションを生み出し続けることを宣言しました。



写真1 基調講演1 島田社長

講演の詳細は本特集記事『「挑む 人と地球のために」NTT R&Dの取り組み』をご参照ください。

## ■基調講演2：IOWN ACCELERATION ～想像と創造～

NTT 研究開発マーケティング本部長 大西佐知子は、社会への実装が本格化し進化を続けるIOWNについて商用化の具体的な事例を紹介しました。「IOWN ACCELERATION～想像と創造～」と題した講演では、プロダクトアウト視点でのR&Dとマーケットイン視点でのR&D 両方の視点から、加速するIOWN構想とIOWN実現により創られていく新たな未来像を示しました(写真2)。

冒頭で「皆様にIOWNの芽吹きを感じてほしい」という言葉を投げかけ、「IOWN 2.0」以降、光電融合をはじめとする各領域の要素技術の進歩がもたらす通信のブレイクスルーへの道すじを示しました。また講演のポイントごとに、クイズ形式でNTTが培ってきた歴史的マイルストーンに触れ、NTTがなぜこのブレイクスルーを実現できるのか—その裏付けを示しました。

さらに、人が生きるための基礎と言われる衣・食・住にも触れながら、NTTが牽引する多種多様な分野の課題解決について紹介するとともに、人がよりよく生きる社会をつくるために必要な技術やソリューションはどのようなものかというマーケットイン視点からとらえ直したNTTの研究開発について示しました。

そして最後に、NTTが実現する“ワクワクする未来”に向けて、人と地球にやさしいSocial Well-beingな価値創造をめ

ざすという目標を示し、NTT技術へさらなる期待を寄せてほしいと締めくくりました。

詳細は本特集記事『IOWN ACCELERATION～想像と創造～』をご参照ください。

## ■基調講演3：「LLM+ × IOWN」～ IOWNの進展，NTT版LLMの誕生，そして2つの相互作用～

NTT研究企画部門長 木下真吾からは、11月に発表したNTT版LLM「tsuzumi」とIOWNの進展に加え、これらの相互作用について講演しました。「LLM+ × IOWN」というキーワードを用いて、両技術を足し合わせる・掛け合わせるにより大きく広がる可能性について技術的な解説を多く盛り込みながら語りました(写真3)。

LLM分野に新たな風を吹き込む「tsuzumi」が持つ、従来のLLMと一線を画す4つの特長「①軽量・低消費電力、②言語性能（特に日本語）が高い、③柔軟なカスタマイズ、④マルチモーダル」を可能にしている技術とその裏付けも含め詳しく紹介しながら、その抜き出た性能の高さをアピールしました。

またIOWNとの相互作用として、学習データを手に置いたまま約100 km離れたデータセンタのGPUを利用する、遠く離れたデータセンタを1つのデータセンタとして利用するなど、物理的距離を超えてLLMの学習・推論を効率的に行うための計算リソースを組み合わせ最適化するという、LLMの飛躍的發展につながる実証実験を紹介しつつ、今後そのフィールドを世界に広げていく実験計画を明らかにしました。さらに東京発のスタートアップ企業として世界の注目を集めるSakana AI社との共同研

究開始を発表し、今後の生成AIが進むべき方向性やアーキテクチャに対する考え方において、親和性の高い両社の連携がAI分野に大きな影響力を与える存在になることを示唆しました。

最後に、NTTの研究開発に受け継がれる「知の泉」の精神を振り返りました。研究開発の推進・研究成果の実用化・パートナー企業の皆様とともに実現する実社会への実装—これらを3つの「覚悟」として取り組む姿勢を示しました。

詳細は本特集記事『LLM+ × IOWN～IOWNの進展，NTT版LLMの誕生，そして2つの相互作用～』をご参照ください。

## 特別セッション

特別セッションは、R&D FORUM 2023の目玉であるIOWNとNTT版LLM「tsuzumi」について、社内外有識者による世間でホットな3つのテーマを軸に今後の展望を掘り下げる講演となりました。

### ■特別セッション1：Data Drivenな社会 を切り開くIOWN

日本オラクル株式会社から永椎裕章氏と深津吉聡氏をお招きし、データドリブンな社会を実現するためにIOWNとオラクルが果たす役割とその未来像について講演いただきました(写真4, 5)。

永椎氏はオラクル社創業者の想いに基づく未来志向のビジョンから紹介し、そのマインドがさまざまな領域のデータ活用への挑戦と実績につながっていること、さらに再生エネルギーをはじめクリティカルな要件を求められる分野でも、オラクル社はデータドリブンな社会づくりへ貢献すると意欲を示しました。同時に、データドリブンな社会の実現にはIOWNの活用が欠かせないとして、高セキュリティ、大容量・低遅延通信によって実現されるパラダイムシフトに大きな期待を寄せていただいています。

続いて深津氏からは、実現性とフィージビリティの観点から「IOWN × オラクル」の具体的なソリューションを紹介し、NTTがIOWNを用いて実現する大容量・低遅延な通信基盤、それに対し世界最高のデー



写真2 基調講演2 大西本部長



写真3 基調講演3 木下部門長



写真4 特別セッション1 永椎裕章氏



写真5 特別セッション1 深津吉聡氏

写真6 特別セッション2  
NTT西田京介 首席特別研究員

タ管理技術を持つオラクル社が創出する、新たなソリューションへ前向きな考えを示していただきました。特にIOWNが持つ高いセキュリティ技術についても大きな期待を寄せていただいています。

最後に永椎氏は、NTTとオラクル社との今後のさらなるコラボレーションによる飛躍的な技術の進歩の先に「誰一人取り残されることのない社会」を創出していく意気込みを語りました。今後のNTTとオラクル社の共創に目が離せない講演となりました。

### ■特別セッション2：汎用AIはヒトと暮らす夢を見るか？～大規模言語モデル [tsuzumi] の研究開発～

特別セッション2の前半では、NTT 首席特別研究員の西田京介がNTT版 LLM [tsuzumi] の研究開発やその特長について詳しく紹介しました（写真6）。

NTT版 LLM [tsuzumi] の研究開発を牽引する西田首席特別研究員は、講演に先立ち、講演の章立てが [tsuzumi] との対話で確定したという驚きの事実を明かし、[tsuzumi] の性能の高さを冒頭から存分にアピールしました。

さらに「あらゆる環境で人と自然に共生可能な汎用AIの思考エンジンを創り、人々の Well-being を実現したい」という研究ビジョンを提示しました。講演の中では、[tsuzumi] に具体的な質問を交えたやり取りをお見せしました。さらに、AIを語るうえで避けられない「AIに規範をどう身につけさせるか」という問いについても [tsuzumi] は答えます。AIとヒトが共生

できる世界に向けて [tsuzumi] が示した回答、課題感にこそ [tsuzumi] の高い性能が感じられるセッションとなりました。

### ■自然界に着想を得た新しい言語モデルの開発

さらに、特別セッション2の後半では、Sakana AI から David Ha 氏 と Llion Jones 氏をお招きしました（写真7）。

世界的にも注目されている Sakana AI 社の David Ha 氏と Llion Jones 氏からは、言語モデルを中心とした LLM の今後の方向性についてお話いただきました。David Ha 氏は、現在の LLM コミュニティ内で自身は少数派と断りを入れながらも「非常に大きなモデルがさらに大きくなったとしても、現実世界の複雑さをとらえることはできない」という考えを示し、会場を驚かせました。続けて、自然界からの着想を基に「人間のインテリジェンスは集団的な知性によるものが大きい」という観点から、1つの巨大な LLM とは異なる「状況に動的に適応しながら連携する」という LLM 進化の方向性を示し、多様な特徴を持つ LLM の連携が作り出す知性への思いを語りました。

また、David Ha 氏は日本という国自体のポテンシャルにも期待を寄せていると話します。日本が AI 分野でも世界にその存在感を示すことができるか—Sakana AI 社が日本に拠点を置く理由も含め熱量を持ってお話いただきました。

続いて Llion Jones 氏は、[tsuzumi] の強みとなっている「文字レベルモデリング」について詳しく解説しました。現在の

英語を中心とした LLM の世界では、「文字レベル」「単語モデル」両方が利用されている状況を説明したうえで、「文字レベル」のモデルに移行していくべきであると強調します。さらに、AI の学習において、異なる言語間でも重複する構造を持つものがあるという意外な事実を挙げ、AI 分野の未知なる可能性を改めて示しました。

両氏のお話いただいた内容から、NTT と Sakana AI が持つ今後の LLM がめざす姿や理想とするアーキテクチャに親和性を見出すことができ、日本語に強みを持つ [tsuzumi] の商用化、およびその後の展開に向けて大きな期待感じさせるセッションとなりました。

### ■特別セッション3：AI時代におけるニオブ酸リチウムフォトニクス

スタンフォード大学・NTT Research の Bob Byer, NTT Research の Timothy McKenna の2名によるセッションでは、長い歴史や伝説ともいえるブレイクスルーにまつわるエピソードも交えた話題が展開されました（写真8）。

本セッションでは、もっとも多用途で機能的な光学材料の1つであるニオブ酸リチウム (LN) フォトニクスの歴史・背景から紹介し、LN のパイオニア Bob Byer から、1960-1970年代の歴史「第一世代」について、続いて近年 NTT Research のチームを率いて技術革新と商業化を推進する Timothy McKenna から、1980年代以降の「第二世代」、続く「第三世代」を振り返るかたちで始まりました。

驚くべきは、「第一世代」の研究のさな





写真7 Sakana AI (左から) David Ha氏, Llion Jones氏

かフォトニクス結晶を落とし破損してしまうことが、技術的ブレイクスルーにつながったという事実です。壊れた結晶をどうするか—その答えが近年の加工技術的躍進にもつながっていきます。そして現在、ナノメートル精度でのLNデバイスの製造が実現されたことにより、データセンターで高速・効率的な通信を実現するためLNが重要な役割を果たすと予測しています。さらに、TF(薄膜)LNフォトニクスは、来たるAIクラスターの規模と帯域幅ニーズ急増、フォトニクス市場のさらなる拡大、データセンターの需要・規模拡大によって、これまで以上に重要性が高まると言えます。2023年に市場に参入したばかりのTFLNの市場規模は、5年後には20億ドルを超えると驚きの解説も。LN分野を牽引する2人による終始笑顔のセッションとなりました。

最後に、TFNLの魅力と秘めた可能性について「ハードウェア面の課題を解決するために大いに貢献できる」と2人は期待を込めて語り、明るい未来に心を躍らせた。

## 未来セミナー

各分野で活躍されている著名な方をお招きし、それぞれの視点から未来像を語っていただきました。NTTの技術や取り組みと重ね合わせるお話をいただくことにより、その未来像の輪郭は確かなものとなっていきます。3つのセミナーに共通するキーワードとして浮かび上がってきたのは「見えていなかったものが見えるようになる」です。

### ■未来セミナー1：技術革新による宇宙活用の未来

株式会社アクセルスペースの中村友哉氏が語るのは、衛星開発・利用の視点からの技術革新と宇宙からだからこそ見えるファクトの重要性、そしてこれからの人間と宇宙の関係性について講演していただきました(写真9)。

現在の宇宙ビジネスが世界的に急成長産業としてとらえられ、市場規模は2040年までに1兆ドルを超えると予測されている中、中村氏は衛星の活用がもたらす重要な要素の1つが「宇宙から見えるファクト」であると語ります。衛星画像の活用先はスマート農業だけではない—衛星から見た地球・宇宙の姿は、あらゆる分野で世界を正確にとらえ、よりよくしていくための重要なデータであり、エビデンスとしても機能すると中村氏は強調します。

また、衛星利用の目的からその開発・製造～打ち上げ～運用まで短期間かつワンストップで提供する新たな小型衛星事業を紹介し、このような取り組みが宇宙ビジネスとは離れた分野・業界へ衛星活用の可能性を広げ、「宇宙に民主化をもたらす」と語りました。

さらに中村氏からは、NTTのIOWNが推し進めている光通信が宇宙事業にゲームチェンジをもたらすほどのインパクトになると強い期待を寄せていただいています。NTTとスカパーJSAT社が協業するSpace Compass社とアクセルスペース社はまさに今光通信を宇宙に広げようとしています。中村氏は、今後もSpace Compass社が掲げる「次世代基幹通信ネットワーク」に



写真8 特別セッション3 (上から)



Timothy McKenna, Bob Byer

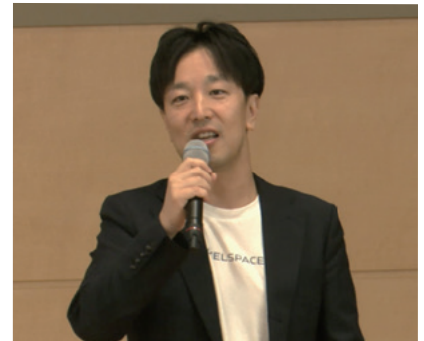


写真9 未来セミナー1 中村友哉氏

向けて貢献するとともに、さらなる連携を深めたいと力強く講演を終えました。

### ■未来セミナー2：デジタル技術で未来の健康を考える～自律神経と腸内環境～

順天堂大学大学院医学研究科・医学部教授の小林弘幸氏をお招きし、医療が抱えるさまざまな課題への対策や技術の進歩がもたらす新たな解決法について、目から鱗の考え方も交えながら講演していただきました(写真10)。

小林氏は、データサイエンスの基本「見えないものを見る化すること」によって、

私たちが「運」と思い込んでいるものさえ実は「科学」で立証できると話します。疾病や感染症のみならず、スポーツも科学で解き明かせるとの見解を、ゴルフの事例を示しながら解説し会場を驚かせました。また、医療やスポーツ科学において重要な要素とされる“再現性”という視点では、医療分野の遠隔手術などでも適用が進められているNTTの「運動能力転写技術」を挙げ、研究開発のレベルと技術が医療の世界にもたらす可能性を高く評価いただきました。

続いて話題は「健康とは何か？」へと展開し、そして健康な生活を送るために重要な要素が腸内環境であると話し、「ヨーグルトが腸内環境に良い影響を及ぼすのはなぜか？それはヨーグルトが“転校生”だから」というユーモアに富んだ解説も交えながら、健康な生活を送るうえでの腸内環境の重要性を説きました。

セミナー終盤では会場への問いかけも交えながら、人の健康的な生活を脅かすさまざまな問題に対する、悪循環に陥らない行動や考え方をご紹介いただきました。

### ■未来セミナー3：DXの先にある未来社会のビジョン

慶應義塾大学医学部教授の宮田裕章氏からは、DX化がめざすべき世界やIOWN構想実現の先にどのような未来を創ることができるのかというテーマを中心に講演していただきました（写真11）。

IT化が進み、検索エンジン等による情報収集が普及することで、“学ぶ”という営みは大きく変化したと振り返るとともに、昨今一般的な普及の様相をみせてきた生成AI

は各分野で大きなインパクトを与えていると語ります。生成AIが課題整理も担いつつある中、人に必要なことは「未来を見て、そして技術を位置付けること」と宮田氏は話しました。また、生成AIやDXは、現在行っている作業を効率化するというよりも、今までできなかった理想的な姿を実現しようとする視点が重要だと語ります。

また、通信基盤の整備やSNSの普及を通じて、物理的距離を越えて互いに直接認識し共鳴できるようになってきた“つながり”にこそ価値があると強調し、NTTのIOWNによりさらにそのつながりは強まるのではないかと期待を寄せていただきました。

一方で、世界経済フォーラム（WEF）発表した「グレート・リセット」というキーワードを取り上げ、まさに今経済の位置付けや価値観の転換が訪れていると話します。その重要な局面において、従来の「最大多数の幸福」に代わる価値観として「最大“多様”の最大幸福」の必要性を主張し、IOWNをベースにしたデータ共有と「ともに生きながら未来を創る」というアプローチの重要性を示し講演を締めくくりました。

## 技術展示

### ■研究展示：IOWN Pick Up

研究成果や実用化、サービス開始などの発表を相次いで行った“今注目の”展示を集約した「IOWN Pick Up」。2023年11月に発表したNTT版LLM「tsuzumi」の研究開発にスポットライトを当て、NTTがこれまで培ってきた自然言語処理技術をは

じめとする研究開発成果を結集した「tsuzumi」および言語にとどまらないさまざまなコミュニケーションの可能性を示しました。

#### (1) 大規模言語モデル「tsuzumi」

NTTが満を持して世界に示し、大きな注目を集める「tsuzumi」とはどういった技術なのか一展示『大規模言語モデル「tsuzumi」』では、その特長を「軽量で日本語が得意」「柔軟なカスタマイズ」の2つに分けて紹介。特筆すべきは、「tsuzumi」はローカル環境でGPU1枚でも動作が可能に軽量という点。言語学習データの質・量を向上させたことにより、消費電力・運用コストを大幅に削減しつつも国内最高峰の性能を達成しています。従来のLLMのように大規模な1つのLLMではなく、小さく賢いLLMが連携することにより、正しい答えを導き出すという考え方も示しました。また「tsuzumi」の汎用LLMをベースに「アダプタ」を適用するというかたちで、お客さまの要求や業界の特性に合わせてLLMを特化させるなど柔軟性も大きなポイントとして掲げています。これらの特長を活かしたさまざまなでの活用が期待できます（図1）。

#### (2) グラフィカルな文書を理解できる「tsuzumi」

さらに「tsuzumi」は言語を越えたコミュニケーションへも広がります。『グラフィカルな文書を理解できる「tsuzumi」』では、まるでLLMが“視覚”を持っているかのような「tsuzumi」について展示しました。テキストデータをベースにした従来のLLMに対し、この「tsuzumi」はグラフから手書き書類まで多様な形式の文書から状況を理解し正しい答えを導き出します。LLMがデジタル化されていない環境や状況でも人間との言語コミュニケーションを行う世界が見えてきます（図2）。

#### (3) 聴覚・音声を持つ「tsuzumi」

そして、「tsuzumi」は音によるコミュニケーションへと展開します。『聴覚・音声を持つ「tsuzumi」』では、音声をはじめとする情報を“聴覚”から読み取ります（図3）。テキストには表れない声色や語気



写真10 未来セミナー2 小林弘幸氏

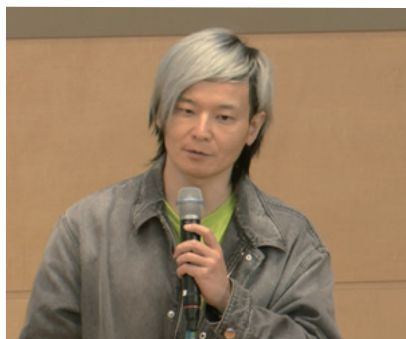


写真11 未来セミナー3 宮田裕章氏

など体調や感情などの非言語情報を読み取って人間に寄り添うコミュニケーションのかたちを提起しました。その他の展示においても、視覚のみならず“五感”あるいはそれを超越する言語以外のコミュニケーションへ「tsuzumi」を展開した様子を紹介しました。

■研究展示：IOWN Now

「IOWN Now」では、ネットワークからコンピューティングへと歩みを着実に進めるIOWNの“今”を展示。さまざまな分野で活用が始まっているNTTの研究成果・要素技術を解説し、社会への大きなインパクトとともに伝えました。

(1) All-Photonics Networkを支える光・電子デバイス技術

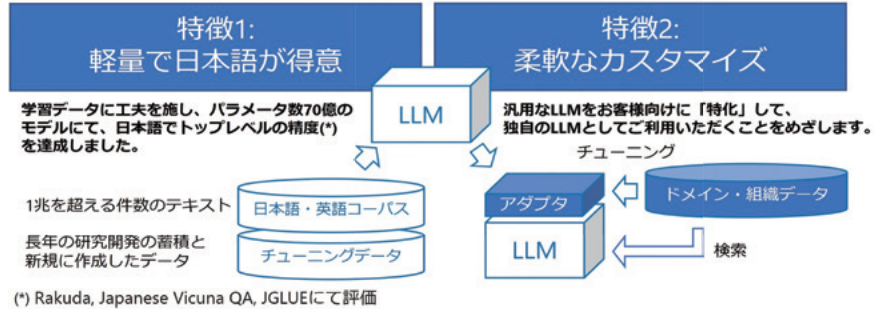
「All-Photonics Networkを支える光・電子デバイス技術」では、IOWN2.0でもAPNを支えるさまざまな先端デバイスを発表。マルチコアファイバ、波長変換デバイス、1Tbit/s級デバイス、超広帯域光スイッチなどNTT研究所の技術を集約して開発したそれぞれの研究成果が、APNの「大容量」「低遅延」「低消費電力」実現の一翼を担います（図4）。

(2) 光電融合デバイス

そして、ネットワークのさらに微細な部分へも光を用いていくための研究開発「光電融合デバイス」の展示では、LSI (Large Scale Integration：大規模集積回路)に配置可能な小型光電融合デバイスを紹介しました。IOWNが「ネットワークからコンピューティングへ」と進み、電気信号を光信号に変換する機構を、ボード間→半導体パッケージ間→半導体パッケージ内へとより微細な接続部分に適用するための技術です。今後のロードマップに計画されたIOWNの進歩「大容量」「低遅延」「低消費電力」に大きく貢献します（図5）。

(3) 建設機械の遠隔操作・現場環境の把握を実現するIOWN APN

加速するIOWNの可能性をより感じただけのものとして、「大容量」「低遅延」「低消費電力」という特長を社会課題の解決に活かす様子を「建設機械の遠隔操作・現場環境の把握を実現するIOWN APN」の展



(\*) Rakuda, Japanese Vicuna QA, JGLUEにて評価

図1 大規模言語モデル「tsuzumi」

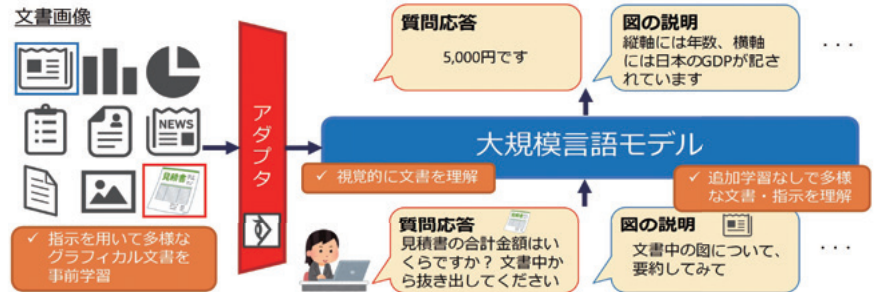


図2 グラフィカルな文書を理解できる「tsuzumi」

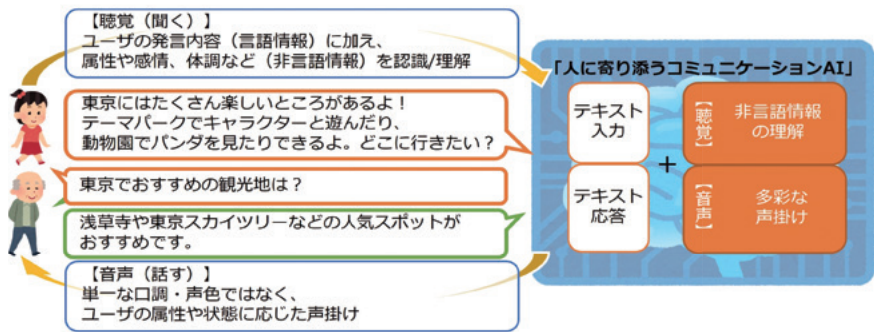


図3 聴覚・音声を持つ「tsuzumi」



図4 All-Photonics Networkを支える光・電子デバイス技術

示・動態デモで紹介しました。APNで現場の高精細な映像を低遅延に伝送し、人間の操作をリアルタイムへ現場へとリアルタイムにフィードバックすることにより精密な遠隔操作が可能となります。人手不足や技術者の安全な作業環境の確保など建築業界が抱えるさまざまな課題へ貢献できるAPNの有用性を示しました(図6)。

■研究展示：IOWN Evolution

「IOWN Evolution」では、日々進化を続けるIOWNによって切り拓かれる実現間近な未来像を皆様へ紹介。IOWNによるさまざまな社会課題解決とWell-being実現に向かうNTTの研究開発をご覧いただきました。

(1) オンデマンド型APNとネットワーク内映像処理技術

映像配信のあり方を革新する技術ともいえる「オンデマンド型APNとネットワーク内映像処理技術」では、2つの要素技術「光パスをオンデマンドに利用できる技術」「通信されるデータのまま映像処理を行う技術」を柱として、リアルタイム性の高い放送・配信サービスやインタラクティブな映像体験を実現する様子を展示しました。会場ではニュースや文化的遺産の紹介映像などを用いた映像処理のデモ実演とともに(図7)、カメラで撮影された映像を時間的・情動的損失なく視聴者に届けるだけでなく、視聴者が見たいカメラ映像を選べる時代の到来を示しました。また、放送局用の専用機器ではなくスーパーホワイトボックスを用いた通信側から制御できる技術であることも大きなインパクトとしてお伝えしました。

(2) 光ファイバ環境モニタリング

さらにIOWNは既存の設備を活かし、新たな価値創造につなげる方向にも展開しています。「光ファイバ環境モニタリング」では、地下に敷設された光ケーブルをセンサとして利用した振動解析技術を紹介。遠隔から豪雪地帯の除雪判断を行った世界初の例を展示しました。世界の多くの場所に敷設された光ファイバを通信用途だけではなく、環境整備としてのインフラとして活用することにより、さまざまな地域課題解決への貢献が見込まれます(図8)。

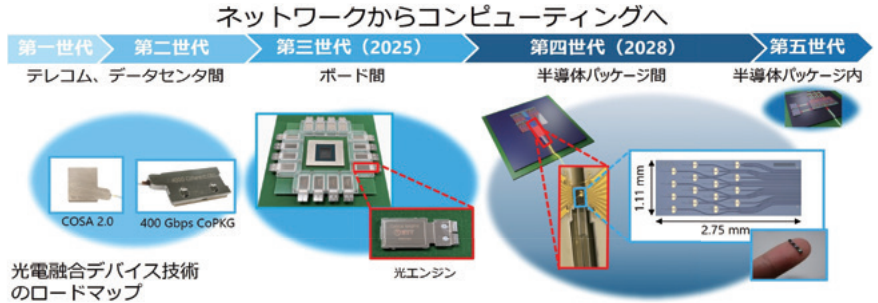


図5 光電融合デバイス

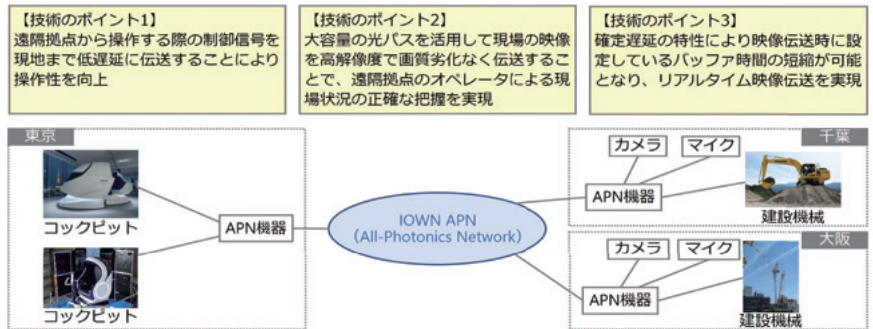


図6 建設機械の遠隔操作・現場環境の把握を実現するIOWN APN

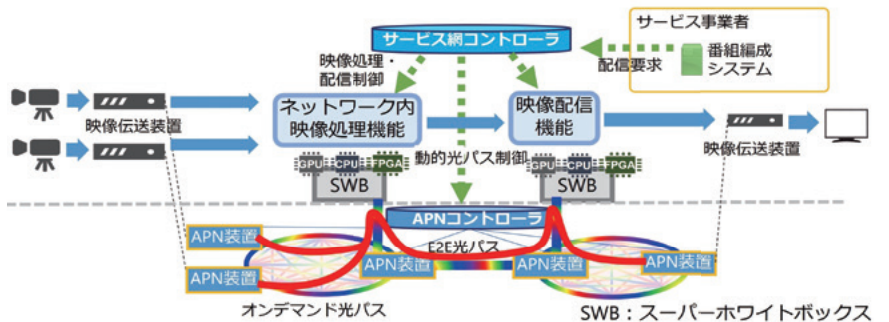


図7 オンデマンド型APNとネットワーク内映像処理技術

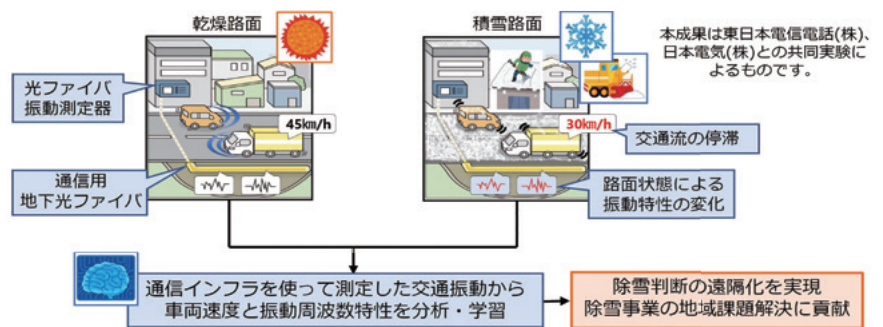


図8 光ファイバ環境モニタリング

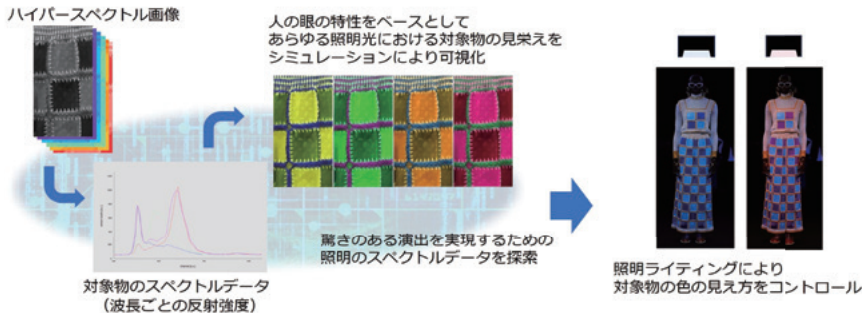


図9 リアルの多様な見え方をとらえるハイパースペクトルデータ解析技術

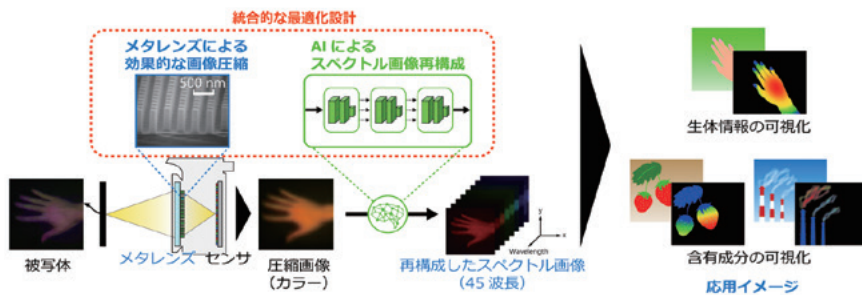


図10 メタレンズとAIを融合したハイパースペクトル撮像技術



図11 リアル世界の体感を再現するXRスポーツ空間生成

(3) リアルの多様な見え方をとらえるハイパースペクトルデータ解析技術

「リアルな多様な見え方をとらえるハイパースペクトルデータ解析技術」では、ハイパースペクトルカメラで撮影した画像から色彩変化予測を行い表現する技術について紹介しました。人間の目では捕捉することのできない視覚情報を可視化することにより、これまでの画像・映像に付加価値を与える可能性を大きく示しました。実演デモでは、2023年のパリコレクションでも用いられた、広範囲に光を照射し衣服の色の見え方を変化させるエンタテインメント分野での活用事例をご覧ください(図9)。また隣接する展示「メタレンズとAIを融

合したハイパースペクトル撮像技術」では、果物の画像に対し精度の違いを示す視覚情報を重ねることにより、果物の甘い部分を可視化するという事例(図10)を示し、多岐にわたる適用例を紹介しました。将来的にはハイパースペクトル画像でとらえたさまざまな色を正確に可視化することで、色を用いたさまざまな視覚表現・情報伝達を可能にできると考えています。

(4) リアル世界の体感を再現するXRスポーツ空間生成

五感で感じるバーチャル空間を実現する技術として「リアル世界の体感を再現するXRスポーツ空間生成」を展示しました。バーチャルで再現した空間と時間変化・音

声・振動などの情報によって、リアルなスポーツ体験を提供する超高臨場メタバース空間「XRスポーツ空間」に関する技術(図11)に加えご覧いただいた動態デモでは自転車レースに参加する様子を紹介し、映像・音響・触覚をあたかも現実かのように再現した技術に多くの注目をいただきました(図12)。遠く離れた場所で開催されている国際大会に自分も参加し、選手とリアルタイムで“競走”できる世界も近づいてきました。

■研究展示：IOWN Future

「IOWN Future」では、NTTの技術が切り拓く新たな社会課題の解決について地球レベルの大きなスケールで示すとともに、人より良く生きるWell-beingな社会につながる未来を見つめた取り組みを紹介しました。

(1) 人工光合成

カーボンニュートラルが世界的な課題となっている中、植物が生育する営みに着想し研究開発を進めている「人工光合成」では、NTTの強みである「高品質な半導体光触媒」に、劣化抑制機能を持たせた保護層を適用することでCO<sub>2</sub>を削減する技術の進展について展示しました(図13)。この技術でNTTは世界トップクラスとなる「数百時間以上の連続動作」を実現しています。実演デモでは実際に光合成の様子を紹介し、大きな盛り上がりを実現に向けた期待を寄せていただきました(図14)。

(2) IOWNと未来の車

世界的にもさまざまな取り組みや技術開発が行われている車についても、未来を見据えた研究開発を行っています。社会課題を解決するのみならず、Well-beingにつながる車とは—「IOWNと未来の車」の展示では、IOWN Global Forumにおいても議論されている分野である「未来の車」、その未来像と実現に不可欠となるIOWNの光伝送技術や光電融合技術・コンピューティング技術の適用について示しました。安心・安全な運転のため全方位カメラ・センサなどの情報をフル活用しながら、より安全かつ楽しい車内空間を実現するのはもちろんのこと、生成AI搭載・低消費電力コンピューティングによる高機能化により、



図12 空間生成技術による自転車レースのデモ実演の様子

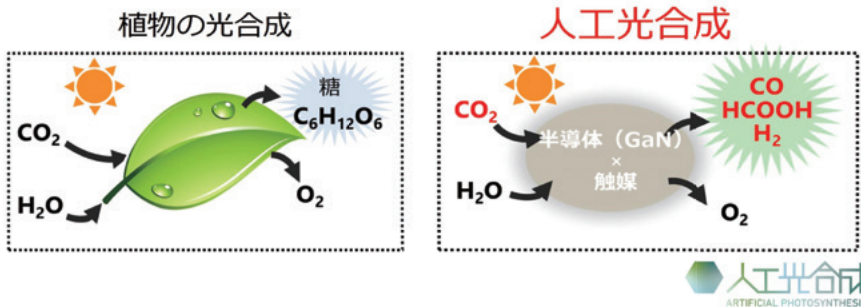


図13 植物の光合成と人工光合成



図14 人工光合成の実演デモ

**Case1. 楽しく安全に編**

センサ・カメラが全方位配置、通信モジュールも  
大量なセンサ情報・映像を束ねる大容量伝送路

光伝送技術

**Case2. 生成AIと車編**

生成AIの指示を受けるためのプログラマブルな車  
低消費電力なコンピューティングフレームワーク

光電融合技術やIOWNコンピューティング技術

図15 IOWNと未来の車

車を移動手段のみならず「生活を支えるパートナー」へと進化させ、快適かつ持続可能な未来をもたらす展示は大きな注目を集めました(図15)。

### フォーラムを終えて

今回のフォーラムでは、NTTが牽引する研究開発が進展する中、IOWNの実現に向けた着実な歩みと、IOWNやNTT版LLM「tsuzumi」がもたらす新しい可能性について紹介しました。多くの皆様にNTTの最新技術と今後の展望、そしてさまざまなパートナーと共創していく未来像について、実感を持ってご覧いただけたと感じています。

これからもNTTは「人」と「地球」にとって豊かな未来創造をめざし、絶え間なく挑戦と革新を続けていきます。加速していくIOWNおよびNTTの研究開発に今後もご期待ください。



- (後列左から) 池田 篤志 / 藤原 正勝 / 大石 哲矢 / 芝 宏礼 / 唐澤 圭
- (前列左から) 白木 善史 / 兵藤 正樹 / 森 俊介 / 三反崎 暁経 / 馬場 大樹 / 横井 裕也 / 渡邊 貴則 / 高橋 慶太

#### ◆特設サイト紹介

講演の様子・展示一覧は特設サイトからご覧いただけます。  
特設サイト:「NTT R&D FORUM 2023 — IOWN ACCELERATION」開催報告  
<https://www.rd.ntt/forum/2023/>

#### ◆問い合わせ先

NTT R&Dフォーラム事務局  
E-mail [rdforum-info@ml.ntt.com](mailto:rdforum-info@ml.ntt.com)

# サステナブルでしなやかな社会を実現する環境エネルギー分野での取り組み

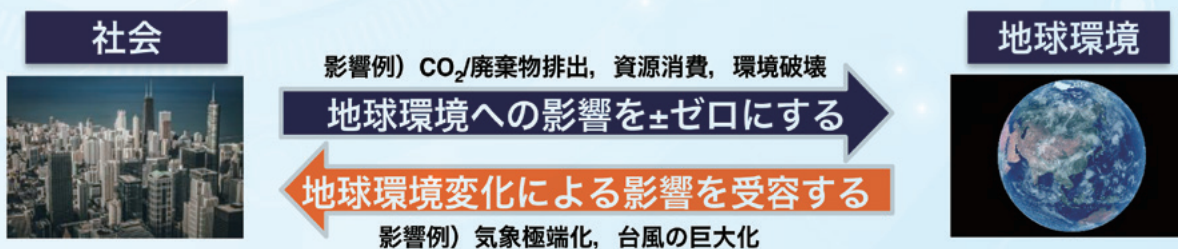
本特集では、地球環境の再生と包摂的かつサステナブルな社会、「しなやかな社会」の実現に向けた革新的技術の創出に向けて、NTT宇宙環境エネルギー研究所で取り組んでいる環境負荷ゼロ技術、および環境適応技術の最新トピックスを紹介する。

## NTT宇宙環境エネルギー研究所の取り組み最前線 — 34

設立から3年半が経過したNTT宇宙環境エネルギー研究所の最新の取り組み状況と将来展望を紹介する。

## クリーンでサステナブルな社会を実現する環境負荷ゼロ技術 — 38

環境負荷ゼロの実現に向けた研究テーマの中から、仮想エネルギー需給制御技術、次世代エネルギー供給技術、および海洋の食物連鎖を活用した海洋中CO<sub>2</sub>削減技術の最新研究動向を紹介する。



環境負荷ゼロ

宇宙太陽光発電

サステナブル

環境への適応

しなやかな社会

## 宇宙太陽光発電実現に向けた長距離レーザーエネルギー伝送 — 42 技術と地上での利用

現在NTTで構想中の宇宙太陽光発電システムを説明し、その中で必要なレーザーによるエネルギー伝送技術や、太陽光をレーザー光に変換する技術、レーザーを高効率で電力に変換する技術を紹介する。

## 環境変化への適応力を高めるレジリエント環境適応研究の最前線 — 47

レジリエントな環境適応の実現に向けた研究テーマの中から、宇宙放射線バリア技術、地球環境未来予測技術、および海洋生態系循環予測技術の最新研究動向を紹介する。

## 包摂的サステナビリティの実現に向けた環境社会循環予測技術 — 51

「環境と経済の相互作用を考慮した地球規模の環境負荷予測」と「Beyond GDP時代における新しい豊かさの指標（Inclusive Wealth Index）とその将来予測技術」を紹介する。

## 主役登場 落合 夏葉 （NTT宇宙環境エネルギー研究所） — 54

レーザーエネルギー伝送技術による豊かな社会の実現をめざして





# NTT 宇宙環境エネルギー研究所の取り組み最前線

NTT宇宙環境エネルギー研究所では、地球環境の再生と包摂的かつサステナブルな社会の実現をめざし、これまでのNTT研究所にはあまりなかった型破りな研究テーマを設定し、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を行っています。本稿では、設立から3年半が経過した当研究所の最新の取り組み状況と将来展望を紹介します。

キーワード：#宇宙、#環境、#エネルギー

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ることなく、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。設立から3年半を経て、新たに見直した私たちのビジョンは次のとおりです。

「地球環境の再生と包摂的かつサステナブルな社会の実現に向け、革新的な次世代エネルギー技術としなやかな環境適応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、本特集のタイトルにも記した「サステナブルでしなやかな社会」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とともに、地球環境の変化が社会に及ぼすさまざまな影響をしなやかに受け流すことができるような社会のことです。具体的には、核融合や宇宙発電などの次世代エネルギー技術、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、循環型農林水産業の中での大気・海洋中CO<sub>2</sub>削減、高精度な未来予測により自然災害による被害を未然に防ぐだけでなく、台風や雷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。

これまで研究体制の立上げ、研究員の増強、多くの研究機関との連携、研究成果の早期創出に奔走してきました。特に、外部人材獲得強化に向けて展開しているオウンドメディア“Beyond Our Planet”<sup>(1)</sup>については、コンテンツ更新を頻繁に行い研究所

の認知度向上に努めてきました。特に線状降水帯に関する記事は、ゲリラ豪雨や台風襲来と連動してページ閲覧数が月間約1万8000件（2023年6月、オウンドメディア全体では月間約8万1500件）と大幅に増加したり、検索サイトで上位に表示されたりするなど、私たちの組織や活動が社会に認知されてきたことを実感しています。

また、地球環境のデジタルツイン化と高精度な未来予測技術の確立を加速するために、2023年10月に環境社会循環予測技術グループを創設しました。所員数は発足当初の1.8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行っており、さまざまな成果も出始めています。

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

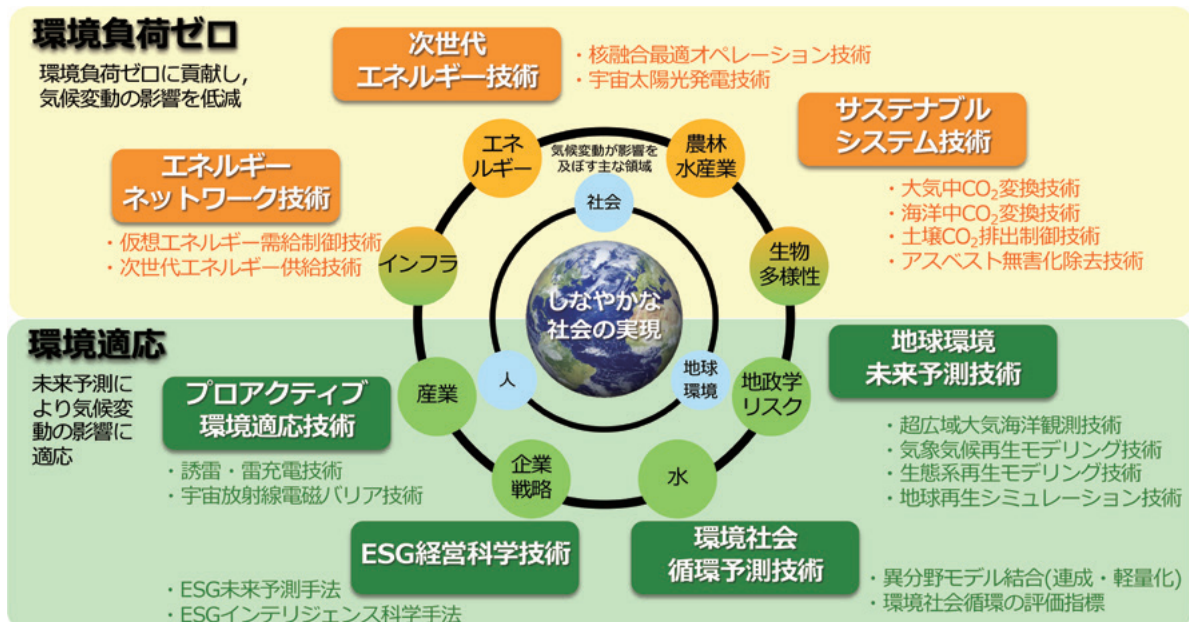


図1 研究テーマ全体像

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, 環境負荷ゼロ研究プロジェクトには3つの研究グループ, レジリエント環境適応研究プロジェクトには新設した環境社会循環予測技術グループを含め4つのグループがあり, それぞれのグループ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地球環境の再生と気候変動の影響を減らしていくことで, サステナブル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。以降, 各プロジェクトの概略と最新の取り組み状況を説明します。

## 環境負荷ゼロ研究プロジェクトの取り組み最前線

このプロジェクトでは, 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, 圧倒的にクリーンで革新的な次世代のエネルギー技術, 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, そして循環型農林水産業をとおして大気・海中のCO<sub>2</sub>を削減するサステナブルシステム技術の研究を行っています。

次世代エネルギー技術については, 現在2つのテーマに取り組んでいます。1つは, 夢のエネルギーといわれている核融合発電の実現をめざした核融合最適オペレーション技術です。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でクリーンなエネルギー源であり, 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 (Innovative Optical and Wireless Network) 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。現在, この分野ではベンチャー企業の活躍が目立っていますが, 私たちも世界の動向を探りながら私たちの技術を活かすことができるベンチャー企業・機関との新たな連携を模索しているところです。なお, ITER国際核融

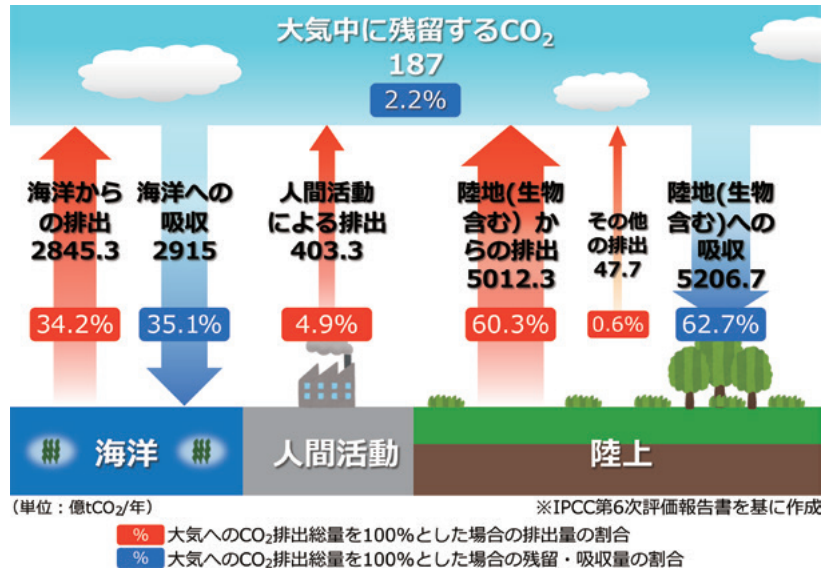


図2 二酸化炭素循環の実態

合エネルギー機構とは, 連携第一弾として異常予測に関する共同実験を始めました<sup>(2)</sup>。

もう1つは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です。宇宙太陽光発電は, 約3万6000km上空の静止衛星で太陽光から得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無線送電するという壮大な研究です。このテーマについては, 本特集記事『宇宙太陽光発電実現に向けた長距離レーザーエネルギー伝送技術と地上での利用』<sup>(3)</sup>にて詳細に説明します。

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。仮想エネルギー需給制御技術は, 「Power to Data」という新たな概念として注目を集め始めており, いわゆる再生可能エネルギーの余剰電力をデータ(情報処理)に置き換えて効率良く消費するという考え方です。私たちはすでに事業会社と連携した実証実験を開始しており, 現在は実験室と実際のデータセンタをつなぎさまざまな実験を行っています。今年度内には接続拠点を増やし, 実用化に向けた検証を進めていく予定です。

サステナブルシステム技術では, 循環型農林水産業をとおして大気・海洋中のCO<sub>2</sub>を削減するCO<sub>2</sub>変換技術の研究を進めています。一般的にカーボンニュートラルとは, 人間活動から排出される主にエネルギー由来のCO<sub>2</sub>を削減することと考えられる場合が多いですが, 地球全体で見るとそのCO<sub>2</sub>量はわずか4.9%しかありません。図2に最新の地球全体の二酸化炭素循環量のデータを示します。これまではIPCC(気候変動に関する政府間パネル)第6次評価報告書Draft版の数字を参照していましたが, 最終版を参照して作成したものが図2となります。もっとも多くCO<sub>2</sub>を排出しているのは陸地(生物含む)で60.3%, 海洋からも34.2%が排出されています。吸収量に関しては, 62.7%が陸地(生物含む)で吸収され, 海洋でも35.1%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, 人間活動による排出削減と同時に土壌や海洋へのアプローチが重要になります。人間活動によるCO<sub>2</sub>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。このため, 私たちは循環型農林水産業をとおしてCO<sub>2</sub>を削減する技術を研究しています。

具体的には, ゲノム編集を植物, 藻類に適用し, 光合成に伴うCO<sub>2</sub>吸収量を増大させるとともに, これらを食料として魚介類



図3 レジリエント環境適応プロジェクト

や家畜に食べさせ、食物連鎖・循環の中で大気・海洋中のCO<sub>2</sub>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行っています。ゲノム編集といっても、私たちが行っているのは遺伝子組換えではなく、いわゆる品種改良であり安全なものです。成果としては、藻類のCO<sub>2</sub>吸収量を飛躍的に向上させる遺伝子の特定に成功しました<sup>(4)</sup>。また、私たちの成果であるCO<sub>2</sub>を多く吸収した藻類を餌として活用し、陸上養殖を契機とした地域活性化ビジネスを行うNTTグリーン&フードも2023年7月に事業を開始<sup>(5)</sup>しており、私たちの新たな成果創出とビジネス拡大が急務となっています。将来的には、CO<sub>2</sub>吸収量を格段に増加させた海洋・陸上植物を普及させ、カーボンクレジットにも展開していきます。

### レジリエント環境適応研究プロジェクトの取り組み最前線

本プロジェクトの全体像を図3に示します。このプロジェクトでは、人間活動と地球環境の相互影響を加味して未来を予測し、予測結果に基づくプロアクティブな経営判断を支援したり、自然現象による被害を回避あるいは活用したりする環境適応に向けた研究を行っています。具体的には、広範な公開情報から企業経営に影響を与える気候変動などの未来シナリオを予測するESG経営科学技術、地球規模の環境観測と物理過程や生物・化学的過程のモデル化により地球環境の未来予測を行う地球環境未来予

測技術、乱立する異分野のモデル統合と新たな循環評価指標の創出により社会と環境の循環を予測する環境社会循環予測技術、そしてこれらの3つの技術を連成させ未来予測結果を活用し先回りして社会環境に適応するプロアクティブ環境適応技術という4つの技術の確立に取り組んでいます。

ESG経営科学技術では、ESGインテリジェンス科学手法とESG未来予測手法と名付けた2つの手法を組み合わせ、経営戦略策定に資する未来予測技術の確立をめざしています。ESGインテリジェンス科学手法では、世界各国の政府資料、学会、ニュースなどのグローバルな公開情報をAI（人工知能）、テキストマイニング技術等を用いて収集・分析します。情報の分析には、まず人の思考バイアスを取り除き、事象や計画の因果関係を抽出することで起こり得る複数のシナリオを生成します。ESG未来予測手法では、複数のシナリオを基に、社会や環境の変化を定量的に予測します。この定量的な予測には、マクロ経済モデルの1つである応用一般均衡モデル=CGE (Computable General Equilibrium) モデルを活用します。CGEモデルは産業ごとの生産や消費、また産業間の相互影響から市場全体の変化を数学的に予測する手法です。例えば、エネルギー価格に変動が生じた場合、エネルギーを多く使う鉄鋼業、運送業などに売上規模やCO<sub>2</sub>排出量に影響が生じます。こうした影響についてCGEモデルを用いて計算することで、産業間の相互影響を加味した未来の経済や環境への

影響を定量的に予測します。これらの手法を用いて、環境や社会変化による経営への複合的な影響を、短期から長期にわたって連続的に予測します。後者については2020年より国立環境研究所などの研究組織との連携を進め、ICTの発展による社会への影響評価を実施して国際会議などで発信してきました\*。今後は、前者を中心に、より実践的な成果創出をめざして事業会社の経営部門との連携を進めています。

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、地球環境の未来を予測する技術の確立をめざしています。詳細は本特集記事『クリーンでサステナブルな社会を実現する環境負荷ゼロ技術』<sup>(6)</sup>でも紹介しますが、現在の気象・環境観測は陸域および近海に限られており、陸地から離れた遠洋ではリアルタイムにほとんど観測されていません。このため人工衛星での観測がメインとなりますが、人工衛星では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水蒸気や海中の環境情報を測定することが困難です。このため私たちは衛星IoT (Internet of Things)<sup>(7)</sup>を活用して、この未踏領域でのリアルタイ

\* 本研究は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費JPMEERF20201002により実施。

ム観測にチャレンジしており、合わせて気象・気候モデルの高度化を行っています。また、このような海洋観測とモデルの高度化は、私たちだけでの実現は困難なので、さまざまな機関と連携しながら検討を進めています。成果も少しずつ始めており、沖縄科学技術大学院大学と共同で、北西太平洋でカテゴリ5の猛烈な台風直下の大気・海洋の同時観測に世界で初めて成功<sup>(6)</sup>したり、東京大学と共同で気象観測の高度化に向けてドローンの航法精度を向上するミリ波RFIDタグを世界初で開発<sup>(9)</sup>したりするなど実績を積んでいます。

環境社会循環予測技術は前述の新設グループで取り組んでおり、包摂的サステナビリティ実現に向けて、地球規模の水循環に関する環境と経済活動の相互影響を再現する地球規模シミュレーション環境を構築しているほか、専門領域ごとのシミュレーションシステムどうしをつなぐための大規模連成シミュレーション技術の研究などを行っています。詳細は本特集記事『包摂的サステナビリティの実現に向けた環境社会循環予測技術』<sup>(10)</sup>にて紹介します。

プロアクティブ環境適応技術は、上記3つの技術を連成させて未来を予測し、その結果を基に先回りして環境に適応するという技術ですが、3つの技術の確立にはまだ時間が掛かります。このため、現状でもある程度予測可能な雷と宇宙線を対象に研究をスタートしています。雷に関しては、避雷針を付けたドローンなどで落雷を捕捉し、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、雷のエネルギーを利活用したりする技術について研究しています。具体的には、耐雷ドローン技術、誘雷技術、発電予測技術、そして雷充電技術について研究を進めています。

耐雷ドローンについては、人工雷での検証を終え、自然雷での実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の海岸にて2022年と2023年の冬に行いましたが、残念ながら自然雷を捕捉することはできませんでした。しかし、かなりの危険を伴う極寒かつ冬の嵐の中での実証(図4)では、多くのノウハウを獲得することができました。例えば、雷雲・落雷情報と自前観測情報を組み合わせた誘雷エリア予測技術、そして超悪天候下でのドローン飛行運



図4 吹雪の海岸における実証実験の様子

用技術などです。私たちの挑戦はまだ終わっておらず、この冬もさらに技術を磨いたうえで世界初となる耐雷ドローンでの自然雷の捕捉実現をめざします。

宇宙線に関しては、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以前より行っていました。これをさらに発展させ、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た宇宙放射線電磁バリア技術の研究を行っています。このテーマに関しては、本特集記事『環境変化への適応力を高めるレジリエント環境適応研究の最前線』<sup>(11)</sup>で詳細に説明します。

## おわりに

本稿では、NTT宇宙環境エネルギー研究所の取り組みの最新情報を説明しました。引き続き特集記事では、成果が出てい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) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/11/21/231121b.html>
- (3) 落合・鈴木・柏倉・鳥海：“宇宙太陽光発電実現に向けた長距離レーザーエネルギー伝送技術と地上での利用。” NTT技術ジャーナル, Vol. 36, No. 1, pp. 42-46, 2024.
- (4) <https://group.ntt.jp/news>

- release/2023/02/09/230209c.html
- (5) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/06/27/230627a.html>
- (6) 香西・花岡・長谷川・武部・今村・田中：“クリーンでサステナブルな社会を実現する環境負荷ゼロ技術。” NTT技術ジャーナル, Vol. 36, No. 1, pp. 38-41, 2024.
- (7) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/05/29/200529a.html>
- (8) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/05/23/230523a.html>
- (9) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/10/02/231002a.html>
- (10) 河田・徳永・六藤：“包摂的サステナビリティの実現に向けた環境社会循環予測技術。” NTT技術ジャーナル, Vol. 36, No. 1, pp. 51-53, 2024.
- (11) 岩下・久田・高橋・宮島：“環境変化への適応力を高めるレジリエント環境適応研究の最前線。” NTT技術ジャーナル, Vol. 36, No. 1, pp. 47-50, 2024.



前田 裕二

研究者の公募を行っています。私たちの挑戦に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@ntt.com



# クリーンでサステナブルな社会を実現する 環境負荷ゼロ技術

NTT宇宙環境エネルギー研究所では、環境負荷ゼロを実現するため、新たなエネルギーの創出、効率的かつレジリエント性の高いエネルギー輸送、CO<sub>2</sub>の効果的な吸収、変換の研究開発に取り組んでいます。本稿では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技術、高信頼な直流給電を活用した直流グリッドによる次世代エネルギー供給技術、およびカーボンニュートラルの実現に資する、海洋の食物連鎖を活用した海洋中CO<sub>2</sub>削減技術について紹介します。

キーワード：#環境負荷ゼロ、#サステナブル、#カーボンニュートラル

こうざい まさき はなおか なおき  
 香西 将樹 / 花岡 直樹  
 はせがわ はづき たけへ ひろあき  
 長谷川 葉月 / 武部 紘明  
 いむら そうすけ たなか とおる  
 今村 壮輔 / 田中 徹

NTT宇宙環境エネルギー研究所

## 仮想エネルギー需給制御技術の 取り組み状況

仮想エネルギー需給制御技術（図1）は、全国に分散するNTTビル内に設置されたサーバなどのICT装置で処理する仕事（ワークロード）を時間的・空間的に適切に配置することで消費電力を調整し、再生可能エネルギー（再エネ）の地産地消をめざすもので、NTTネットワークサービスシステム研究所、NTTネットワークイノベーションセンターとで連携して技術の確立、実証実験に取り組んでいます<sup>1)</sup>。本技術は再エネ発電の供給量予測、ビル単位やワークロード単位の電力需要予測、ICTリソースにかかわる各種予測と、先の予測に基づくエネルギー需要やワークロード配置の最適化計算、計算結果を実現するためのワークロードの制御技術など多くの要素技術から構成されます。これまでに市中技術と、開発を行った要素技術とを組み合わせ、単一拠点内での機能検証を実施してきました。2022年度には本技術の有効性を検証するため、配線長で約1 km離れた2拠点を10 Gbit/sの回線で接続した検証環境を構築し、実験を行いました。

仮想デスクトップサービスを提供する仮想マシン（VM）を9個実行し、CPUおよびメモリに複数のパターンで負荷を印加したものをワークロードとしました。これらのワークロードを拠点間でライブマイグレーション（サービスを実行したままVMを移動）し、その際のエネルギーやサービス、運用面の評価を行いました。

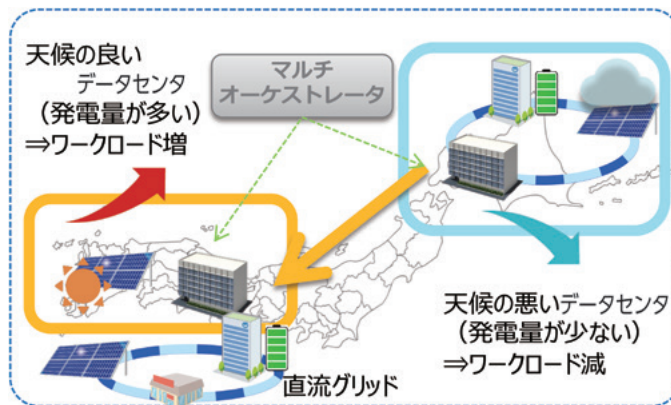


図1 仮想エネルギー需給制御と直流グリッド

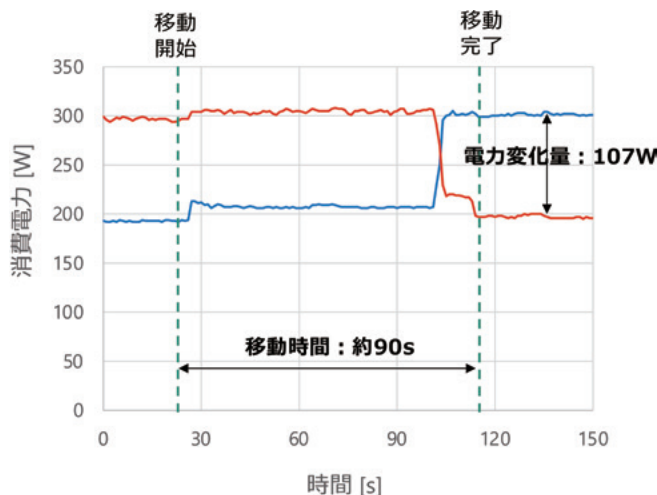


図2 ワークロード移動時の消費電力の時間変化の例

実験を通じて、負荷の状況と、ワークロードの移動にかかる時間や調整可能な消費電力量の関係を定量的に確認しました。また、例えばすべてのVMが高負荷状態（CPU使用率85%、メモリ使用率80%）の条件では、サーバ消費電力（270 W）の約35%に

相当する107 Wの消費電力調整ができました。なお、VMの移動開始から完了までは約90秒かかりましたが、その間、ほぼ仮想デスクトップサービスの利用者目線での影響はみられませんでした（図2）。

本検証では2台のサーバで実施しました

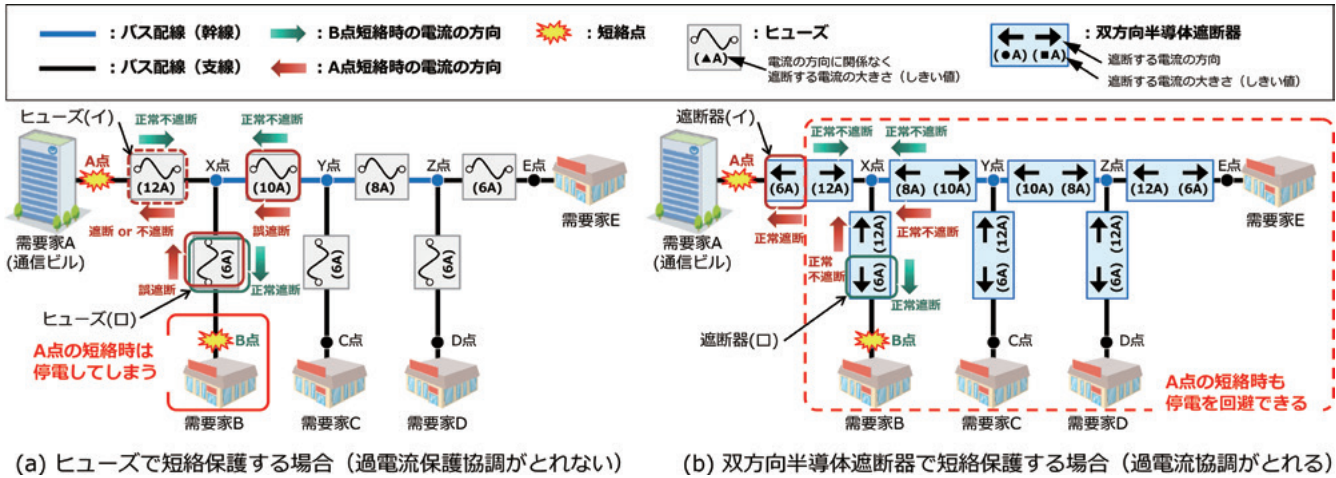


図3 バス配線型屋外直流給電システムのシステム構成と短絡保護

が、本技術を多数のサーバに適用することで、ワークロードの移動による大規模な消費電力の調整につなげられる可能性があります。今後はより遠距離や多拠点でのワークロードの移動によりフィジビリティを検証するとともに、本技術の拡大を見込んで、各要素技術のスケール性の検証も並行して進めていきます。

## 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技術を活用し、再エネの有効活用と、災害時にも停電しないしなやかな電力融通を実現する技術です。

近年、自然災害の激甚化が進んでおり、電力融通は新たな形態によるレジリエンスの向上が急務となっています。また、地球環境への配慮やエネルギー自給率の向上を目的として、再エネの導入拡大が求められています。

この課題を解決するため、直流グリッドにおける屋外直流給電システムの研究・開発を推進しています（図1）。直流給電システムの特徴は、蓄電池が電力線に直結されていることから、故障する可能性のある電子部品を介さずに給電できるため、高信頼なシステムであることです。この特徴を活かし、蓄電池を持つ通信ビルと再エネを持つ複数の需要家間を電力線で接続し、直流380Vで双方向に電力融通するシステムの電気安全を中心とした検討を進めていま

す。検討の最初のステップでは、通信ビルと各需要家を1対1で接続したスター配線のシステムにおいて、電力融通の基本特性や安全性の検証をしました<sup>(1)</sup>。次のステップとして、バス配線型のシステムでの検証を進めています。

バス配線はスター配線に比べて電力線敷設のコストにおいて経済性に優れる一方、ある個所で短絡（電力線のプラスとマイナスが接触）した場合に、システム全体に大電流が流れて需要家が停電するおそれがあります。例えば、図3(a)のようなバス配線に対し、短絡保護のために従来のようにヒューズを挿入した場合は、バス配線に停電が発生します。短絡する個所によってバス配線を通る短絡電流の方向が変化するため、B点短絡時の電流（緑色の矢印）は短絡点直近のヒューズ（口）のみで遮断できますが、A点短絡時の電流（赤色の矢印）は短絡点直近のヒューズ（イ）以外のヒューズが誤遮断する可能性があります。このように、ヒューズどうしの過電流保護協調<sup>\*1</sup>がとれず、複数のヒューズが同時に遮断してしまい需要家が停電してしまうおそれがあります。そこで、短絡電流の方向が変化しても遮断器どうしが過電流保護協調をとり、短絡事故の影響が避けられない需要家以外には電力融通を継続させることが技術的な課題として求められます。

この課題に対し、電流の方向ごとに過電流遮断しきい値の設定が可能な半導体遮断器（双方向半導体遮断器）をバス配線の各

幹線と各支線に1台ずつ設置し、過電流遮断しきい値に関する条件を明確化しました。

図3(b)のように双方向半導体遮断器をバス配線に設置し、ある需要家から別の需要家に向けて給電する方向に遮断しきい値が段階的に小さくなるよう設定します。各双方向半導体遮断器は、片方向の半導体遮断器を逆方向に直列接続したもので、電流の方向ごとに遮断しきい値を持つことが特徴です。例えば、図3(b)ではB点での短絡時に、短絡点の直近にあり、短絡電流の方向（緑色の矢印）に対して遮断しきい値がもっとも小さい遮断器（口）のみが素早く動作し短絡点を切り離します。同じように、A点での短絡時に、短絡点直近の遮断器（イ）が短絡点を切り離します。これは他のC、D、E点、X、Y、Z点でも同様に短絡点直近の遮断器のみが動作し、短絡点を切り離します。このように、バス配線のどの地点で短絡が発生した場合も、短絡点の直近の遮断器のみが遮断することで、短絡時の停電の影響範囲を最小化し、バス配線の信頼性を向上させることができました。

今後は、幹線をループ配線とした場合においても、短絡時に停電しないシステムに

\*1 過電流保護協調：短絡等の事故電流を検出して事故区間のみを切り離し、他の健全回路の停電を回避するために、複数の保護装置間の動作値や動作時間を相互に調整（協調）すること。ヒューズの場合は、動作値（溶断特性）を電流の方向によって変更することができないため、ある方向の電流に対してのみヒューズどうしの協調がとれます。

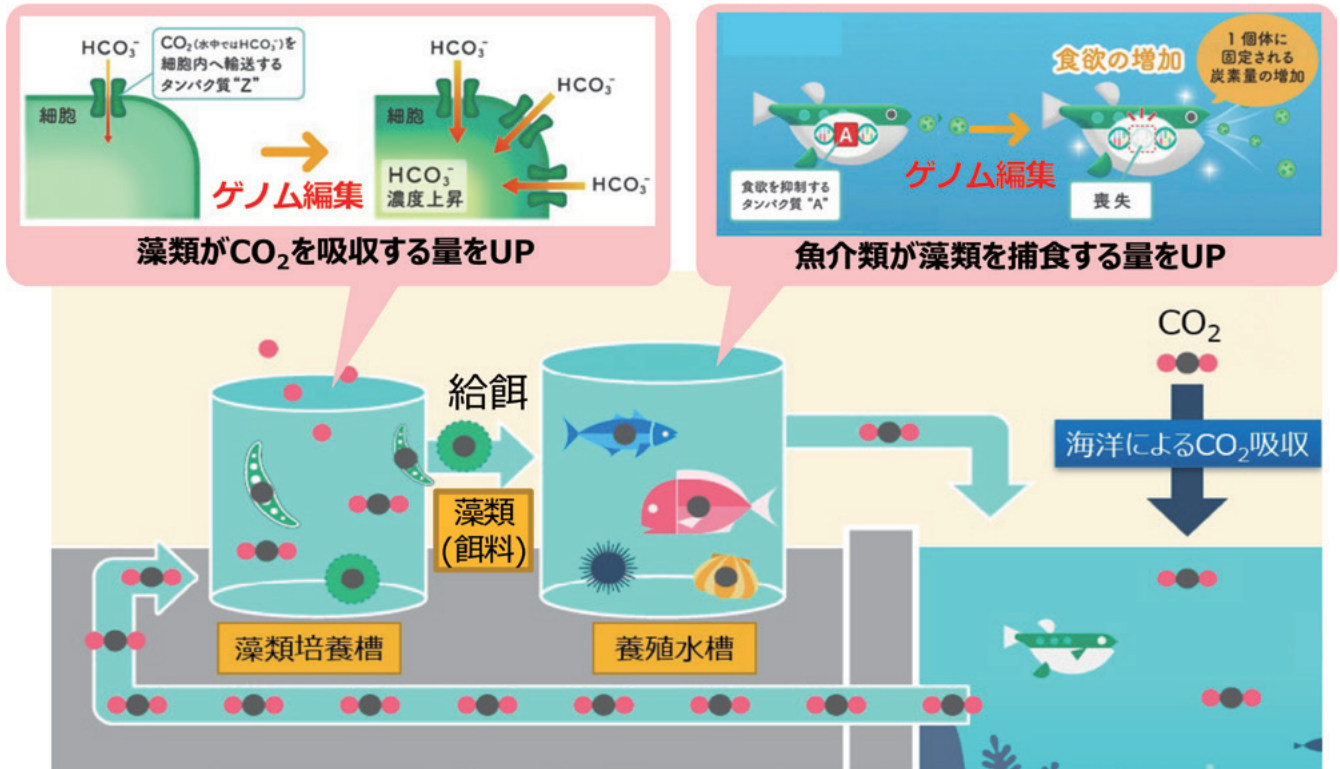


図4 海洋の食物連鎖を活用した海洋中CO<sub>2</sub>削減のコンセプト

関する研究・開発を推進し、さらなるシステムの高信頼化により、しなやかで安心・安全な電力融通の実現に貢献していきます。

### 海洋の食物連鎖を活用した海洋中CO<sub>2</sub>削減技術とその応用

近年地球温暖化は深刻な社会問題であり、その原因の1つとされている大気中二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の削減は急務です。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) の第6次評価報告書によると、CO<sub>2</sub>吸収の35.1%を海洋が担っており、海洋は主要なCO<sub>2</sub>吸収源といえます。海洋によるCO<sub>2</sub>吸収量は、主に海水中に溶存しているCO<sub>2</sub>の濃度に依存します。したがって、海洋中CO<sub>2</sub>が削減されれば、大気から海洋へのCO<sub>2</sub>吸収量が増え、結果として大気中CO<sub>2</sub>の削減につながると期待されます。

自然環境において、海洋中CO<sub>2</sub>の一部は藻類\*2の光合成\*3によって固定されます。固定とはCO<sub>2</sub>を有機物に変換し、生体内に

取り込むプロセスのことです。これらの藻類は食物連鎖の中で直接的もしくは間接的に魚介類に捕食され、最終的には魚介類の体内に炭素が固定されます。現在NTTでは、この海洋食物連鎖を介した炭素固定プロセスに着目し、海洋中CO<sub>2</sub>削減研究に取り組んでいます(図4)。具体的には、藻類の炭素固定能力と、魚介類の摂餌能力や成長能の双方をゲノム編集技術\*4などの遺伝子改変技術で向上させるほか、培養・飼育条件を最適化することで、食物連鎖全体での炭素固定総量の長期化・最大化をめざします。本研究は、藻類だけでなく魚介類も標的とすることで、従来の藻類を用いた研究が抱えていた、炭素固定期間が短いという問題を解決できると考えられます。この海洋生物の食物連鎖を活用した相乗的な海洋中CO<sub>2</sub>削減の実現に向け、NTTはゲノム編集技術を用いた魚介類品種改良のパイオニアであるリージョナルフィッシュと共同で研究を進めています。NTTでは藻類の炭素固定能力の向上をめざし、標的遺伝子の選定およびゲノム編集技術を用い

た有用株育種とその評価に取り組んでいます。

藻類の炭素固定機構に関しては古くから研究されてきましたが、炭素固定にかかわる遺伝子は完全には解明されていません。そこでまず炭素固定能力向上が期待される遺伝子の選定を行いました。遺伝子機能の評価法として、特定の条件下において、単独遺伝子改変株の増殖を観察するという手法があります。例えば、一般的に低CO<sub>2</sub>では光合成反応の活性が低下することから、低CO<sub>2</sub>条件下で培養すると藻類の増殖は遅くなります。この低CO<sub>2</sub>条件下において、ある遺伝子Aを除去した遺伝子改変藻類株の増殖が非遺伝子改変株と比べて顕著に促進されれば、遺伝子Aは低CO<sub>2</sub>濃度条件に

\*2 藻類：陸上植物以外の光合成をする生物。  
 \*3 光合成：植物や藻類において、光エネルギーを利用してCO<sub>2</sub>から有機物を合成する反応系。  
 \*4 ゲノム編集技術：ゲノム上の任意の塩基配列を特異的に改変する技術であり、遺伝子組換え技術と異なり外来遺伝子が細胞内に残りません。

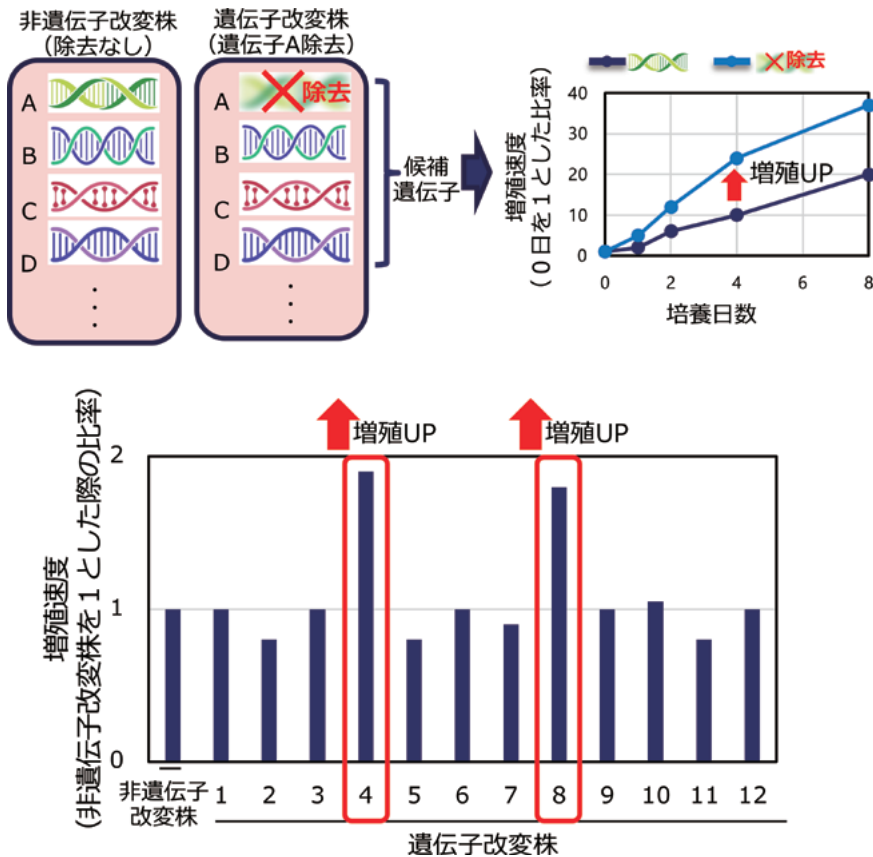


図5 遺伝子機能の評価法と12種の遺伝子改変株の評価結果

おいては、炭素固定に抑制的に機能していることが示唆されます(図5上部)。遺伝子Aにゲノム編集技術を適用すれば、低CO<sub>2</sub>濃度条件下で炭素固定能力が向上した藻類が育種できると考えられます。

NTTでは前述の遺伝子機能評価法を応用し、培養時のCO<sub>2</sub>濃度を変化させることで、炭素固定に関与する遺伝子を絞り込みました。まず12種類の標的候補遺伝子に対して個別に遺伝子改変株を取得し、次にこれらの株の増殖を評価しました。その結果、2種類の遺伝子(遺伝子4、8)に関して、遺伝子改変株の増殖が非遺伝子改変株と比べて顕著に促進されることが分かりました(図5下部)。増殖が促進されるということは、単位時間当たりにより多くのCO<sub>2</sub>を吸収・固定していると考えられます。すなわち、遺伝子4、8にゲノム編集を適用することで藻類のCO<sub>2</sub>吸収量を画期的に向上させられる可能性があります。この遺伝子4、8の発見を基に、炭素固定量向上藻類の育種

をめざします。また、さらに多くの標的遺伝子特定し、ゲノム編集技術を適用することで、光合成活性などの炭素固定能力が高い株だけでなく、有用物質を蓄積するなどの産業的な有用性を持った株の育種にも努めます。

本研究の社会実装に向けて、NTTグループが有する有用藻類育種技術や通信技術、リージョナルフィッシュが有する最先端の魚介類品種改良技術や養殖技術等を基盤とし、合併会社「NTTグリーン&フード(G&F社)」を設立して2023年7月1日より事業を開始しました<sup>(2)</sup>。G&F社では「自然の恵みを技術で活かし、地球と食の未来をデザインする」という理念の下、①環境に配慮した藻類の生産・販売、②その藻類を餌とする環境に配慮した魚介類の生産・販売、③これらの藻類・魚介類を活用した循環型の陸上養殖プラットフォームの提供という三軸からなるグリーン&フード事業の実現をめざします。NTTではこのグリーン&

フード事業実現に向け、有用藻類を育種・生産する技術を深化させていきます。

#### 参考文献

- (1) 田中・南・田中・中村・林・香西・樋口・花岡・岩本：“環境負荷ゼロの実現に向けた、エネルギー流通基盤技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 4, pp. 21-25, 2021.
- (2) <https://group.ntt.jp/news/release/2023/06/27/230627a.html>



(上段左から) 香西 将樹 / 花岡 直樹 / 長谷川 葉月

(下段左から) 武部 紘明 / 今村 壮輔 / 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、従来の視点にとらわれない新たな視点で、環境負荷ゼロに資する研究開発を推進していきます。

#### ◆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@ntt.com





# 宇宙太陽光発電実現に向けた 長距離レーザーエネルギー伝送技術と地上での利用

NTT宇宙環境エネルギー研究所では、クリーンで持続可能な次世代エネルギーの実現に向けて宇宙太陽光発電の研究を進めています。本稿では、現在NTTで構想中の宇宙太陽光発電システムを説明し、その中で必要なレーザーによるエネルギー伝送技術や、太陽光をレーザー光に変換する技術、レーザーを高効率で電力に変換する技術について、課題と取り組み内容を紹介します。

キーワード：#宇宙太陽光発電、#エネルギー伝送、#レーザー

おちあい なつは すずき ゆきこ  
**落合 夏葉 / 鈴木 優紀子**  
 かしわくら かずと とりうみ ようへい  
**柏倉 一斗 / 鳥海 陽平**

NTT宇宙環境エネルギー研究所研究

## 宇宙太陽光発電とは

宇宙太陽光発電は地球の静止衛星上で太陽エネルギーをレーザー光やマイクロ波に変換して、地上に伝送し電力等として利用する次世代エネルギー技術です。静止衛星の軌道は地表から3万6000 km上空にあるため、衛星が地球の影に入ることがほとんどなく、地上の太陽光発電と異なり昼夜問わず発電を行うことができます。さらに、宇宙空間では雲や大気による散乱・吸収がないため、太陽光の単位面積当りのエネルギーは年間で地上の約10倍程度になると見込まれています。遮るものない宇宙空間で、無尽蔵とみなせる太陽エネルギーを活用するクリーンかつ大規模なエネルギーとして注目を集めているエネルギー技術です。宇宙から地上へのエネルギー伝送方式としては、マイクロ波とレーザーの2つが提案されています。NTTでは、マイクロ波と比較してビームの広がり角が小さく、システムの小型化が期待できるレーザーを用いた宇宙太陽光発電の研究を進めており、図1のようなシステムを構想しています。まず、静止衛星上で太陽エネルギーをレーザー光に変換し、地上に向けて3万6000 km伝送させた後、地上の受光設備で太陽電池のような光電変換素子<sup>\*1</sup>によりレーザー光を電力に変換します。地上ではレーザー光のエネルギーを利用して水素などの化学原料を生成することも可能になると考えています。

本稿では、宇宙太陽光発電実現に必要なレーザーエネルギー伝送技術の課題や取り組み内容のほか、太陽光励起レーザー技術、

高強度ビームエネルギー変換技術についての検討状況を紹介し、また、これらの技術の地上での展開例についても紹介します。

## レーザーエネルギー伝送技術

### ■回折と大気擾乱

宇宙太陽光発電では、静止衛星から地上に向けて3万6000 kmレーザー光を伝搬させます。レーザー光は伝搬とともに回折が起こり、ビームが広がるという性質があります。一般的なGaussianビーム<sup>\*2</sup>は細いほどビームが広がりやすくなるため、長距離伝送させるためにはビームを太くすることで広がり角を小さくする必要があります。例えば、直径1 cmのビームが3万6000 km伝搬すると、約1 kmにまでビームが広がり、これでは地上での受光設備がとてつもなく大きくなってしまいます。ビーム広がりを抑えてビームを伝搬するには、数m程度まで送光側のビーム径を太くする必要があります。

さらに、地表から上空100 km程度までは大気が存在します。図2に示すように、大気中には大小さまざまな大きさの渦が存在し、これにより大気の屈折率が空間・時間によってランダムに変化します。レーザー光が大気中を伝搬すると、空気の渦によって波面が乱れ、ビームの強度分布に揺らぎが生じます。これを大気擾乱と呼びます。ビームの強度分布に揺らぎが生じると光電変換素子を複数枚並べた受光パネルでレーザー光を電力に変換する際、パネルに均一に

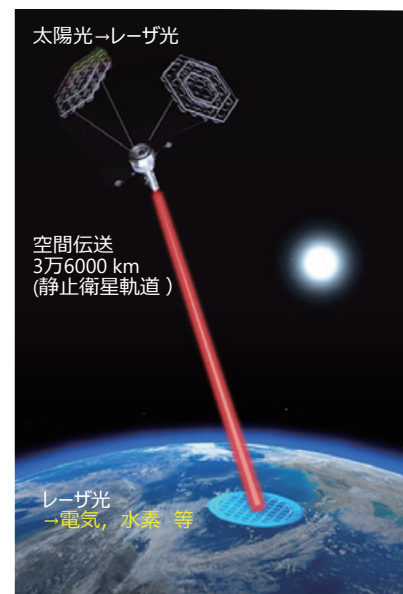


図1 レーザを用いた宇宙太陽光発電システム

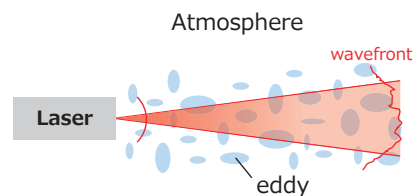


図2 大気中のビーム伝搬の概念図

- \*1 光電変換素子：光を電気に変換する半導体素子。半導体は、光電効果によって、光が照射されると起電力が発生します。半導体の組成を変えることで、効率良く起電力を得ることができる光の波長を変化させることが可能。太陽電池も光電変換素子の一種。
- \*2 Gaussianビーム：光学ビームの伝搬モードの1つで、その強度分布がガウス関数に従うもの。ビームの中心部から離れるに従って強度がガウス関数型に減少します。

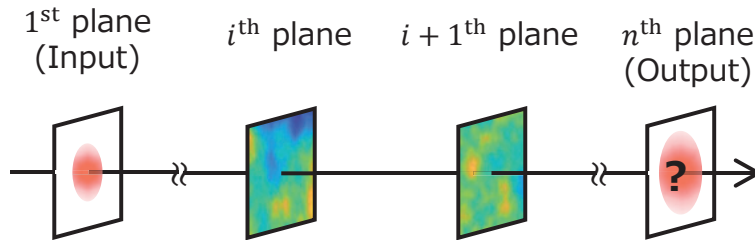
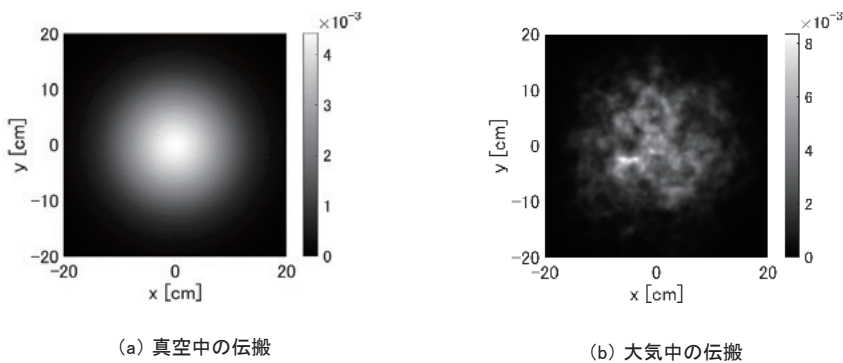


図3 大気擾乱シミュレーションのモデル



(a) 真空中の伝搬

(b) 大気中の伝搬

図4 Gaussianビームの伝搬の様子

表 計算パラメータ

波長	1064 nm
ビーム径 (1/e <sup>2</sup> の全幅)	60 mm
波面曲率	250 m
伝搬距離	1 km
内部スケール	1 mm
外部スケール	1 m
屈折率構造定数	$10^{-13} \text{m}^{-2/3}$
位相スクリーン枚数	21
ピクセル数	4084×4084
ピクセルピッチ	0.1 mm

光が照射されないために発電量が低下してしまうという問題が生じます<sup>(1)</sup>。そこで、大気擾乱の影響を受けにくいビーム設計や、ビーム形状に合わせた受光パネルの光学系設計が重要となります。

#### ■大気中のビーム伝搬シミュレーション

ビームが伝搬時に受ける回折・大気擾乱の影響を予測するため、大気中のビーム伝搬シミュレーションを行いました。大気擾乱のようにランダムな媒質中の伝搬を再現するにはスプリットステップビーム伝搬法

という手法が有効です。この手法では、図3のように複数の位相スクリーンにより伝搬光路を複数の区間に分けて伝搬計算を行います。この位相スクリーンに大気の屈折率分布を反映することで、通常の伝搬による回折と併せて大気擾乱の影響を再現することができます。この位相スクリーンを生成するためには大気のスpektrumモデルが必要となります。よく知られているモデルとしてはKolmogorovスペクトラム、von Karmanスペクトラム、modified

von Karmanスペクトラムがあります<sup>(2)</sup>。Kolmogorovスペクトラムは基本的なモデルとして広く使われていますが、大気揺らぎの空間周波数に影響する空気の渦の大きさを考慮できず、正確性に欠けてしまいます。一方、von Karmanスペクトラムやmodified von Karmanスペクトラムはそれぞれ、空気の渦の大きさの最小値や最小値・最大値を考慮することができ、本研究ではより正確なmodified von Karmanスペクトラムをモデルとして用いています。modified von Karmanスペクトラムでは、空気の渦の大きさの最小値（内部スケールと呼ぶ）・最大値（外部スケールと呼ぶ）のほかに、大気の屈折率構造定数と呼ばれる屈折率変化の強さを表すパラメータを用います。内部スケールの典型的な値は地表付近で1 mm～10 mmオーダであり、外部スケールは通常地面から100 mまでの領域では、高度に比例して減少するとされています<sup>(2)</sup>。屈折率構造定数は季節や時間にもよりますが通常 $10^{-17} \text{m}^{-2/3}$ から $10^{-13} \text{m}^{-2/3}$ といった値を取ります。これらのパラメータをmodified von Karmanスペクトラムに代入し、フーリエ変換を用いて位相スクリーンを生成します<sup>(3)</sup>。図4にシミュレーションによって求めたGaussianビームの大気伝搬後のビームパターンを示しています（計算で用いたパラメータは表のとおり）。大気中を伝搬することで、ビームの強度分布が細かく乱れている様子が確認できます。

#### ■実験

宇宙太陽光発電では、静止衛星から地上に向けてレーザー光を照射しエネルギーを伝送するため、伝送方向は地面に対して鉛直方向となります。しかし、鉛直方向では安全対策や適切な実験場所の手配が困難となります。そこで、まずは地上かつ地面に水平方向でのエネルギー伝送実験を三菱重工業株式会社と共同で実施し、大気中のビーム伝搬シミュレーションの検証を行うとともに、エネルギー変換効率を調べました<sup>(4),(5)</sup>。レーザー波長1064 nmのGaussianビームのほかに、Laguerre-Gaussian (LG)

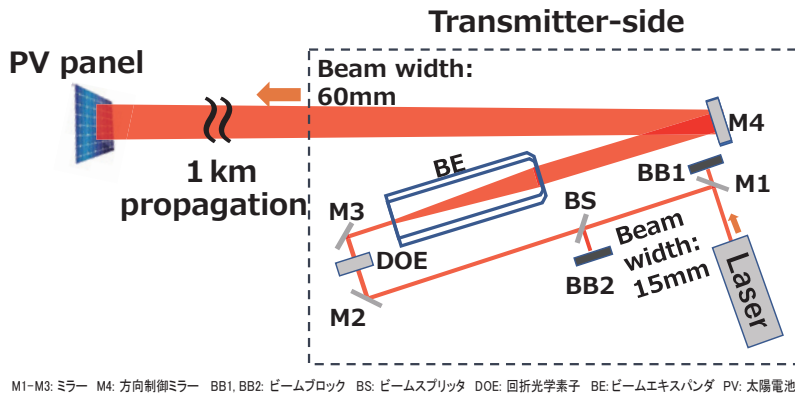
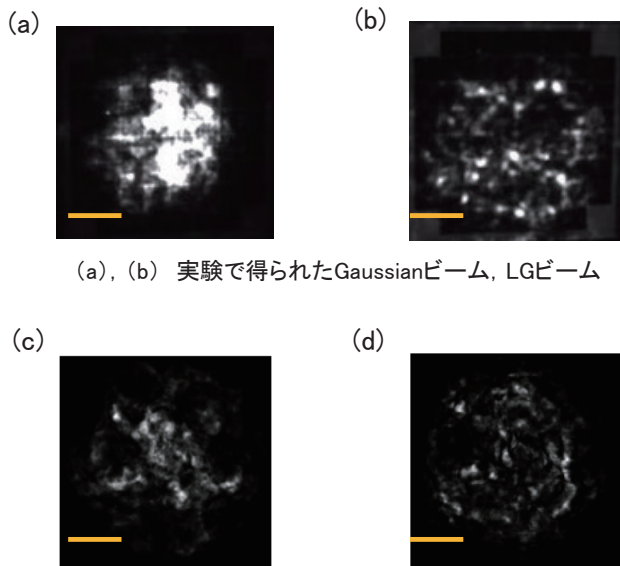


図5 光学系の模式図<sup>(5)</sup>



(a), (b) 実験で得られたGaussianビーム, LGビーム  
(c), (d) シミュレーションによって得られたGaussianビーム, LGビーム  
スケールバー(黄線):100 mm

図6 1 km伝搬後のビームパターン<sup>(5)</sup>

ビーム<sup>\*3</sup>という特殊なビームを用意し、自由空間中を1 km伝送させ、400 mm四方の太陽電池パネルに照射しました(図5)。長距離かつ高出力のビーム伝搬においては、レンズなどの光学素子の収差<sup>\*4</sup>や、熱レンズ効果<sup>\*5</sup>の影響が問題になります。本実験では、これらの影響に注意し、Gaussianビーム, LGビーム共に、太陽電池パネルに照射される際に300 mm程度になるようにそれぞれ光学系を設計・調整し<sup>(3)</sup>、収差を防ぐよう大口径のレンズや、低収差のエキスパンダを用意しました。計測内容とし

ては、大気擾乱シミュレーションの検証のため、ビームの様子を赤外線カメラで1分間撮影し、強度分布を取得しました。また、伝送効率を調べるため、太陽電池パネルから取り出せる電力をIV測定<sup>\*6</sup>によって計測しました。

1 km伝送後のビームパターンについて、実験結果とシミュレーション結果を図6に示します。シミュレーションでは、実験時に測定した大気構造定数を使用していますが、擾乱の影響を再現する位相スクリーンはランダムに生成しているため、

実験とシミュレーションの結果が完全に一致することはないのですが、ビームの大きさや擾乱による強度の乱れ方など、形状がおおむね一致していることがわかります。取得した強度分布の積算値からビーム径を計算したところ、実験とシミュレーションの誤差はGaussianビーム, LGビーム共に5%以内となりました<sup>(5)</sup>。また、動画の各フレームで計算したビームの重心ずれの平均値は、実験とシミュレーションで2%の誤差となり<sup>(5)</sup>、シミュレーションが精度良く実験での擾乱を再現できていることがわかります。

次に、IV測定を実施しエネルギー変換効率を計算しました。すると、GaussianビームとLGビームで変換効率は約3%という低い結果となりました<sup>(5)</sup>。これは、図6からも分かるように、大気擾乱によりビームの強度分布が不均一となり、受光パネルに均一なレーザー光を照射することができなかったことが原因であると考えられます。大気擾乱中でも均一に照射できるビームや、照射光量変動の影響を受けにくい受光パネルなど、大気擾乱中でも伝送効率の高い、擾乱にロバストな伝送方式が必要です。

\*3 Laguerre-Gaussianビーム：強度分布がGaussianとは異なり、リング状になるビーム。軌道角運動量を持つビームとして、通信などさまざまな分野で注目を集めています。

\*4 収差：レンズやミラーなどの光学素子のゆがみなどにより生じる、理想的な波面からのずれ。本稿のような長距離ビーム伝搬では、収差の中でも特に球面収差と呼ばれる、光軸からの距離に応じて集光位置がずれる収差によってビームの広がり方が理想からずれてしまうことが問題となります。

\*5 熱レンズ効果：レンズなどの光学素子が、強いレーザー光を照射されるとその部分だけ温められ、屈折率が変化する現象。収差と同じく、ビームの広がり方や強度分布に影響を与えるため問題となります。

\*6 IV測定：光電変換素子やダイオードなど、半導体の電流(I)-電圧(V)特性を評価する方法。縦軸を電流、横軸を電圧としてグラフ化し太陽電池の発電能力を示すIVカーブが得られます。

## 宇宙太陽光発電に関するその他取り組み

レーザーエネルギー伝送のほかに、宇宙太陽光発電の実現に向けてNTTで研究を進めている技術について紹介します。

### ■太陽光励起レーザー技術

発電衛星に搭載するレーザーシステムとして既存のレーザー装置を利用しようとする場合、太陽光を太陽電池パネルで受光し電力に変換し、その電力を用いてレーザー光を発生させる必要があります。しかし、この方法では、エネルギー変換過程が多く、システムが複雑化することが懸念されます。そこでNTT研究所では、太陽光をレーザー媒質に直接照射しレーザー励起を行う、太陽光励起レーザー技術を検討しています。この方式によりシステムの小型・軽量化が期待できます。太陽光励起レーザー媒質としては、幅広い波長スペクトルの太陽光のエネルギーを吸収し波長1064 nmのレーザー発振が可能なNd, Cr: YAGやNd, Ce: YAG等の共添加媒質がこれまで検討されてきましたが、その多くはセラミック製であり、高品質な単結晶媒質については報告がありませんでした。単結晶では結晶粒界がないことからセラミックと比べて熱伝導性が高いとされ、放熱が難しい宇宙空間での応用可能

性をかんがみて、NTT研究所では単結晶のレーザー媒質について光産業創成大学院大学と共同で研究を行っています。これまで、Nd, Cr: YAG単結晶, Nd, Cr, Ce: YAG単結晶を育成し、レーザー発振を行うためのロッド型に加工しています(図7(a))。これらのレーザーロッドに太陽光を放物面鏡で集光させ、レーザー発振強度を測定する系を構築し、屋外での発振実験を行いました<sup>(6)</sup>(図7(b))。発振実験の結果、Nd, Cr: YAG, Nd, Cr, Ce: YAG単結晶共に太陽光入射によるレーザー発振を確認することができました。しかし、同材料のセラミック媒質と比較すると、発振しきい値<sup>\*7</sup>やスロープ効率<sup>\*8</sup>においていずれの単結晶もセラミックの特性を下回る結果となりました。今後、単結晶媒質内で生じているレーザー励起のメカニズムを分析し、より発振効率が高く、宇宙太陽光発電に適したレーザー媒質の研究を行っていきます。

### ■高強度ビームエネルギー変換技術

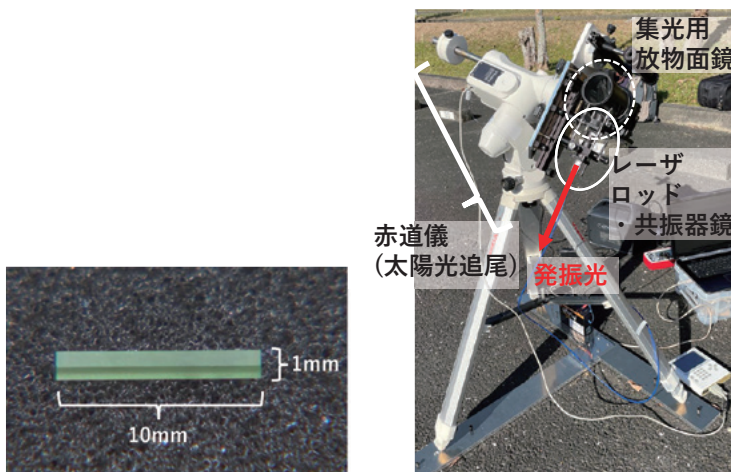
宇宙から届く高強度のビームを地上で電力に変換するための光電変換素子の研究も進めています。前述のとおり、宇宙太陽光発電では数mほどのビーム径でMW級のエネルギーが降り注いでいます。このエネルギーをできる限り無駄なく利用するために、高効率かつ高出力な光電変換素子の開

発を宮崎大学と共同で行っています。レーザーの波長として想定している波長1064 nmにおいて高い光電変換効率を持つ、In-GaAsP光電変換素子の試作を行い光電変換の特性向上や大面積化に向けた検討を進めています。図8(a)は外周円形電極により電気抵抗の低減をめざしたデバイスです。図8(b)に示した測定治具を用いて1064 nmレーザー光をデバイスに照射し、電力変換効率の測定を行いました。結果は図8(c)のとおりです。比較のため、外周円形電極のない網目電極のみを持つデバイスの特性も載せていますが、外周円形電極を用いた場合の電力変換効率は最大27%であり、外側にある円形電極を用いることで導体の抵抗値が下がり効率が向上していることが分かります<sup>(7)</sup>。今後は、無反射コーティング加工や電極デザインの改善を行い、さらなる変換効率向上をめざします。

ただし、このような半導体による光電変換素子を用いた場合、光電変換効率は50~60%程度が限界といわれており、残りは熱となってしまいます。そこで、例えばレーザーエネルギーを超高温の熱源として利用し水素生成やCO<sub>2</sub>の還元を行い燃料や化学原料をつくるなど、電気以外の形態でレーザーエネルギーを効率的に使用方法も検討しています。

## 地上利用

宇宙太陽光発電は2050年以降の実用化を見込んでいますが、実現に先立ち地上でこれらの要素技術を応用し、早期に社会に貢献していきたいと考えています。ケーブル



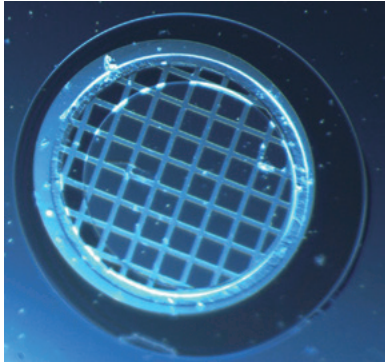
(a) 育成したレーザー単結晶のロッド

(b) 太陽光入射発振評価系

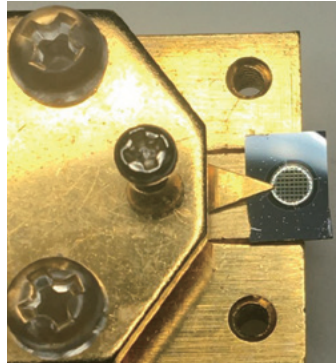
図7 太陽光励起レーザー発振実験

\*7 発振しきい値：光励起固体レーザーにおいて、レーザー発振が起こる最小の入射光パワー。レーザー媒質は注入する電流が少ないと光の増幅が減衰を下回り、レーザー発振が起こらない。電流を大きくしていくと増幅が大きくなりレーザー発振が起こります。発振しきい値が小さいほど高性能のレーザーとなります。

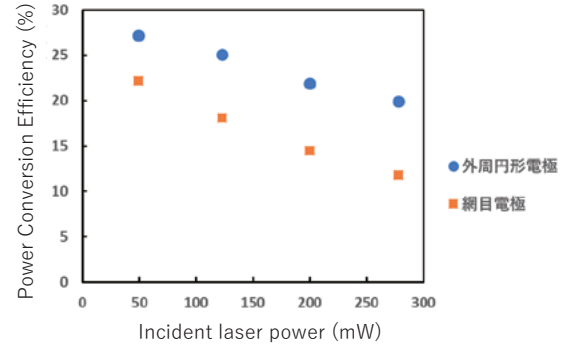
\*8 スロープ効率：発振しきい値を超えた入射光パワーに比例して、レーザー出力が増加します。この増加の割合をスロープ効率と呼びます。スロープ効率が高いほど高性能のレーザーとなります。



(a) 外周円形電極デバイス画像



(b) 特性評価時の外観写真



(c) 測定した電力変換効率

図8 試作した光電変換素子の測定評価実験<sup>(7)</sup>

を引くことが難しい離島や、災害によって電力網が遮断された被災地などに遠隔から電力を供給することができると考えています。またドローンやHAPS (High Altitude Platform Station)<sup>\*9</sup>など移動体への給電に適用できる可能性も検討しています。移動体は小型軽量化が重要な課題とされています。飛行時間の短さや給電に手間や時間がかかるという点もアプリケーションを制限する要因となっています。そこで、レーザーエネルギー伝送技術により飛行中の移動体へのエネルギー供給が可能になれば、バッテリーの搭載量を最小限に抑えることができ、飛行時間も伸ばすことができるため、そのアプリケーションの幅が広がることが見込まれます。

### 今後の展望

宇宙太陽光発電の実現に向けて、本稿で紹介したレーザーエネルギー伝送技術、太陽光励起レーザー技術、高強度ビームエネルギー変換技術の研究を今後も進めていきます。また、宇宙太陽光発電を実現させるためには、今回説明した技術以外にも静止衛星を姿勢制御し地上の受光設備に正確にビーム

を送る技術や、真空の宇宙空間における放熱技術などさまざまな技術が必要となります。他機関とも協力しながらこれらの技術を成熟させ、宇宙太陽光の実現を通して持続可能な社会をめざしていきます。さらに、レーザーエネルギー伝送技術を用いたワイヤレス給電システムなど地上での早期展開を進めていきます。

### 参考文献

- (1) K. Jin and W. Zhou : "Wireless Laser Power Transmission: A Review of Recent Progress," IEEE Trans. Power Electron., Vol. 34, No. 4, pp. 3842-3859, 2019.
- (2) L. C. Andrews and R. L. Phillips : "Laser Beam Propagation through Random Media SECOND EDITION," SPIE PRESS BOOK, 2005.
- (3) J. D. Schmidt : "Numerical Simulation of Optical Wave Propagation with Examples in MATLAB," SPIE PRESS BOOK, 2010.
- (4) 落合・鳥海・鈴木・柏倉・田中・恩田・川添・竹内・津村 : "宇宙太陽光発電に向けたレーザーエネルギー伝送技術の地上検討状況," 第67回宇宙科学技術連合講演会, 2023.
- (5) 落合・鳥海・鈴木・柏倉・田中 : "宇宙太陽光発電に向けた光無線給電," レーザー学会学術講演会第44回年次大会, 2024.
- (6) 鈴木・鳥海・落合・田中・長谷川・元廣 : "宇宙太陽光発電に向けた太陽光励起レーザー用単結晶の作製・特性評価," レーザー学会研究会報告 = Reports the on topical meeting of the Laser Society of Japan RTM23, pp. 1-6, July 2023.
- (7) M. Arai, A. Kushiyama, Y. Motomura, Y. Suzuki, N. Ochiai, Y. Toriumi, and K. Nishioka : "InGaAsP Photovoltaic

Device with Circular Outer Electrode for 1.06- $\mu$ m-Range Optical Wireless and Fiber Power Transmission," CSW2023, FrA1-5, 2023.



(左から) 落合 夏葉 / 鈴木 優紀子 / 柏倉 一斗 / 鳥海 陽平

NTT 宇宙環境エネルギー研究所では、広大な宇宙空間に視野を広げ、無尽蔵でクリーンな太陽エネルギーを利用した宇宙太陽光発電の研究を進め、持続可能な社会の実現に貢献していきます。

### ◆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@ntt.com

\*9 HAPS : 高高度プラットフォーム。地上20 km以上の高度で飛行する航空機や気球などに通信機器を搭載し、通信インフラ等を提供するシステムのこと。

# 環境変化への適応力を高める レジリエント環境適応研究の最前線

NTT宇宙環境エネルギー研究所 レジリエント環境適応研究プロジェクトでは、地球環境・人間活動の未来予測と環境適応の技術開発を通じて、将来的な変化を柔軟に受容できるレジリエントな社会の実現をめざしています。私たちが取り組む研究テーマの中から、宇宙放射線バリア技術、地球環境未来予測技術、および海洋生態系循環予測技術の最新研究動向について紹介します。

キーワード：#宇宙放射線、#台風予測、#海洋生態系循環

いわした ひでのり ひさだ まさき  
岩下 秀徳 / 久田 正樹  
たかはし まどか みやじま あさみ  
高橋 円 / 宮島 麻美

NTT宇宙環境エネルギー研究所

## はじめに

NTT宇宙環境エネルギー研究所 レジリエント環境適応研究プロジェクトでは、環境変化に柔軟に適応できるレジリエントな社会の実現に向けた研究開発を進めてきました。私たちのめざすレジリエントな社会とは、自然現象が人間社会に与える被害を回避あるいは未然に防ぎ、さらにはこれまで災いとされてきた自然現象さえも逆に活用しながら、環境変化を受容してしなやかに生活してゆける世界です。2023年10月には新たなグループ（環境社会循環予測技術グループ）が加わり、より長期的で複雑な事象の予測と早い段階でのアクションが必要となる、人と地球環境の持続的な繁栄（包括的サステナビリティ）をめざす研究開発にも積極的に取り組んでいます。

これらの実現に向けて私たちが取り組んでいる技術テーマは、フェーズで分類すると次の2つに大別されます。現状では事後対応しかできていない事象に対して、よりプロアクティブに（先回りして）手を打てるようにする「環境適応」と、地球環境・人間活動の相互の影響を加味して適切な環境適応に導く「未来予測」です。以降では、前者については宇宙放射線バリア技術の最新動向を、後者については地球環境未来予測技術と海洋生態系循環予測技術の最新動向を、それぞれ紹介します。

## 宇宙放射線バリア技術の研究の最前線

ここでは、NTT宇宙環境エネルギー研究所が進めている、自然現象による被害を

回避あるいは活用する環境適応に向けた研究の中でも、宇宙放射線を対象とした研究の成果を紹介します。高性能な電子機器が、さまざまな分野で私たちの暮らしを支えている一方で、宇宙現象による「ソフトエラー」が増加しています。太陽や遠くの銀河から降り注ぐ宇宙放射線が、大気圏にある酸素や窒素に衝突すると、中性子が発生します。この中性子が、電子機器の半導体に衝突すると、保存されたデータが書き変わる現象「ソフトエラー」を引き起こし、場合によっては通信障害などの社会インフラに重大な影響を及ぼす可能性があります（図1）。電子機器におけるソフトエラーの対策を行うためには、その機器ごとのソフトエラーによる故障頻度を考慮したシステム設計が重要となります。一方で、ソフトエラーの故障頻度は、その機器に到達する中性子が持つエネルギーにより大きく異なるため、ソフトエラー発生率<sup>\*1</sup>のエネルギー依存性（中性子が持つエネルギーごとのソフトエラー発生率）の詳細なデータが不可欠でした。

私たちは北海道大学と共同で、宇宙放射線が地球の大気と衝突して生成される中性子の持つエネルギーごとの半導体ソフトエラー発生率を、今までは測定がされていなかった10 meV（ミリ電子ボルト）～1 MeV（メガ電子ボルト）の低エネルギー

\*1 ソフトエラー発生率：ここでは、単位面積当たり1個の中性子がソフトエラーを引き起こす確率のことをいいます。専門的にはSEU (Single Event Upset) クロスセクションと定義されます。もしくは、単位時間当りにソフトエラーが発生する確率と定義される場合もあります。

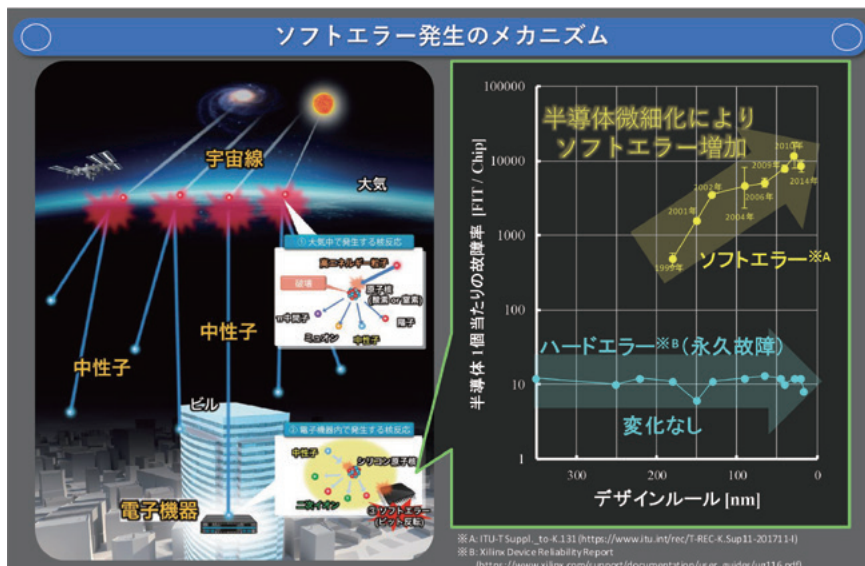


図1 ソフトエラー発生メカニズム

領域において、“連続的な”データとして実測することに成功しました<sup>(1)</sup>。すでに2020年に成功していた1 MeV以上の高エネルギー領域における測定（北海道大学、名古屋大学およびNTTの共同研究）と併せて、すべてのエネルギー領域での半導体ソフトウェア特性の全貌を世界で初めて明らかにしました（図2）。現在の社会インフラを支える電子機器においては、宇宙放射線に起因する誤動作であるソフトウェアの対策が不可欠です。ソフトウェアは中性子エネルギーごとに引き起こされる確率が大きく異なり、このエネルギー依存性の解明は、その対策を行ううえでもっとも重要なものです。

本研究では、1 MeV以下の低エネルギー中性子によって発生するソフトウェアを2020年に発表した高速ソフトウェア検出器を用いて飛行時間法で測定しました。飛行時間法とは、中性子がある一定の距離飛行させたときの時間を測定することで、速度を算出し、運動エネルギーへ変換する方法です。実験は、大強度陽子加速器施設（J-PARC）物質・生命科学実験施設（MLF）に設置された中性子源特性試験装置（NOBORU）に、NTTが開発した高速ソフトウェア検出器を用いて測定しました（J-PARC Proposal No. 2022A0249）。また、この施設で照射される中性子の強度は北海道大学が金箔放射化法<sup>\*2</sup>により評価しました。この実験では、FPGA<sup>\*3</sup>のエネルギーごとのソフトウェア発生率を連続的に高分解能で実測することができました。

このデータから、ソフトウェア発生率は、0.1 MeV付近でもっとも減少する傾向がみられ、さらにエネルギーが低くなるにつれて増加していく傾向がみられます。これは、半導体中に微量に存在するボロン10の影響と想定しています。そして、低エネルギー中性子の中でも熱中性子と呼ばれる25 meV ( $2.5 \times 10^{-8}$  MeV) 付近のエネルギー帯の中性子のソフトウェア発生率が高くなっていることが分かります。この熱中性子<sup>\*4</sup>は、高エネルギー中性子が水、プラスチック、電子基板などの水素が含まれる物

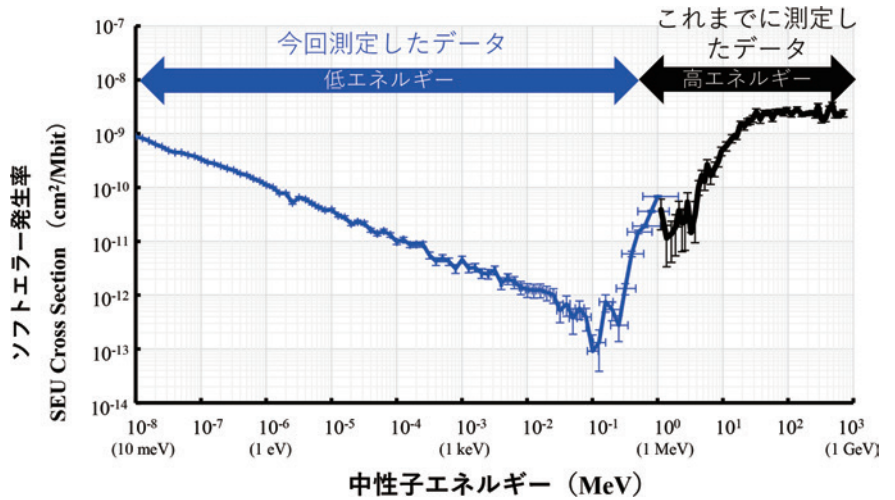


図2 中性子エネルギー依存のソフトウェア発生率

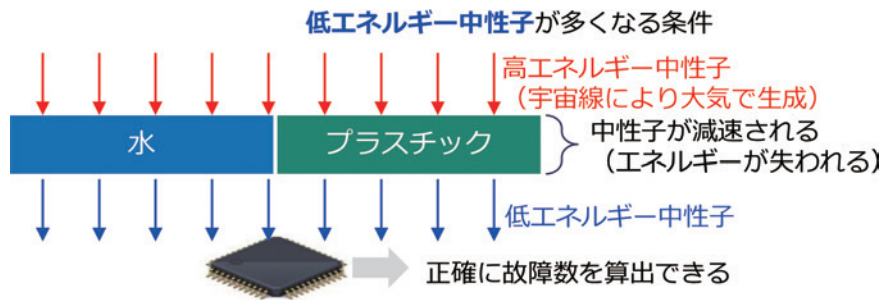


図3 熱中性子の生成過程

質に入ることにより減速されて生成されるため、周辺環境によって数が大きく変動します（図3）。例えば、水冷で半導体を冷却している場合、この熱中性子が大きく増加すると想定されます。

今回得られたデータにより、宇宙線起因の電子機器の誤動作を引き起こすソフトウェアに関して、低エネルギー中性子に対する発生率の特性を解明しました。これによりソフトウェア対策・評価を行ううえでもっとも重要となるソフトウェア起因の故障率がより正確に算出できるようになりました。ソフトウェアは半導体を持つすべての電子機器の誤動作を引き起こす可能性を持っており、ソフトウェア対策・評価は、既存の

ICT機器や交通インフラから今後拡大が想定されるAI（人工知能）による自動制御やスマートファクトリーなど、さまざまな業界、事業分野で重要な役割を果たすことが期待できます。

今後、電子機器の周辺環境を考慮したソフトウェアによる故障数のシミュレシ

\*2 金箔放射化法：金箔に中性子線を照射した際に生成される放射性のAu-198からのガンマ線を測定することによって、照射された中性子の数を算出する手法。

\*3 FPGA：ユーザが現場（Field）で論理回路をプログラミングできるデバイス。

\*4 熱中性子：25 meV付近のエネルギーの中性子のこと。中性子が物質中で散乱を繰り返すと、その物質の原子の持っている熱運動エネルギーと平均的に等しくなるので、「熱」中性子と呼ばれます。

ンや、低エネルギー領域に応じたソフトウェア対策など、より安心・安全な社会インフラの構築に貢献していきます。また、将来的にはこれまでの研究成果を宇宙空間における宇宙線対策へ応用することで、宇宙統合コンピューティング・ネットワークの実現に寄与するとともに、人類の宇宙進出へも貢献していきます。

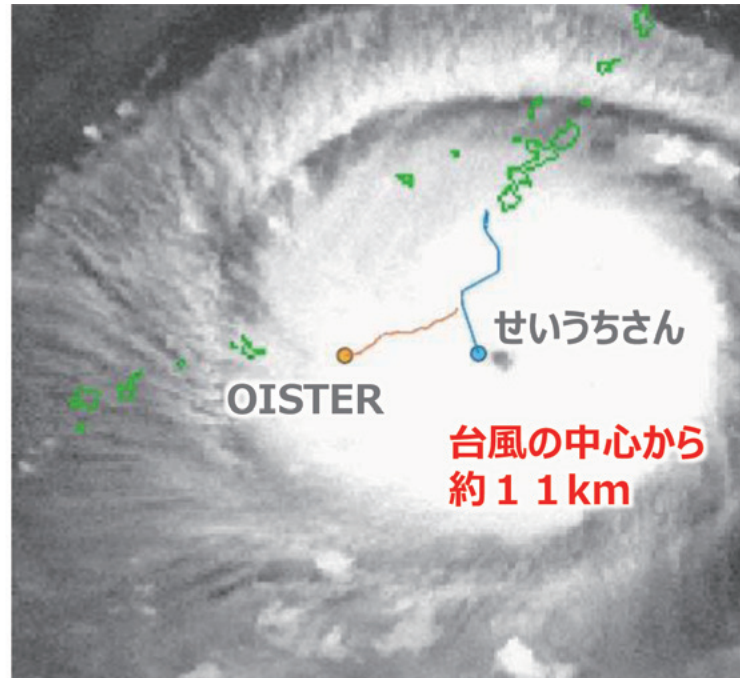
### 変動する地球の環境を予測する地球環境未来予測技術の最新動向

地球環境未来予測技術は、しなやかな社会の実現に向けて、変動する地球環境への適応と人間の活動により変化した地球環境の再生のため、地球環境の未来を予測する技術です<sup>(2)</sup>。気候・気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、台風や線状降水帯といった極端気象の高精度予測によるプロアクティブな災害対応や、気候変動と合わせて人間の活動の影響による海洋生態系の変化を予測し、地球再生の道筋を明らかにします。本稿では、台風予測精度向上に向けた台風観測と海洋生態系循環予測技術の進捗を紹介します。

### 台風予測精度向上に向けた台風観測の進捗

大きな災害を引き起こす台風の進路や強度の予測精度が向上し、早期予測が可能となれば、あらかじめ被害が起こらない地域に避難するなど、プロアクティブな災害への対応が可能となります。台風の早期予測には、十分な観測が行われていない発達途中の太平洋上での直接観測データを取得する必要があります。

そこで、私たちは2021年に沖縄科学技術大学院大学（OIST）と共同研究を開始し、台風直下の過酷な環境において、台風のメカニズムを解明するために、大気と海洋の相互作用に関する観測を開始しました。2022年夏には、カテゴリ5の「台風11号（ヒナムノー）」



【ひまわり8号衛星画像（気象庁）を加工して作成】

図4 台風11号（ヒナムノー）の観測状況

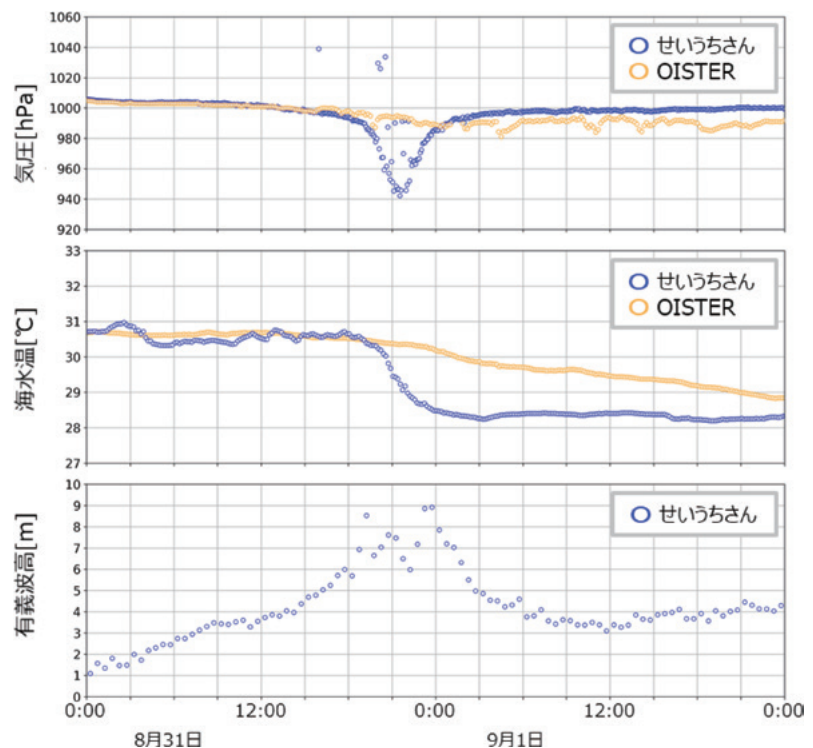


図5 観測データ（上段：気圧，中段：海水温，下段：有義波高）



ンナムノー) 直下での複数地点における大気と海洋の同時観測に世界で初めて成功しました<sup>(3)</sup>。NTTの大気海洋自律観測装置「せいうちさん」は台風の中心から約16 kmまで迫り(図4)、暴風域での気圧の急激な変化をとらえることができました(図5上段)。また、OISTの大気海洋自律観測装置「OISTER」と比較して、台風の中心に近い「せいうちさん」では、海水温の急激な低下(約2℃)を測定しました(図5中段)。さらに、最大9 mの有義波高を観測し(図5下段)、これまで衛星観測では取得できなかった台風直下の大気と海洋の相互作用に関する情報を取得しました。

2022年には、全国で唯一の台風専門研究機関である横浜国立大学の台風科学技術研究センター(TRC)と、台風予測精度向上に向けた共同研究を開始しました<sup>(4)</sup>。今後は、リアルタイムな台風観測に向けて台風観測への挑戦を続けるとともに、取得した大気海洋観測データを活用し、TRCの台風予測モデルに組み込むことで、台風の予測精度の向上をめざします。

### 海洋生態系循環予測技術の進捗

海洋生態系循環予測技術は、海洋生態系の食物連鎖や物質の循環プロセスをモデル化し、気候変動を含めた人間の活動による海洋生態系への影響を予測する技術であり<sup>(2)</sup>、生態系が持つ多様性と生産力の理解につながることから、水産資源の保護やCO<sub>2</sub>の固定化などの生態系サービスの維持に貢献する技術です。私たちは、初期ステップとして、閉鎖循環式陸上養殖を対象に、生態系モデルを構築し変化予測を行ってきました。人間活動の海洋生態系に与える影響を閉鎖循環式陸上カキ養殖の排水に見立てて、餌料となる植物プランクトンとカキという単純な食物連鎖とカキ養殖の物質循環プロセスのモデル化に取り組んでいます。閉鎖循環式陸上養殖は、水質をクリーンに保つことで河川や海洋と接触することなく陸上の閉鎖空間で養殖する方法ですが、水を循環させながら水中に排泄された餌料や



図6 陸上牡蠣養殖における植物プランクトン量変化予測モデル

老廃物を取り除いています。今回対象とした陸上カキ養殖場では、カキに加え、カキの餌料である植物プランクトン(藻類)を生産しており、さらにカキ水槽の排水を藻類培養に用いることで、排水のない完全閉鎖型陸上養殖の実現をめざしています。カキの養殖は、単に植物プランクトン量を増やせばよいわけではなく、未消化の餌料は水の汚染につながり、カキの生育にも影響を与えます。効率の良い循環式陸上養殖のためには、カキの排せつ物や最適な餌料の量などの循環バランスが重要であり、その決定には予測シミュレーションが必要であることから、私たちは、循環型陸上カキ養殖における植物プランクトン量の変化予測モデルを構築しました(図6)。さらに、このモデルを活用し、カキ養殖の排水による植物プランクトン生産量の予測を行いました。

今後は、構築したモデルと得られた知見を拡張し、人間活動が多く複雑な影響がある沿岸域や将来的に海洋利用が進む外洋域での生態系のモデル化に適用することで、人間社会と相互作用する海洋生態系変化のメカニズムを解明し、生態系を再生可能にする海洋生態系循環予測技術の確立をめざします。

### 参考文献

- (1) H. Iwashita, R. Kiuchi, Y. Hiroshima, Y. Okugawa, T. Sebe, M. Takeda, H. Sato, T. Kamiyama, M. Furusaka, and Y. Kiyonagi: "Energy-resolved SEU cross section from 10-meV to 800 MeV neutrons by time-of-flight measurement," IEEE Trans Nucl Sci, Vol. 70, No. 3, pp. 216-221, 2023. DOI: 10.1109/TNS.2023.3245142
- (2) 小山・張・久田・原: "地球環境と人間社会の未来予測技術," NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.12, pp.22-25, 2022.
- (3) <https://group.ntt.jp/news/release/2023/05/23/230523a.html>
- (4) <https://group.ntt.jp/news/release/2023/01/25/230125a.html>



(左から) 岩下 秀徳 / 久田 正樹 / 高橋 円 / 宮島 麻美

地球環境・人間活動の未来予測とプロアクティブな環境適応の技術開発を通じて、極端化する地球環境の変化にしなやかに対応できるようにしつつ、長期的な変化自体を好転させていくことをめざします。

### ◆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@ntt.com



# 包摂的サステナビリティの実現に向けた 環境社会循環予測技術

私たち環境社会循環予測技術グループでは、環境、経済、社会が相互に関連しより良く安定した状態「包摂的サステナビリティ」の実現に向け、複数の異分野モデルから構成された循環システムを計算機上に実現し、地球規模の包摂的な循環の変化を予測することに取り組んできました。本稿では、これらの取り組みから、「環境と経済の相互作用を考慮した地球規模の環境負荷予測」と「Beyond GDP時代における新しい豊かさの指標（Inclusive Wealth Index）とその将来予測技術」を紹介します。

キーワード：#環境と経済と社会の相互作用、#異分野モデルの連携、#Inclusive Wealth

## 包摂的サステナビリティの実現に向けて

私たち環境社会循環予測技術グループでは、地球の環境が備える自律性とその一部としての経済・社会システムの自律性とが包摂的に調和することで可能となる持続性を「包摂的サステナビリティ」と定義し、研究に取り組んできました<sup>(1)</sup>。

地球の環境はそれ自体が自律性を持っていますが、その自律性に対して人間の経済的・社会的活動が負の影響を与え、その結果として変化した環境が人間にとって好ましくない状況であるときに環境問題が発生します。この複雑な連鎖反応を起こすシステムは、地球規模でみれば環境と経済・社会を含む包摂的な循環システムとしてとらえることができます。

しかし、現実世界の観察や計測ですべての相互作用を理解するのは困難なことに加え、現実世界において自然環境や経済活動、社会活動への影響を評価するのは、実施コスト、影響発生時間遅れ、不可逆性などから困難です。

そこで、私たちは計算機上に環境、経済、社会から構成される循環システムを再現し、地球規模の包摂的な循環の変化を計算可能とすることで、「包摂的サステナビリティ」の実現へ貢献するという目標を掲げました<sup>(2)</sup>。計算機上で、包摂的な循環の変化を予測できることにより、私たちは、社会システムのあるべき姿や、そこへたどり着くために必要な社会システムの変容について

世界的議論を加速させることへ貢献できると考えています。この目標の実現に向け、私たちは気候変動下における水循環と食糧生産の間の関係性をリアリスティックに評価するPoC（Proof of Concept）の構築に取り組んできました。

本稿では、地球規模の水循環に関する「環境と経済の相互作用を考慮した地球規模の環境負荷予測」と、人間の社会的活動を重視した新しい市場評価モデルに関する「Beyond GDP時代における新しい豊かさの指標（Inclusive Wealth Index：IWI）とその将来予測技術」を紹介します。

## 環境と経済の相互作用を考慮した地球規模の環境負荷予測

### ■包摂的サステナビリティの実現に向けた連成シミュレーション技術

私たちが取り組んでいる、環境、経済、社会を計算機上に再現するというアプローチでは、環境や経済等の各々の専門家が開発したシミュレータを組み合わせることで、複雑系事象をより精緻に再現することを試みています。例えば、後に例示する自然環境下での水循環と経済活動の組合せなどです。

これを実現するためには、複数のシミュレータにおける変数間の因果関係に従ってデータを交換させる必要があります。各々のシミュレータが独自に持っている内部時刻を統一的に管理し、適切なタイミングでデータを交換しながら実行制御する技術が必要

かわた ひろあき  
**河田 博昭**  
むとう ゆういち  
**六藤 雄一**  
とくなが だいすけ  
**徳永 大典**

NTT宇宙環境エネルギー研究所

です。このような結合技術は連成（Co-simulation）と呼ばれています。私たちは、既存のシミュレータへの改修を最小限度に抑え、さまざまなユースケースに適用可能な連携技術「連成シミュレーション技術」<sup>(3)</sup>を開発しました。

### ■水循環に着目した環境と経済活動の相互作用を考慮した地球規模シミュレーション

私たちが開発した「連成シミュレーション技術」を用いて包摂的サステナビリティについてより精緻な検討が可能であるか、本技術を用いた場合との差異を観察し、その効果を確認する実験を行いました。今回の実験では、環境および経済活動の双方に強い関連がある水に着目し、地球規模の水循環に着目した環境と経済活動の相互作用を考慮した地球規模シミュレーションを構築し、長期間にわたる環境負荷の観察を実現<sup>(4)</sup>しました。

地球規模における水循環については、東京大学 生産技術研究所 芳村圭教授の研究チームが開発した、地表面水循環過程を再現する統合陸域シミュレータ（ILS）<sup>(5)</sup>と、Joint Global Change Research Institute（JGCRI）により開発された経済活動に関する統合評価モデル（IAM）の1つであるGCAM<sup>(6)</sup>を用いています。

この実験では、経済活動に伴う土地利用形態の変化が水循環に影響を与え、水循環に生じた影響が経済活動に影響を与えるとの仮説を立てました。この仮説を確認するため、統合陸域シミュレータ（ILS）と統合評価モデル（GCAM）を、連成シミュレ

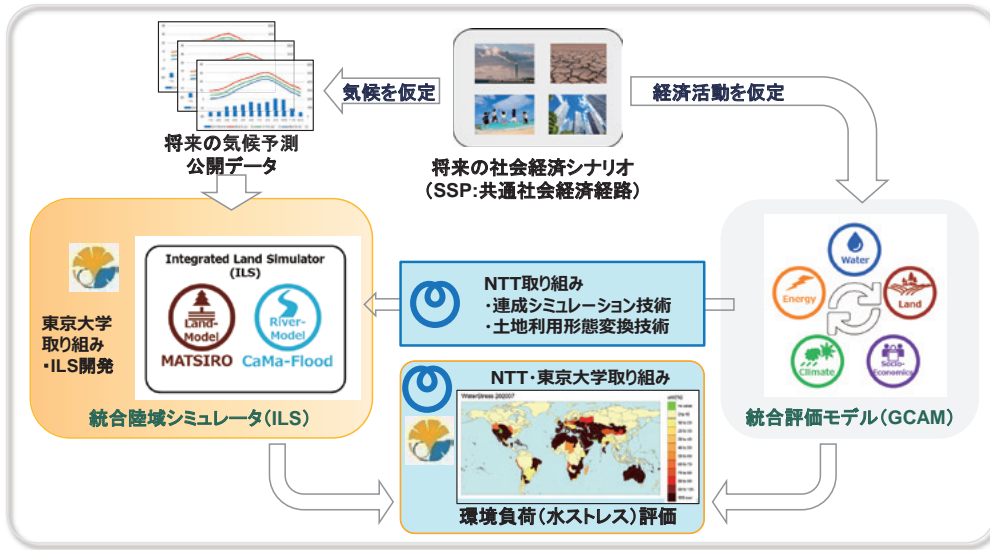


図1 環境シミュレータと経済活動シミュレータ連携

ション技術にて経済活動の変化による年ごとの土地利用形態を考慮した連携処理を実現し、ILSが算出する土地からの水の流出量とGCAMが算出する水の消費量を比較して、長期間にわたる経済活動の変化による水に関する環境負荷(水ストレス<sup>\*1</sup>)の変化を観察することで、従来では予測できなかった時期や場所にて大きな環境負荷が生じる可能性があることを示しました(図1)。

今回の実験では、5つの社会経済シナリオ<sup>\*2</sup>の1つ(SSP126)を用い、異なる2つのシミュレータを相互に連携させて地球規模にて計算処理する仕組みを実装しました。一例として、2020~2044年に草原から耕作地に変化していく地域が多いと予測されているニジェール河川流域について、気候変動によって水ストレスは大きくなっていく傾向があるものの、耕作地への土地利用変化を考慮することで水ストレスの増加が少なからず緩和される可能性があることが分かりました<sup>7)</sup>。この実験から、異なるシミュレータを連携する効果を確かめるこ

とができました。

■今後の展開

環境と経済活動の相互作用を再現しさまざまな政策を検討する際には、大きな課題が2つ存在します。1つは、環境分野のシミュレーション計算量が過多であるため、他のシミュレーションと連携するために計算量を削減(軽量化)する必要があることです。もう1つは、現在の科学技術計算では社会的な要素(人口、経済成長、技術開発の速度等)の変化(将来の社会経済シナリオ)についてさまざまな仮定に基づいた固定的なシナリオに沿ってつくられたデータを用いてシミュレーションするため、それ以外の柔軟性のある社会経済シナリオに基づいたシミュレーションが困難であることです。そのため、地球規模シミュレーションの精度向上、計算量の削減による試行回数の増加実現などによる利便性の向上に努めていきます。また、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)にて議論されている諸問題について、新たなモデルの組合せにより、より詳細な科学的分析を可能にし、社会が科学的な根拠を持って持続的な経済発展を継続できるよう貢献していきます。

Beyond GDP時代における新しい豊かさの指標

■研究の背景

炭素排出抑制に向けた環境対策の重要性

が高まっており、国や地域、自治体といったさまざまな場でカーボンクレジットといった炭素排出取引施策の推進が取り組まれています。このような施策が継続的に運用され効果を上げるには、ただ環境目標達成に寄与するだけでなく、経済や生活とのバランスの観点まで含めて、世の中全体を豊かにしていく施策である必要があります。私たちは、環境対策によって世の中全体の豊かさがどのように変化するか動的に長期予測し、環境と社会経済の包摂的なサステナビリティを評価する技術にチャレンジしています。

■世の中全体の豊かさの動的な長期予測・評価に向けた課題

その実現には、世の中全体の豊かさの考え方、環境や社会の動きやつながりを全体的にとらえて表現し、その将来的な見通しや大まかな振る舞いを再現することが必要です。私たちがとらえようとしている豊かさは、物のような経済的な豊かさにとどまらず、自然環境や資源の豊かさや、人間の健康や教育の豊かさまで含めたものです。これら自然・人・物の豊かさを全体的に評価する指標が必要となります。

環境や社会は相互作用して全体として複雑系として振る舞うことが知られています。環境対策という社会変容によって発生する影響が連鎖して、森林保全は改善したが別の資源消費が加速した、経済成長が想定以上に鈍化したなど、思わぬ影響が発生するかもしれません。環境対策の方策検討には、

\*1 水ストレス：水需要に関する逼迫の程度を評価する指標。本実験では、月ごと・年ごとに「水消費量/流出量(水賦存量)」として算出し、20%を超過する場合を水ストレスが発生したと判定しました。

\*2 SSP (Shared Socio-economic Pathways)：「共通社会経済経路」と呼ばれる、社会的な要素(人口、経済成長、教育、都市化、技術開発の速度等)が次の100年間にどのように変化するか、5通りにシナリオ化したもの。

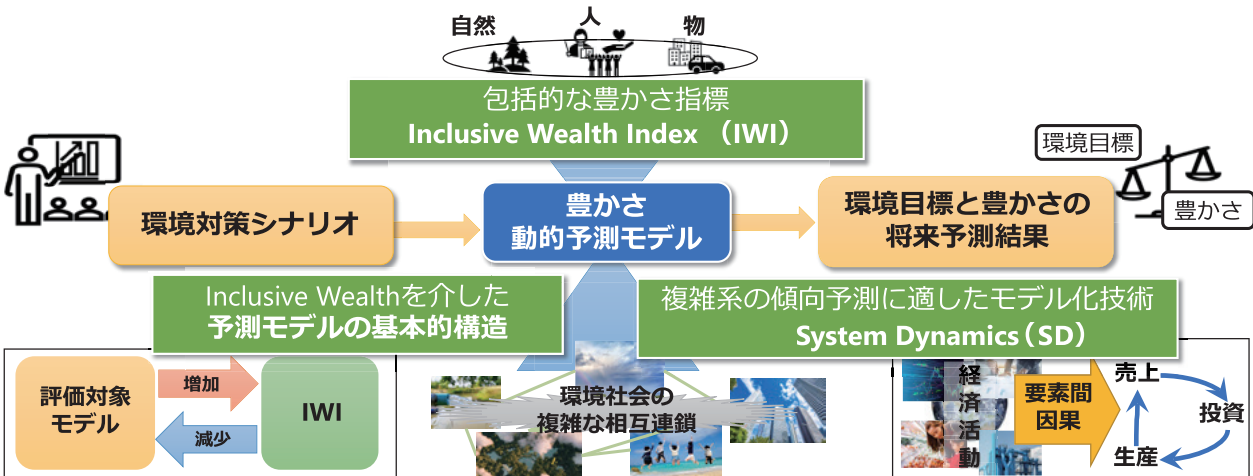


図2 IWIとSDを組み合わせた環境社会循環における豊かさ動的予測の概念モデル

環境や社会の精緻な動きを再現し時間をかけて予測するよりも、方策の実行バリエーションに対する全体的な動きをとらえ、大まかな見通しを予測することが優先されます。

#### ■研究のアプローチ

私たちはこれらの課題に対し、IWIとSystem Dynamics (SD) の2つの技術に着目しました。

1つは、IWIによる包括的な豊かさの評価です。現在の豊かさ評価指標として経済的な豊かさを測る指標 GDPが知られていますが、国際的には自然や人の豊かさも含めた世の中の全体的な豊かさをとらえる重要性が語られています。GDPで豊かさを測ることが困難な時代であることから、Beyond GDP時代とも呼ばれています。このような動きの中で、国や地域の包括的な豊かさの現状分析指標として国際的にも注目されている、そこにある自然（環境や資源など）・人（教育や健康など）・人工物（生産物や設備など）といった富を測定し評価する IWIに着目し、この概念を引用してシミュレーションに組み込むことで将来予測指標として応用しました。GDPは資源枯渇や健康被害を評価できませんが、IWIは自然や人の価値を直接評価するため、このような影響評価にも対応できます。

もう1つは、複雑系に適したシステム思考のモデル化技術 SDを用いた環境社会の予測モデル構築です。SDは、判明している要素間因果関係を図式で記述し数値モデルを生成する技術です。複雑系事象をシン

プルに記述し傾向予測することに向いていることから、環境施策の傾向予測に向いています。

IWIとSDを組み合わせて環境社会循環と豊かさとの共通的な構造を検討し、環境対策による豊かさへの影響をモデル化しました（図2）。

#### ■今後の展開

IWIを組み込んだ環境社会の予測モデルをつくり、環境目標と豊かさの将来予測の実現をめざします。現在は、炭素クレジット市場の排出権取引を題材にしてシミュレーションモデルをつくり、環境社会全体の豊かさ向上への寄与を評価することで、本研究による動的予測の有効性確認に取り組んでいます。

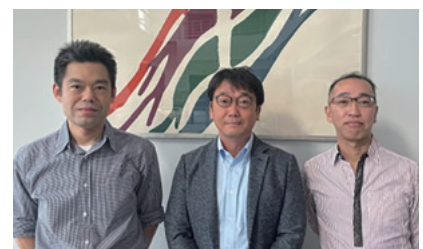
#### ■参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/11/13/201113c.html>
- (2) 丸吉・六藤・徳永：“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,” NTT技術ジャーナル, Vol. 34, No. 1, pp. 43-46, 2022.
- (3) 福田・丸吉：“包摂的サステナビリティの実現に向けた連成技術の研究開発,” NTT技術ジャーナル, Vol.35, No.2, pp. 30-33, 2023.
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/05/25/230525a.html>
- (5) T. Nitta, T. Arakawa, M.Hatono, A. Takeshima, and K. Yoshimura：“Development of Integrated Land Simulator,” Prog. Earth Planet. Sci., Vol. 7, No. 68, 2020. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00383-7>
- (6) K. Calvin, P. Patel, L. Clarke, G. Asrar, B. Bond-Lamberty, R. Y. Cui, A. Di Vittorio, K. Dorheim, J.Edmonds, C.Hartin, M. Hejazi, R. Horowitz, G. Iyer, P. Kyle, S.

Kim, R. Link, H. McJeon, S. J. Smith, A. Snyder, S. Waldhoff, and M. Wise：“GCAM v5.1: representing the linkages between energy, water, land, climate, and economic systems,” Geosci. Model Dev., Vol. 12, No. 2, pp. 677-698, 2019.

<https://doi.org/10.5194/gmd-12-677-2019>

- (7) 伏尾・六藤・福田・塚田・新田・吉兼・山崎・芳村・丸吉：“統合陸域シミュレータ (ILS) と統合評価モデル (IAM) の連成シミュレーションによる水ストレス評価,” 生産研究, Vol. 75, No. 2, pp. 135-140, 2023.



(左から) 六藤 雄一 / 河田 博昭 / 徳永 大典

地球環境と経済、社会の包摂的サステナビリティの実現に向けては、幅広い関係分野の専門家の方々の協力が重要と日々感じています。包摂的サステナビリティの実現に向けた取り組みに興味のある方はぜひご連絡ください。

#### ◆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@ntt.com](mailto:se-kensui-pb@ntt.com)



## 主役登場

# レーザーエネルギー伝送技術による豊かな社会の実現をめざして

## 落合 夏葉 Natsuha Ochiai

NTT宇宙環境エネルギー研究所



現代において、持続可能な社会の実現は重要な課題となっています。NTT宇宙環境エネルギー研究所では、クリーンでサステナブルな太陽エネルギーに着目し、宇宙空間に視野を広げた宇宙太陽光発電の実現に向けて研究を進めています。宇宙太陽光発電は静止衛星上で太陽光をマイクロ波やレーザー光に変換して地上に伝送し、これらを電力などのエネルギーとして利用するという次世代のエネルギー技術です。この技術が実現すれば、昼夜問わず宇宙から地上に大規模な太陽エネルギーを効率的に届けられるようになります。

その中で私は、レーザーを用いたエネルギー伝送技術の研究に取り組んでいます。これはレーザー光を遠く離れた場所に伝送し、太陽電池などの光電変換デバイスを用いて光から電力を取り出す技術です。レーザーエネルギー伝送技術ははまだ実用化されておらず、近年注目を集めてきてはいるものの、同じく無線のマイクロ波を用いた給電技術と比べると遅れをとっている状況です。レーザー光はマイクロ波と比べて波長が短いため、ビームの広がり角が小さく、システムの小型化や長距離伝送に適しているといわれています。この性質は宇宙太陽光発電などシステムが大規模となるエネルギー伝送の場面で特に有効です。

しかし、レーザー光は大気擾乱と呼ばれる

大気の屈折率揺らぎの影響を受けやすいというデメリットがあります。レーザー光が大気中を伝搬すると屈折率揺らぎによって位相が乱れ、結果として伝搬後のビームの強度分布が乱れてしまうのです。これにより、レーザー光を電力に変換する光電変換パネルからビームがはみ出る、光電変換パネルでの電力変換効率が低下するなどの影響が生じます。

この大気擾乱の影響を予測し、いかにロバストなシステムをつくるかというのがエネルギー伝送の高効率化に向けた重要な課題となります。そこで、ビームが大気擾乱中を伝搬するとどのような影響があるのかを予測するための数値シミュレーションを実装し、どのようなビームが大気の影響を受けにくいのか、またどのような伝送・受光方式が大気擾乱耐性の強いシステムになるのかを研究しています。

しかし、大気擾乱は気温や風などの気象条件や地形によって異なり、また時々刻々と数100 Hz程度の周波数で変動します。このような大気擾乱に対してロバストなビーム、伝送・受光方式の探索はチャレンジングであると感じていますが、これらの技術がエネルギー伝送の実用化や普及に向けた鍵になると考えています。

このエネルギー伝送技術は宇宙太陽光発電以外にも、さまざまな応用が期待されて

います。無線で給電できるメリットを活かし、送電線を引くことが難しい場所や災害地への給電、電気自動車への給電も考えられています。ドローンや「HAPS」と呼ばれる成層圏の無人航空機による通信プラットフォームといった、空を飛ぶ移動体への給電も有効です。

また、宇宙空間に目を向けると、2週間も夜の期間が続くという月面での探査機への給電にも需要があり、研究が進められています。エネルギー伝送技術により、給電場所や時間、バッテリーにとらわれない次世代のアプリケーションが実現されるでしょう。

レーザーエネルギー伝送技術は、今までは実現できなかった新しい発電・給電システムやサービスを可能にする、夢の詰まった技術だと考えています。持続可能な社会、豊かな社会の実現をめざし、レーザーエネルギー伝送技術について引き続き研究を進めていきたいと思っています。



## 期待と失望が渦巻くメタバース、最前線を「温故知新」で読み解く 一前編

旧Facebookが2021年にMeta Platforms (Meta) に社名を変えて一気に注目が集まった「メタバース」。同分野に年間1兆円もの巨費をつぎ込んだMetaは、投資に見合う成果が乏しく、便乗して参入した多くの企業も依然ビジネスモデルやユースケースは手探りの状態です。各社は総じて集客に苦戦し、メタバース事業の9割以上は失敗しているとの報告もあります。ただ、「9割以上が失敗」の裏には「1割に満たない成功例」があり、メタバース普及のカギもそこに隠れているかもしれません。本稿では前後編2回にわたりメタバースビジネスの最前線に迫ります。



### 原点はSF小説

FacebookがMeta Platforms (Meta) に社名を変更した2021年10月、メタバースの知名度は一気に高まり、雪崩を打ったように多くの企業が新規参入を果たしました。その現象が顕著となった2022年は「メタバース元年」と表現されるほどです<sup>(1)</sup>。

そもそもメタバースとは何でしょうか。本稿では、一般的な「インターネット上の3D仮想空間」と定義して論を進めます。1992年刊行のSF小説『スノウ・クラッシュ』で初めてメタバースの世界観が示されたとされます。メタバース元年の2022年には『スノウ・クラッシュ』が「メタバースの原典」として復刊<sup>(2)</sup>、人気を博したほか、メタバース関連書が相次いで出て飛ぶように売れていきました(表1)。

一躍有望市場にのし上がったメタバース領域は、足元の2022年で447億ドル、2030年にはその10倍超の4904億ドルまで拡大すると見込まれます(図1)。他のシンクタンクやコンサルティングファーム、投資銀行もこぞってメタバースの市場を展望し、総じて右肩上がりの明るい未来を予測しています。

特にデバイスの進化は目を見張るものがあり、軽量化と低価格を背景に普及が一段と進むとみられます。Statistaの調査によると、2010年代はせいぜい100億ドルだったAR(拡張現実)・VR(仮想現実)市場は、

2027年までに520億ドルまで拡大すると期待されます(図2)。AR、VRともに伸び、特にVRデバイス(Hardware)が約200億ドルの市場へと成長すると見込まれています。

### 期待から幻滅へ

ただ、現在、その高揚感とは裏腹に、期

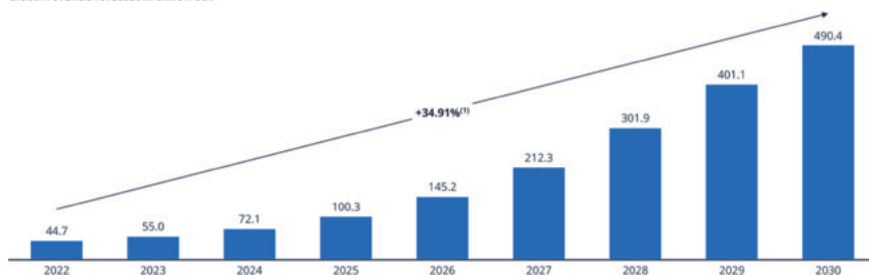
待は失望、幻滅へと変わりつつあります。

鳴り物入りで投入されたMetaの「Horizon Worlds」は、MetaのVRヘッドセット「Meta Quest 2」を装着して興じるメタバースサービスです。アバターを通じて他の参加者との意思疎通やゲームを楽しめる空間です。しかし、Metaの思惑は外れ、当初50万人をめざしていたユーザ数は30万人ほどにとどまり、目標値を下方修正しました。2022年12月期の赤字決算に加え、

表1 メタバースの歩み

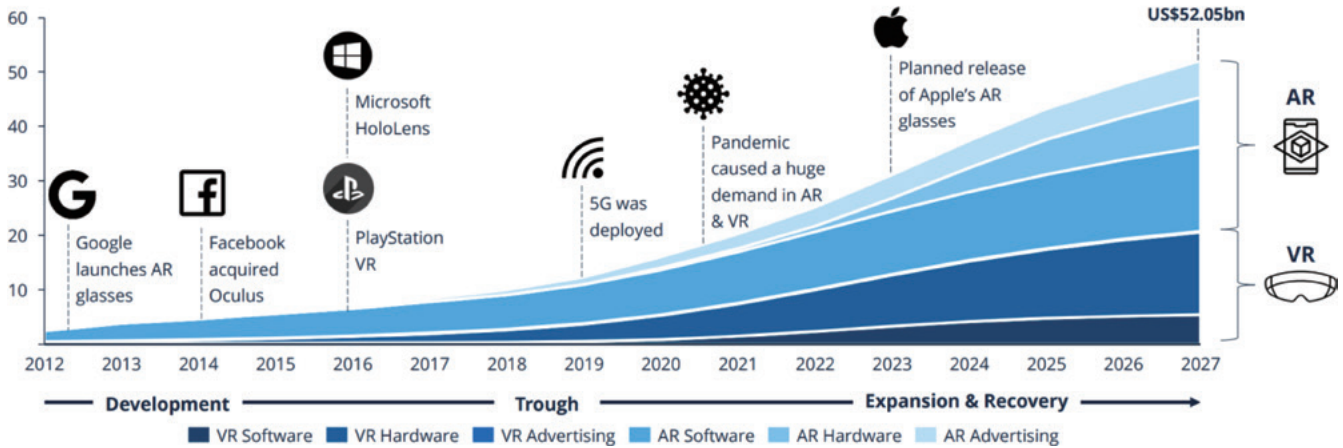
	出来事
1992年	SF小説「スノウ・クラッシュ」でメタバースの概念が登場
2003年	米Linden LabがSecond Life公開
2007年	Second Life日本版公開。会員が世界で1000万人に
2012年	GoogleがAR用HMD「Google Glass」発表
2014年	FacebookがOculus買収
2021年	FacebookがMeta Platformsに社名変更
2023年	Appleが独自のHMD「Vision Pro」を発表、2024年以降に発売

Global revenue forecast in billion US\$



出典：Statista

図1 メタバースの世界市場予測(単位：10億ドル)

Global AR & VR revenue development in billion US\$<sup>(1)</sup>

出典：Statista

図2 AR/VRの市場予測（単位：10億ドル）

大量の人員削減の発表で、メタバースに注力するMetaへの風当たりは相当に厳しいものとなっています。

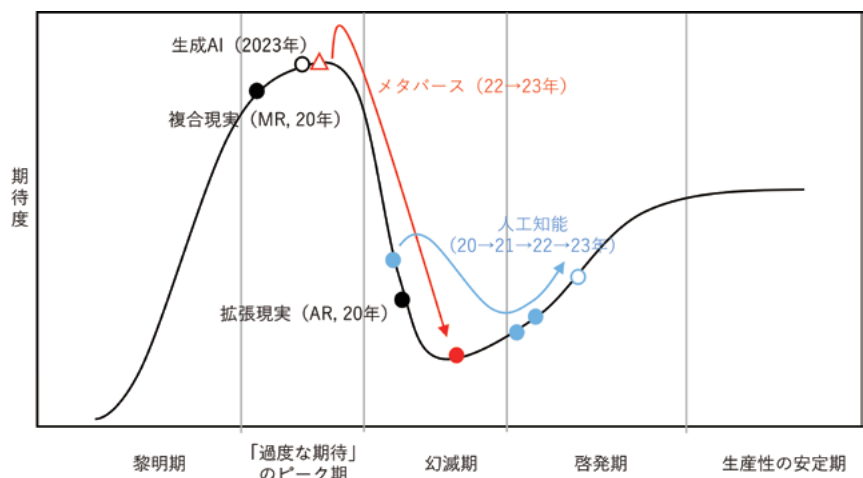
Metaの苦境を見透かしたかのように、米調査会社Gartner「ハイプ・サイクル」には、メタバースの厳しい将来展望が映し出されています。ハイプ・サイクルは、テクノロジーとアプリケーションの成熟度と採用状況や課題、潜在性などを図示したもので、毎年公表されています。

「日本における未来志向型インフラ・テクノロジーのハイプ・サイクル」の2022年版でメタバースを「過度な期待のピーク期」としていたのに対し、2023年版では「幻滅期」に入ったと位置付けられています<sup>(3)~(6)</sup>（図3）。

背景には高過ぎる期待があったかもしれませんが。

このMetaがメタバース傾注をぶち上げた2021年は、新型コロナウイルス感染症が依然蔓延し、世界中でリモートワークが常態化していた時期でした。Metaはその傾向が続くとの見論のもと、非接触、非対面での会議や講演、企業訪問といったビジネスシーン、あるいは教育分野で、メタバースがデフォルト（標準）になる未来を描きました。コロナ禍に伴うリモートワークの継続、対面回避のトレンドに過度に期待していた節が見受けられます。

しかし思惑は外れてしまいます。コロナ禍が終息するにつれ、多くの企業で勤務形



主流の採用までに要する年数：○ 2～5年 ● 5～10年 △ 10年以上

出典：Gartner「日本における未来志向型インフラ・テクノロジーのハイプ・サイクル」、2020～2023年版を基に筆者作成

図3 日本における未来志向型インフラ・テクノロジーのハイプ・サイクル

態をリモートワークから出社に戻す動きが出始め、会議も対面に切り替わるなど、メタバースの活用機会自体が減りつつあります。

加えて、メタバース空間の経済圏で活用が期待されていたNFT（Non Fungible Token：非代替性トークン）などの新技術が、一時期の熱狂から一転、鳴りを潜めてしまったことも、メタバースビジネスに冷や水を浴びせている格好です。

米オンラインメディアBusiness Insider (BI)は2023年6月の記事で<sup>(7)</sup>、Metaの創業者、マーク・ザッカーバーグCEO（最高経営責任者）が社名変更に合わせて「華

やかで欺瞞に満ちたプロモーションビデオで、人々が仮想世界でシームレスに交流できるようになる未来を描いた」とし、「（同氏の）大言壮語のせいで、人々はメタバースに大いに期待を抱くようになった」と非難しています。

VRとAR技術を開発するMetaの専門組織「Reality Labs」の2021年通年の損失は、101億ドル、すなわち1兆円を超えています<sup>(8)</sup>。「大言壮語」のつけが回ったにしてはあまりに巨額です。

BIの記事は「Horizon Worldsは、このうえなく不慣れたOculusヘッドセットを装着しなければならぬ代物」「なぜ出来の



悪いキャラのコンサートに参加するために不格好なヘッドセットをつけたがるのか」とこき下ろしてもいました。確かにヘッドセットの重さというデバイスの難点は各所でたびたび指摘され、その軽量化と低価格化がメタバース普及のための課題となっています。

ただ、メタバースが今一つ盛り上がらない大きな理由は別にありました。

## 歴史は繰り返す

- ・ ネット仮想都市 “顧客”取り込み 国内企業が相次ぎ出店 現実社会での消費狙う
- ・ 中国が「国営仮想世界」
- ・ 企業が群がる仮想空間はバブルか、新しい現実か
- ・ ネット「仮想空間」に大使館の開設続く

これらはいつごろの記事かお分かりでしょうか。実はすべて2007年のものです（上から順に「2007.10.24 岩手日報」「2007.10.18 産経新聞」「2007.07.24 週刊エコノミスト」「2007.05.31 NHKニュース」）。見出しから、メタバースに絡んだ最近の記事だと見まがっても無理はありません。

メタバースが今一つ盛り上がらない理由、それは2000年代に一世を風靡した「セカンドライフ (Second Life)」をめぐる栄光と失望の教訓の中に見出すことができるかもしれません。

Second Life は米ベンチャー Linden Lab が2003年に開発した仮想空間で、その世界に住む Resident (住人) はユーザの好みの装いをしたアバターを通じて交流し、会話を楽しんだり、独自の「Linden Dollar」を介して売買したり、はたまた人間拡張よろしく空を飛ぶこともできました (図4)。

先に紹介した記事の見出しのとおり、国内外の名立たる企業や自治体が仮想空間に進出し、訴求や集客に励みました。2007年7月には日本版が利用できるようになり、トヨタ自動車やNTTドコモ、富士通、野村證券、三越、テレビ東京といった大企業



「デジタル世界でもう1つの人生を送る」というコンセプトはそのままに、アバターを設定して服を着せ変えたり、売買したりといった基本要素は新旧で変わっていない

図4 2000年代当初のSecond Lifeのホームページ画面のキャッシュ (左) と現在のSecond Lifeの画面

がござって参画しました。

最盛期には世界で1000万人を超える登録ユーザがいたとされ<sup>(9)</sup>、仮想空間内に東京タワーが建てられ、大使館の開設が相次ぐなど、現実と仮想の境目が揺らぎ、双方の行き来が増え始めていました。Second Life ブームを背景に、総務省も2009年に「ICT活用ルール整備促進事業 (サイバー特区)」として、「遠隔地教育での履修認定に向けた、仮想空間内での教育/試験実証実験」としてメタバースの活用を試みていました。メタバースが国内で公に言及された最初期の事例といえます<sup>(10)</sup>。

こうした未体験ゾーンに乗り遅れまい、ブルーオーシャンに漕ぎ出そうと、Second Life に参入した日本の企業や団体は上陸して間もない2007年7月20日時点で85に上ったといわれています<sup>(11)</sup>。翻って現状は、単純比較はできませんが、日本経済新聞が手掛ける業界分析ツール「NIKKEI COMPASS」の1カテゴリ「メタバース」に登録されている企業は55社です<sup>(12)</sup> (2023年11月1日現在)。

Second Life が全盛を誇っていた2007年当時、仮想空間の経済圏はバラ色の未来が描かれ、「2008年末には、総加入者数は全世界で2億5000万人に迫り、仮想通貨の年間総取引量は1.25兆円相当に達する可能性がある」との試算もなされたほどでした<sup>(13)</sup>。

しかし、その後、

- ・ セカンドライフ 利用の難しさが壁に (2008.2.11 週刊エコノミスト別冊)
  - ・ 仮想空間におけるプライバシー (2008.02.27 FujiSankei Business i)
- といった批判的な論調の記事が目立つようになり、Second Life を取り巻く熱は急速に冷え込んでいきました。

要因としては、ユーザが集まって盛り上げられるイベントの少なさなど複数挙げられますが、最大の原因はPCの動作環境に左右されるスペックの不安定さでした。バグや接続制限、ダウンが頻発するようになり、ユーザの不満足へとつながっていきました。次第にユーザの足は遠のき、2009年までにはSecond Life に進出、出店した企業のエリアは閉古鳥が鳴くようなわびしい状況となっていきます。

加えて、新興のオンラインコミュニティの台頭がSecond Life の話題とユーザを奪い取っていきました。その新興勢力こそ、当時登場して間もなかったFacebook (現Meta) でした。

一時は2億人超えも夢ではないとされたSecond Life のユーザ数は、2020年代の現在60万人にまで減少し、青息吐息となっています。ただ、それでもいまだに存続していることにはある種の驚異の念をもって現代人に受け止められています。

失敗や失望も多かったSecond Life です



が、デジタル空間におけるもう1人の自分、分身としてのアバター、Linden Dollarという換金性のある独自通貨など、今のメタバースの世界観に綿々と連なる原型は20年近く前に確かに芽吹き、それは確かに“メタバース”であり、今もなお脈々と息づいています。

Second Lifeが失速した最大の要因だったPCのスペックという問題点も格段に改善した現代、さまざまな教訓を今に伝えてくれているSecond Lifeの功績は、決して過小評価されるべきではないでしょう。

## 生成AIとの融合

図3の2023年版のハイブ・サイクルで幻滅期に堕ちたメタバースですが、その先に行くのが人工知能(AI)で「啓発期」に入ったとされます。さらに今を時めく「生成AI」は「過度な期待」のピーク期にあり、2022年版の「メタバース」とほぼ同じ位置に据えられています。

このハイブ・サイクルが同様の道を進むとすれば、来年2024年版には生成AIもまた、「幻滅期」に甘んじているかもしれません。ただ、注目すべきは、「主流の採用までに要する年数」がメタバースは「10年以上」かかるとされていたのに対し、生成AIは「2～5年」と短く見積もられています。ここに両テクノロジーに対する期待度の違いが表れているともいえるでしょう。

ChatGPTをはじめとする生成AIは、今やさまざまなビジネスや教育、私生活に入り込み、あらゆる産業を根底から覆すほどの破壊力とスピードをもって世界中に広まっています。「プロンプト」と呼ばれる質問や依頼の文章を打ち込むことにより、膨大なデータを事前に学習したAIがその蓄積を駆使し、新たなコンテンツを生み出す仕組みです。

生成対象は文章や画像、動画、音声など多岐にわたり、メタバースに欠かせない3Dモデルさえ出力できます。さらにはメタバースそれ自体をも生成するサービスまで登場しています。

## ■「メタバース×生成AI」

多くの企業が生成AIの活用を模索する中、メタバース分野での応用も始まっています。

2023年5月に生成AI専門の「Generative AIセンター」を新設した日立製作所は、メタバースで電車の運転席を再現します。そのうえで、車両走行時の緊急停止などを想定し、人間では気づきにくい異音のパターンから、生成AIが原因を特定、回答するといった活用法を考案しています。臨場感のある、現実に近いビジネス環境の構築に役立つといえます。

東京電力と中部電力が共同出資するJERAは、火力発電所にデジタル技術を応用した「デジタル発電所(DPP)」に、メタバースを組み込みました。その一環として、遠隔監視する専門組織と現場作業員がメタバース空間でつながり、発電所の運営ノウハウに精通した生成AIが、トラブル発生時にそれに対する処置の最適解を瞬時に生成するといった活用法を取り入れています。

いずれもメタバース空間で職場や作業現場をリアルに再現することによって迫真性、緊張感が増し、そこに生成AIの高度なアウトプットを組み合わせ、より実践的で、実際に役立つ訓練を実現しています。

さらには、音声やテキストのプロンプトから、メタバース自体を自動生成できるといった技術検証も進んでいます。VRや自動翻訳を手掛けるメタリアルの一組織でメタバース先端技術を研究する「MATRIX GENESIS LABS」が2023年7月にβ版を公開しました。

やや漠としたイメージのある「メタバース」も、「メタバース×生成AI」にみられる事例のように、具体的な使い方が示されれば、徐々にその有用性が認められるでしょう。同様に、活用が期待される分野をみていきます。

## ■「メタバース」×「脳波」

メタバースの飛躍的な活用が期待される分野として、「メタバース×脳波」があります。脳波とデジタルを組み合わせた「ブレインテック」の分野は、世界の市場が2025年に5兆円まで拡大するともいわれ、

メタバースとの有機的な結び付きが期待されます<sup>(14)</sup>。

英国のベンチャーMind Portalは意識するだけでメタバース空間での選択や意思疎通ができる画期的な技術を開発中です。利用者が被った専用のキャップに付いたセンサから脳波を読み取る仕組みで、利用者はヘッドセットを通じて眼前に浮かぶ文字や選択肢を、「考える」「意識を向ける」ことにより選んでいきます。現在のメタバースで一般的な両手に握るコントローラーが不要となる可能性があります。

こうした脳波などによって入出力を行うテクノロジーは「ブレイン・マシン・インタフェース(BMI)」と呼ばれます。Metaもかつて2017年に、思い浮かべるだけで文字を入力できる「夢の技術」の研究に入れ込んでいました<sup>(15)</sup>。脳波でVRを操作できると世間の耳目を集めましたが、技術的な壁にぶつかり、2021年に断念した経緯があります<sup>(16)</sup>。その後、目立った動静は聞こえてこないものの、Metaはブレインテックを含むAIの研究開発に余念がなく、商機を虎視眈々とらんでいます。

BMIを含む脳科学とメタバースの分野は親和性が高いとされ、日本でも東京大学や玉川大学といった高等教育機関においても最先端の研究が進められています。

## メタバースをめぐる海外動向

2021年のMetaの社名変更を機に注目度が一気に増したメタバースは、各国内でそのあり方や展望をめぐる議論が活発化しています。温度差、時間差はあれど、総じてメタバースを有望市場ととらえ、長期的な戦略を掲げています。国家戦略より先に企業が前のめりで取り組んでいるケースも少なくなく、産官学が協調しながら、メタバースの未来を見据えています。

一方、メタバース空間における著作権やプライバシー、差別的な発言をめぐるトラブルもたびたび報告されており、法制度やルールの整備が喫緊の課題です。

そうした背景から、国際間で統一のルールをつくらうという機運が高まっています。



表2 各国・地域におけるメタバース関連施策

	年月	主体・名称	概要
米国	2022年8月	連邦議会調査局 「The Metaverse: Concepts and Issues for Congress」	メタバースの有望な活用領域と課題について提言
中国	2023年8月	中国工業情報化部ほか 「メタバース産業革新発展3カ年行動計画（2023～25年）」	世界的影響力を有するメタバース企業の創出や産業集積地の構築を標榜
EU	2022年9月	欧州委員会「Initiative on virtual worlds, such as metaverse」	Web4.0や仮想世界の定義、市場規模の予測を提示
英国	2023年2月	省庁再編で「科学・イノベーション・テクノロジー省」新設	同省を中心にメタバース推進
韓国	2022年1月	科学技術情報通信部「メタバース新産業先導戦略」	戦略実現に向け数百億円規模の国家予算投下
東南アジア	2024年3月	東南アジアを含む「METAVERSE ASIA EXPO 2023」開催予定	前回2022年11月時の盛況を受け開催。緩やかな規制も背景に、成長市場と目される

2022年6月には、メタバース分野の国際協調を図る団体として、Metaverse Standards Forumが発足しました。「オープンで包括的なメタバースのための相互運用性標準の開発を促進するための標準化団体と企業の協力の場」となることを標榜し、MetaやMicrosoft、NVIDIAのほか、中国のHuawei、日本からもソニー・インタラクティブエンタテインメントやNTTコノキューなどが加盟しています。加盟企業は増加し続けています。発足当初の会員は37社・団体でしたが、2023年11月現在2400まで拡大しています<sup>(17)</sup>。

こうした国際連携が進む中、メタバースに注力する主な国の政策や現状を見ていきます（表2）。

#### ■米国

メタバース発祥の地、米国はメタバースの分野でもっとも先進的な国といえます。Metaをはじめ参入企業が盛んにビジネスを展開し、投資額もけた外れに大きく、メタバースビジネスの進展に期待が寄せられています。

一方、Second Lifeの際にぶつかっていた壁、課題が再び立ちはだかつてもいます。

政府としては、そうした期待と課題の現状を取りまとめ、ビジネスに活かしてもらおうと推進には意欲的な姿勢です。2022年8月、連邦議会調査局が「The Metaverse: Concepts and Issues for Congress」と題したレポートを公表、その中でエンタテインメントや不動産、教育など

メタバースの利活用やイノベーションが期待できる分野を取り上げました<sup>(18)</sup>。また、メタバースを実現するうえで重要な技術として、先述のBMIなどの脳科学との融合や、5G（第5世代移動通信システム）や6G（第6世代移動通信システム）などの次世代通信網の発達を挙げています。

期待が大きい反面、持続可能なビジネスモデルの未確立や違法コンテンツの蔓延といった課題も指摘されています。メタバースでのトラブルを幅広く取り締まるには、法体系は不十分とされ、法整備に向けた議論が今後活発化してくると見込まれています。

Statistaによると、2022年に141億ドルだった米国のメタバース関連市場は2030年に1592億ドルまで伸長、年平均成長率は実に35%を超える高成長を遂げるとされます（図5）。

なお、次節で紹介する中国も、2022年の105億ドルから2030年に875億ドルと市場の急拡大が見込まれます。

#### ■中国

中国で「元宇宙」といえばメタバースのことです。毎年中国の雑誌社が発表している流行語トップ10で、2021年にランクインするなど、メタバースはご多分に漏れず中国社会も賑わせています。その2021年、そして翌2022年と文化観光部などの省庁や中国人民銀行がVRやARなどメタバース関連技術の活用や監督方針を示し、北京市や上海市といった大都市もそれぞれ、「メタ

バーズの革新的発展のための行動計画」（2022年8月）、「メタバース新分野育成のための行動計画」（2022年7月）を打ち出していました。

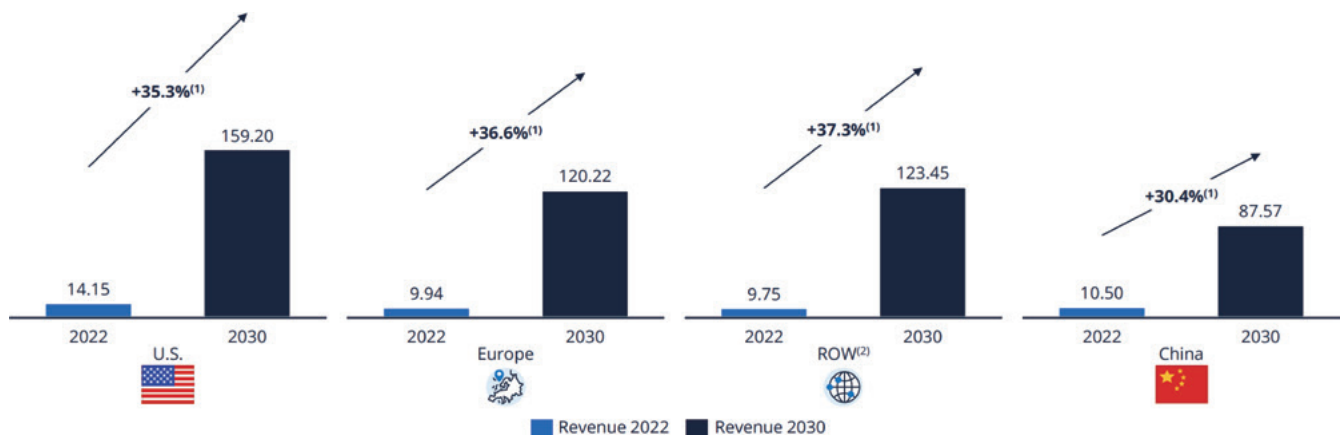
さらに、国家全体としての「メタバース産業革新発展3カ年行動計画（2023～2025年）」を、中国工業情報化部、教育部、文化・観光部、国務院国有資産監督管理委員会、国家広播電視総局の連名により、2023年8月29日付で発表しました。それまで国全体を包括する指針は出ていませんでしたが、今後はこの行動計画が拠り所となって企業や自治体のメタバース事業が進んでいくとみられます。

計画では、2025年までにメタバース技術の飛躍的な進展により、産業規模の拡大や構造の合理化を図り、世界先進水準の総合力を実現すると記しています。具体的な目標として、世界的影響力を有するメタバース関連企業3～5社と「専精特新（專業化、精細化、特色化、斬新化）」に合致した中小企業を育成し、3～5カ所の産業集積地を構築するとしています。

#### ■欧州

欧州もまた、メタバースの関連企業が多く、賑わっている地域の1つです。

欧州連合（EU）の欧州委員会が2022年9月に「メタバースなどの仮想世界に関するイニシアチブ（Initiative on virtual worlds, such as metaverse）」の策定を発表<sup>(19)</sup>、これを受けて2023年7月に「Web 4.0と仮想世界に関するEUのビジョン」



出典：Statista

図5 米中のメタバース関連市場予測（単位：10億ドル，%はCAGR）

を提示しました<sup>(20)</sup>。

その中ではWeb4.0や仮想世界の定義を説明するとともに、仮想世界の世界市場が2022年の270億ユーロから2030年までに8000億ユーロに成長し、2025年までに欧州でXRに関連して86万人の新規雇用が創出されると予測しています。このほか、欧州議会は「メタバース」のメガトレンドとしての商機や倫理的課題、法整備の必要性などに幅広く触れた160ページ超の研究報告書も2023年6月に作成、公表するなど、メタバースをめぐる期待が着実に高まっています<sup>(21)</sup>。

国別では、フランス政府の委託を受けた研究者グループが、フランスのメタバース政策上の課題や戦略を提言しました。芸術や文化といったフランス独自の強みをメタバースと組み合わせる重要性を強調しています。隣国ドイツは、「Industrial Metaverse（産業用メタバース）」に執心するSiemensなどの大手企業が中心となり、産官学の連携を図っています。

さらに英国は、2020年に離脱したEUとは一線を画し、独自の戦略を打ち出しています。2023年2月に省庁再編で新設された「科学・イノベーション・テクノロジー省（Department for Science Innovation and Technology）」が旗頭となり、メタバースを推進していく方針です。

ほかにも、韓国が国を挙げて「メタバース新産業先導戦略」や指針となる「メタバース倫理原則」を立て続けに策定したり、メ

タバース経済圏で活用が期待されるNFTやブロックチェーンの規制が比較的緩いとされる東南アジアが注目を浴びていたり、世界的なメタバースの潮流は時々刻々と変化し続けています。

後編では主に日本国内のメタバースの実情を、最新事例とともに紹介する予定です。

#### ■参考文献

- (1) <https://www.qunie.com/release/20230523/>
- (2) <https://www.asahi.com/articles/DA3S15192843.html>
- (3) <https://www.gartner.co.jp/ja/newsroom/press-releases/pr-20200910>
- (4) <https://www.gartner.co.jp/ja/newsroom/press-releases/pr-20211028>
- (5) <https://www.gartner.co.jp/ja/newsroom/press-releases/pr-20220901>
- (6) <https://www.gartner.co.jp/ja/newsroom/press-releases/pr-20230817>
- (7) <https://www.businessinsider.jp/post-271154>
- (8) <https://investor.fb.com/investor-news/press-release-details/2022/Meta-Reports-Fourth-Quarter-and-Full-Year-2021-Results/default.aspx>
- (9) <https://pr.fujitsu.com/jp/news/2007/11/2.html#footnote1>
- (10) [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000069115.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000069115.pdf)
- (11) [https://www.seedplanning.co.jp/press/2007/0821\\_01.html](https://www.seedplanning.co.jp/press/2007/0821_01.html)
- (12) <https://www.nikkei.com/compass/search/Y2F0ZWdvcnk9Y29tcGFueSZ0aGVtZT0zOTMyMA>
- (13) [https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1014286/www.mizuhocbk.co.jp/fin\\_info/industry/sangyou/pdf/mif\\_57.pdf](https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1014286/www.mizuhocbk.co.jp/fin_info/industry/sangyou/pdf/mif_57.pdf)
- (14) <https://www.mri.co.jp/knowledge/column/20180720.html>

(15) <https://www.businessinsider.jp/post-33002>

(16) <https://thinkit.co.jp/article/18610>

(17) <https://metaverse-standards.org/members/>

(18) <https://sgp.fas.org/crs/misc/R47224.pdf>

(19) [https://state-of-the-union.ec.europa.eu/state-union-2022\\_en](https://state-of-the-union.ec.europa.eu/state-union-2022_en)

(20) [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_23\\_3718](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_3718)

(21) [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/751222/IPOL\\_STU\(2023\)751222\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/751222/IPOL_STU(2023)751222_EN.pdf)

(22) 佐藤：“世界2.0 メタバースの歩き方と創り方”，幻冬舎，2022。



株式会社 情報通信総合研究所  
主任研究員 南龍太




NTTコンピュータ&データサイエンス研究所  
客員上席特別研究員

高村 誠之 Seishi Takamura

## 映像に含まれる雑音を活用し、 各画素の「真の明るさ」を 推測する

映像符号化においては、符号化された映像を「極力きれいな」映像として復号するために、撮影した元の映像に含まれる雑音（ノイズ）を除去することがポイントとなり、それにより符号化の効率も向上します。このため、多くの撮像系研究者がこれに取り組み、現在ではランダム雑音に関しては、光子の不規則な飛来に由来するショット雑音以外は、限界まで除去することが可能となったとされています。このように嫌われる存在の雑音ですが、逆にこれを活用することでさまざまな効果を得る研究も着目されています。この雑音を活用することで、「光が持つ明るさの揺らぎを利用してデジタル値の上限を超えた明るさを推測する技術」を創造したNTTコンピュータ&データサイエンス研究所高村誠之客員上席特別研究員に、「上限突破センシング」により画像の「真の明るさ」を推測する技術と、研究者として基本姿勢としている、「疑う」「非安住」「断らない」「寝かせる」という4つのキーワードについて伺いました。



 **画像・映像符号化において、高い再現性と圧縮率向上という、二律相反の同時実現をめざす**

現在、手掛けていらっしゃる研究について教えていただけますでしょうか。

前回（2021年2月号）でお話しさせていただいた、ノイズ除去や情報圧縮の視点を強化することで、データを捨てることなく保存・流通させる、世の中で使われている一般的な技術よりも品質を高く保ちながら100~1000倍の圧縮を可能とする「万象オーガナイズ技術」と、撮影された映像からノイズ、歪、ピントのずれ、情報の欠落等の擾乱を除去し、被写体本来の姿を推測し、それを基に符号化する「実体マイニング技術」に関する研究、そして「光が持つ明るさの揺らぎ（雑音）を利用して真の明るさを推測する技術」により、デジタル値の上限を超えた明るさを推定したり、暗い部分の正確な明るさを推定したりする研究を主に行っています。2022年4月より大学の研究室にも籍を持ち、「万象オーガナイズ技術」と「実体マイニング技術」をNTTおよび大学で学生とともに、「光が持つ明るさの揺らぎを利用してデジタル値の上限を超えた明るさを推測する技術」を大学で行っています。

まず、大学において研究を進めている「自然パターン画像に潜

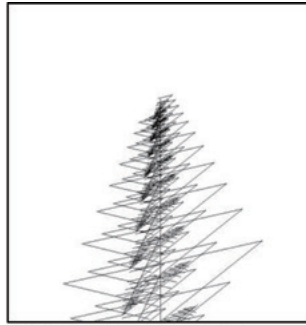
むルールの自動獲得と、その画像の超高圧縮」について説明します。例えば貝殻の模様のような自然界にあるパターンを数式化して人手でつくったアルゴリズム（進化計算エンジン）によりパターンを自動生成する（チューリングモデル）、もしくはアルゴリズムを自動でつくり、同様の処理によりパターンを自動生成する（フラクタルモデル）と、元のパターンに似たパターンが再現できます（図1）。その再現の精度については、例えば植物のシダの写真をフラクタルモデルで再現した場合、LPIPS（Learned Perceptual Image Patch Similarity）という人間の知覚尺度に近い尺度で示すと、0.7173（1.0が完全一致）であり、これを33バイトで実現します。同レベルの画像をJPEGで得ようとするとは1185バイト必要となりますので、かなりの高圧縮であることが分かります。これを応用することで、生物の中で起きていることをある程度模擬できるのではないかと考えています。

また、元の映像に1フレーム画像を追加して圧縮することで、より高い圧縮率で同レベルの映像が実現できることは前回お話ししましたが、その追加するフレームに赤外光による画像を利用することで、さらに高い圧縮率を実現できることも確認しました。

さらに、3D点群符号化の国際規格であるV-PCCでは、3D点群情報を分解して2D画像にして圧縮するのですが、図2の2D画像の黒い部分は、圧縮伝送はなされるものの、最終的には表示に使われない不要領域となります。不要領域は任意に埋めて（パディ



入力画像  
(シダ, 自然画像)



提案方式, 33バイト  
LPIPS=0.7173



JPEG圧縮, 1580バイト  
LPIPS=0.7209

図1 自然パターン画像に潜むルールの自動獲得と高圧縮

ング) よいので, パディングに際し隣接する領域と, 例えば色等の差分を少なくすることで, 圧縮の効率を上げることが期待できます. このパディングの方法を検討し, それを実際の3D点群符号化に利用することをめざしています. 実際に試した4つのテスト点群すべてでその効果が確認できました.

**「光が持つ明るさの揺らぎを利用してデジタル値の上限を超えた明るさを推測する技術」とはどのようなものでしょうか.**

画像には, 光子の不規則な飛来に由来するショット雑音, 導体中の自由電子の不規則熱振動に由来する熱雑音といったランダム雑音や, デジタル化プロセスにおける量子化歪, 基準より大きな入力信号により出力信号波形の頭がつぶれて歪むクリッピング歪などの, システムに由来する雑音が常に必ず混入しています. 画像は音声に比べて雑音を多く含み, 信号対雑音比 (SNR) は画像が40 dB程度であるのに対して音声は120 dB程度と, 画像が含む雑音のほうが格段に多いのです (数字が小さいほど雑音が多い). 映像符号化においては撮影したままで雑音を多く含む映像をそのまま符号化しています. そこで「きれいな」画像を得るためには, この雑音を除去することが必要になり, かつ雑音が除去されることにより符号化の効率も向上するため, さまざまな研究が行われてきました.

一方で, この雑音の特性を利用し雑音を有効活用する技術も研究されるようになり, 例えば改ざんされた画像の中で改ざんされた領域を検出する, といったことも可能となりました. こうした雑音の有効活用の1つとして, 「上限突破センシング」と私たちが呼んでいる技術で, これにより撮像表示システムの原理的限界

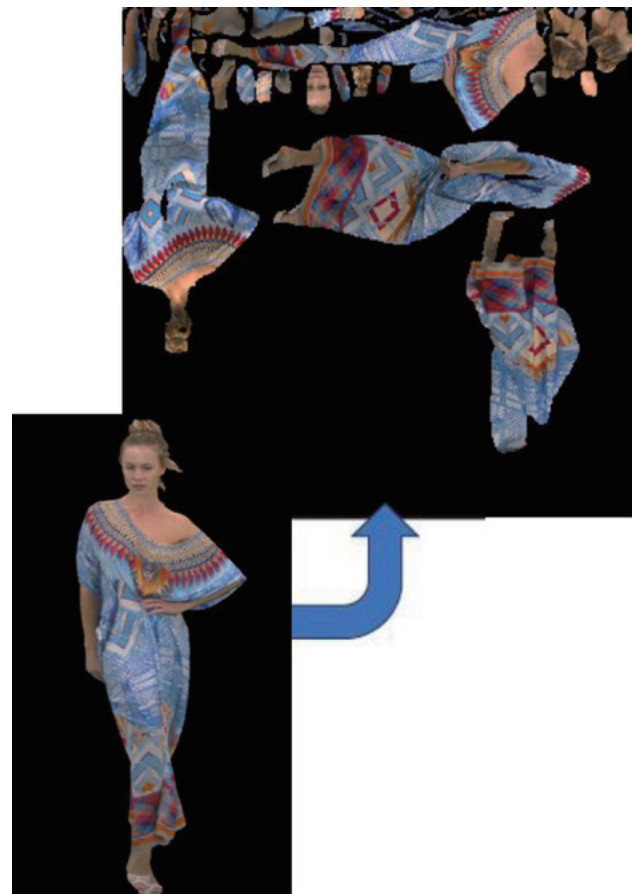


図2 3D点群画像の2D化

を超えて画像の「真の明るさ」を推測することが可能となりました。

カメラで撮影された画像は、各画素がデジタル化されており、その数値（画素値）は12 bitデジタル化の場合0～4095を示します。4095が一番明るい画素値ですが、実際の明るさが4095の画素値を超えている場合、その画素値はすべて4095（飽和値）で表示されると思いきや、画像にはランダムな雑音が含まれているので、複数回撮影すると実際の明るさにより決まる割合で画素値が4095を下回るのです。

さて、図3の緑枠の部分の画素列を、水平画素位置を横軸に、画素値を縦軸にプロットすると、グラフに示すような特性が出てきます。実験では、紙面の明るさを調整して部分的白飛び（飽和値）を発生させたうえで、別の12bitモノクロカメラにより画像を1万枚撮影し、平均画素値をプロットすると、図4(a)のような特性となります。白飛びの部分は赤の点で示した部分です。図3の特性と比較すると実際には破線のような画素値になっていると予測されます。ここで、クリッピングも量子化もされていない理想的な画素値（真の画素値）を横軸に、クリッピングと量子化がなされた実際に出力される画素値の期待値を縦軸にプロットする

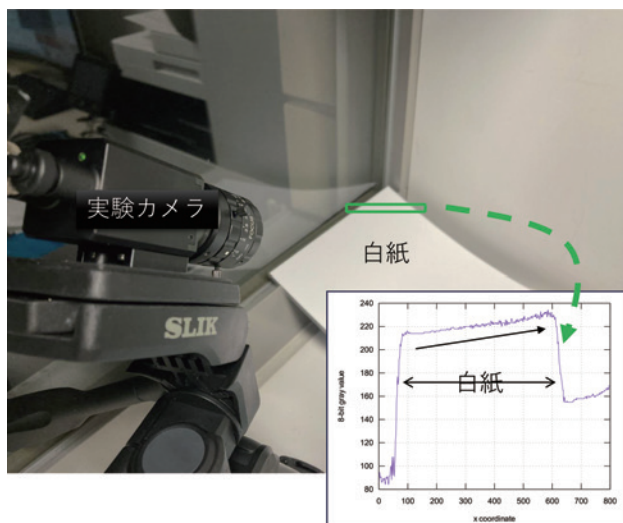


図3 実験の様相

と、図4(b)のような関係となります（紫の曲線）。図4(a)の飽和値付近の平均画素値を当てはめて真の画素値に復元する（平均画素値Aを紫の曲線でBに戻す）と図4(c)の緑の点のようになり、特に楕円で囲った部分では、カメラ出力の最大値(4095)を超え、真の画素値（真の明るさ）が推測できることが分かります。ただし完全飽和部分（1万枚撮影で4095を一度も下回らない部分）は復元できないので、ここでは画素値4300としています。

こうした成果により短期間に多くの賞を受賞されたそうですね。

ありがたいことに2022年5月以降に次のとおり、10件の賞をいただき、6件の招待講演も行いました。

- ・情報規格調査会 標準化功績賞 (2022.5.24)
- ・情報処理学会 フェロー (2022.6.7)
- ・NTT 2022年度優秀特許表彰 (1級) (2022.11.7)
- ・PCSJ/IMPS 優秀論文賞 (工藤・坂東・高村・北原 共同受賞) (2022.12.1)
- ・PCSJ/IMPS ベストポスター賞 (2022.12.1)
- ・画像工学研究会 IE賞 (工藤・坂東・高村・北原 共同受賞) (2022.12.7)
- ・IEEE Region 10 Certificate of Appreciation (2022.12.31)
- ・画像工学研究会 IE賞 (2023.3.13)
- ・AAIA フェロー (2023.7.4)
- ・APSIPA Certificate of Appreciation (2023.11.2)

普通は研究を始めて何年か経ってから受賞しますので、転身後1年半ほどの間に10件は自分としては多いと思いますが、これはタイミングが良かったのだと思います。ただこの中で、2022年12月のPCSJ/IMPS ベストポスター賞と2023年3月のIE賞については2022年4月以降に始めたものであり、初年度で受賞という事実には驚いてもいます。特にこの2件は、例えば「真の明るさ」の実験では10万円もしないようなカメラを使用しており、お金をかけずとも世界初の知見を得ることができた好例でもあります。お金をかけていない分、実験方法を工夫しながら、こういう結果が出るだろうという、ある程度の目論見をつけて実験をして、目論見どおりになったという感じであり、非常に達成感もあります。

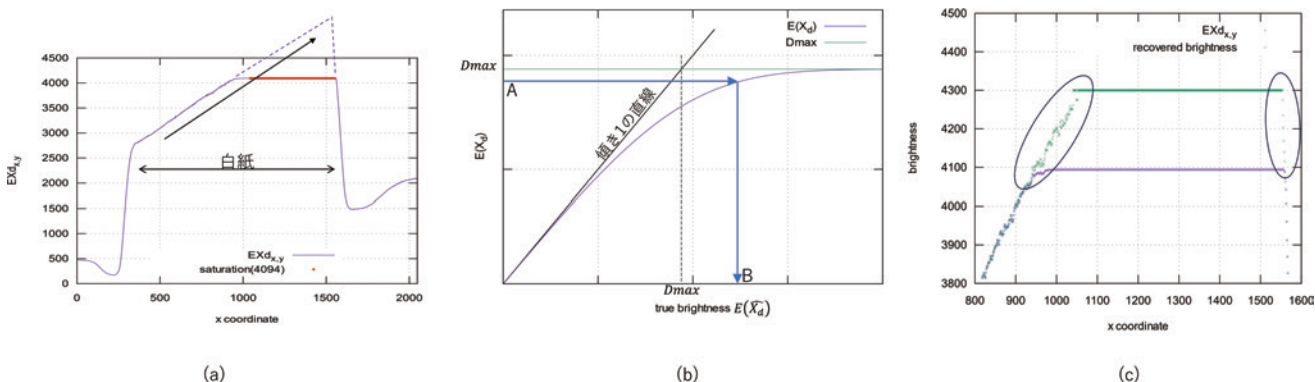


図4 撮影画像の平均画素値と復元結果



## 大学に研究の場を築き、幅広い分野の研究に挑むとともに、日本からのIEEEフェロー増加に貢献する

今後、どのような研究活動に注力されるのでしょうか。

大学に籍をおいて1年半になりますが、NTTの研究所では経験できなかったことが大きく2つあります。研究費の獲得と研究テーマの設定を含めた学生指導です。研究費は科学研究費（科研費）やそれ以外の競争的研究資金のことで、自身で申請するだけでなく、学外の知人と連携して応募したりしていますが、難易度が高くなかなか獲得できず、2023年にやっと1件獲得できた状況です。学生については、2022年度は2名だったのが現在では16名になり、研究指導のウエイトがかなり大きくなってきました。

一方、研究そのものについては、NTTでは研究所や研究プロジェクトの枠の中でテーマを掘り下げることを行っていました。大学ではテーマ分野の枠がなく自由にテーマを設定することができます。とはいえ資金は少ないので、これまでから継続してきた研究に加えて、誰もやっていないことを、できるだけお金をかけずに実験して（机上の理論研究や思考実験）、知見を得ていくことを、幅広い分野にわたって手掛けていきたいと思えます。学生はNTT研究所員のようなプロの研究者ではない、いわば研究者の卵なのですが、その数も増えてきており、研究の幅を広げていく良い環境ができつつあり、また企業との共同研究も増やしていきたいと思えます。

さて、最近IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers）のFellow Committee（世界のIEEEフェローから選ばれた委員50名で、翌年1月1日付で新IEEEフェローとなる人たちの最終書類選考をする会合）に出席し、委員も申請者も業績が燦然と輝くような方々ばかりで、日頃なかなかこういった場に身を置く機会がなかったので、大変刺激を受けました。IEEEのフェローはかなり権威のあるものなのですが、最近日本から選考されるフェローがかなり減ってきていることに気がきました。縁あって現在この立場にいることもあり、日本からのフェロー輩出を増やしていくことに微力ながらも貢献していきたいと思っています。



## とりあえずやってみて、寝かせて、視点を変えて考えることを「非安住」の場で実践

研究者として心掛けていることを教えてください

研究者として、「疑う」「非安住」「断らない」「寝かせる」という4つのキーワードを基本姿勢としています。

「疑う」については、多くの研究者が心掛けているのですが、得られた結果や現象を表面的な部分のみで受け入れずに疑問を呈することで、その結果の真偽や、さらなる結果、新たな発見につながる可能性があります。まさに追究の姿勢です。

「非安住」については、私の結婚披露宴で父による挨拶の言葉、「息子は今までが出来過ぎでした（物事がうまく行き過ぎた）」に起源があります。私はこれを、いつ失敗するか、体を壊すか、足をすくわれるか分からないから気を付けなければいけない、と受け止めました。例えば、何か賞をいただいたとしても、それに安住しているとそこで止まってしまう。受賞した次の瞬間にそれは過去のものとなるのです。すでに次のことが始まっているのです。また決められた路線を歩む（安住）とその先の景色しか見えませんが、少し脇にそれることで別の景色が見えてくるのです。

「断らない」については前回もお話しましたが、頼まれたら断らずに、Give and Give（見返りを期待しない）で対応するという事です。いつの間にか多くの皆様に助けていただけるようになるばかりではなく、大切な人脈ができます。また、頼まれる側の気持ちが分かるようになるので、頼む側の立場になったときに相手のことを考えながら依頼することができます。学会等の委員・役員や議長、セミナーオーガナイザ等現在でもいくつか引き受けているのですが、これらを通して「地位が人をつくる」ということを実感してきました。いろいろと引き受けることで成長につながるのではないのでしょうか。

「寝かせる」については、2つの例があります。電子情報通信学会創立100周年記念懸賞論文に応募する際、まずいろいろと情報収集し、書きたくなくても書かずに情報収集を続け、じっくり寝かせて（そのまま放置して時間をかけて）から執筆したところ、最優秀賞を受賞しました。また、均等色空間の研究において、いろいろ方法を考えては失敗を繰り返していたのですが、休日に海岸でゆったりとした時間を過ごしていたときに、構造解析で使われる手法を応用することがふとひらめき、それを実行することで出口につながり課題が解決し、それが丹羽高柳賞論文賞受賞につながりました。どちらもいったん距離を置くことで、異なる視点から研究を眺めることができた結果だと思えます。

後進の研究者へのメッセージをお願いします。

段取りをがちがちに固めて進むタイプの人と、ゆるく考えて進むタイプの人がいると思いますが、両方のタイプの人がいる良いと思います。私はどちらかというと後者のタイプでしたが、それでもなんとか研究を進めることができました。言い換えると、研究は予期せぬ結果による方向修正がつきものなので、フレキシブルにトライ・アンド・エラーを繰り返したほうが、良いことが多かった気がします。前述の「寝かせる」と矛盾しているようですが、とりあえずやってみて、寝かせて、視点を変えて考えるということを行っており、こうした「やってみる」が必要な場面があります。若いうちは自由になる時間が比較的多く、積み上げてきた実績が少ないので逆に守りに入る必要もない、という2つのメリットがあります。このメリットが発想を自由にするにつながると思います。だからこそ、ゆるく考えてトライしていくことが良いのではないのでしょうか。



NTT東日本  
技術協力センタ 担当部長

折口 壮志 Takeshi Origuchi

## 技術のプロ集団として、 現場の特異故障の解決に挑む

日本全国津々浦々にさまざまな通信設備を保有するNTTグループ。こうした通信設備やネットワークには故障等に対するサービスのレジリエンスの対策が堅牢に施されています。しかし、全国各地の環境等の現場固有の状況、接続される端末や設置環境等の固有の事情に起因する特異故障が局所的に発生することがあります。こうした特異故障に対して専門的な技術をベースに原因究明から対策実施、ノウハウの蓄積を行っているのがNTT東日本 技術協力センタです。技術協力センタにおいて主に材料技術の分野で特異故障の解決に挑む、折口壮志氏に主な事例、技術のプロ集団としての心構え、環境への取り組みに関する思いを伺いました。



### 特異故障対応で得た知見は技術協力センタの財産。ノウハウを保守業務効率化に活かす

現在、手掛けている技術の概要をお聞かせいただけますか。

NTT東日本 技術協力センタでは、主としてNTT東日本・西日本、NTTコミュニケーションズの現場を対象に、専門的な技術を基に、解決困難な特異故障の原因究明や対策技術の確立、技術普及と展開、ノウハウや技術を活かしたコンサルティング、切り分けツールや対策品開発などの技術開発、提案品、市販品の目利きなどの技術評価といった「技術協力」を行っています。

技術協力センタは、1963年に電電公社電気通信研究所技術協力部として発足し、以来会社・組織形態やロケーション等の変遷が行われる中で、一貫して名実ともに技術協力を実施しており、現在は技術専門ごとに、材料技術、アクセス技術、ネットインタフェース技術、EMC (Electromagnetic Compatibility) 技術の4つのグループで技術協力を行っています。

その中で私は、材料技術担当に所属しています。材料技術担当では、電柱やお客さま宅の引き込み線、マンホール、ケーブル等の所外設備を中心に、紫外線、塩害、硫害、高湿度等による材料劣化の原因究明と対策検討をするという現場の技術協力を行っています。さらに、技術協力を通して現場の声を反映できるように、技術開発も行っています。NTT東日本だけで500万本以上ある電

柱を長持ちさせたり、適正更改する「持続可能な電柱運用」、中継伝送や基地局等の「鉄塔運用の効率化」「環境に配慮した防食塗装」を主な開発テーマとして取り組んでいます。

まずは技術協力の事例を紹介します。

電柱はコンクリート製のものや鋼管製のものがありますが、鋼管製の電柱（鋼管柱）の片側だけ茶色く錆びるという現象がありました。実際に現場に行くと横に並んでいる鋼管柱のほとんどすべてが風上側だけ錆びています。鋼管柱表面の付着物を採取し、化学分析を実施したところ、周辺の畑の土壌であることが分かり、塩化物イオンや硝酸イオンなどの金属腐食を促進させる物質が検出されました。風上側が錆びているので、気象データ等と照らし合わせて確認すると、風によって土や砂の粒子が当たり表面が摩耗・損傷される「サンドエロージョン現象」により、鋼管柱のメッキが消失し、土に含まれる塩化物イオン、硫酸イオンや硝酸イオン等の影響で錆びていたことが分かりました（図1）。安全性にかかわる強度低下でないため、計画的な更改を提案しました<sup>(1)</sup>。

また、温泉地域でONU (Optical Network Unit) の故障が発生し、技術協力の依頼がありました。現場調査で周辺の大気から硫化水素が検出されるとともに、装置を開けてみると回路の貫通ビアと呼ばれる部分の銅が腐食していて短絡していました。腐食部分を元素分析したところ、硫化銅であったため腐食の原因は温泉からの硫化水素であることを特定しました。対策として、露出部分すべてをコーティングできるわけではないので、ONUの放熱対策を施した硫化水素吸着剤入りのアクリルボックスに



ONUを入れることで対応しました<sup>(2)</sup>。

鉄塔では、塗装改修後の早期に劣化が発見され、技術協力の依頼がありました。現地で鉄塔に登ってみると、実際にはがれた部分や周辺には塩分などの腐食を促進する物質は微量でした。破片の断面を顕微鏡で観察したところ、幾層もの塗膜があることが分かり、塗装改修時に塗料を重ね塗りしており、その結果付着力がなくなっていることが分かりました。付着力のなくなった塗膜は剥いで塗り直すよう提案しました。

このように技術協力を通して得られた知見を技術協力センタは蓄積しており、これらは通信設備保守の効率化に活用されています。例えば、NTT東日本で導入しているスマートメンテナンスでは、カメラに映らない電柱の裏側の状況を、私たちのノウハウをベースにカメラに映った画像の異常から推測し、アクションを促すところで活用されています。

次に、材料技術担当の技術開発事例として塩害マップを紹介します<sup>(3)</sup>。塩害マップは、NTT環境エネルギー研究所（当時）からNTT東日本へ成果提供されたもので、全国21カ所で実施した暴露実験結果から数理モデルを用いて腐食速度を算出したものです。気象技術の発達により日本全域の気象データが1 km メッシュで入手できるようになったことから、気象データを用いて再計算することにより、塩害マップの高精細化を達成しています。この「塩害マップ」により、強塩害エリアの的確な判定による適正な対策が可能となります（図2）。現在は、鉄塔などの背の高い構造物への適用を考慮し、鉄塔にセンサを設置させてもらい、腐食速度や気象情報を測定しています。

「環境に配慮した防食塗装」とはどのようなものでしょうか。

鋼管柱は、そのものにメッキ等の防食加工がなされているのですが、地面に掘った穴に鋼管柱下部を入れることで建柱するため、地中の水分、イオン等や、犬のマーキング等により腐食の可能性が高くなります。そこで、地上50 cmくらいの高さまで一般的にはグレーの防食塗装が施されています（図3）。この防食塗装は、

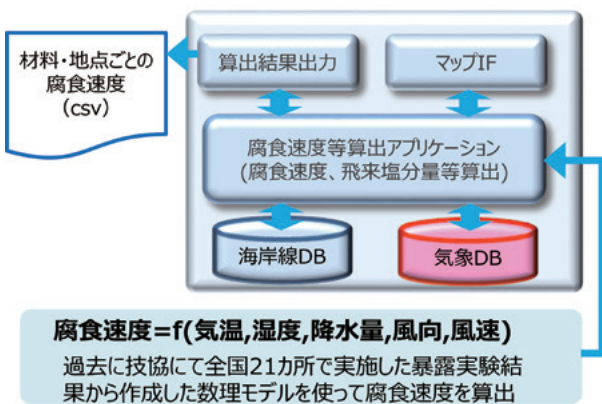
石油由来のPET樹脂を原料とした粉体塗装が施されています。

私は以前NTT環境エネルギー研究所に在籍しており、環境問題や環境経営をテーマに研究開発をしていたこともあり、このPET樹脂に再生PETを利用してSDGsに貢献できないかと考え、検討を始めました。ペットボトルを再生した再生PETは、不純物が混入していたり分子構造が変わったりしているため、通常のPET樹脂の塗料のように綺麗に塗装するのが困難でした。さらに、NTTで調達する鋼管柱は、その品質確保のために物品規格書で定められている耐久性試験を実施し合格する必要があるのですが、合格のために再生PETの混合率をどこまで上げることができるのかについて、鋼管柱を模擬した鋼板に塗装を施す試行錯誤を繰り返し、当初は20%という結果を得ることができました。

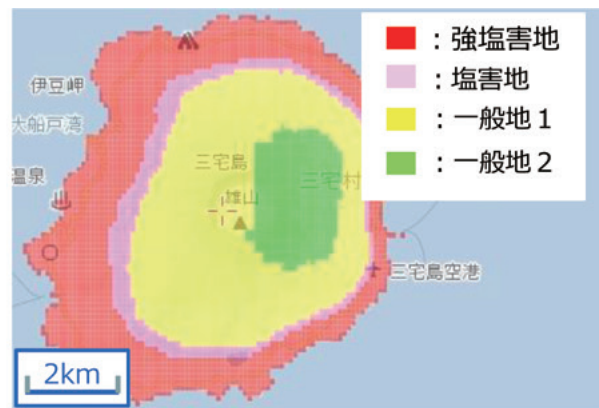
最近では、再生PET100%でも大丈夫だという目処がついてき



図1 サンドエロージョン現象による鋼管柱の腐食



塩害マップの構成イメージ



表示イメージ

図2 塩害マップ

たのですが、再生PETの価格やビジネススキーム等の課題がまだ残っています。こうした課題を解決しながら、実用化をめざしています。そして、NTT東日本のオフィスから出てきたペットボトルを回収して、再生PET化して粉体塗料にすることで鋼管柱を守る、という循環をつくることができれば、私たちのエコ活動により鋼管柱を守るというエコシステムが構築され、社員の環境に関する意識向上にもつながっていくのではと期待しています。

## 「技術は正直」の姿勢で得る信頼

技術者としてスキルの維持、スキルアップはどのようにしていますか。

私は、学生時代は理論物理学、物性化学を専攻し、NTTに入社後は研究所で環境材料や廃棄物・リサイクル、ICT 環境影響評価手法等の環境経営に関する研究開発に携わっていました。NTT西日本で環境経営の実務経験もあります。これらの材料技術や環境に関するスキルを基に、現場における測定や解析等の結果を職場で議論することも多く、これについても研究開発におけるプロセスと考え方は似ています。ただ、対象となる設備は広範に及ぶので、それぞれの技術については事例のレビュー、論文等の文献によるフォローや最新の分析技術の情報収集において知見の確保を図っています。

技術協力センタに新規に着任した社員も同様で、スキルから得られた知見が技術協力センタの財産でもあるので、このスキル向上と継承を目的に、技術協力センタ内にタスク横断的な「技術継承ワーキング」のリーダもさせていただいています。そして、「技術継承ワーキング」主催で技術講座を毎年開催し、基礎編、応用編を座学で、その後各実験室等で実習編を実施し、社員のスキルアップを図っています。

さらに、技術継承という意味では得られた知見を蓄積することも重要です。技術協力センタでは、すべての技術協力を回答票として記録に残すとともに、その一部をNTT技術ジャーナル『テクニカルソリューション』等への投稿や、『通信設備のトラブルQ&A』というタイトルの書籍の執筆も実施しています。

開発において大切にしていることは何でしょうか。

「NTTグループ内外から頼りにされる材料技術担当」をめざすべき方向性として、化学分析、強度解析、観察、耐食性評価等の材料分野の知見・ノウハウをベースに、「積み上げたノウハウを発揮した地域課題の解決」「将来を見据えた新技術へのプロアクティブな取り組み」「保守現場の変革に合わせた新たな技術協力スタイルの確立」をチームの行動指針として取り組んでいます(図4)。これを現実のものとするためには、「技術者として、事実を見つけ、事実を基に原因を究明して、対策を考える」ということが一番重要な姿勢なのではないかと思っています。技術は正直であり、事実を冷静にとらえて考えていく、人に話をするときも技術に基づく事実をベースに話すことでお客さまや現場から理解・



図3 粉体塗装

信頼を得ることにつながると思います。

それから、「どうしたらできるか、どうしたら分かるか」という思考をするようにしており、メンバーとも共有しています。現場でのトラブルの際に、現地へ駆けつけて調査や測定等によりデータを取得して解析するのですが、何度も現場に赴くわけにはいきません。自分たちの技術に対する信用問題にもなります。離島の鉄塔に登って調査することもよくあります。交通機関も限られており、天候による欠航や遅れも発生します。まさに現場に何度も赴くことはできません。こういった厳しい環境において、事前に仮説を立ててその立証をするために必要な調査を考え、もし、スキルがなければ技術協力センタの空きスペースで練習やリハーサルをする等、万全の準備をして臨みます。これこそ、「どうしたらできるか、どうしたら分かるか」という意識なしにはやれることではなく、私たちはプロとしての矜持をもって実践しています。

## 「知行合一」で失敗を恐れずにポジティブに行動

将来的に何をめざして開発を続けたいのでしょうか。

やはりこの材料技術に携わることを、グループ会社の中では現場も限られてはいますが、続けていきたい、可能であれば現場に

## ＜担当のめざすべき方向性＞

# NTTグループ内外から頼りにされる材料技術担当

積み上げた  
ノウハウ・  
技術力を  
発揮した  
地域課題  
の解決

将来を  
見据えた  
新技術への  
プロアクティブ  
な取組み

保守現場の  
変革に  
合わせた  
新たな  
技術協力  
スタイルの確立

【材料分野の知見・ノウハウ】

化学分析，強度解析，観察，耐食性評価等

図4 めざすべき方向性

近いところでできれば面白いと考えています。

それから、もう1つの私の専門分野である環境経営の分野にも携わりたいと思っています。再生PETによる粉体塗料の開発は、まさしく材料技術と環境経営の融合したテーマとして立ち上げました。私は以前、ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector) において原料採掘から廃棄までのCO<sub>2</sub>排出量等に関する通信サービスのライフサイクルアセスメント等の環境技術を検討するSG (Study Group) 5のWG (Working Group) 3の副議長をさせていただいたこともあり、環境に関してはハード、ソフト両面から取り組んでいく必要があると考えています。だからこそ、オフィスで回収したペットボトルを利用した再生PET樹脂を原料とした粉体塗料に、開発から実用化、そして現場にそれを展開していくエコシステムを回していくことは、まさにハード、ソフト両面から環境に取り組んでいくことではないかと考えています。

後輩やパートナー、NTTグループへのメッセージをお願いします。

「技術は正直である」、技術は裏切らないので、自信を持って技術にのめり込んでほしいと思います。

中国の言葉で「知行合一」というのがあります。これは「何かを得るには知識だけではなく行動も必要である」という意味を持つ言葉です。逆にいうと、「知って行わないのは、まだ知らないことと同じである」ということになります。さらに「自身で考える」ことも必要だと思います。インターネット等で膨大な情報が溢れているこの現代で、「自ら知って、自らが考え、そして自ら行動

する」サイクルを回すことは難しいかもしれませんが、このサイクルを実践して技術にのめり込んでほしいと思います。そして、行動することにより失敗することもあると思いますが、失敗を恐れずに行動してほしいです。失敗あって成功があります。もし、失敗しても、何故失敗したか、失敗しないようにするためにはどうすればいいのかと、考えるきっかけをもらえたと同向きに考えて、先ほどのサイクルを回しながら、次に進んでほしいと思います。

また、独りで思い込まないで、独りで考えないで、皆で議論していきましょう。NTTグループという大きな仲間がいます。

NTTグループの皆さん、私たちは今、現場の技術協力をしているのですが、ひいてはそれがお客さまにつながると考えており、NTT東日本のミッションでもある「地域の課題解決と価値創造」に対して、私たちは技術の力で貢献していきますので、お困りの際には、ぜひ私たちに声をかけていただきたいと思います。

### ■参考文献

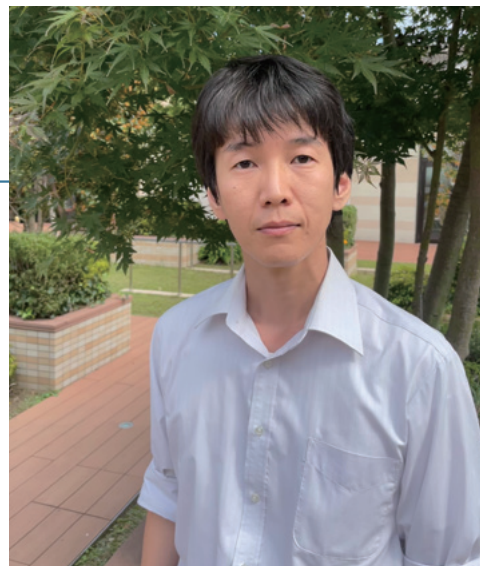
- (1) テクニカルソリューション：“最新の故障事例の紹介——設備の材料劣化に関するトラブル,” NTT技術ジャーナル, Vol.33, No. 4, pp.114-117, 2021.
- (2) 技術基礎講座：“通信設備・装置の障害による劣化状況と対策,” Raisers, Vol.11, pp.7-9, 2020.
- (3) 技術基礎講座：“塩害マップの紹介,” Raisers, Vol.9, pp.20-22, 2018.



NTT先端集積デバイス研究所  
 NTTデバイスイノベーションセンタ  
 NTT物性科学基礎研究所ナノフォトニクスセンタ  
 特別研究員

**開 達 郎** Tatsuro Hiraki

## 光電融合技術の未来を加速させる「異種材料融合と集積技術を用いた高性能光デバイス」



データセンタトラフィックの増大やトランジスタの微細化によるLSI ( Large Scale Integration : 大規模集積回路) の高性能化に伴い、電気配線の伝送容量がシステムの処理性能上ボトルネックとなることが問題視されている。この課題解決に向けて強く求められているのが、容易に大容量化が可能な光伝送を電子回路に近い配線へ適用するための「光電融合技術」です。光電融合の未来に向けて「異種材料融合と集積技術を用いた高性能光デバイス」の研究開発に取り組む、開達郎特別研究員にお話を伺い、新たな未来を切り拓くトップランナーの取り組みを紹介します。

◆PROFILE: 2011年東北大学大学院修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社入社。NTT先端集積デバイス研究所、NTTデバイスイノベーションセンタ、NTT物性科学基礎研究所ナノフォトニクスセンタに所属。2017年東北大学大学院博士課程修了。2022年よりNTT先端集積デバイス研究所特別研究員。シリコン、化合物半導体、非晶質材料光導波路を用いた光集積回路技術およびそれらを応用した通信用光デバイスに関する研究開発に従事。

### 材料の「良いとこ取り」で高性能な光デバイスを実現

■「異種材料融合と集積技術を用いた高性能光デバイス」とはどのような研究でしょうか。

「異種材料融合と集積技術を用いた高性能光デバイス」では、従来1つの材料系で作製されていた光デバイスを異なる2つ以上

の材料を適材適所に組み合わせることで、高い性能を引き出す研究開発をしています。この研究の背景として、データセンタトラフィックの急激な増大やLSIの性能向上が進んでいることがあげられます。これらにより電気配線の伝送容量がシステムの処理性能上ボトルネックとなるため、データセンタや計算機などにおいては光配線の大容量化と省電力化の重要性が年々高まっています(図1)。

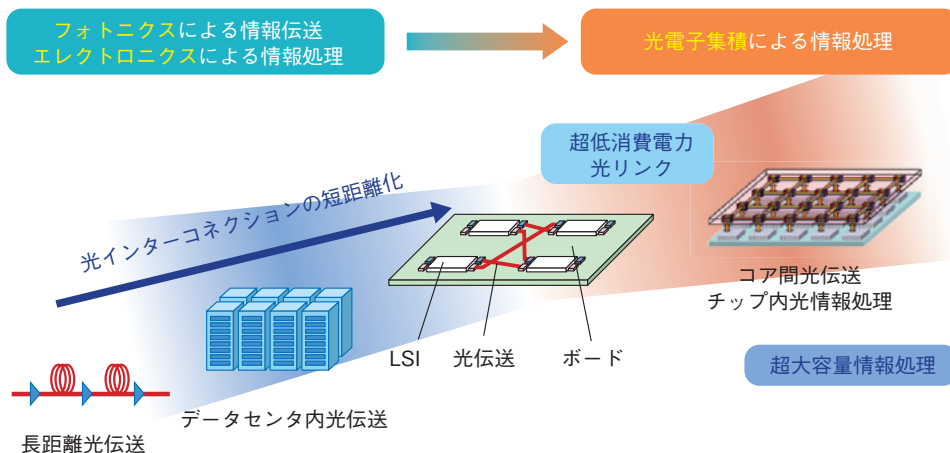


図1 光電融合技術の適用領域の変遷

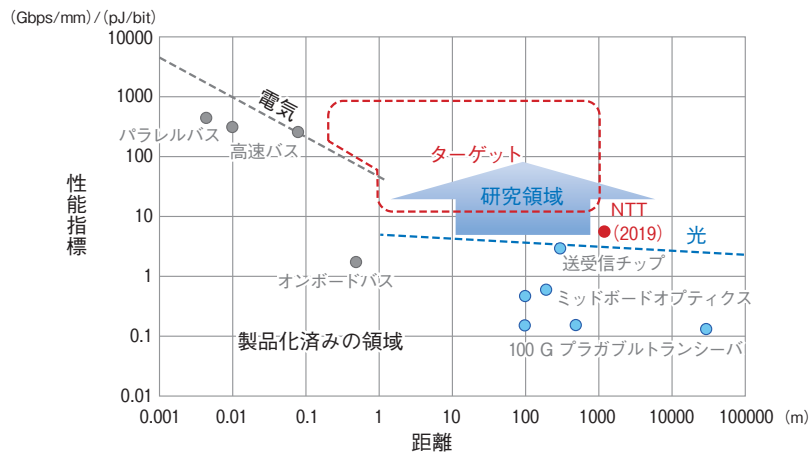


図2 インターコネクトの製品・研究開発動向

私は入社直後にシリコンを用いた光通信デバイスの研究開発に取り組んでいましたが、そこで嫌というほど直面したのがシリコンの材料物性に起因する本質的な性能限界でした。何を研究すべきか日々悩みながら入社して数年経ったころ、研究所の組織再編で化合物半導体レーザーのシリコン基板上集積に取り組む部署と一緒にグループになりました。最初は研究テーマの変更に戸惑いましたが、「せっかくな一緒にグループになったのだから」と、それまであまり詳しくなかった化合物半導体技術のことを積極的に勉強しました。すると、私が今までシリコンの材料限界で無理だとあきらめていたことの多くは、化合物半導体材料を用いることで解決できるのではないかと考えられるようになりました。またこのとき、シリコンも化合物半導体もどちらも一長一短あるということに注目し、「両者の材料の良い部分だけを組み合わせた光デバイス構造を考えられればレーザーに限らず、従来よりも優れたさまざまな光デバイスを作製できるのではないか」と思うようになりました。そこで着手した研究が、2つ以上の材料を組み合わせることで光デバイスの高性能化をめざすという現在の研究テーマです。

#### ■従来の単一材料を用いた光デバイスの課題を教えてください。

従来の光デバイスは、シリコン・化合物半導体材料・非晶質材料などを用いて、それぞれ個別に作製されてきました。各材料にはそれぞれメリットとデメリットがあり、例えばレーザーの作製によく用いられる化合物半導体（InP系材料）のメリットに優れた発光効率があります。さらにn型（負の電荷）とp型（正の電荷）領域を有するダイオード構造上のメリットとして、n型領域における低い電気抵抗・低い光損失・高い位相変調効率があげられます。しかしその反面デメリットとして、p型領域においては光損失が非常に大きいという問題を抱えています。そのためp型半導

体がレーザーや光変調器などの構造・性能を制限する要因となってしまうという課題がありました。一方で電子回路の作製に広く用いられるシリコンは、p型領域の光損失がInP系材料よりも小さく、非常に安価で量産性に優れる点がメリットです。しかし発光効率は極めて低く、またn型領域における電気抵抗・光損失・位相変調効率のいずれもInP系材料より劣っているため、このような材料上の弱点により光デバイスとしての性能や応用先が制限されます。そのほかにも光デバイスを構成する材料は多数存在するのですが、すべての要求を単独で満たす材料系を見つけることは非常に困難で、各材料の物性により支配された性能限界の大きな壁がありました。

また各材料にはそれぞれ得意・不得意な点があるため、現在一般的に光デバイスは各光部品を最適な材料で作製した後、それぞれを実装して1つのモジュールを作製します。しかしこのような工程では各部品のサイズや実装精度により集積密度が制限されます。そのため、電子回路に近い位置に光送受信器を高密度集積することをめざす「光電融合」を従来の集積手法を用いて実現することは非常に難しくなります（図2）。

これらの課題から、私の研究では主に化合物半導体とシリコンの異種材料集積に取り組み、両者の強みを組み合わせることで、光変調器や半導体レーザーなどの高性能と高集積化の両立に取り組んでいます。

#### ■これまでのご研究の成果を教えてください。

例えば従来シリコンフォトニクス技術で作製されてきたシリコンマッハツェンダ変調器は、変調効率と光損失のトレードオフによる性能限界がありました。そこで私の研究では、低損失なp型シリコンと高効率なn型InP系材料を組み合わせることで従来の

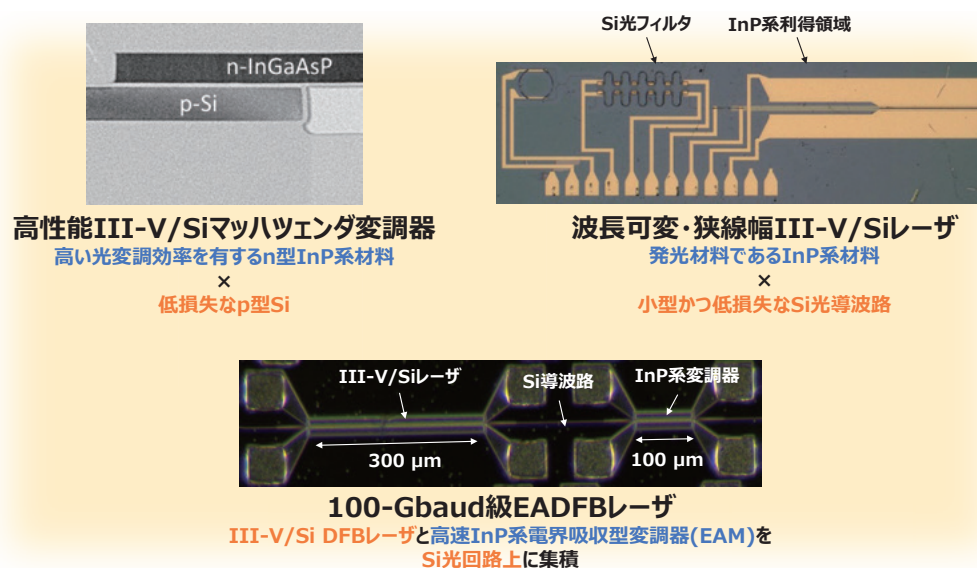


図3 これまでの研究成果

性能限界を打破し、従来よりも低い光損失で約4倍以上の変調効率 (0.09 Vcm) を達成しました。また薄膜のInP系レーザ構造と小型かつ低損失なSi光導波路を組み合わせたレーザを作製することで、p型InP系材料による光損失を低減し、小型波長可変レーザを実現しました。近年ではこのような低損失Si導波路上薄膜レーザ構造と一緒に集積できる電界吸収型光変調器 (EAM) を開発することで、これまでシリコン光回路上では実現が難しかった1.3 μm帯EAMと光源の集積に成功し、100 Gbit/s高速変調動作を実証しました (図3)。これらの研究成果は、シリコンと化合物半導体材料それぞれの長所を組み合わせることで従来以上の性能を引き出すとともに、小型Si光回路を用いた高密度集積に成功した例といえます。

またこれらのレーザや光変調器と一緒に高性能な波長フィルタなどを集積するため、従来のシリコンを用いた光導波路よりも1桁程度小さな光伝搬損失を有する、シリコンナイトライド (SiN) 導波路の作製技術にも取り組んでいます。この作製技術により、化合物半導体に熱ダメージを与えない低温プロセスで低損失な導波路を作製することが可能になります。

■ご研究で苦労しているのはどのような点でしょうか。

ここまで私の研究を見て、中には「違う長所を持った材料を組み合わせれば性能が向上するのは当たり前だ」と思われる方がいらっしゃるかもしれませんが、確かに材料を組み合わせることで性能を引き出すことができれば良いのですが、実際にその試みは失敗に終わることも多いです。本当の難しさは実際に各々の材料物

性の良さを失わずに集積していく「作製技術」にあります。例えばシリコンと化合物半導体の2つの材料でも微細加工に要求される技術は異なり、いかに両者の材料物性に影響を与えずにモノづくりしていくかということが大きな研究課題になります。たとえ計算上で材料を組み合わせると性能が引き出せると分かっていたとしても、作製段階で課題に直面することが多く、特に新しい材料や構造に取り組む場合、最初は失敗ばかりです。この作製技術の研究は日々トライアンドエラーの繰り返しで、その研究時間の大半は表に出ず論文などでもあまり語られる部分ではありません。中には論文発表に至るまで何年もかかるものもあり、ある意味でメンタルスポーツのような研究だと思っています。

研究途中で気持ちが折れてしまわないように自分の研究を信じられる心が必要で、途中で方向性を修正しなければならぬ研究が存在することも事実です。実際に作製に取り組んで初めて見えてくる致命的な課題も多く存在しますので、「今の方針でこれ以上やってもダメだ」というジャッジは都度冷静に行う必要があります。1つのものごとに固執せずに引き際は大切です。そしてこのような失敗の過程の中で重要なことは、失敗の原因をしっかり突き止めて、次の研究につながる有意義な失敗の割合を増やしていくことだと思っています。その有意義な失敗を増やしていくことこそが、研究成果を残せるかの大きな分かれ道になると考えています。

## 光電融合の中核技術をめざし、過去に固執せず 今後も新たな研究へ

### ■今後の研究ビジョンについて教えてください。

私の研究はIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想において、オールフォトニクス・ネットワーク (APN) に向けた「光電融合技術」を支える研究です。「光電融合技術」では、従来の長距離光ファイバ通信網だけではなく、電子部品が実装されるボード上のような非常に短い伝送領域にも光配線を導入することをめざしています。このような短距離の光配線を形成するためには、光送受信器の小型化・低消費電力化・低コスト化が必須です。現在私が研究している異種材料集積デバイスは、従来よりも小型化・低消費電力化が容易な高性能レーザ・変調器を量産性に優れたシリコンフォトニクス回路上に集積できるメリットを有するため、光電融合の中核技術となると考えています。

当面はIOWN構想に向けた光変調器とレーザの集積技術を中心に取り組んでいきます。具体的には、チップ辺1mm当り1Tbit/s以上の伝送容量をめざし、2028年までにはこのような性能指標を超える光デバイス技術を確立できるように研究に取り組みます。さらに、比較的長い伝送距離のデータセンタネットワークまで視野に入れると今後の高ボーレート (Baud Rate: 1秒間当りの変調回数) 化に対応していくため、光変調器集積光源は100Gbaudを超える変調速度をめざして研究を進めていきます。高速化を進めていくことは、テラヘルツ波などの新たな応用分野への展開にとっても重要です。

私はこれまでの経験や反省を踏まえて、あまり1つの技術にこだわりすぎないように意識しています。これからの社会で求められる技術をタイムリーに、そしてコンスタントに生み出し続けるためにも過去の経験や技術だけに縛られることなく、誤解を恐れずいえば「使えるものは何でも使う」という精神を大切に、今後も新たな研究に取り組んでいきます。

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

私はNTTで、物性科学基礎研究所ナノフォトニクスセンタ・先端集積デバイス研究所・デバイスイノベーションセンタの3つの研究所に所属しています。物性科学基礎研究所は基礎的な研究に取り組み、理論研究からデバイス作製技術まで非常に広い分野に取り組む研究所で、研究者個々人が学術的に新しいことに挑戦しているという印象です。先端集積デバイス研究所では学術的な新規性だけではなく、将来の実用化を見据え社会のニーズを意識した研究に取り組んでいます。研究グループ全体で組織のミッションとなるテーマを着実に進めつつ、研究者個々人はオリジナリティ

のあるアプローチにも取り組んでいます。デバイスイノベーションセンタは、私が所属している組織の中でもっとも実用化に近い組織です。実際にデバイスを生産するグループ会社や他社と協力しながらデバイスの商用化に取り組んでいます。

このように私自身は幅広いフェーズの研究開発に携わっており、通信インフラから基礎研究まで幅広い技術領域を一気通貫で取り組める環境は、NTT研究所の大きな強みであると思います。また自分自身が研究者として成長するうえでも非常に有益な環境が整っていて、入社するまで光通信や光デバイスのことはほとんど何も知らなかった私が1から学ぶことができたのは、社内に多く在籍する一流の専門家の方々からのサポートのおかげだと思います。また他分野の研究者との議論で改めて自分の技術の良さと欠点に気付くことは非常に多いため、常に新しい思考を手に入れられることは大きな強みです。

新たなチャレンジをするときには、自分に足りない技術を持っている専門家に協力してもらえらるチャンスに恵まれているので、スピーディにインパクトのある研究成果を出したり、新しい技術を立ち上げてパラダイムシフトを起こしたりするチャンスがたくさんあります。これを読んでいる方の中には、今現在の専門分野がNTT研究所のテーマと異なる方は多くいらっしゃると思いますが、他分野からの見識が従来の研究を大きく変える可能性を持っていることもあります。もし分野を変えて新しい研究に取り組む機会を求めている方がいらっしゃれば、光通信の新しい未来と一緒に加速させていきましょう。



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)



## 株式会社ネクストフィールド

<https://nxtfield.co.jp/>



### 建設業界に対してインサイドとアウトサイドの両方の視点からアプローチできる唯一無二の会社

ネクストフィールドは、少子高齢化に伴う就業者数の減少が進み、2024年4月の労働基準法改正の残業上限規制への対応が必須となる2024年問題という大きな課題を抱える建設業界のDX（デジタルトランスフォーメーション）を推進し、建設業界にイノベーションをもたらすために設立された会社です。「DXの力で建設業界すべての人たちに、最高の場を提供する」というビジョンを掲げ、建設業界にかかわるすべての人たちに利用されるサービスを提供することをめざし、建設業界全体の発展に貢献したいと語る渡邊文隆副社長に話を伺いました。



ネクストフィールド  
渡邊文隆副社長

#### 建設現場のDXトータルサポート企業として、建設会社にとってなくてはならない立ち位置をめざす

##### ■設立の背景と会社の概要について教えてください。

国内の生産労働人口減少は業界にかかわらず共通の課題で、建設業界も就業者数の減少が進んでいますが、それに加え、2024年4月には労働基準法改正により残業上限規制が施行される建設業界では、DX推進による建設現場の生産性向上により残業時間を抑制し、働き方改革をしなければという気運が高まっています。

一方で、建設現場のDXはまだ他の業界に比べて遅れていて、特に、建設市場の大半を占める中堅・中小の建設会社における建設現場のDXは依然として進んでおらず大きな課題となっています。

こうした中、建設DXの取り組みを加速させるために、自らが建設会社でありながら、建設業界に向けたDX事業に取り組み、建設現場の業務改善の実績を持つ飛鳥建設と、ICTをはじめとした最先端の技術・ノウハウを持ち業界DXを進めようとしているNTTグループ（NTT、NTT東日本）の3社出資による建設DX事業を行う会社として、2022年4月1日にネクストフィールドを設立しました。

ネクストフィールドは、新しい会社として建設DXにより建設業界を変革するために、社員1人ひとりがプロフェッショナルな意識をもって、前例のないものにチャレンジし自ら変革することができる企業をめざしています。また、建設業界に対して同業他社である飛鳥建設のノウハウによるインサイドからのアプローチと、建設業界ではないNTTグループによるアウトサイドからのアプローチにより建設業界を変革できる唯一無二の会社であることを強みに、建設業界に価値を提供していきたいと思っています。

##### ■具体的にどのような事業展開をしているのでしょうか。

建設会社のノウハウを活かし、「IT監督」というブランドでICT業務の現場監督を担う建設BPO事業と、NTTグループの技術を活かしたネットワークソリューションによる建設現場のインフラ構築を強みとして、建設現場に必要なダッシュボードサービス「e-Stand」を提供しています。

建設現場では1つの現場で複数の会社の作業員が動いているため、元請けであるゼネコンだけでなく協力会社も含めて取り組まなければならない点や、工期に応じて人の入れ替わりが発生する流動的な環境である点から、建設現場にICTツールやアプリを導入しても、なかなか定着しないという悩みをもたれている会社が多くいます。

そこにネクストフィールドの「IT監督」が操作説明やヘルプデスクなどの伴走型の現地サポートをすることで、ICTツール、アプリの活用・定着化を実現する支援をしています。ネクストフィールドのIT監督は、建設現場の仕事も熟知し、ICTのことも分かっているので、現場からは受け入れられやすく、まさにこの建設BPO事業がネクストフィールドの大きな強みになっています。

また建設現場は工事が始まってから終わるまでの一定期間しか存在しない一時的な場所であるため、通信インフラも脆弱なケースが多く、そもそもICTツールを使うための通信インフラが整っていないことが多いのですが、衛星通信や5GなどNTTグループの新たな通信技術を活かしたネクストフィールドのネットワークソリューションにより建設現場の通信インフラを整備することで、建設現場がDX推進するためのベースをつくっています。ネクストフィールドとしては今後、当たり前前に建設現場で通信インフラが整備され、ICTツールを活用できる世界になることをめざしています。



そして「e-Stand」は、建設業界で使われるさまざまなアプリケーションとAPI（Application Programming Interface）連携することで、気象情報、騒音・振動などのセンサ情報、現場のカメラ映像や就業者情報など、建設現場に必要な情報を一元的に可視化すること、SSO（Single Sign On）機能により、ダイレクトに各アプリケーションにアクセスできるようにするのが特徴の建設ダッシュボードサービスです。この「e-Stand」は、建設現場に導入されるさまざまなICTツールを誰でも便利に使えるために必要だというお客様の声を基に開発した新たな領域のサービスで、この建設ダッシュボードが、建設現場の仕事の入り口になり、全国の建設現場で利用されることをめざしています（図）。

これら事業を複合的に組み合わせることで、建設現場のDXトータルサポート企業として、建設会社にとってなくてはならない立ち位置になりたいと考えています。

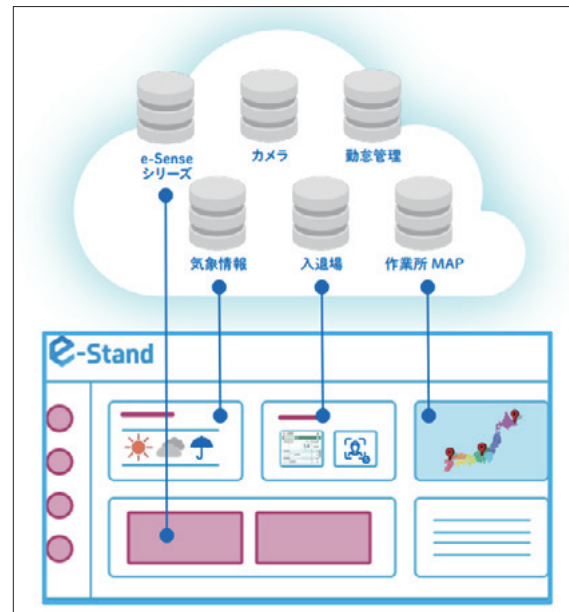
### 建設会社のDX推進だけではなく、文化や社員の意識改革につなげる変革のパートナー

#### ■事業を取り巻く環境はどのような状況でしょうか。

建設DXも各社からさまざまな業務領域でかなりの数のアプリケーションサービスが開発・提供されてきていて、大手建設会社を中心に導入している建設会社も増えてきていますが、まだまだ現場への浸透は遅れている状況です。また、地域の中小の建設会社は何から始めればいいのか分からず、依然として旧来の仕事の仕方から脱却できてない会社が多いのが現状です。

一方で建設市場は首都圏を中心とした都市開発や、リニア新幹線、大阪・関西万博、また大型の半導体工場の建設など、市場規模は維持されているため、労働力を補うためにも建設DXの取り組みによる生産性向上を進めなければならないと考えている会社は多いと思っています。

こうした環境の中で、ネクストフィールドは、「IT監督」、「ネットワークソリューション」、「e-Stand」を中心に建設DXを進めていきますが、それにとどまらず、コンサルティングや人材教育サービスを通じて、建設会社の文化や社員の意識改革につなげる取り組みも進め、真のDXを実現する変革のパートナーとして存在していきたいと考えています。またネクストフィールドがパートナーである建設会社どうしをつなぐことにより、建設業界における共創グループを形成し、その中心となり業界全体の変革につなげていくこともめざしています。



参考URL) <https://nxtfield.co.jp/service/dx/e-stand/>

図 建設ダッシュボードサービス「e-Stand」のサービスイメージ

#### ■今後の展望についてお聞かせください。

まずは、「e-Stand」を建設業界に普及させ、建設現場の仕事は「e-Stand」から始まるといった世界をつくるつもりです。そのためにお客さま1人ひとりの声を大切に、サービス開発を進め「e-Stand」を日々進化・改善させていきたいと思っています。

また「e-Stand」を中心に、業界共通で映像、音声、センサや各種アプリケーションから得られるデータ活用を進め、ゆくゆくは建設業界の購買活動や、受発注まで一気通貫で完結させられるプラットフォームにまで成長させ、建設業界を横串で変革する企業にしていきたいと考えています。

建設業界はゼネコンだけではなく、専門会社や一人親方、職人など、裾野が広い業界です。現在のB2Bビジネスにとどまらず、将来的には建設現場で働く1人ひとりにDXの世界を提供し、建設業界全体の発展に貢献したいと思っています。

## 建設ダッシュボードサービス「e-Stand」で 建設業界のDX推進に貢献する

サービス企画・開発部

小島 聡子 さん

### ■担当されている業務について教えてください。

サービス企画・開発部で、建設現場の業務効率化、および品質・安全管理業務の向上に向けた新たなDXサービスの企画・開発に取り組んでいます。現場課題のヒアリング、ソリューション相談などを基にサービスのコンセプト立案、具体的なサービス内容や価格の検討、技術検証、パートナー企業との協業折衝、運用フローの策定、さらなるサービス内容の改善など、サービスにかかわるすべてを一気通貫して行っています。

具体的には、「e-Stand」の操作コンソール画面であるUI（User Interface）開発、カメラやセンサ等のデバイス接続設計、アプリとして利用する他社システムとのAPI連携を行い、メーカーやレンタル会社との協業体制によりサービスとして提供することで、現場に必要な情報を可視化し、管理業務の効率化を実現しています。新たなDXサービスの企画・開発には、幅広いテクニカル知識（ネットワーク、クラウド、IoT等）が必要であり、前職までのSEやサービス開発に取り組んできた知識・経験を活かしています。

利用するICT ツール・アプリの全体統一が難しい建設現場において、お客さまであるゼネコンの各建設現場のニーズにきめ細かく対応していくことで、「e-Stand」を現場の状況に依存しない標準的なサービスにするため、サービス検討から開発、リリースまでのプロセスを短いサイクルで回しています。自身の所掌範囲が広く、責任が大きく、さまざまな現場課題やソリューションを並行して検討する中で各現場の差を吸収するために、試行錯誤を繰り返しながら進めています。自身が開発したサービスが現場でうまく活用されていることを通して、DXの成果、事業のインパクトを実感することができます。また、サービス企画・開発部に所属しながら、お客さまのご意見を直接伺うことができる環境であることも有意義です。

### ■今後の展望について教えてください。

2024年度の労働基準法改正に伴う残業上限規制の対策として、建設現場における施工管理のリモート化や効率化に向けたニーズは拡大しており、建設DXの推進は急務です。「e-Stand」はまさにこの課題解決に向けたサービスです。



「e-Stand」を多くのお客さまにご利用いただくためには、建設現場に導入されているさまざまなサービスやデバイスとつながって一元的に管理、運用、データ連携等ができることが必要と考えます。また、将来的にはそれらのデータを蓄積し、活用することで、工程の予測や品質管理、安全管理に役立てたいと考えます。

そのためにも、私は開発者ではありますが、机上の空論ではなく、建設現場に足を運び、お客さまの生の意見を収集しながら課題やニーズを抽出し、サービスへの展開に取り組んでいます。何十年も建設業界にいる方々とはベースの建設現場の知識が異なりますので、独学での知識研鑽も含めて、建設業のプロとして対等に話せるように努力し、信頼されるサービス開発をめざしています。

ネクストフィールドが提供するサービスの利用拡大により、建物や工事の品質を担保しながら現場の生産性や安全性を向上させ、労働環境の改善や人手不足の解消を実現したいと思います。

## 長いスパンでお客さまに選んでいただける 「IT監督」となることをめざす

経営企画部

田口 貴大 さん

### ■担当されている業務について教えてください。

経営企画部で建設BPO事業「IT監督」の推進に取り組んでいます。

「IT監督」は建設現場の知見とICTのノウハウを持つ人材が、お客さまのコンサルティングから建設現場への適切なソリューションのコーディネート、各ベンダへの対応、導入支援から運用保守までをトータルでサポートするものです。

私は建設会社時代の現場監督業務の経験を活かし、「IT監督」の業務内容・運用整理や社内展開業務などに加え、現場それぞれの工程・規模・工事内容に応じた着工前段階でのICTサービス導入支援や着工後の各ICTサービスの導入・定着をめざしたサポート業務も積極的に行っています。

現場着工後のサポート業務では単にサービス利用マニュアルを配布するだけでなく、各現場の利用方法や現場の一日の流れを踏まえた説明会を元請の建設会社社員や協力会社社員に対しても現場監督に代わって実施することで建設現場にかかわるすべての人々へのICTサービスの活用・定着を支援します。また、現場で利用しているさまざまなICTサービスの問合せ対応は、「IT監督」が一元的な問合せ窓口となることで、現場監督の問合せ対応業務の削減に貢献します。



建設会社では本社主導での全社的なサービス導入の決定後、全現場へ展開することがありますが、実際には本社の方針と現場の利用状況とが異なっていることが多く、利用方法についても現場独自の要望があります。また、日々入れ替わる協力会社の方にも元請会社の取り組みを理解して、利用していただく必要があります。

私が建設会社の本社・現場間や元請・協力会社間に入り、ICTサービスの活用や建設現場特有の課題にきめ細かく対応することで、元請のお客さまだけでなく協力会社の方々を含めた建設現場にかかわるさまざまな方から、感謝のお言葉やご意見をいただけ

ることに大変やりがいを感じています。

### ■今後の展望について教えてください。

「IT監督」は単にICTサービスの導入だけで終わるのではなく、導入後の伴走により得られた新たな気付きや課題を糧とし今後の新たなテクノロジーも積極的に吸収・活用しながら、お客さまのお役に立つための進化・深化が必要です。お客さまのDX推進に寄り添い、長期的なスパンでお客さまに選んでいただける存在になりたいです。

## ネクストフィールド ア・エ・フ・ィールド

### ■第3回建設DX展 東京に出展

2023年12月13～15日に東京ビッグサイトにて、「第3回建設DX展 東京」が開催されました。本展示会は建設業界の課題を解決する最新の製品が一堂に出展する、日本最大級の専門展示会です。

出展コンセプト「NTTグループとともに、建設現場にイノベーションを」のもと、NTTグループ5社（NTTコミュニケーションズ、NTTコムウェア、NTTソノリティ、NTT東日本、ネクストフィールド）合同で出展準備を行い、建設業界向けには初めてNTTグループとして出展を行いました。

ネクストフィールドは建設現場ソリューションとして、e-Stand、e-Sense IoT、点検アプリ、ネットワークソリューション等の展示を行い、社員はほぼ全員参加して、日替わりでお客さまの対応を行ったそうです（写真）。

今後もNTTグループ各社のソリューションとネクストフィールドのソリューションを連携・組み合わせ、建設業界向けソリューションとして展開していきたいそうで、ぜひ豊富な技術力を有するNTTグループ各社の皆様と協業したいとのことでした。



写真 出展の様子

# 地域の未来を支えるソーシャルイノベーション企業への転換に向けたNTT 東日本の新たな挑戦“地域循環型ミライ研究所”

NTT 東日本グループは「地域の未来を支えるソーシャルイノベーション企業」への転換をめざしています。地域の課題に向き合ってきたNTT 東日本がさらに地域活性化を加速させるため、2023年2月に新組織「地域循環型ミライ研究所」（ミライ研）を設置しました。ミライ研では、日本各地にあるさまざまな資産や資源、地域の魅力を活かして、ヒト・モノ・カネ・データが循環して新たな地域価値を創り出す地域循環型社会の構築に取り組んでいます。

## 地域循環型ミライ研究所設置の背景

NTT 東日本は1999年の設立以来、光ブロードバンドサービスの提供・拡大を通じて、地域が抱えている課題の解決に努めてきました。光ブロードバンドサービスの世帯カバー率が99%を超えた今、当社は、通信事業者という枠を超えた地域の未来を支えるソーシャルイノベーション企業への転換を図っています。

この5～6年は、通信領域を超えた地域活性化に向けたチャレンジとして、中小企業のデジタルトランスフォーメーション（DX）支援、再生可能エネルギーやドローン、農業、eスポーツによる学校教育等、さまざまな取り組みを進めています。しかし、地域に根付いた「文化」や「食」といった領域への取り組みはまだあまりありません。地域活性化をさらに加速させるため、各地域の

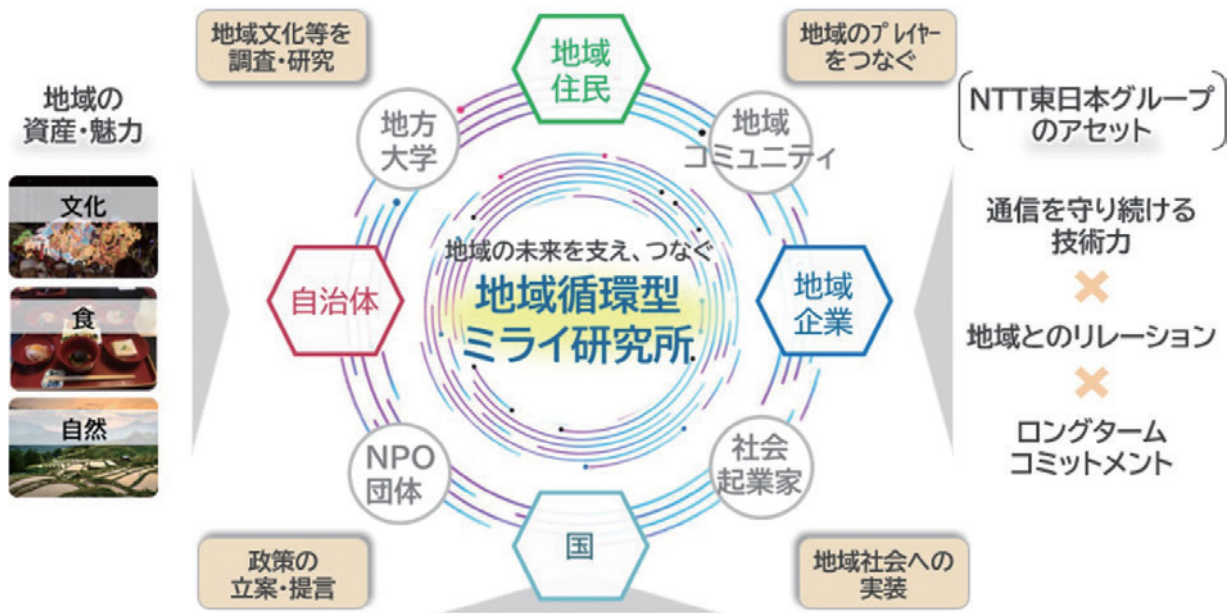
根底にある「文化」・「食」そして「自然」・「歴史」といった資産や魅力、またそれらに携わる「人」にも着目し、新たな人やお金の流れを生み出し、地域循環型社会の仕組みをつくっていくことに挑戦する考えです。

そこで、NTT 東日本は“地域の未来を支えるソーシャルイノベーション企業”をめざすべく、「地域循環型ミライ研究所」（ミライ研）を設置し、地域価値の創造や循環型社会の構築に取り組み始めました（図1）。

## 活動概要

ミライ研は、研究所という名前から察せられるとおり、シンクタンクです。地域の価値創造に特化した調査・研究を行うので、「地

### 地域の新たな価値創造をめざす“地域シンクタンク”として設立(2023年2月)



ヒト・モノ・カネ・データ等の地域内外循環を創出

図1 ミライ研の概要紹介

域シンクタンク」と呼んでいただくほうがよいかもしれません。現時点の主な活動内容としては、地域の資源・魅力を調査するとともに、さまざまな技術を持った人、地域で活躍されている人など、キーマンをネットワーキングして、情報発信を開始しているところ。いくつかの具体的な取り組みを以下に紹介します。

## 地域文化の保護継承・活性化

### ■お祭り文化の保護と継承

我が国ではまだあまり馴染みのない言葉だと思いますが、海外ではデジタル技術で文化・芸術作品の価値を高めるCulTech (Cultural Technology) という言葉が注目されています。日本でも、デジタル田園都市国家構想会議において、デジタル技術を活かして全国各地の埋もれた文化資源を掘り起こして地方創生につなげようという議論が展開されており、CulTechによる地域振興の取り組みが各地で芽生えつつあります。NTT東日本グループの取り組みでも、NTT ArtTechnologyによる葛飾北斎の八方睨み鳳凰図の高精細デジタルリマスター版の制作・展示等、デジタル技術を活用して地域の観光振興に貢献する事例が生まれています。ミライ研としても、このCulTechによる地域振興の取り組みをさらに盛り上げようと、日本各地の「文化」・「食」・「自然」・「歴史」といった地域資源の魅力や課題を調査するとともに、文化・芸術領域でのデジタル技術の活用方法を模索しています。

CulTechの取り組み事例の1つが「お祭りの映像アーカイブ」の作成・発信です。日本全国に数多あり、各地域に根差す「お祭り」は、その地域の「文化」を継承する重要なイベントであり、NTT東日本グループでも各地のお祭りへの参加や運営の支援に取り組んできました。ミライ研では、各県に拠点を置くNTT東日本の支店の協力を得て、各地のお祭りのデジタル映像を撮影・保存・発信することに取り組んでいます。各地のお祭りの模様を映像データとして保存することで、今後の地域活性化活動等への利用や、自治体等への政策提言への活用を検討するとともに、地域の魅力を配信するプラットフォームとすることも視野に入れ、現在、制作を進めています。

また、お祭り運営のプロデュース事業を展開している株式会社オマツリジャパンと連携し、全国の祭り・イベント関係者に対して「お祭りにおけるデジタル活用の可能性と課題」に関する調査を実施しました。回答結果より、新型コロナウイルス感染症の影響により、運営面、発信面ともにデジタル活用ニーズは高まる一方で、活用するための情報・ノウハウ不足や、導入にあたっての資金不足などの課題がみられました(図2)。

### ■メディア芸術による地域活性化

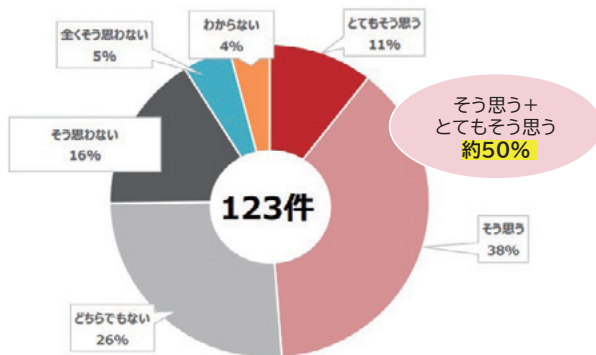
ミライ研が取り組むCulTech事例としてほかに「メディア芸術案内所(仮)」事業の構想があります。これは、文化庁が運営する漫画やアニメ、ゲームなどに関するデータベースである「メディア芸術データベース」に、地域の情報を付加し、作品から地域、

○調査手法:オンラインアンケート ○実施期間:2023年7月14日~7月26日 ○調査対象:全国の祭り・イベント関係者(123名)

~調査結果の一部抜粋~

### 祭りにおけるデジタル施策への期待

コロナ感染症によって祭りのデジタル活用は進むと思いますか



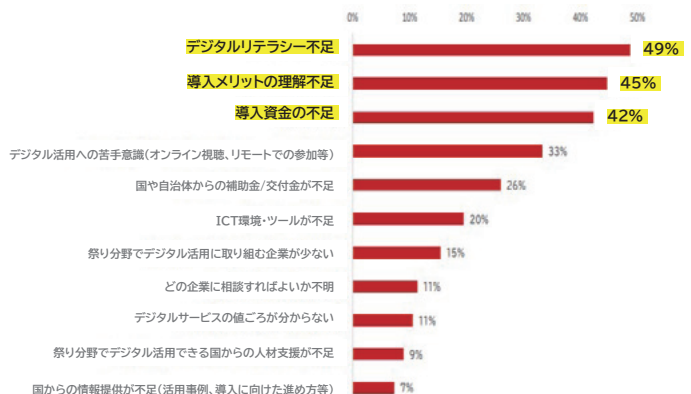
#### 〈ニーズの高いデジタル活用の例〉

運営面:「運営スタッフのオンラインミーティング」「マニュアルのデジタル化」等  
情報発信面:「お祭りの担い手募集・マッチング」「SNSによるインバウンド誘客」等

### 祭りにおけるデジタル活用の課題

祭りのデジタル活用にあたっては、何が課題だと考えますか

※パーセンテージは設問の回答人数に占める回答数(のべ)の割合



※調査資料掲載先 [https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20230803\\_01.html](https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20230803_01.html)

図2 after コロナ時代における祭り・イベント関係者の意識・動向調査

地域から作品への「ヒト」の循環を生み出すことを考えています。本構想は、2023年9月に開催された文化庁主催「第4回メディア芸術データベース活用コンテスト」において、アイデア部門の優秀事例賞、テーマ該当事例賞をダブル受賞しました。

具体的には、メディア芸術作品にゆかりのある地域の情報提供や、好きな地域から作品を逆引きできる機能を持つアプリをつくり、いわゆる「聖地巡礼」を後押しします。さらに、自治体などから集めた地域の観光情報なども併せて提供することで、「聖地」だけでなく地域の魅力も知っていただき、地域活性化および関係人口・交流人口の創出にもつなげていくことをめざしています(図3)。そして、メディア芸術産業の振興や「メディア芸術データベース」自体の認知度向上など、文化領域におけるデジタル技術を活用した新たな価値創造の取り組みとして、構想の実現をめざしていきます。構想内容の詳細やプレゼンテーション動画はURL(<https://www.mediaarts-db-contest.com/results>)よりご確認いただけます。

### 地域にかかわる人の流れの創出・盛り上げ

#### ■地域の関係人口創出——佐渡におけるワデュケーションの実証

ミライ研では、CulTechの探究のみでなく、NTT東日本グループの社員と地域社会の人と人の結び付きを強化する施策も進めています。人口減少が進んでいる地域では、地場産業や文化を支える担い手不足が顕在化しています。こうした地域課題に対して、現在ミライ研では、ワデュケーション(Woducation: Work+ Education+Vacation)のモデル確立に取り組んでいます。これ

は、リモートワークを活用できる社員が地域に出向き、NTT東日本グループの本業とは別に、その地域の仕事等を実際に体験し、同時に地域の魅力にも触れることで、その地域への理解を深める取り組みです。リモートワークを最大限に活用し、社員がより能動的に関係人口として地域課題解決に取り組める施策として企画し、新潟県の佐渡市と連携して、2023年10月より第一弾の実証を行いました。

本実証では、社内公募で集まった社員有志が3チームに分かれ、それぞれ4日間ずつ、佐渡市の廃校を活用した酒蔵の coworkingスペースにおいて本業のリモートワークを実施しました。それ以外の時間を活用して、JA羽茂の「おけさ柿」選果場にて、佐渡の現地の方と一緒に、地域産業である「おけさ柿」の選定・箱詰め作業を体験しました。その模様は地方紙やローカル局のTV番組でも取り上げられたほか、佐渡市の観光情報サイト上でも紹介される予定であり、佐渡市や地元住民の期待の大きさを感じることができました。また、参加者からは「1つの文化ともいべき地域の誇る産業に地元の方々とともに汗を流す体験ができたことで、佐渡島を一層身近な存在として感じる事ができた」「現地の作業者の多くが70歳以上の高齢者であることなど、一次産業のリアルな課題を肌で感じる事ができた」などの声がありました。

本実証で得られた効果・知見・課題等は、報告書としてまとめ、政策提言等に活かしていく予定です。さらに今後は、交通費・宿泊費の負担軽減等の課題を整理しつつ、佐渡島以外のロケーションも選択肢として増やすこと、子どもの体験の場も用意し、家族単位で地域の理解を深める機会を創出すること、NTT東日本グループのみならず他の企業等の参加を促すこともスコープに入れ

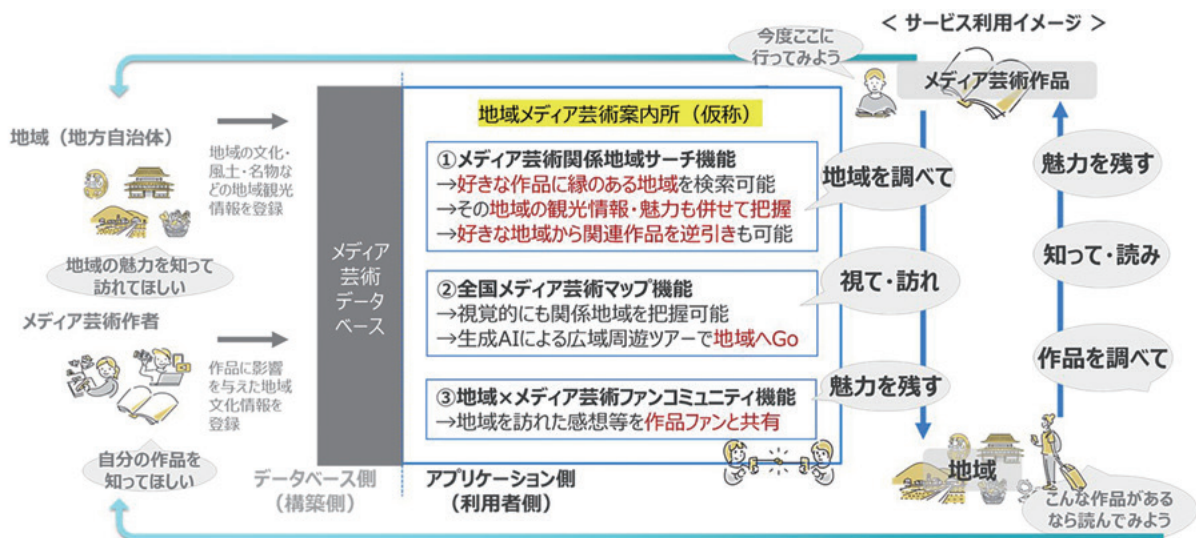


図3 地域メディア芸術案内所（仮称）の事業構想

で、「地域文化を学びながら新たな人の循環を生む施策」として展開を進めていく考えです。

### ■社員の地域貢献活動の盛り上げ——地域エバンジェリストの取り組み

NTT東日本グループには、約6万人もの従業員が在籍しています。地域の魅力を発見し価値創造に取り組むためには、全国各地にいる社員1人ひとりが、地域課題を自分事としてとらえ、その地域で見たこと、聞いたこと、課題に思ったことなどの情報を発信し、蓄積することが重要です。そのための仕組みとして、社員の地域活動への参加を後押しする「地域エバンジェリスト」の取り組みを開始しました。NTT東日本グループには、業務外のプライベートな時間を利用して、さまざまな地域貢献活動に参加している社員が数多くいます。その活動内容は、野球やサッカーのコーチといった地域のスポーツ振興活動から、お祭りの運営やオーケストラ活動、自然・文化の保護活動、学生・高齢者や障がい者の支援、子ども食堂の運営、住民参加型の委員会活動まで多岐にわたっており、その活動が地域社会を支えています。ミライ研では、熱い思いを持って地域社会の活動に参加している社員を「地域エバンジェリスト」として認定し、その活動を会社が応援する取り組みも展開しています。

NTT東日本グループ24社に参加を募り、2023年7月に認定を開始、これまでに約300名の社員を「地域エバンジェリスト」として認定しました。現在、地域エバンジェリスト認定者へのインタビューを実施し、それぞれの地域への想いや活動の背景、苦労している点等を伺いながら、地域とのかかわりによって得られた良い影響、やりがい等を記事にして全社に発信する活動を進めています。これは、それぞれの地域で熱い思いを持ち地域振興に取り組んでいる社員の活動を紹介することで、他の社員に対しても「自分も居住エリアで何か行動してみよう」という行動変容を促すねらいです。また、これまで業務を通してではつかみきれなかった地域のリアルな課題の把握や、地域コミュニティで尽力している各地域のキーマンとの関係構築を推進することも期待しています。

今後は、地域エバンジェリストの拡大や活動の活性化を促すために、同種の活動に取り組む地域エバンジェリストどうしを集めるイベント「地域エバサミット」の開催も計画しています。活動テーマごとに開催し、エリアを問わず共通的地域課題の洗い出し、課題解決の共同検討、ビジネスの可能性の模索にも取り組んでいく予定です。

## 今後の展望

ミライ研は、当面、地域密着で事業展開をしてきたNTT東日

本グループの組織力を活かしつつ、各地域の拠点と連携しながら、小さくとも、目に見える成功事例の積み重ねを図っています。地域で実証事業を進めるにあたっては、時間をかけて地域の方々の話を聞き、共感し、価値創造の取り組みの実装まで、ロングタームで伴走することを大事にしています。

地域における提言や政策の実装・伴走はロングタームで腰を据えて取り組んでいく一方で、シンクタンクとしての情報発信はショートタームで実施していきます。社内に散在している情報やノウハウの集約化のためのナレッジサイトを開設し、蓄積したナレッジをベースに、レポートや提言を社外発信するプラットフォームの構築も進めています。ナレッジの一元化や情報発信を通じて、社内情報のハブとしてのプレゼンスも高めていくとともに、社外有識者、キーマンとのリレーション構築を推進していく考えです。

また、前述したCulTechという概念は、欧米諸国や台湾等に比べると、日本ではまだまだ浸透しておらず、文化とデジタル技術の融合には、まだまだ広がっていく余地が十分にあります。伝統文化に限らず、日本には世界に誇れる魅力的な地域資源がたくさんあります。それらをデジタル技術によって永く継承するとともに、より魅力的な発信・活用ができるようにすることで、日本全体の成長にも寄与していきたいと、地域循環型ミライ研究員一同、考えています（図4）。



図4 ミライ研究員一同

### ◆問い合わせ先

NTT東日本  
経営企画部 地域循環型ミライ研究所  
TEL 03-5359-6210  
E-mail mirai\_labo-ml@east.ntt.co.jp