ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可 令和4年1月1日発行 毎月1回1日発行 第34巻第1号(通巻394号)

JANUARY 2022

Vol.34 No.

特集

NTT R&D フォーラム — Road to IOWN 2021

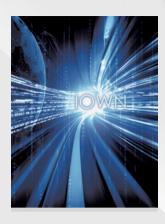
デジタルツインコンピューティング構想 実現に向けた技術開発

グループ企業探訪

NTTスマートトレード

from NTTコムウェア

マルチAI制御フレームワーク Infratector® コア



NTT 技術ジャーナル

JANUARY 2022 Vol. 34 No. 1

CONTENTS

特集

NTT R&D フォーラム — Road to IOWN 2021

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





26 特集

デジタルツインコンピューティング 構想実現に向けた技術開発

- 28 IOWN デジタルツインコンピューティングで実現する世界
- 32 感性コミュニケーション技術の実現に向けた 熟練度と対話満足度に関する取り組み
- 36 Another Meを実現する技術群
- 39 未来社会探索エンジン実現に向けた取り組み
- 43 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
- ⁴⁷ from ★ NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル

適正なドローン利用を実現するIoT認可技術



55 挑戦する研究者たち

中谷智広 NTTコミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員

人とコンピュータが同じ音空間を共有して, 自由に協力し合える鉄腕アトムのような世界を実現したい

59 挑戦する研究開発者たち

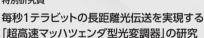
川前 徳章 NTTコムウェア エバンジェリスト



AIIC「Do you really want to hurt me?」 と質問して、その回答が「君は完璧さ」と 思える日を夢見て

64 明日のトップランナー

小木曽 義弘 NTTデバイスイノベーションセンタ・ NTT先端集積デバイス研究所 特別研究員





NTTスマートトレード株式会社 ワンストップの決済・送金サービスで 着実に成長



67 from NTTコムウェア マルチAI制御フレームワーク Infratector®コア

76 テクニカルソリューション

宅内設備のネットワーク構成を自動作成支援するツール 「NeST」

 Webサイト オリジナル記事の紹介 …… 78

 2月号予定

 編集後記

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



本誌掲載内容についての ご意見,ご要望,お問い合わせ先

日本電信電話株式会社 NTT技術ジャーナル事務局 E-mail journal@ml.ntt.com 本誌ご購読のお申し込み, お問い合わせ先

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

企画編集

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

発 行

一般社団法人電気通信協会

〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋2-1-1如水会ビルディング6階

TEL (03)3288-0608 FAX (03)3288-0615

URL http://www.tta.or.jp/

©日本電信電話株式会社2022

●本誌掲載記事の無断転載を禁じます●

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

What is IOWN?

さわだ じゅん

NTT代表取締役社長

本稿では、IOWN(Innovative Optical and Wireless Network)の普及拡大に向けた取り組み、「Road to IOWN」について紹介します。本記事は、2021年11月16~19日に開催された「NTT R&Dフォーラム - Road to IOWN 2021」における、澤田純NTT代表取締役社長の基調講演を基に構成したものです。



今回、「Road to IOWN」について紹介します。まずその前に、昨今の自然災害に思いを馳せてみたいと思います。2021年は夏に静岡県熱海市で土石流(伊豆山土砂災害)がありました。ドイツでは死者が200人規模に及ぶ豪雨・洪水がありました。また、ハイチの地震やカリフォルニアの山火事など、自然災害の規模が従来に比べてかなり大きくなってきています。そしてこの2年はパンデミックの脅威が私たちの生活を大きく変えました。

一方、このパンデミックにより在宅 勤務が一般的となり、なかなか人と会 うことができない状況の中で、ネット でつながる世界がより広がりました。 それに伴い、ネットに関連する犯罪や、 インフォデミックといわれるような情 報恐慌等の問題も発生しています。も う少し視点を変えて、自然災害やパン デミックから私たちはどのような教訓 を学ぶのか、それは「自然は想定外だ らけ」ということです。想定外のこと が常に起こっており、さらにコントロー ル不能であるいう意識を持つべきだと 思います。では想定外だらけでコント ロール不能だと、どういう結論に達す るのか. 世界を自然科学の方法で説明 しようとする考え方を「自然主義」と 呼んでいます. 自然主義の考え方だけ では対応不能な自然災害などに対処し ていくには、科学的に分かっているこ とだけではなく、備えというものをよ り広くとらえる必要があります。

世界は論理だけではすべてを説明で きません. これをまた違う見方で考え た、ドイツの生物学者・哲学者ヤーコ プ・フォン・ユクスキュルが、環世界 (ウムヴェルト) という概念を提唱し ました(図1). 現在の学問の領域で はあまり注目されていないかもしれま せんが、自然災害の規模が大きくなっ てきている中で想定外のことを考えて いく場合. あるいはSNS等の発達に より人間どうしが分断されていく事象 が多くなる場合には、この環世界の考 え方を適用する必要があるかもしれま せん. 技術の進むべき方向としては, この人間の環世界において情報処理が 占めている領域が現在はとても小さい ので、これをより大きくしていく. 言 葉を変えると、より自然に近い状態を めざしていくということです.

例えばブロードバンドは、高速大容量のデータ通信を可能にします. これは自然に近い状況を再現するという考



えに基づいています.一方,私たちの家にある通信機器が電話からスマートフォンに変わり,そのたびに私たちは新しい機器の使い方を勉強しています.つまり人間に負荷がかかっているわけです.これはあまり自然ではありません.人間の「コミュニケーションをしたい」,「思いを伝えたい」という願望を自然にサポートできる技術が,私たちの世界をより幸せに導いていくのではないかと考えています.

バイオデジタルツイン

現在、米国にあるNTT Research、Inc.では、サイバー空間上に身体や心理の動きを精緻な写像として再現する取り組みを進めています(図2)、特に今ターゲットを絞って研究しているのが心臓のモデリングです。血液の流量データから血行動態のモデル化、シ





- : 情報処理領域

より自然に近い状態をめざす (より自然に近い世界を創造する)

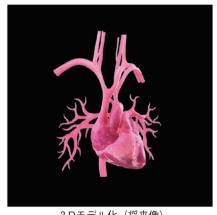
図1 人間の環世界—情報処理領域 の拡大 ミュレーションを行い. 心肺の状況を 可視化し, 前提条件に基づき, 近い未 来を予測するかたちで治療を支援して いきます、あるいはそのような病気や 異変が起こらないように、予防医療に 貢献するための取り組みを始めていま す. これも自然に近づけていくための 1つです.

■人間以外の環世界の活用

一方、人間が五感、または第六感も 含めて感じている世界は、昆虫、魚類、 動物等が感じているものとは異なりま す. 前回のR&Dフォーラムで話を させていただきましたが、蜂や鳥は紫 外線で物を見ています. 私たちは可視 光線で物を見ているわけですが、もし 紫外線で見れるようになったら、今と は違う世界が広がります. このよう な、より自然に近い世界を創造すると いうことです.

イルカを例にとりますと、イルカは 喉の奥、声帯の近くにあるひだを震わ せて、約15万Hzの超音波を出します. 人間の耳に聞こえるのは約2万Hzま でですので、かなり高い音を発信でき ます. また. 額にメロン器官と呼ばれ るこぶがあり、超音波をねらった方向 に効果的に発信・受信できる仕組みを 持っています. 残念ながら人間にはそ のような仕組みはありません. しかし, その方法、技術、原理を活用できたら ということで、NTTの研究所で開発 したのが、パーソナライズドサウンド ゾーンという新しい音声の楽しみ方で す. パーソナライズドサウンドゾーン に関しては、NTTソノリティという 会社を2021年9月に設立し、今新しい 商品をつくっているところです. 人間 がより自然かつ快適になるよう, 空間 を情報に変えることで、Well-being につながりますし、違う環世界の情報 を人間のほうに持ってくることができ





3Dモデル化 (将来像)

図2 バイオデジタルツイン

るようになります.

もう1つ、環世界というのは通常は 生物で括られている考え方ですが、 現 代は分断の世の中になり、自分にとっ て心地の良い情報で括られているコ ミュニティが強くなっています. これ は人間の中に環世界がいくつも出来つ つあるような分断された時代が到来し ているということです. これをいかに つないでいくのかが私たちには求めら れています. 人間の中の環世界で情報 処理をより自然に近づける. 人間以外 の環世界の方法を適用する、さらには 人間どうしのコミュニケーションをよ り密にしていく、このように異なる環 世界をつなぐメディア、これがIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) だと私は考えています.

オールフォトニクス・ネットワーク

IOWNのフレームワークは、大きく 3層、4つの機能から成り立っていま す. 一番分かりやすいのはオールフォ トニクス・ネットワークです(図3). これは、ネットワークの端から端まで 光ファイバにして、情報処理を行って いる半導体も光方式に変え、光コン ピュータで動かすというものです. オールフォトニクス・ネットワークが 大容量、低遅延、かつ低消費電力を 支えていきます. データ駆動型社会 では莫大なパケット、情報データが 発生します. それらを蓄積・変換・ 処理するデータセンタは、トースター のように熱が出ており、現在はその 熱を扇風機で冷やしているという非 効率な状態です. しかし. 光技術を 使うと熱が出ません. これはブレイ クスルーをもたらすのではないかと 考えています.

このオールフォトニクス・ネットワー クの上にあるのが固定ネットワークお よびモバイルネットワークで、多くの 会社が世界中でサービスを提供してい ます. 今5G(第5世代移動通信シス テム)の提供が始まり、次に6日の時 代が到来します. 前述のバイオデジタ ルツインのように、現実空間の物がサ イバー空間上で再現されます. そこに プロセッシングの領域があり、これを マルチオーケストレータでつなぐわけ ですが、この構造がコグニティブ・ファ ウンデーションです. いろいろな事業 者が競争と協調をしていく世の中にな りますので、コグニティブ・ファウン デーションがそういう競争を促進する 鍵にもなります. 相互接続, 相互運用 の要素で形成されているのがIOWN

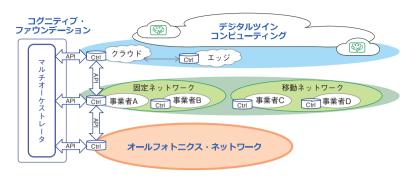


図3 IOWNのフレームワーク

従事できれば、もっとやれることの幅が広がるだろうし、いろいろなことが実現可能になります。そして、健常者との差もどんどんなくなっていくので

との差もどんどんなくなっていくのではないかと思います。そういった環境が実現されたらすでく嬉しいなと思います。」 この分身ロボットカフェについては、6、7年前に株式会社オリィ研究所の吉藤健太朗社長と話をしていました。私たちのように通信の世界に身を置く人

6.7年前に株式会社オリィ研究所の吉 藤健太朗社長と話をしていました。私 たちのように通信の世界に身を置く人 間は、「双方向性」こそが通信の基本 だと思っていました. つまり機能を配 備する際には、双方向でやり取りがで きることを前提に考えていましたが、 OriHimeは片方向です. 身体にハン ディキャップのある方や障がい者の方, 動けない方からは見えますが、私たち からは見えません. 双方向で情報を伝 えているのはではなく、片方向で存在 を伝えているのがこのシステムです. おそらくこのような双方向・片方向と いうシステムが、これからの世の中に はたくさん出てくると思います. しか し、これを遠隔で操ると遅延が問題に なります. 今回の実証実験では, NTT武蔵野研究開発センタと日本橋 をつなぎ, 20 ms以下の遅延でこの口 ボットを動かすことができました. 通 常ですと約400 ms はかかりますので. 20分の1の遅延で実現できたことにな

ります.

● 分身ロボットカフェにおける遠隔ロボット操作の 実証実験(11/2報道発表)





図 4 分身ロボットカフェ DAWN Ver. β

■クラウド型eスポーツイベント

オールフォトニクス・ネットワーク の利用が効果的なものの1つにクラウ ドを介した対戦型ゲームがあります. クラウドを介した対戦型ゲームはお互 いリアルタイムで戦うわけですから. 大容量の8K映像を20 ms以下の遅延 でやり取りすることが重要となりま す. 数msの遅延と、その10倍の遅延 が発生した場合を対比すると、キック のタイミングが違うことが分かりま す. キックのタイミングがずれてしま うような遅延環境では、ゲームとして 戦うことができません. 前述の OriHimeのように、今はまだ20 ms ですが、これを数msまで縮めるよう な努力をしており、かつ $1 \mu s$ 単位で 遅延をコントロールして、同期を取れ るようなシステムを現在研究開発して います.

■量子計算機時代のセキュリティ

もう1つの例としてセキュリティを紹介します. 従来方式 (RSA 暗号等) に、NTRU方式といわれている格子問題の困難性に基づく暗号を組み合わせることに成功しました (図5). 量子コンピュータによる解読さえも困難な暗号化技術として現在商用化が進められています.

またオールフォトニクス・ネットワークでは、遅延時間があらかじめ分かります. もし盗聴や不正なアクセスが

です. 実際に, オールフォトニクス・ネットワークのユースケース, 商用に向けた実験が2021年度にいくつか始まりました.

分身ロボットカフェ DAWN Ver. β株式会社オリィ研究所 取締役 CTO 椎葉嘉文氏

「DAWNは、重度障がい、身体障がい者の方が、インターネットとテクノロジの力を使って健常者と変わらない労働ができるカフェになっています(図4)、低遅延の映像/音声配信の状態で分身ロボットを動かした際に、実際の業務にどのような影響を与えるかの実験を継続的に行っています。IOWNによる高速通信のおかげで、一般のインターネット越しでは不可能だった、細かい道をスムーズに動き、あらかじめ決められた場所でなくても、行きたい場所にちゃんと行けるようになりました。

決められたルートの上を決められたかたちで、決められた順番に移動するのは人間らしくありません。計画になくてもその場で、口頭で言われた業務をこなす等、人間ならできることが残念ながらインターネット越しのOriHime-Dにはまだできません。

高速なネットワークがもっと広がって, 五感すべてがお客さまの所に転送できて, 障がい者の方があたかもその場にいるかのような体験をして業務に

あった場合はこの遅延時間が変化します. つまり、外部からのアクセスがあるかを一瞬で検出することが可能になります. もちろん盗聴されてもNTRU暗号があれば解読できないわけですが、盗聴の事実を検知できるシステムにしていきたいと考えています.

光電融合デバイスの進展

現在の半導体は、チップ間もチップ内も電子で動いていますので熱がたくさん出ます。そこでまずはチップ間の伝送を光にできるよう光電融合デバイスの研究開発を進めており、大阪・関西万博の時期(2025年)に発表予定です。そして2030年にはチップ間に加えてチップ内も光による伝送が可能となる光電融合デバイスの実現をめざしています。

IOWNではいろいろな要素が複合化されて1つのシステムになっていきます。例えば、2020年代後半には、光電融合チップをモバイル通信設備に適用していきます。また、従来のサーバの概念から脱却した、光接続型の新しいIT装置(超強力汎用WhiteBOX)を導入していきたいと考えています(図6).

カーボンニュートラルの実現へ

NTT グループは,2013年時点で日

本の温室効果ガス排出量の約1%, 465万トンほどを排出していました(図7). これからは当然, 省エネルギー化を利用し、再生可能エネルギーも適用していきますが、それ以外に何も手を打たなければ情報処理量が増えるにつれ、使う電力も増え、その結果温室効果ガスは増えますので、IOWNの力も含めてカーボンニュートラルを実現する方向に持っていきたいと考えています.

データセンタとモバイルの分野では2030年に、グループ全体では2040年にカーボンニュートラルを実現します。これは、イノベーションを用いて環境問題を解決することと、経済成長を行うという矛盾したものを同時に実現することになりますが、パラコンシステントの考え方で取り組んでいきます。また、IOWNを普及拡大することにより、社会の環境負荷削減にも貢献できるのではないかと考えています。

〈新たな暗号方式〉

| | 基本暗号 | 古典コンピュータ への耐性 | 量子コンピュータ への耐性 |
|-----------------------|-------|------------------|------------------|
| 従来方式 (RSA暗号等) | 素因数分解 | 0 | × |
| NTT提案のPQC (NTRU暗号) | 格子問題 | 0 | 0 |

〈新たな監視方式〉

- ・オールフォトニクス・ネットワークではエンドエンドを光で結ぶため、遅延時間が ほぽ一定
- タッピング等で発生する遅延時間のゆらぎを検出することで、盗聴等の攻撃や 異常を検知

図5 量子計算機時代のセキュリティ

| | 2021 | 2025 | 2030 |
|------|------|------|------|
| | | | |
| チップ間 | 電子 | 光 | 光 |
| チップ内 | 電子 | 電子 | 光 |

図6 光電融合デバイスの進展

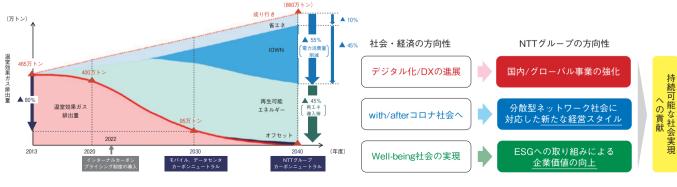


図7 カーボンニュートラルの実現へ

図8 NTTグループの変革の方向性



図9 新たな経営スタイルへの変革

NTTグループの変革の方向性

さてNTTグループの変革の方向性ですが、現在3つの柱で考えています(図8).

まず、デジタル化やDX(デジタルトランスフォーメーション)が世界中で進展する中で、国内・グローバル事業を強化していこうと考えています。次に、withコロナやafterコロナの社会において、これは日本の場合ですが、私たちは分散型ネットワーク社会に移行し、これに対応した新たな経営スタイルを導入していかなければなりません。最後にWell-beingの最大化に向け、ESG等の取り組みにより企業価値を向上したいと考えています。そして、最終的には持続可能な社会実現への貢献を考えています。

新たな経営スタイルへの変革

経営スタイルの変革についてですが、コロナ禍において在宅勤務を継続・強化しました。その結果、社員の満足度、中でも特に子育て世代の社員の満足度が向上しました。それはやはり育児や共働きにおけるハンディキャップをリモートワークで解決できる部分があるということす。そこでこれからの社会を展望し、ワークインライフ(健康経営)を推進したいと考えています(図9).

持続可能な社会

一方、私たちがめざす持続可能な社



図10 持続可能な社会

会とはどのような社会でしょうか. ま ず、AかBかというような「二元論で はとらえられない」, そしてダイバー シティという言葉が表すとおり、「事 実は主体によって異なる」ということ です. さまざまな視点やいろいろな考 え方など、対抗しているものを包摂し、 同時に実現させることが持続可能な社 会ではないかと思います. そのときの 基本理念としているのが「Self as We」です(図10). 一般的には私た ちの社会はこれまでSelf as Iの理念 で動いてきました. いわゆる個を大事 にすることです. 生物学者の福岡伸一 先生いわく、どの生物も種を超えるこ とはできません. 利己的な遺伝子いう 言葉もありますが、自身と自身の子孫 だけが大切だとする考え方を超越した のが実は人類で、遺伝的なつながりだ けにとらわれない個を実現させました.

具体的には、LGBTQ等を包摂していこうという概念は、人間でないと出てきません。それがSelf as We なのですが、さらに次の時代に目を向けると、自分の分身がサイバー空間にも出ます。それは一種の物、またはシステムかもしれません。そしてサイバー空間には自分の家族・仲間・コミュニティもあります。つまり Self as IではなくてSelf as Weの世界なのです。そういう概念を持つべきではないかと考えています。

Self as Weの考え方は、「自然は 利他的な存在で「われわれ」はその一 部」であり、そして「「われわれ」を



図11 持続可能な社会に向けた3つのテーマ

倫理の糸で結ぶことで文化・社会は安定」し、「利他的共存(自らの幸せと他の幸せの共存)」をめざすことです。テーマとしては、「自然との共生」「文化の共栄」「Well-beingの最大化」です(図11).

この3つの考え方、テーマに基づいてサステナビリティ憲章を制定しました。この中で「環境エネルギービジョン」「新たな経営スタイル」、そして「人権方針」を体系化し、初めてグローバルベースでNTTグループ全体に共有しました(1).

おわりに

本日はたくさんお話しさせていただきましたが、もう少し深い話をいろいるな有識者の方と対談させていただいた書籍『パラコンシステント・ワールド』が出版されます。ぜひ一読いただければと思います。

■参考文献

(1) https://group.ntt/jp/newsrelease/2021/ 11/10/211110d.html

Road to IOWN 2021

かわぞえ かつひこ

川添雄彦

NTT常務執行役員 研究企画部門長博士(情報学)

本稿では、「Road to IOWN 2021」について紹介します。本記事は、2021年11月16~19日に開催された「NTT R&Dフォーラム - Road to IOWN 2021」での、川添雄彦 NTT常務執行役員研究企画部門長の基調講演を基に構成したものです。



はじめに

2019年5月に発表したIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想について、2019年および2020年のR&Dフォーラムで本構想のめざすところ、目的、ベースとなる技術について説明してきました。2021年は3年目の年になりますので、その進捗、広がりを中心に発表させていただきます。IOWNについて初めて聞かれる方もいらっしゃると思いますので、まずはIOWN構想のバックグラウンドからスタートさせていただきます。

人類の発展と負の側面

IOWN構想発表のバックグラウンドは人類とテクノロジが置かれている現在の状況に由来します。これまで人類は、さまざまな技術革新を積み重ね、より豊かな世界を手に入れてきました。それでも、今回の新型コロナウイルス感染症拡大で人類全体が認識したことですが、人類は未知なるリスクにさらされており、その解決には現在のテクノロジでは足りないレベルであるということです。さらなる技術革新を、それもドラスティックレベルで高める必要があります。しかし、現在の

技術革新アプローチは重篤な負の側面 を生み出しています. すなわち, 資源 の枯渇・希少種の絶滅、環境破壊、地 球温暖化問題です(図1). このまま では、地球や地球上の生物に負荷がか かり、人類・生物ともに滅びてしまい かねないと感じています. 過去には. モアイ像で有名なイースター島、その 滅びた要因として、人口爆発に伴う森 林破壊のために、肥えた土が海に流出 し資源が枯渇し、資源をめぐって争い が起きて滅びてしまったというのが定 説となっています. 経済発展と環境保 護,工業生産と資源保護,ICTの発展 と電力消費など、現在の私たちの技術 基盤は、これらの矛盾、パラコンシス テントに囲まれています.

今必要なこと

前述の課題を解決し、持続可能な社 会実現のためのイノベーションはどう あるべきでしょうか、それは、現在の 技術基盤のポテンシャルを大幅に向上 することを実現しながら地球に負荷を 与えないイノベーションです。私たち の結論は、人類だけをフォーカスする のではなく多様な生物・地球全体を トータルな系として認識し実行してい くことと、その実行においてもっとも 地球に負荷を与えないテクノロジを全 力で広く導入することです。

どのように実行するか?

トータルな系の認識と活用の有効な方策として、これまで提案してきたことが「環世界の連結」です(図2)、私たち人類が認識している世界がすべてではなく、私たちの周辺にはさまざまな環世界が実在します。昆虫の環世界、爬虫類の環世界、魚類の環世界など、もしかしたら、生物ではないウイルスにも独自の環世界があるかもしれ



図1 人類の発展と負の側面

ません. さまざまな環世界から成り立つ世界をあるがままに理解し、そしてそのすべての英知・価値を活用する、これが「環世界の連結」です。これを実現するために、私たちは2つの壁を乗り越える必要があります。

乗り越える壁

1番目の壁はあらゆる環世界の理解 です. これまでも, 人類は自らの英知 を高めイノベーションを進める中で自 然に学ぶことを取り入れてきました. しかし、それは限定的であり、いまだ アプローチしていない環世界が膨大に あります. 生物工学. バイオテクノロ ジが正にさまざまな生物の優れた特性 を発見し私たちの社会に応用すること を学術領域としています. 今後はさら に、生物から非生物のウイルスなどの 牛命体を包含する世界に環世界を拡張 する必要があると考えています. 皆様 ご承知のとおり、ウイルスは生物では ありませんが私たち人類に多大な影響 を与えており、ウイルスの変異過程を



図2 環世界の連結:さまざまな環世界をあるがままに理解しその英知・価値を活用

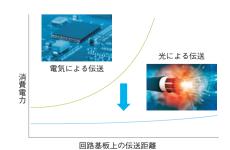


図3 光のポテンシャル

理解することができたら、人々に希望 の光をもたらすことができるのではな いでしょうか.

2番目の壁は環世界の連結のための技術基盤です。人類の環世界を超えて、Well-being向上に役に立つさまざまな環世界を選び、連結を地球に負荷を与えない最適なかたちで実現していく必要があります。これは今まで以上に複雑で膨大な情報処理となります。これを解決する大きな可能性として私たちが見出したのが光技術の拡張です。

これまで、光技術は主に情報の伝送に光ファイバとして適用され、大幅な伝送速度、伝送容量の拡大が実現されました。光は電気と比較するとエネルギー消費の点で大きなポテンシャルを有しています(図3)。したがって、光技術を伝送から情報の処理に拡張する技術の壁を私たちは乗り越える必要があります。

IOWN構想

NTTは1960年代から光の研究開発 を幅広く進めてきました. 情報伝送か ら情報処理にまで広がっています.情報伝送では、光技術は主に光ファイバの進化とDSP (Digital Signal Processor) に代表される伝送処理技術の技術革新により進展してきました. 一方、情報処理においては、これまでエレクトロニクス技術を超えるブレイクスルー技術を創出できませんでしたが、2019年4月、NTTは世界に先駆けて光トランジスタの発明に成功しました(1). これがIOWN構想(図4)の起源です。その後、さまざまな光デバイスの発明に成功し、情報処理に光技術を拡張する道筋が見えてきたのです.

これにより、例えば、AIの領域では、現在、全世界で能力向上のための研究開発が進められていますが、これまでと全く異なるアプローチで進化を遂げることができると考えています。現在のAI研究は、人類が定めた目的達成のための技術として考えられています。しかし、冒頭から述べていますように、人類が理解していない世界、環世界、それは人類にとっては未知なるものですが、そこにある答えを見つけ

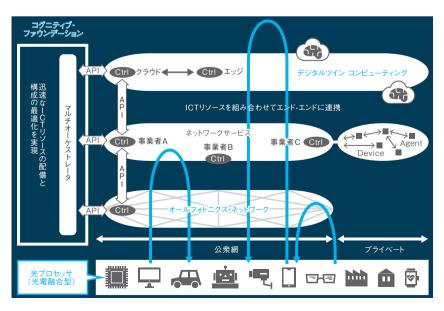


図4 IOWN構想

出す必要があります。昨今の新型コロナウイルスの感染者の増減もその対象かもしれません。無知の知を実現するAIです。繰り返し述べますがこのAIは地球に負荷を与えない。地球トータルのWell-beingにつながるものであらねばなりません。こうした世界を実現していくうえで、私たちNTTグループは、「Self as We」という考えを基本に据えています。

「Self as We」とは、「われわれ」 としての「わたし」という概念です. 私という存在は、人、モノ、テクノロ ジを含めたあらゆる存在とのつながりの中で支えられているという考え方です。そのため、利他的共存のもと「われわれ」の「Well-being の最大化」をめざす必要があると考えます。また、「自然」は利他的存在であり、「われわれ」はその一部であるため、「自然との共生」を図っていく必要があると考えます。こうした考えのもと、IOWN構想により「成長」と「社会課題の解決」を同時実現し、「持続可能な社会」を実現するための取り組みを推進していきます。

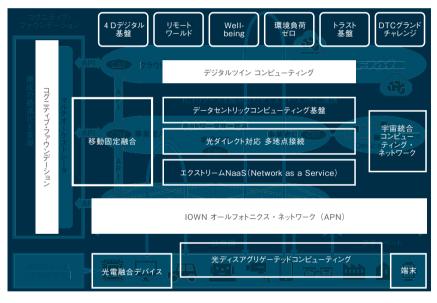


図5 IOWN構想の取り組み分野



図6 多段ループ型光アクセス網構成技術

IOWN 構想の進捗

IOWN構想の最新の進捗についてお話しします。NTTの一研究所が発明した光トランジスタから始まったIOWNは今や、NTTグループ全体に広がり、さらにNTTグループを超えて全世界の営みに広がりました。すでに発表した技術についてはその進捗を、また今回初めて発表する新技術も含めて、代表的な15のイノベーションを紹介します(図5).

(1) 多段ループ型光アクセス網構 成技術

昨年紹介したオールフォトニックス・ネットワーク(APN)を構成する新しいアクセス網「多段ループ型光アクセス網構成技術」⁽²⁾について紹介します.

遠隔医療や自動運転などスマート社会を実現するために、IOWN APNでは、さまざまな要求にこたえる高信頼で柔軟なインフラ・オブ・インフラを提供していきます。

新しいIOWNの光アクセス網は3つの項目で大きく進化します.

1番目は「信頼性」、2番目は「需 要変動耐力」、3番目は「光経路選択 性 です. これらを実現するために. 私たちは「多段ループ型光アクセス網 構成」を確立しました(図6). NTT ビルを中心として環状の光ファイバ 「上位ループ」が広がり、そこに「心 線切替機能」を介して「下位ループ」 がつながります. モバイル基地局は下 位ループに接続されます. こうした構 成により、NTTビルとモバイル基地 局の間に複数のルートが存在するた め、信頼性が向上します。また、需要 に応じて心線の割当て数を融通するこ とができ、予期せぬ需要の増加にもす ぐ対応することができます. そして. 近隣のモバイル基地局どうしがNTT ビルを介さずに接続することもできます.

さらに、この新しいネットワークの設計指標として、信頼性工学や確率論に基づく理論計算により、設計指標の適正値を明確化しました。また、商用電源が不要な遠隔光路切替ノードの開発に成功、光分岐の比率を可変とする原理確認を行いました。

今後も、実用化に向けて着実に研究 開発を進めていきます。

(2) Distance Zero

昨年. 発表したAPNがもたらす物 理的な距離の克服. Distance Zero の進展を紹介します. 今回, 拠点間を 1波長当り100 Gbit/sを超える通信 において、物理限界に迫る低遅延であ る、マイクロ秒単位にネットワーク遅 延揺らぎを抑えることに成功しまし た⁽³⁾. APNユーザ向け装置. IOWN アダプタをユーザ拠点に設置すること でユーザの手元まで100 Gbit/s超の 通信回線を遅延揺らぎなく提供する技 術を実現しています. IOWNアダプタ は、非圧縮あるいは低圧縮のHDMI/ DisplayPort映像信号とUSB信号を 100 Gbit/s超の光信号に直接乗せて APN上に送信することで、オーバヘッ ドレスで1000 kmといった長距離伝送 します. これまでのIPネットワーク に比べ、圧倒的に低遅延化が可能な IOWNのAPNにおいても、光の速度 といった物理限界があり、ネットワー ク遅延は通信距離に応じて発生しま す. そこで今回, その遅延差をAPN が自動で補償する技術の開発に成功し ました.

これにより、さまざまな都市を結んだeスポーツイベントなどを、より公平な環境で実現することができます。 APNの大容量・低遅延・揺らぎゼロといった性質を活かすことで、ユーザ 拠点では専用のゲーム機がなくてもe スポーツに手軽に参加できる、といっ た未来をめざし、引き続きAPNを進 化させていきます。

③ Beyond5G向けバン・アッタ・ アレーアンテナ技術

APNに接続される無線, IOWNの W, Wirelessについての新しいイノ ベーションを紹介します. IOWN関連 技術の多くは、原理原則に基づき、シ ンプルでナチュラルな特徴を有してい ますがこれからご紹介する無線の技術 もまさにシンプルです. 複雑な処理に よるエネルギーを必要とせずに大きな 効果を生み出す技術です. 今回. 再帰 反射という電波がどのような方向から 当たっても電波源に向かってそのまま 反射するように工学的に工夫した方法 をアンテナに応用したバン・アッタ・ アレーアンテナの原理に着目しました. バン・アッタ・アレーを適応すること により、再帰反射の性質を持ったアン テナをもっとも小型で簡易に構成でき る可能性があります. 無線システムの ドラスティックな性能向上をめざして. このたび、東京工業大学とともにバン・ アッタ・アレーを用いた双方向の無線 伝送を世界で初めて実現しました(4).

Beyond 5Gで利用されるミリ波・テラヘルツ波といった高周波数帯を用いる無線通信では、信号の伝搬損失が大きいため、アレー化した多素子アンテナの各素子を位相制御して鋭い指向性を形成し、通信相手に常にアンテナ指向性の最大方向を向ける必要があります。このため、通信相手が移動する場合には、アンテナ指向性を追従させるための複雑な信号処理・指向性制御機構が必要でした。

一方, 今回通信への応用を実証した バン・アッタ・アレーアンテナは, 複 雑な信号処理や制御をせずに電波を入 射方向に反射できるため、従来の無線 基地局・端末が備えていたビーム選択 機能やアンテナ指向性制御機能といっ た複雑な機能を省くことで、さらなる 省電力化が可能です。

今後、広範な無線システムへの応用 をめざし、装置化等の実用化を進めて いきます。

(4) 移動固定融合ネットワーク技術

Beyond 5Gに向けてNTTグループは、「移動固定融合ネットワーク」の検討を進めています。5Gの次の世代では、移動と固定の違いを意識することなく、それぞれの特徴が融合し、今までにないサービスが創造されることが期待されています。

移動固定融合ネットワークは、仮想 エンドポイント. 機能別専用ネットワー ク (FDN: Function Dedicated Network) が構成要素です。コン ピューティング基盤 Fに、 通信の端点 としての「仮想エンドポイント」を配 置し、これらを「機能別専用ネットワー ク | で接続することで、アクセス/端 末を意識させないシームレスな通信を エンドエンドで提供します. 本ネット ワーク融合技術によりサイバー空間と リアル空間やコンピュータとネット ワークの融合がより一層進展し、人間 だけでなく多様なモノが、通信環境・ 場所・端末種別に制約されず通信可能 となることで、高い安定性と信頼性が 求められる新世代のサービスが実現可 能となります.

(5) ディスアグリゲーティッドコンピューティング:メモリセント リックアーキテクチャ技術

次に、光で分散したコンピュータデバイスを接続するディスアグリゲーティッドコンピューティングの進展を紹介します。近年、汎用プロセッサであるCPUと比較して、GPU、FPGA

などのアクセラレータの演算効率が飛 躍的に進化しています. しかし. アク セラレータ間でのデータ共有や受け渡 しをする場合に、CPUが介在するた め. 処理速度や消費電力などの効率が 下がる課題がありました. そこで. NTTではアクセラレータに光通信機 能を搭載することで、アクセラレータ が光で直接メモリと通信する新たなコ ンピュータアーキテクチャを考案しま した (図7(a)). これにより, コン ピュータの処理能力は格段と向上し、 CPU負荷が低減し消費電力が大幅に 低減します. 本アーキテクチャではス ケーラブルなアクセラレータプールを 構成し(図7(b)), 用途に応じてアラ カルトに組み合わせることができ、拡 張性の高い高効率な計算基盤が実現可 能になります. この新しいコンピュー ティングアーキテクチャを、私たちは メモリヤントリックアーキテクチャと 呼んでいます.

今回、既存デバイスでメモリセント リックアーキテクチャを試作開発し、 テストケースとして映像によるAI推 論でその効果を検証した結果、従来方式と比較して約2分の1程度の低消費電力化を確認しました。今後、光電融合技術の進化とそれを活用した本アーキテクチャのさらなる進展により、消費電力は最終的には20分の1程度になると試算しています。

(6) トランスペアレンシー保障技術

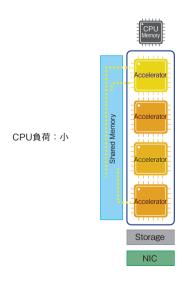
IOWNの光電融合技術によりコン ピュータデバイスが分散されると、不 正なソフトウェアやハードウェアデバ イスが混入するリスクが高まります. そのため、セキュリティトランスペア レンシーを確保するために、機器を構 成するハードウェアおよびソフトウェ アの可視化と検査がヤキュリティに関 する透明性を確保するうえで重要にな ります. そこで. NTTはNECと共同 でこの技術を開発しています(5). 今 回、 通信機器のソフトウェア構成分析 技術およびソフトウェアの不正機能混 入の可能性を検出するバックドア検査 技術を紹介します. 通信機器を外部検 査するために機器仕様データと機器動 作データを突合し、仕様外れの動作を

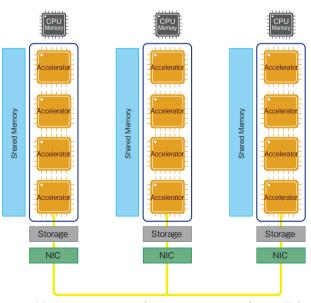
検出します. さらに機器内部のバイナリコードを直接解析して通常は動作しない仕様外のコードを検出することを実現しました. この技術によって、複数のベンダが供給するソフトウェアやハードウェアデバイスから構成されるホワイトBOXが、汎用性を持ちながら高性能、かつ安全性が担保されている次世代の通信機器となるのです. NTTではこれを超高性能汎用装置、スーパーホワイトBOXと呼んでいますが、これが実現可能となります. 今後、IOWNのさまざまな通信インフラ機器に適応されていくでしょう.

(7) 耐量子暗号技術

近年、量子計算機のさまざまな分野への応用が期待される反面、これが実用化された場合、安心・安全な通信基盤を支える既存の暗号が解読されてしまう可能性がでてきます。

このため、量子計算機でも破ることのできない次世代暗号PQC (Post Quantum Cryptography) と呼ばれる耐量子計算機暗号技術の研究が世界中で行われています。その中で、





(a) アクセラレータが光で直接メモリと通信しCPU負荷の低減を実現

(b) 光によりスケーラブルなアクセラレータプールを構成

図7 ディスアグリゲーティッドコンピューティングの進展(メモリセントリックアーキテクチャ)

NTTが開発したPQCに適応可能な安全性強化技術が盛り込まれたNTRU暗号,格子暗号は、世界の暗号方式を選ぶ米国国立標準技術研究所(NIST)PQC標準化活動で、最後の候補に残っており、世界の暗号学者から高く評価されています⁽⁶⁾、今後、本暗号とIOWNのAPNによるエンドエンドの光パスと組み合わせて、これまでにない強靭な通信システムを実現したいと考えています。

(8) マルチ無線プロアクティブ制 御技術 Cradio[®]

Beyond 5Gにおいては、幅広い陸地・空・海中・宇宙・室内外問わず「つながる、つながり続けられる」超カバレッジが求められています。超カバレッジを実現するために有望な方式が、移動する基地局「ムービングベースステーション」です。ユーザが突発的に増えた場所に、基地局機能を搭載したドローンを飛行させることも考えられます。この新たなニーズに対応するために、NTTはマルチ無線プロアクティブ制御技術 Cradio®を開発しました。本技術は、電波強度を推定し

置局設計を自動導出し、無線リソース のオーケストレーションを実施します.

その適用例を紹介します.近年の物流業界では、自動走行ロボットによる 倉庫の無人化が進み、その規模は拡大の一途をたどっています。自動走行ロボットが正確に動作するためには、ロボットの位置や倉庫内環境が変化しても途切れない、つながり続けるネットワークの実現が課題となっています.

これに対し、今回開発した技術の適用により、無線環境の情報と、荷物増減・配置といったビジネス情報とを組み合わせ、無線ネットワークを環境変化に応じて自律的に変化させ、つながり続けることが実現できました(図8)、荷物の量を踏まえ動的に事前にムービングベースステーションの位置を変えることで、最適な無線環境を維持し続けています。

今後、マルチドメイン、マルチレイヤ、マルチサービス・ベンダ環境下において、あらゆるICTリソースを対象にICTリソースの自動設計・自律運用という自己進化型ライフサイクルマネジメントの実現をめざしています。

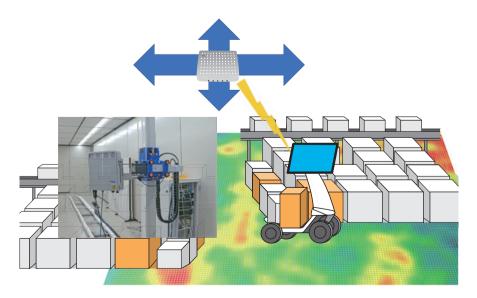


図8 マルチ無線プロアクティブ制御技術Cradio®の適用例 (無線環境・荷物配置情報を組み合わせた移動基地局の制御)

(9) 大規模3D空間情報処理技術

4Dデジタル基盤[®]は、高精度で豊富な意味情報を持つ3D地図データベース上に、多様なセンシングデータを統合し、リアルタイム分析など時間軸を反映して高精度処理を実施し、さまざまな産業分野に提供することで、社会課題の解決や新たな価値創造をめざしています。

これを実現するさまざまな技術の中から、大規模3D空間情報処理技術を紹介します。一般的に空間を表現する点群データは、計測車両などによって断片的に取得されますが、これを街全体データとして統合して利用するにはさまざまな課題があります。

図9はある街の一角の点群データです。異なる色の点群は異なる日時に撮影されたもので、データはこのように一部だけ重なっており、データ量が膨大であるため一部だけ取り出して利用することは簡単ではありません。

これに対して、点群データを複数の ブロックに分割して圧縮する本開発技 術を適用することで、大規模なデータ をブロックごとに分割して取り扱うこ とが可能になります。またブロックを 階層化して扱うことも実現しており、 従来の点群データ処理では扱うことが 難しい大きな街のデータも効率的に扱 えるようになります。

さらに、時系列で変化した点群の比較についても工夫がなされています。 図9の黄色のデータは過去に撮影された点群、ピンクが現在撮影した点群です。2つを同時に表示しても、これだけで変化量に気付くことは困難です。このため、点ではなく小さなブロック単位で変化があった領域を可視化することで、街の中で変化があった領域のみを効率的に見つけ出すことができます。 さらに、NTTではディープニューラルネットワークを活用し、点群情報から構造物の推定を行い、3次元のシーンを自動で理解する技術も開発しています。

これらの技術を基礎として、さらに環境センシングデータや、GPSによる測位データや既存の地図情報を統合し、高度地理空間データベースとして都市アセットのデジタルツインとして活用し、社会インフラの協調保全などに役立てていきます。

(10) 無限クラスタリング技術

IOWN一デジタルツインコンピューティング一がめざす世界観の中で未知なる世界を知ることにつながる重要な技術を紹介します.無限ともいえる可能性や未知なる事象を考慮し.分析対象の「概念」自体をフレキシブルにとらえ.探索空間の無限化を実現する無限クラスタリング技術を世界で初めて考案しました(7).これは.データを並び替えて特徴が共通な塊(かたまり)、すなわちクラスタをつくるクラスタリ

ング技術の革新です. クラスタリング に関しては、ルービックキューブのように、並び替えてそろえる技術と考えると、分かりやすいと思います(図10(a)左). クラスタリングをすることで、一見無秩序なデータに隠れたパターンを発見することができます.

通常のクラスタリング技術ではどのようなクラスタがあるのか事前に知識を与える必要があります。ルービックキューブであれば6種類の色の塊があらかじめ与えられています。このルービックキューブに対して、どのような特徴があるかが分からない場合を想像してみてください。何を目標にキューブを操作すればよいか分からず、とても難しいと想像できるでしょう(図10(a)右)。今回考案した無限クラスタリング技術では、塊の数や特徴を未知なるものとして無限のあらゆる組合せパターンを生成し、最適なクラスタリングに収束することができます(図10(b)).

この技術では無限の可能性を探ることが可能であるため、今までより多くの因子を追加して、因子間の関係を探り、これによりクラスタリングができます。例えば何となく体調が悪いとい

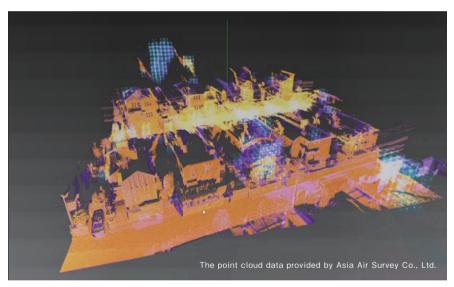
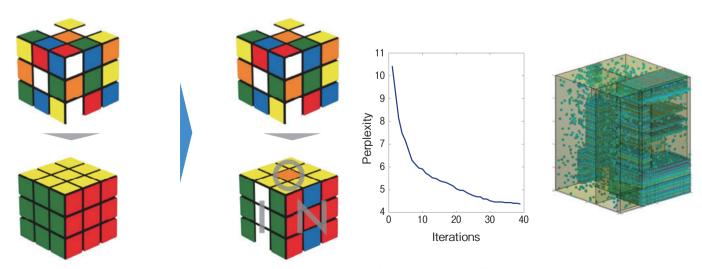


図9 4 D 点群符号化技術で処理した大規模点群データの例術



(a) 未知なる世界を探る無限クラスタリングのイメージ

(b) 無限クラスタリング技術による複雑なクラスタリングの実行例

図10 無限クラスタリング

うことで病院を受診しても、身体の不 調や不快感につながる病変が見つから ない状態, つまり, 不定愁訴に対して, さらにいろいろな因子を付与して原因 を探ります.「どんなタイミングで. どんな温度で、どんな気候で、どんな 気持ちのときに…」などさまざまな因 子を付与して,無限の可能性を探りま す. 思いもよらなかった原因を見つけ ることができるかもしれません. この ような検討もすでに始めています. 多 様な観点を持つことで、木を見て森を 見ずの世界から抜け出すことができる 技術です. さらにこのアルゴリズムは 入力データが無限に大きくなったとき. アルゴリズムが破綻することなく動作 することを保証できています.

この無限に探索するアルゴリズムは 処理時間が膨大となりますが、IOWN によるコンピュータの進展により解決 されると考えています。

また、NTTが開発を進めているコヒーレントイジングマシンLASOLV®も処理の高速化で利用可能と考えています.

このLASOLV[®]は現在,発表当初より進化し10万ビット化に成功しており,要素の大規模組合せ最適化問題の一問題に対し,CPU上で実装した焼きなまし法に比べ,同じ精度の解を約1000倍の速さで求めることができています.

本技術を利用することで、これまでとは異なったAI(人工知能)が生み出される可能性があります。多様な観点からのWell-beingを追い求めることができます。世界をトータルに考えたWell-beingを導く技術に成長させていきたいと考えています。

(11) IOWN時代の端末UI

IOWN 時 代 の 端 末 UI (User Interface) はどのように変わってい くのか紹介します. 現在のIPネット ワークでは提供できなかった超高速, 低消費電力,低遅延なネットワークインフラに接続する端末UIは,これまで常識化していたことやさまざまな制限から解放されます。例えば、コンテンツは製作者の意図を一律に受け入れることが常識化していたことや、映像や音声などの情報はネットワークや端末負荷を軽減するために常に圧縮処理がなされていました。しかし、IOWN時代では、これも目的によっては時として変わります。

新しいUIのポイントは、情報の受け手の価値観や環境により受け取る情報は変化すること、新たな発見が受け手側で生まれることです。同じ情報でも自分とは違う価値観の他者の立場に立って、情報を理解して感動や共感を得ることができます。

例えば、障がい者の視点で街を見て問題を発見することや、異性の立場で創作物を見て感じることができるようになると思います。 さまざまな環世界に触れることで、インスピレーションを引き出し、思いもしなかった新しい価値が生まれることも考えられます.

IOWN時代の新たなUIの研究開発 を進めるために株式会社ACCESSと の連携を開始しました.

(12) 新たな環境エネルギービジョン ここからはIOWNによる環境負荷 低減の側面を説明します。NTTグループの新たな環境エネルギービジョンを 2021年9月末に発表しました⁽⁸⁾(図11)。今のままの成り行きだと、CO₂排出量は2040年において約860万トンとなります。省エネルギーや再生エネルギーの導入で55%まで減らせますが、さらにIOWNを導入することで、45%消費電力を減らし、2040年カーボンニュートラルを実現します。IOWN が世界に広く普及する時期は2030年と

想定していますが、NTTは2024年にはデバイスを完成させ、2025年には装置の開発を完了し、2026年にはIOWNの商用導入を開始します。

(図) 宇宙統合コンピューティング・ ネットワーク

IOWNによる画期的な新エネルギー対策、昨年発表したIOWNスペースコンピューティング構想の進捗について説明します。本構想は地球系とは独立した新たな宇宙ICTインフラを構築する内容として発表しました。

その後、2021年5月にスカパー JSATと本構想の具現化を進めるため の提携を実施しました⁽⁹⁾. NTTの IOWN技術とスカパーJSATの宇宙 アセット・事業を統合し、商用化をめ ざします. 現在. さまざまな課題解決 に両社で取り組んでいます. 例えば. 観測衛星単機では、データを地上局に 送信するタイミングが限られるため. 場合によっては数日の遅れが生じま す. そこで. 成層圏を飛ぶHAPS (High Altitude Platform Station) や低軌道から静止軌道にある衛星を光 無線通信で統合し、観測衛星が取得し たデータを即座に統合衛星システムに 伝送し分散処理します. そして, 処理 情報は地上局に近い衛星から必要な情 報のみを送信することで遅延時間を大 幅に短縮します. これが両社で発表し た「宇宙統合コンピューティング・ネッ トワーク」です. 私たちはこのインフ ラの実現を通じて、宇宙データ利活用 のリアルタイム性, ユーザ利便性の飛 躍的な向上に貢献し, 地球規模の社会 課題解決に取り組んでいきます.

このインフラは2025年から順次稼働 させることをめざし開発を進めています. その一環として2022年にはJAXA の軌道上での実証実験を予定しています. 広大な宇宙空間を光で結ぶ宇宙統

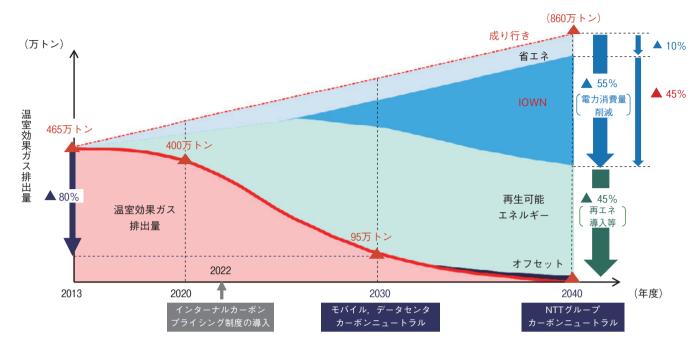


図11 新たな環境エネルギービジョン

合コンピューティング・ネットワーク は、地球系エネルギーから脱却した究 極にエコなインフラとなります.

(14) 宇宙太陽光発電

本発電は宇宙において太陽光発電を行い、そのエネルギーを地球に送電するという次世代のエネルギーです。 NTT研究所では、3つの分野から本研究開発を進めています。

1番目は、地上3万6000 km上空の 静止軌道上で太陽光を集め、集めた光 を人工衛星上の特殊な結晶に直接照射 して、高効率にレーザを励起させる技 術です。

2番目は、宇宙から地上にレーザを 伝送する技術です、レーザが大気を通 過する際、大気の乱れによる進路のず れやエネルギーの減衰が発生します。 そこで、大気の影響を回避し遠くまで 正確にレーザを届ける技術を研究して います、宇宙から送り届けられるエネ ルギーは、可視光の場合、大気による 吸収や散乱を要因として減衰や、人間 の目が感知してしまうため、赤外線 レーザが有力な候補です.

3番目の技術は、宇宙から届く高強度の赤外線レーザに耐え、しかも高い効率で発電する光電変換システムです。さらに、電力以外に、水素やアンモニアといった貯蔵可能なエネルギー媒体へ変換する技術も検討しています。

この宇宙太陽光発電は、先ほどご紹介した宇宙統合コンピューティング・ネットワークと連携することで、宇宙空間で得たエネルギーを宇宙空間で活用する、いわば地産地消もめざしています。

(15) **落雷制御**

昨年,発表した落雷制御技術について進捗を説明します。今回,落雷そのものをコントロールし,重要設備などへの落雷を防止するとともに,雷から電力を取得する「落雷制御・充電技術」を開発しました。

前述しました、宇宙統合コンピュー ティング・ネットワークからの雷雲の 観測を基に落雷を起こしそうな雲にド ローンを近づけて、雷を誘導するルー トを形成して、街への落雷を防止する とともに、落雷の電流を雷充電車など に送り、電力として利用します。

これは現在開発中の、世界初の雷に耐えるドローンです。「ファラデーケージ」と呼ばれる金属製のシールドと組み合わせ、落雷からドローンを守ります。このドローンに、人工の雷を落として耐雷性能を検証しました。雷撃を受けても、故障や誤作動もなく、飛行しています。また、この実験から、ワイヤを伝って雷が誘導できることも検証しました。

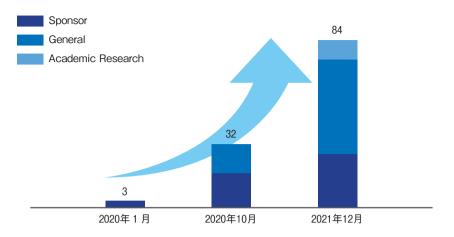
今後は、落雷誘導技術とともに、雷 を電力として再利用する技術も開発 し、早期に実用化をめざします。

IOWN構想を進めるチーム

IOWN構想を進めているIOWN Global ForumおよびNTTの新体制 について紹介します.

(1) IOWN Global Forum

2020年1月にNTT, インテル, ソ ニーが発起人となって設立した,



アジア・米州・欧州を含む84組織・団体が参画

※2021年12月時点

図12 IOWN Global Forum メンバー数の推移

IOWN Global Forumには、IOWN がめざす世界、およびそのイノベーションに賛同した世界の主要なICT企業が参加しており、そのメンバー数はわずか2年弱でおよそ80社まで成長しました(10)(図12).

Microsoft や Dell, Ericson, NVIDIAなどのICT企業や、さまざまなデバイス技術を有する、味の素や信越化学工業、矢崎総業、AGCといった企業に加え、IOWN技術を利用する立場から、三菱ケミカルやJGC、防災科研などの企業や組織も加わり、IOWNの技術開発とともにユースケースの議論も行っている点がこのフォーラムの特徴です。

コロナ禍の影響でオンラインでの活動となっていますが、2020年4月に公開したホワイトペーパーを皮切りに、3回のユースケース文書の公開および技術文書の公開など、活発にグローバルな活動を進めています。

(2) IOWN総合イノベーションセンタ

IOWN構想や6Gの実現に向けた研究開発力の強化を目的として、2021年7月1日に「IOWN総合イノベーションセンタ」を設置しました。技術分野

の壁を越えた柔軟かつ一体的な研究開発を進め国内外の多くの企業と連携し、IOWN実現に向けた研究開発を加速していきます。

(3) オーソリティチーム

このたび、NTT R&D オーソリティチームを組織することにしました。各分野における著名な権威者たる研究者が、NTT R&Dに在籍し、IOWN構想ならびにその先をも見据えた研究をリードすることを目的にしています。オーソリティチームは、研究テーマの実施・指導・助言を通じて各研究領域を牽引する役割を担います(11)。

(4) 基礎数学研究センタ

長期的視野に立った研究開発を一層強化するために、基礎数学研究を推進する組織を新設しました(12). 本組織は現代数学の基礎理論体系構築に取り組むとともに、未知の疾病の解明や新薬の発見など、IOWN構想実現に向けて取り組んでいるさまざまな研究課題に対し、現代数学の手法を駆使した今までにないアプローチで研究開発を進めます。ポスト量子時代を見据えた「超」量子計算理論や、「意識」の理論確立を実現し、脳型計算モデルの構築に挑みます。統括は日本の基礎数学の

第一人者である,若山正人 数学研究 プリンシパルです.

おわりに

人間中心のデジタル化から地球をあるがままに取り込みナチュラルに物事をとらえる地球に負荷を与えない革新的なテクノロジ、IOWNの進展を紹介しました。IOWNは社会と経済のあらゆる事象を見直す2021年のダボス会議のテーマ「グレートリセット」に資する営みです。

今後、NTTグループは全力でIOWN 構想の実現に向けて確実に進展させて いき、2024年にはIOWNデバイスを、 2025年にはIOWNシステムを、そして 2026年には商用展開を開始します。

また、IOWNにより、NTTグループを超えてさまざまな産業分野における多くの方々と連携し、新たな可能性を共に探っていき、社会全体に貢献していきたいと思います。人類・生物・地球が幸福であり続けるために、私たちNTTグループは今後も限界打破のイノベーションに挑戦し続けます。

■参考文献

- (1) https://group.ntt/jp/newsrelease/2019/04/ 16/190416a.html
- https://group.ntt/jp/newsrelease/2021/06/ 18/210618a.html
- (3) https://group.ntt/jp/newsrelease/2021/11/ 02/211102b.html
- (4) https://group.ntt/jp/newsrelease/2021/10/18/211018a.html
- (5) https://group.ntt/jp/newsrelease/2021/10/27/211027b.html
- (6) https://group.ntt/jp/newsrelease/2021/11/ 05/211105b.html
- (7) https://github.com/nttcslab/permutoninduced-crp
- (8) https://group.ntt/jp/newsrelease/2021/09/28/210928a.html
- (9) https://group.ntt/jp/newsrelease/2021/05/20/210520a.html
- (10) https://iowngf.org/members/
- (11) https://www.rd.ntt/organization/authority/
- (12) https://group.ntt/jp/newsrelease/2021/10/ 01/211001a.html

「NTT R&Dフォーラム — Road to IOWN 2021」開催報告

2021年11月16~19日の4日間にわたり、オンラインにて「NTT R&Dフォーラム—Road to IOWN 2021 | を開催しました。ここでは 本フォーラムの開催模様を紹介します。

NTT R&Dフォーラム事務局

フォーラム概要

「NTT R&Dフォーラム」では、毎 年NTT研究所の最新の取り組みにつ いて紹介しています. 今回は. 「Road to IOWN 2021 | をコンセプトとして、 6つのカテゴリに分け97件の展示を 行ったほか、10件の講演/セミナーを 配信し、NTTグループトータルで取 り組んでいるIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の「今」を分かりやすく紹介しま した.

基調講演・特別セッション

■基調講演 1

澤田純NTT代表取締役社長が 「What is IOWN?」のテーマで講演 を行いました(写真1). まず自然災 害やパンデミックなど、従来の自然主 義では想定外な事態が起こる中にあっ て「環世界」の考え方が必要であるこ と、そして「多様な環世界をつなぐメ ディア」としてのIOWNの存在意義 を提示しました. IOWNのユースケー



写真 1 基調講演 1 澤田社長

スとして、インターネットとテクノロ ジにより障がいを持った方々に働く場 所を提供する「分身ロボットカフェ DAWN など3つの実証実験を紹介 しました. また. 光電融合デバイスに おいては2025年までにチップ間、2030 年までにチップ間・チップ内ともに光 素材で構成することをめざすなど. 2030年度までのIOWN導入・研究開 発ロードマップを示しました. さらに. 事業活動による環境負荷の削減と限界 打破のイノベーション創出により. 「環 境課題の解決 | と「経済成長 | という 矛盾したものを同時実現するNTTグ ループの新たな環境エネルギービジョ ン「NTT Green Innovation toward 2040」を紹介しました. NTTグルー プの理念として利他的共存をめざす 「Self as We」を掲げ、今後は持続 可能な社会の実現に向けて「自然(地 球) との共生」「文化 (集団・社会~国) の共栄」「Well-beingの最大化」の3 つのテーマで活動していくことを宣言 しました. 詳細は本特集記事『What is IOWN?』をご参照ください.



写真 2 基調講演 2 川添部門長

■基調講演2

川添雄彦NTT常務執行役員 研究企 画部門長は「Road to IOWN 2021」 のテーマで講演を行いました(写真 2). NTTの1研究所による光トラン ジスタの発明から始まったIOWN構 想は、今やNTTグループ全体にとど まらず全世界の営みへと広がっていま す. 講演では、2019年5月に発表し3 年日を迎えたIOWN構想を構成する 技術開発の進捗を報告するとともに. 代表的な15のイノベーション技術を紹 介しました. また. IOWN Global Forumのメンバー数が2年弱でおよ そ80社まで増加したこと、IOWNの実 現へ向けた研究開発を加速するために 2021年7月1日にNTT IOWN総合イ ノベーションセンタを設立したこと, 各分野における著名な経営者、研究者 が在籍するNTT R&Dオーソリティー チームを組織することなども合わせて 報告しました. 詳細は本特集記事 『Road to IOWN 2021』をご参照く ださい.

■特別セッション 1

川島正久IOWN推進室 室長がモデ レータを務め、新体制のトップ2名と ともに「IOWN構想の実現に向けて ~NTT研究所の新たなトップが語る, R&Dのチャレンジ~」と題したディ スカッションを行いました(写真3). IOWNのコアテクノロジの具現化を担 うため2021年7月に発足したNTT



写真 3 特別セッション 1 (左から) 川島室長, 塚野センタ長, 大野所長

IOWN総合イノベーションセンタの塚 野英博センタ長は、サプライヤー側で ある富士通の出身. また. デジタルツ インコンピューティング(DTC)を 活用してすべての人が「Well-being」 に暮らせる社会をつくることをめざす NTTサービスイノベーション総合研 究所の大野友義所長は、NTTドコモ のR&D部門においてサービス創出に 携わってきました. 本セッションでは. IOWNを活用してどのように市場をつ くっていくか、今後どのような活動を どう進めていくか、といった課題につ いて意見が交わされました. 「グロー バルなベンダがIOWNに参画するに は何が必要か」という問いに対し、塚 野センタ長はIOWN Global Forum による標準化の重要性を、大野所長は 共にサービスを創造するパートナーの 重要性を挙げました(**写真4**).

■特別セッション2

IOWN Global Forumのメンバーによるセッションは「IOWN Global Forum and its Initiatives Toward 2030」というテーマで行いました(写真5). Marketing Steering Committee バイスチェアを務める Gonzalo Camarillo氏をモデレータとして、同じくIOWN Global ForumのメンバーでTechnology Steering



写真 4 特別セッション 1 [Well-being] を 実現する世界観

Committee チェアのClara Li氏、 All Photonics Network検討に関す るアクティブメンバーのPhilippe Chanclou氏, Use Case Working Group チェアの 伊東克俊氏. Technology Working Group チェ アの川島正久IOWN推進室 室長の4 名が参加しました.「IOWN Global Forumと他の標準化団体とのかかわ りしや「IOWNがもたらす社会的なメ リット」などのテーマについて、各パ ネリストが自身の専門領域における現 状と課題を語りました. IOWNがもた らす社会的なメリットについては、川 島室長はエネルギー効率への貢献を, 伊東氏はモデリングによる業務効率の 向上を、Clara Li氏はDCI (Data Centric Infrastructure: データセ ントリックインフラストラクチャ)の 構築によるエネルギー効率および持続 可能性への貢献をあげました.

技術セミナー

「技術セミナー」では、NTTが現在取り組んでいる最先端の研究成果の紹介や、ゲストの方を招いたディスカッションの様子を配信しました。今回は「農業へのICT技術応用と未来への展望」「情報流通の「壁」の克服 ~あらゆる相手と、あらゆるデータを、安全



写真5 特別セッション2

に取引可能に~」「人のように考え、成長できるAIが切り拓く世界 ~次世代メディア処理AI『MediaGnosis™』~」「リアルとサイバー空間の交錯による新たなユーザ体験」「ブルーカーボン技術が拓く人と地球の新しい関係」「光格子時計ネットワークが切り拓く未来」の6つのテーマでセミナーが配信されました。ここでは、それぞれの概要を紹介します。

■技術セミナー 1

MCにタレントのハリー杉山氏、ゲ ストにネイバーズファーム代表の川名 桂氏を迎え、NTTネットワークサー ビスシステム研究所の山本浩司主幹研 究員により「農業へのICT技術応用と 未来への展望」と題して開講されまし た (**写真 6**). NTT グループの社会的 課題解決に向けた6つの重点項目の1 つである「Smart Agri」について、 今回はその中の「ネットワークと農業 の環境」というテーマを取り上げまし た. セミナーでは現在北海道大学との 共同研究中のレベル3のロボット農機 について, 可用性の向上, 多層的な安 全対策、汎用プラットフォーム開発な どの取り組みが紹介されました. 2018 年に開始された都市農地貸借法による 新規就農者第1号として都内で農園を 営まれている川名氏は、「私が現役の



写真 6 技術セミナー 1 (左から) ハリー杉山氏,山本主幹研究員, 川名氏

うちにかなりのレベルまで自動化が実装されるのではないか、また私たちに続く世代では農業が魅力ある産業へと成長するのではないか」と述べ、期待をふくらませました。

■技術セミナー2

本セミナーは、MCにタレントのハ リー杉山氏、ゲストに越塚登 東京大 学大学院 情報学環 教授を迎え、NTT 社会情報研究所 横関大子郎主席研究 員により「情報流通の「壁」の克服 ~あらゆる相手と、あらゆるデータを、 安全に取引可能に~| と題して開講さ れました (写真7). 越塚教授はDSA (Data Society Alliance:一般社団 法人データ社会推進協議会)を設立 し、政府、産業会、NTTなども交え て「データを自由に流通する環境の構 築 に取り組んでいます。セミナーで は、情報流通に立ちはだかる壁を越え、 最小限の情報を最小限の相手に、しか も暗号化したまま提供し共有すること のできる「クロスドメイン情報流通を めざしたトラステッドデータスペース」 の概念が紹介され、さらに土台となる 「高機能暗号」「秘密計算AI」「次世代 データハブ」の3つの要素技術につい て、それぞれの専門の技術者から説明 がありました.



写真7 技術セミナー2(左から) ハリー杉山氏,横関主席研究員, 越塚教授

■技術セミナー3

MCにタレントのハリー杉山氏、ゲ ストにタレントの中村静香氏を招い て、NTTコンピュータ&データサイ エンス研究所の草地良規主幹研究員. 増村亮特別研究員により「人のように 考え、成長できるAIが切り拓く世界 ~次世代メディア処理AI『Media-Gnosis[™]』~| と題して実施されま した. セミナーでは、まずヒトのよう に考え、そして成長できるAIの例と して、誰もが持っている「魅力的な個 性 | の発見を助ける「MOTES-SENSE™Iをゲストの中村氏が体 験. 自身のモテ因子が「感情」である と指摘され、きめ細かく診断されてい ることに驚いている様子でした(写真 8). その後. MOTESSENSE™に も活用されている。あらゆるメディア 情報を人間のように統合的にGnosis (知識) とし、それを元に Diagnosis (判断) することをめざす 「Media-Gnosis[™]」の概要について紹介があ りました.

■技術セミナー4

本セミナーは、MCにタレントのハリー杉山氏、ゲストにハコスコ代表取締役社長の藤井直敬氏、株式会社ACCESS CTOの植松理昌氏を迎え、NTT人間情報研究所の深津真二主幹



写真 8 技術セミナー 3 中村氏が 「MOTESSENSE™」を体験

研究員, NTT研究企画部門の八木毅 担当部長により「リアルとサイバー空 間の交錯による新たなユーザ体験しと 題して開講されました(**写真9**). 低 消費電力、広帯域、低遅延が実現する と、ユーザはすべての情報を受け取り、 その中から自分の意図に応じて自由に 情報を取捨選択することが可能となり ます、セミナーでは、IOWN時代にお いてUI (User Interface), UX (User Experience) はどうあるべきか、そ して4Dデジタル基盤[®]等によりリアル とサイバー空間が交錯すると、ユーザ 体験はどうあるべきかなどについて. UI, UXの専門家である各参加者によ りディスカッションが行われました.

■技術セミナー5

本セミナーは、MCにタレントのハリー杉山氏、ゲストにサンゴの養殖・移植に取り組む有限会社海の種代表取締役の金城浩二氏、そして岸壁幼魚採集家の株式会社カリブ・コラボレーション代表取締役社長の鈴木香里武氏を迎え、NTT宇宙環境エネルギー研究所の岡崎勝彦主幹研究員により「ブルーカーボン技術が拓く人と地球の新しい関係」というテーマで開講されました(写真10)、宇宙視点で環境エネルギー問題に取り組むNTT宇宙環境エネルギー研究所が中心となり、



写真9 技術セミナー4 (左から) ハリー杉山氏,深津主幹研究員, ハ木担当部長,藤井氏,植松氏

今回は「ブルーカーボン」をキーワードとして CO2問題を取り上げました.地球全体の生態系に取り込まれる炭素のうち、海洋の生態系に取り込まれるものをブルーカーボンと呼び、浅海において実に地球上で吸収される CO2の35%を占めていることが知られています。セミナーでは、京都大学発のベンチャー企業のリージョナルフィッシュ株式会社とNTTが共同で行っている研究が紹介され、活発なディスカッションが行われました.

■技術セミナー6

本セミナーは、MC にタレントのハ リー杉山氏、ゲストには東京大学大学 院 工学系研究科の香取秀俊教授, 国 立研究開発法人情報通信研究機構 電 磁波研究所電磁波標準研究センター 時空標準研究室の井戸哲也室長を迎 え, NTT物性科学基礎研究所の赤塚 友哉主任研究員, NTTネットワーク サービスシステム研究所の新井薫研究 主任により「光格子時計ネットワーク が切り拓く未来」と題して開講されま した (**写真11**). ゲストの香取教授が 2001年に考案した光格子時計につい て、NTTでは現在、冷却用レーザを 原子に当てるまでのパスを平面光波回 路というチップにすることで小型化に 取り組んでいること、そして、精密な



写真 10 技術セミナー 5 (左から) ハリー杉山氏, 岡崎主幹研究員

光格子時計を全国に配置し、それを NTTの光ファイバ網でつなぐ時空間 情報インフラ「光格子時計ネットワーク」構想が紹介されました。セミナー では光格子時計の原理を解説するとと もに、「相対性理論にもとづく標高差 測定や時刻同期」などの応用範囲が挙 げられました。

研究成果展示

NTTの最新技術、研究成果を6つのカテゴリに分けてバーチャルの展示ブースで紹介しました。その中から、特に注目された研究を以下にピックアップしてレポートします。

■ネットワーク

「ネットワーク」カテゴリでは、IOWNの光/無線ネットワーク技術とその高度な制御・運用技術の数々を紹介しました。「End-Endの快適品質を実現するエクストリームNaaS」の展示では、変動する無線環境に応じたアナログRoF(Radio over Fiber)、RIS(Reconfigurable Intelligent Surface)といった方式非依存の無線技術によりパフォーマンスを最適化し、さらに光ネットワークやアプリレイヤなど無線以外のシステムをも横断してトータルで最適化する技術を紹介しました(図1)。また、「多様な光パスを



写真 11 技術セミナー 6 (左から) ハリー杉山氏,赤塚主任研究員, 新井研究主任

提供するAPNトランスポート構成技術」の展示では、お客さま拠点を含む任意の2地点間を光パスによってオンデマンドで直結する技術や、ドメインをまたいだ端末間をE2Eの光パスでつなぐ低遅延サービスの技術などが紹介されました。

■UX/UI・デバイス

「UX/UI・デバイス」カテゴリでは、 実世界とサイバー世界とをシームレス につなぎ、身体的・心理的・社会的イ ンタラクションを通して人の能力を最 大化する技術を紹介しました. 「パー ソナライズドサウンドゾーン」の展示 では、周囲の音空間を高度に制御する ことで、ユーザに適した音空間をつく り出すための研究を展示し、周囲音を 遮断する騒音制御技術、必要な音を聞 き取るイベント検知・定位技術などを 紹介しました. また,「IOWNが創り だす新しいUI/UX」の展示では、現 実空間とサイバー空間とを融合するこ とで、多様な受け手(健常者、障がい 者,生物,機械)の価値に応じた体験 を実現する技術を紹介しました(図 2). 過去の時空間を構築して追体験 する, 生活音を可視化して耳の聞こえ づらい人にも過ごしやすさを提供する, などのユースケースを示しました.

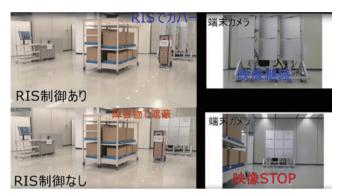


図1 RISによる端末追従の制御技術



図3 量子計算機時代のセキュア光トランスポート技術

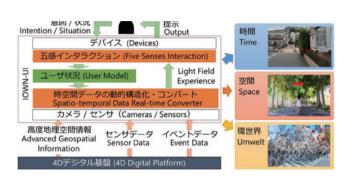


図 2 IOWNが創りだす新しいUI/UX

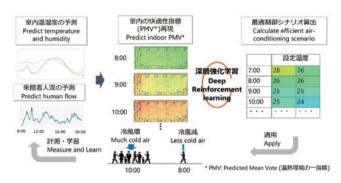


図4 空調最適制御シナリオ算出技術

■セキュリティ

「セキュリティ」カテゴリでは、 Smart Worldの実現や多様な社会価 値の創出に向けて、IOWNならではの 特長を活かした新しいセキュリティを 実現する各種技術を紹介しました. 「量子計算機時代のセキュア光トラン スポート技術」の展示では、IOWNの セキュリティを支える, 量子計算機を 用いても解読不能な暗号技術を紹介し ました (図3). 展示では, 非圧縮の 8K映像を暗号化したうえで伝送し、 ほぼ遅延なく表示できることを、実機 を用いて実証しました. また,「トラ ステッドネットワークを支えるトラン スペアレンシー確保技術 | の展示では、 サプライチェーン全体にわたって機器 の構成やリスクを可視化し、正確かつ 漏れのないセキュリティ管理を実現する技術を紹介しました。IOWN時代に向けて、誰もが安心して利用できる世界をめざすことが発表されました。

■コンピューティング

「コンピューティング」カテゴリでは、IOWNを支えるコンピューティング技術やDTC、およびAI、DX関連の最新技術および取り組みを紹介しました。「快適性と省エネを両立する空調最適制御シナリオ算出技術」の展示では、室内の快適性指標(PMV)を温度、湿度、運動量より再現し、深層強化学習で算出した空調制御シナリオにより消費エネルギー量と快適性とを同時に最適化する技術を紹介しました(図4)。また、「4Dデジタル基盤®の実現に向けた取り組み」の展示では、

DTCを支え、社会課題の解決や新たな価値創造をめざす基盤として、豊富な意味情報を持つ高度地理空間情報データベース上に多様なセンサデータを高精度・リアルタイムに統合し提供する4Dデジタル基盤®を紹介しました。

■環境負荷ゼロ(環境・エネルギー)

「環境負荷ゼロ(環境・エネルギー)」カテゴリでは、「地球のこと、宇宙(そら)から」をコンセプトに、地球環境の未来を宇宙の視点から革新する環境エネルギー技術を紹介しました。「環境再生/適応技術」の展示では、ゲノム編集を利用した海洋中CO2の生物学的変換技術、および衛星IoT (Internet of Things) センサを活用した超広域大気/海洋観測技術を紹介しました(図5). これらの技術を軸に、将来的

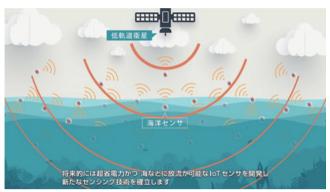


図 5 衛星IoTセンサを活用した超広域大気/海洋観測技術



図6 IOWN構想に基づくバイオデジタルツイン(BDT)の実現

には環境負荷の低減、および地球環境変動に適応可能で、超レジリエントな社会の実現をめざします。また、「宇宙太陽光発電技術」の展示では、上空3万6000kmの静止衛星軌道上に巨大な集光装置を設置することで太陽エネルギーをレーザやマイクロ波に変換して送信し、地上に設置した受信装置で受信して電力などのエネルギーに変換し利用する技術を紹介しました。

■基礎研究

「基礎研究|カテゴリでは、情報処 理技術、先端的デバイス・フォトニク ス技術、医療・バイオ技術に関する研 究開発など、IOWN構想に資する各分 野の基礎研究を紹介しました. 「世界 最高精度の周波数を遠隔地へ送る光格 子時計ネットワーク技術」の展示では、 光格子時計ネットワーク技術を紹介し ました. 従来の通信用周波数基準に対 して10万倍以上の高い精度を達成する 光格子時計のネットワークを活用し, 5G(第5世代移動通信システム) /6G (第6世代移動通信システム) 向 けの長期安定時刻同期や防災に向けた 精密標高差計測の実現をめざします. また. 「医療健康ビジョン: バイオデ ジタルツインの実現」の展示では、個 人の身体と心理の精緻な写像であるバイオデジタルツイン (BDT) への取り組みを示しました (図6). BDTの実現により、心身の状態を予測し、健康で将来に希望を持てる輝く"医療の未来"への貢献が期待されます.

フォーラムを終えて

本年でIOWN構想は3年目を迎えました。今後、2024年にはデバイスの完成、2025年には装置の開発完了、2026年にはIOWNの商用導入の開始が予定されています。本フォーラムを通じ、2030年に予定されているIOWNの本格普及に向け、着実に前進していることを感じていただけますと幸いです。NTTは、これからも皆様のご期待に添えるよう、研究開発により一層努力していく所存です。

◆特設サイト紹介

基調講演(動画),展示などは特設サイトに掲載しておりますのでご覧ください.

特設サイト:

「NTT R&Dフォーラム

Road to IOWN 2021」開催報告https://www.rd.ntt/forum/2021/





(左から) 向内 隆文/玉田 妙子/ 恩塚 貴行/細田 智久/ 望月 崇由/高橋 慶太/ 日達 研一/森 俊介

◆問い合わせ先

NTT R&D フォーラム事務局 E-mail rdforum-info @ ml.ntt.com

デジタルツインコンピューティング 構想実現に向けた技術開発

NTTでは、IOWN(Innovative Optical and Wireless Network)構想における大きな柱の1つとして、

実世界とデジタル世界の掛け合わせによる未来予測や最適化を実現する

「デジタルツインコンピューティング(DTC)」の研究開発を進めている.

本特集では、DTCが担う世界と、4つのグランドチャレンジについて紹介する.

I O W N

コミュニケーション

デジタルのもう1人の自分

シミュレーション基盤

System of Systems

Digital Twin Computing

| IOWN デジタルツインコンピューティングで実現する世界 NTTがめざすIOWNにおいて、デジタルツインコンピューティング(DTC)が担う世界と、 4 つのグランドチャレンジについて概説する. | 28 |
|--|----|
| 感性コミュニケーション技術の実現に向けた熟練度と 対話満足度に関する取り組み 感性の違いを超えたコミュニケーションに向けた研究の中から「作業熟練度に合わせた情報 提示」と「対話参加者の積極性と影響度に基づく満足度評価推定」の技術について紹介する. | 32 |
| Another Meを実現する技術群 自らと共に成長する分身Another Meの実現に向けて取り組んでいる「観点別質問生成技術」 「身体モーション生成技術」「対話映像要約技術」について紹介する. | 36 |
| 未来社会探索エンジン実現に向けた取り組み 未来社会探索エンジンのアーキテクチャ概要、および主要技術である「必須レイヤ自動選択 技術」「What-ifシミュレーション技術」「逆シミュレーション技術」について紹介する. | 39 |
| 環境と経済社会の循環を可視化する連成シミュレーション技術 System of Systems技術に関する課題, および循環システム評価の初期取り組みとして PoC (Proof of Concept) の構築状況について紹介する. | 43 |

IOWN デジタルツイン コンピューティングで実現する世界

NTTがめざすIOWN(Innovative Optical and Wireless Network) 構想における大きな柱の1つとして、実世界とデジタル世界の掛け合わせによる未来予測や最適化を実現する「デジタルツインコンピューティング(DTC)」の研究開発を進めています。本稿では、IOWNにおいてDTCが担う世界と、4つのグランドチャレンジについて紹介します。

| ないとう | いちべえ | 稲家 | かつお |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 内藤 | 一兵衛 †1 | | 克郎 †1 |
| ふじむら | しげる | ^{なかむら} | たかお |
| 藤村 | 茨女 † 1 | 中村 | 高雄 †2 |
| ************************************* | pょう | もり | _{こうや} |
| | 亮 ^{†2} | 森 | 航哉 ^{†2} |

NTT研究企画部門 † 1

NTT デジタルツインコンピューティング研究センタ†2

IOWN デジタルツイン コンピューティング (DTC)

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) で実現される超大容量・超低遅延・超低消費電力を特徴とした革新的なネットワーク・情報処理基盤上で実現するのが「デジタル

ツインコンピューティング(DTC) 構想」です。この構想は、実世界におけるモノ・ヒト・社会に関する高精度なデジタル情報を掛け合わせることにより、従来のICTの限界を超えた大規模かつ高精度な未来の予測や新たな価値を持った高度なコミュニケーションの実現をめざすものです(図1).

DTC構想のめざす世界

DTC構想には以下の3つの特長があります.

① 多様なデジタルツインを自由に 掛け合わせて分析・試行・予測な どを可能とするために、デジタル ツイン間の大規模かつ複雑な相互

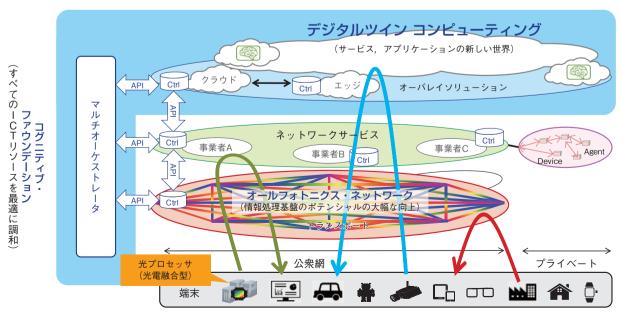


図1 IOWNの全体像

作用を解析するための共通的な手 段を提供すること.

- ② デジタルの利点を活かし、複製 や加工された派生デジタルツイン を組み合わせることで、仮想社会 を構築し、実世界の機能や相互作 用を拡張することが可能となる こと.
- ③ ヒトの内面を再現することで, 例えば個々人の思考や判断をデジ タル空間上で再現・表現すること により、ヒトの行動やコミュニ ケーションなどの社会的側面につ いて、統計的に丸められた無個性 な個体間の相互作用ではなく. 個 性を踏まえた多様性に基づく相互 作用が可能となること.

今後、データ流通量の爆発的な増加 が予想され、「Society 5.0」と呼ばれ る新たな産業革命においては、実世界 で人と機械との協働が増えることはも ちろん、デジタルツインのようにサイ バー空間においても、人と機械がリア

ルタイムで情報をやり取りしていくこ とになるはずです. 現在, 多くの産業 で導入されているデジタルツインは. 現実世界に存在するモノや空間のコ ピーとシミュレーションを目的として いますが、IOWNで実現するDTC構 想は、さまざまなデジタルツインを自 在に掛け合わせて多様な演算を行うこ とにより、これまでにない大規模かつ 高精度な実世界の再現、さらには実世 界の物理的な再現を超えた、ヒトの内 面をも含む相互作用をデジタル空間上 で実現することを可能とする新たな計 算パラダイムです. これにより, さま ざまな社会的課題を分析、検証できる 環境の実現をめざしています。さらに、 この検証結果からより良い未来を選択 し、現在へフィードバックするサイク ルを回していくことで、変化し続ける 現実世界に対応し、人々が自分なりの 豊かさを選択可能な世界をめざしてい ます.

DTC構想と密接に関連する 取り組み

DTC 構想は、精緻な時空間把握に よる未来予測・最適化を行い社会課題 の解決や新たな価値創造をめざす「4D デジタル基盤®」や、メディカル分野 のスマート化でより幸福に生きるため に将来を豊かに導く「ウェルビーイン グレという新たな価値実現にも貢献す るものです.

「4Dデジタル基盤®」は「緯度・経 度・高度・時刻 | の4次元の情報を高 い精度で一致・統合させ、多様な産業 基盤とのデータ融合や未来予測を可能 とする基盤であり、実用化に向け、さ まざまな取り組みをNTTグループ. 各産業分野のパートナーとともに推進 しています。ヤンサ情報の位置・時刻 を高精度化する技術を適用したうえ で、高精度かつ豊富な意味情報を持つ 高度地理空間情報データベース上にリ アルタイムに統合し、多様な社会活動

デジタルツイン の規模・粒度







時空間を超えた人知活用

2030年以降,多様な個性や専門性を掛

け合わせ、瞬時の合意形成やアイデア









より広く

能力拡張

意思決定

より深く

2030年以降, 知的業務・技能を強化する能力拡張や, 自律的に行動・成長す るデジタルツインとの協働を実現

2030年にさまざまな自身の可能性・未

来像を提示し,自らの意思決定に活用



医療健康

創発に活用

2024年以降,生体センシングとライフス タイル分析による個別化・予測型の医



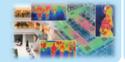
人流/交通流の最適制御

空間と時間の4D情報を活用した人流/交通流等の制御.2030年までに気象、スケジュールまで組み合わせた混雑/渋 滞/CO。最少社会を実現



都市エネルギー予測

2030年までに都市レベルでリアルタイ ムなエネルギ--・インフラ(電気, ガス) 水道他) の需要予測・高効率利用を実



未来都市のデザイン

4D情報の中長期の変動予測による都 市開発計画, 2030年以降, ヒトの社会 活動まで試行/予測した新たな街づく りの実現



地球規模のデジタル再現

2030年以降, 地球全体の地形, 気候変 動等をデジタル化し,大規模自然災害 の予測・対策し、持続可能な国・街づ くりを実現



デジタルツインコンピューティングの適用域 図 2

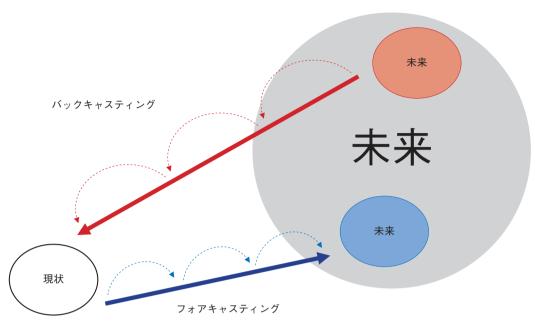


図3 フォアキャスティングとバックキャスティング

の現状分析や未来予測を通して、より 良い未来に向けた行動変容に貢献する ことを志向しています. こうした未来 予測により、道路交通の整流化や、エ ネルギー・物流・緊急車両等都市ア セットの活用. 社会インフラの協調保 全、環境・防災に向けた地球理解など の領域で新たな価値の提供をめざして います.

また、「ウェルビーイング」に貢献するものの1つとして、バイオデジタルツイン(BDT)があります。さまざまな生体にかかわる情報と、体内の情報ネットワークの仕組みに基づく数理モデル化技術により、未知なる生体の機能を推定する技術です。これらの技術を基に構築したBDTによって、予防、治療、ケアの複数の選択肢を導き、それらの効果の精密なシミュレーションが実現されると考えています。人間が健康で将来に希望を持ち続けられる医療の未来への貢献をめざしています(図2)

DTC 構想実現に向けた未来への 挑戦

先のDTC構想はめざすべき姿を描いたものであり、その実現に向けては、さまざまな技術領域において現在の技術水準から大きな飛躍が必要となります。これまで培ってきた技術をさらに伸ばすことや新たな着想を追加していく「フォアキャスティング」による研究開発を通じて着実に技術を進歩させるアプローチも取りながら、一方でこれまでのアプローチにとらわれない、大きな技術革新をめざしたチャレンジも並行して取り組む必要があると考えます。

そこで私たちは、一見達成困難にも みえる大胆な未来構想を先に掲げるこ とで高い目標を設定し、その未来から 「バックキャスティング」することで、 目標を定めて最短距離で解くべき課題 を見出しそれにトライすることでゴー ルをめざす、ビジョンドリブンなアプ ローチも採用して研究開発に取り組む こととしました(図3).

研究開発の目標の設定にあたっては、人の多様性や機会・可能性の拡大、社会構造の複雑化、地球規模の不確実性が増す未来において、個人の生きがいや心の豊かさを増進しながら、地球・社会・個人の間で調和的な関係が築かれる社会を実現するという価値観の下、多くの人にとって魅力的な未来と映るものになるよう何度も議論を重ねてきました。最終的に、広範なDTC構想をよりシャープな方向性に先鋭化させて、以下の4つを達成すべき大きな研究開発目標、「グランドチャレンジ」として設定するに至りました。

- ① 言語や文化の違いだけでなく、 経験や感性などの個々人の特性の 違いを超えて、心の中のとらえ方 や感じ方を直接的に理解し合える 新たなコミュニケーションを実現 する「感性コミュニケーション」
- ② 配偶者でも子どもでも親友でも ない、新たなかけがえのないパー トナーとして、人生における機会

を10倍に拡張し、自らと共存し共 に成長するデジタルの分身の実現 をめざす「Another Me」

- ③ 未来の社会の姿を探索し、そこから個人が望む行動を選択できる「未来社会探索エンジン」
- ④ 地球環境が備える自律性とその 一部としての社会・経済システム の自律性を調和させた包摂的な平 衡性と、そこへ導く社会システム 変容の複数の選択肢を示す「地球 規模の包摂的循環シミュレーショ ン

本特集では、各グランドチャレンジ のめざす世界、現在の取り組み状況、 検討中の技術などについて紹介します.

パートナー戦略

グランドチャレンジはどれも大きなビジョンを掲げたものであり、実現するうえではさまざまな知識、技術、実行力を持った数多くのステークホルダで力を合わせていく必要があります。つまり4つのグランドチャレンジは、1つの画期的な技術の開発によって実現され得るテクノロジドリブンな目標ではなく、社会や人間の意識の変容も必要とするファンダメンタルな社会課題の解決策として掲げられた目標ととらえることができます。

このため、必要とされるパートナーとの連携の仕方も従来とは異なる戦略が求められます、従来は技術要素の観点からの類似性や補完性などを中心にパートナーを選定し、特定の技術に関して共同開発するというかたちが多くのケースを占めていました。しかし、DTCのグランドチャレンジの目標達成のためには、ビジョンの実現という観点から共に解決に向けて協力できるパートナーを探し出し、力を合わせて

いく必要があります. このため、私たちとは全く異なる技術を持つパートナー、技術ではなく社会問題解決の知恵を持つパートナー、行政やNGOなど社会を変容する実行力を持つパートナーなど、共通のビジョンを共有できる異分野のパートナーと目標達成のために手を組み、それぞれが持つ強みを組み合わせながらビジョンの実現を成し遂げていく必要があります.

この具体的な一例がグランドチャレ ンジ4の「地球規模の包摂的循環シ ミュレーション | です. 地球環境が備 える自律性とその一部としての社会・ 経済システムの自律性を調和させた包 摂的な平衡性と、そこへ導く社会シス テム変容の複数の選択肢を示すという 大きなビジョンを掲げ、それに賛同す る気候モデルの専門家の方々、経済モ デルを含む循環モデルの専門家の 方々、そしてそれらをつなぎ合わせシ ステムとして構築する私たちの研究所 が一体となって、ビジョンの実現に向 けた研究開発を進めています. 個々の 技術開発に止まることなく、ビジョン 全体の実現に必要な技術や知識をいか に組み合わせていくかという, 新しい かたちのパートナー連携を模索してい ます.

標準化活動についても同じことがいえます。従来は業界内で同じ技術領域に強みのあるメンバで共通的な仕様を策定してきました。しかし、DTCにおいては、その適用範囲もいくつもの業界を含む広大な領域があり、またヒトデジタルツインなど社会における受容性が重要な部分もあります。このため、標準化活動においても、技術面の議論だけではなく、社会実装も見据えたうえで多様なステークホルダとの議論を進める必要があります。

おわりに

このように、DTC構想は10年後、20年後の社会のあり方を大きく変えていく可能性を秘めています。このためには従来とは異なるアプローチでの研究開発も必要であり、グランドチャレンジに代表されるような未来構想を掲げて研究開発に臨んでいます。そしてDTC構想を含むIOWNの実現には、社会科学、人文科学、自然科学、応用科学、学際領域等、さまざまな研究・技術分野の集結が必要不可欠です。NTT研究所では、このような幅広い研究・技術分野の専門家やグローバルパートナーと連携しながら、IOWN構想の実現をめざしていきます。



(上段左から) 内藤 一兵衛/ 稲家 克郎/ 藤村 滋 (下段左から) 中村 高雄/ 北原 亮/ 森 航哉

DTC構想は10年後,20年後の社会のあり方を大きく変えていく可能性を秘めています.このためには従来とは異なるアプローチでの研究開発も必要であり,グランドチャレンジに代表されるような未来構想を掲げて研究開発に臨んでいます.

◆問い合わせ先

NTT研究企画部門 R&Dビジョン担当 TEL 03-6838-5667 FAX 03-6838-5349 E-mail ichibe.naito.fs @ hco.ntt.co.ip

感性コミュニケーション技術の実現に向けた 熟練度と対話満足度に関する取り組み

全人類が相互理解可能な統一的なコミュニケーションを可能にす ることをめざし、感性コミュニケーション技術の実現に取り組んで います。第一歩として、①相手に合わせてどのように伝えるか、② コミュニケーションをどのように評価するかに焦点を当て、「作業 熟練度に合わせた情報提示」と「対話参加者の積極性と影響度に基 づく満足度評価推定」の技術をそれぞれ検討しました。今後は、本 稿の技術を磨き、互いの感性に合った表現による発話意図の理解向 上をめざします。

デジタルツインコンピューティング構想実現に向けた技術開発

さいじょう りょうへい とくなが ようこ 陽子⁺¹ 涼平⁺゚ 西條 德永 やまぐち だいち 大地†2 リドウィナ アンダリニ 1 山口 まつお しょうへい としま 巌樹⁺¹ 松尾 翔平† 戸嶋 くらはし おざわ しろう たかお 史朗竹 孝雄门 小澤 倉橋

NTT デジタルツインコンピューティング研究センタ†1 大阪大学大学院 情報科学研究科 † 2

感性コミュニケーション技術の 実現に向けた取り組み

一般にコミュニケーションにおいて. ある人物が発した情報が、相手に対し て100%の精度で伝わることはあり得ま せん. 多少の行き違い(ミスコミュニ ケーション)や、そもそも対話として成 立しないようなこと (ディスコミュニケー ション)が往々にして発生します. これ らを回避するコミュニケーション手段と して、伝達したかった気持ちそのもの(す なわち感性)を伝えることを目標とし た「感性コミュニケーション技術」の 確立をめざしています. 言い換えれば, 「感性コミュニケーション技術」とは、 伝えたいことが伝わり、それによって、 新たな解決策やより良い合意がなされ、 コミュニケーションの成果と当事者の 満足度が最大化される技術です. まず, 伝えたいことが伝わり、より良い合意 を実現するには、感性の2つの観点を 考慮する必要があります. それは「送 り手の感性 | と「受け手の感性 | です. つまり、「伝えたい感性」が送り手の感

性によってどのように表現され、受け 手の感性によって、どのように解釈さ れるかを予測するということです。次に、 実際に行われたコミュニケーションに 対して、当事者が満足するためには何 が必要かという検討が必要です. なぜ ならコミュニケーションが何らかの課 題解決や合意形成をめざすものである 場合、客観的により良い合意形成だけ では不十分であり、主観的に(すなわ ち感性的に) 当事者が満足し、合意で きるということが必要不可欠な要素だ からです.

私たちはこの2つの課題について. 以下の検討例を本稿に示します.

- ① 相手に合わせて伝えたい感性を どのように伝えるか. 生体信号か ら熟練度を求めて提示情報を切り 替えるインタフェースの検討
- ② 対話参加者の参加姿勢が対話結 果の満足度に与える影響. 特に積 極的な対話参加の満足度に対する 貢献度に関する基礎的実験結果に ついて

これらをきっかけに,「感性コミュニ

ケーション技術 | に関する議論が活性 化すればと考えています.

作業熟練度に合わせて情報提示 を行うインタフェース技術

さまざまな人々が一丸となってコミュ ニケーションを取りながら同一のタス クに取り組む共同作業の場面では、相 手に合わせて情報を伝えることは非常 に重要です. 私たちは、ヒトのデジタル ツイン(ヒトDT)を用いることで従来 よりも相手に合わせた情報伝達を実現 し. より円滑な共同作業を可能にする ことをめざしています. これまで. 共同 作業を支援する技術・サービスとして, 一方のユーザから別のユーザに対して 作業指示や補足情報を伝達するものが 数多く提案されています. こうした技 術・サービスの多くは各ユーザに一律 の支援(例えば、共同の作業空間内の 特定の場所に印を表示させるなど)を 提供するものでした.

しかし、作業中に必要な支援はユー ザの熟練度などによって異なり、情報 を与えられること(あるいは、与えられ

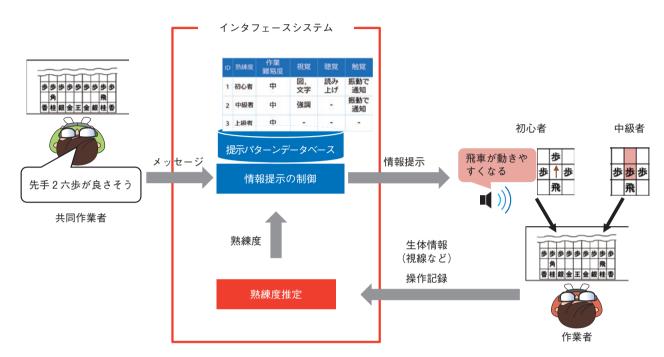


図1 熟練度に合わせて情報提示を行うインタフェースシステムの全体像

ないこと)による認知的な負担も異なります。例えば、2人で意見交換しながら手を決めるペア将棋の場面を考えます。熟練者や中級者に対しては、「将棋盤上の重要な場所に印を表示する」といった、簡易な情報提示でも十分だと考えられます。しかし、初心者に対しては、「図などを用いて駒の動かし方や一手の持つ意味を伝える」といった、より丁寧な説明が必要になると予想されます。熟練者から初心者までさまざまなレベルのユーザを対象としたとき、その違いをシステムが汲み取って、それぞれに合わせた適切な支援を提供する技術が求められます。

本技術では、作業中のユーザから得られる生体情報や過去の作業経験に関する情報からユーザの熟練度を推定し、 その側面を該当のユーザに対応するヒ トDT上に再現します. そして. 熟練度 が再現されたヒトDTを用いて. 作業を 邪魔せず. かつそのユーザにとって必要な情報を推定し情報提示の切り替えを行います (図1). これにより. 熟練度に起因する直感や理解力などの感性 が異なるユーザどうしでも, 円滑なコミュニケーションが取れるような共同作業支援を実現します.

現在、作業中の視線の動きは作業に対する熟練度によって異なるという既存研究(*)の知見を参考に、アイトラッキング*を主軸としたセンシングデータを活用する取り組みを進めています、視線の移動量や移動パターン、ユーザの作業経験、作業の難しさなどを組み合わせて機械学習を行い、ユーザの熟練度を推定することをめざしています。また、ユーザに合わせた情報提示につ

いては、利用するモーダル(図示や音声など)や情報の粒度、空間内の配置といった情報提示を幅広く検討し、ユーザに適した提示方法の設計も進めています。

熟練度に関する取り組みとして、視線データを用いた熟練度推定とそれに基づいた情報提示を行うインタフェース技術を紹介しました。今後は、NTTデジタルツインコンピューティング研究センタでこれまで培ってきたUI・UXに関する知見⁽²⁾なども取り入れ、情報提示方法に関する検討を深め、より人間中心なシステムの実現に向けた取り組みを推進していきます。

^{*} アイトラッキング: 人の目の運動を分析し、視 覚的注意などを明らかにする生体計測手法.

対話参加者の積極性と影響度に 基づく満足度評価推定技術

対話を通じて合意形成をする際, そ の対話に満足しているのか、合意結果 に納得しているのかは、参加者によっ て異なります. 例えば,「たくさんしゃ べることができて楽しかった」と自身 の積極的な姿勢を重要視し、発言回数 に基づいて対話の満足度を評価する人 もいれば、「自分の意見が合意形成に役 立った」と自身がどれくらい貢献でき たかを重要視し、合意結果に自身の意 見が反映されているかどうかに基づい て評価する人もいます. これは、参加 者の対話に対する価値観が影響してお り、対話に対して何を求めていたのか、 どんな要因で満足感や納得感が変化す るのかによって違いが生じると考えら れます(3). 私たちは、これを人の内面に

ある価値観としてデジタルツインの中に再現し、対話参加者各々の対話満足度を推定することを試みています。本技術を用いることで、対話参加者各々の満足度や納得度とその理由を推定し、その人の感性に合った表現でフォローをしたり、参加者全員の満足度が上げられるようなチーミングや対話への介入など、合意形成における創造性を上げるための手助けをしたりすることができると考えています。対話満足度に影響を与えると考えられるさまざまな要因のうち、本稿では参加者の積極性と発言の影響度に着目した推定手法について述べます(図2)

まず、参加者がどれくらい積極的に 対話に参加できたかどうかは、満足度 に影響を与える要因の1つであると考 え、これを積極性スコアとして数値化 しました。最初に、参加者自身の発言 を「内容発言」と「非内容発言」に分類しました。内容発言とは、対話の話題についての内容を含む発言で、名詞・動詞・形容詞を多く含む長い発話を指します。非内容発言とは、相手の発言に対する相づちなどの発言で、名詞・動詞・形容詞をあまり含まない短い発話を指します。対話データを特定の時間枠で区切り、各区間において参加者本人による内容発言と非内容発言がどれくらい発言されたかを用いて積極性スコアを定義しました。

次に、参加者自身による発言がどれくらい対話を活性化し、合意形成に貢献したかが、満足度に寄与すると考え、これを影響度スコアとして数値化しました。影響度スコアは、参加者自身が提案した話題について、対話がどれくらい継続したかに基づいています。まず、対話を行ったグループの合意結果をま

【対話満足度推定技術】 対話中の観測データから 参加者個々の満足度を予測



積極性スコア: 各区間での内容発言数の相対値から計算 積極性高 内容発言数 (単語数) 参加者A 非内容発言 (単語数)

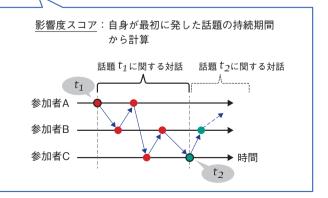


図2 対話への積極性と発言の影響度を用いた対話満足度推定の全体像

とめた文書に基づいて、重要単語のリストを作成しました。次に、参加者自身の発話の中に重要単語が現れた際、そこからグループ内で関連する単語を含む発話が何ターン続いたかなどを求めました。また、その重要単語を対話中で初めて発言したのが参加者自身なのか、あるいは他の参加者なのかによって重み付けをし、これらを基に影響度スコアを計算しました。

実験では、4名の初対面どうしの参 加者で模擬対話を行い、満足度につい てのアンケートを正解として前述の2 つのスコアを用いて満足度を推定しま した. その結果、対話の序盤に行われ る各自のエピソード出しでは、 積極性 スコアを用いることで推定精度が向上 しました. また. 中盤から終盤のアイデ ア出しと合意形成では積極性スコアに よる影響は少なく、影響度スコアによっ て推定精度が向上しました. このこと から、対話開始からの経過時間や合意 形成の段階においても、満足度に影響 する要因が異なる可能性が示されまし た. 今後は、初対面どうしだけでなく、 すでに人間関係が構築されている参加 者どうしの対話において、満足度に影 響する要因を検討し, 推定精度の向上 をめざします.

今後の展望

「感性コミュニケーション」の実現をめざして、本稿では2つの重要な観点から考察と検討を行いました。まず、感性を伝えるために、何をどのように伝えるべきかという観点について、受け手のテーマに対する熟練度を測定し、

熟練度に応じて受け手にとって有用な 情報を切り替えて、伝えたい感性が伝 わりやすくする検討について述べまし た. 熟練度の測定にはアイトラッキン グを主軸としたセンシングデータを用 いることで、本人の自己申告といった 不確定な要素ではなく、必要な熟練度 と情報を切り替え可能とする仕組みを 考案しました、次に、感性コミュニケー ションの結果について、どのように感じ る(と予測する)か、という観点につい て、対話参加者の積極性スコアが対話 結果の満足度に与える影響を分析しま した. 当初の仮説では、積極的な対話 参加は対話結果に満足度をもたらすと の仮説を立てましたが、実験結果は両 者の関係について明白に示すには至り ませんでした. しかし、これらの検討は、 全人類が相互理解可能な統一的なコ ミュニケーションを可能にすることをめ ざす「感性コミュニケーション技術 | の実現が、まだ緒に就いたばかりであり、 必要な試行錯誤であると考えています.

今後は、本稿の検討をさらに押し進め、全人類がお互いの感性に合った表現によって相互理解し、多様性が真の価値を発揮して、全人類に価値をもたらす技術としていくことをめざしますので、是非、今後とも、共に議論・検討いただければと考えています。

■参考文献

- (1) 松原: "いつも学習し続けるシステムを目指して、"人工知能学会誌, Vol. 18, No. 5, pp. 564-567, 2003.
- (2) 西條・佐藤・永徳・渡辺: "情報閲覧のための視線移動に着目した割り込み情報表示方法," ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 23, No. 1, pp. 51-64, 2021.
- (3) 中谷・石井・中根・高山・林: "グループ 対話における 参加者満足度向上とアウトプットの質向上に向けて、"ヒューマンインタフェース学会研究報告集、Vol. 22, pp. 67-74 2020



(上段左から) 西條 涼平/ 德永 陽子/ 山口 大地/ リドウィナ アンダリニ

(下段左から) 松尾 翔平/ 戸嶋 巌樹/ 倉橋 孝雄/ 小澤 史朗

全人類が相互理解可能な統一的なコミュニケーションを可能にすることをめざし、 社内外の皆様と議論させていただきながら、感性コミュニケーション技術の研究 開発を推進していきます。

◆問い合わせ先

NTTデジタルツインコンピューティング研究センタ E-mail dtc-office-ml@hco.ntt.co.jp

Another Meを実現する技術群

NTTが2020年に発表したデジタルツインコンピューティングの グランドチャレンジ「Another Me」では、実在する人間と同じ知 性や人格を感じられ、本人として社会の中で認知され活動できる自 分の分身のような存在の実現をめざします。そのための一歩として、 その人らしく動作し、その人が持つ観点に沿った質問が可能なデジ タルツインを構築しました. 本稿では、その主要技術である、観点 別質問生成技術、身体モーション生成技術、および対話映像要約技 術について詳しく解説します。

| _{おおつか} | _{あつし} | たかやま | 503 |
|-------------------|------------------|-----------|-----------|
| 大塚 | 淳史 | 高山 | 千尋 |
| にへい | ^{ふみお} | いしい | bょう |
| 二瓶 | 芙巳雄 | 石井 | 亮 |
| にしむら 西村 | ਣਸ਼ਫ 徹 | | |

NTT デジタルツインコンピューティング研究センタ

はじめに

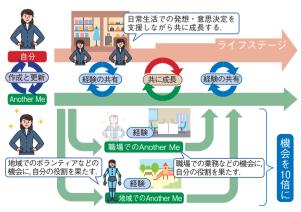
育児や介護と仕事の両立が困難とな る状況や、関心や意欲があっても社会 参加できないなど、人生におけるさま ざまな機会の損失が社会課題となって います. 活動範囲が現実世界から仮想 世界へと拡大・融合する中で、人が活 躍し成長する機会を飛躍的に増すため に、現実世界の制約を超越して本人と して活動し、活動の結果を本人自身の 経験として共有できる、デジタルのも う 1 人の自分である「Another Mel の実現にチャレンジしています(1).(2)(図 1). このチャレンジの技術的課題と しては,「人のように思考し自律的に 行動が可能なこと」「本人らしい個人 性を持つこと」「Another Meが得た 経験をフィードバックできること」の 3つが重要であり、今回はそれらを実 現するための主要技術である「観点別 質問生成技術」「身体モーション生成 技術 | 「対話映像要約技術 | について 詳細に説明します.

観点別質問生成技術

Another Meが自律的に行動をす るためには、デジタルツイン自身が次 の行動について判断や意思決定を行う 必要があります、そして、判断や意思 決定を行うためには、判断材料となる 情報を収集する手段が必須となりま す. 私たちは、情報を収集する手段と して「質問」に着目し、観点別質問生 成技術を開発しました. 観点別質問生 成技術では、資料や会話のテキストを 入力すると、入力テキストから想起さ れる質問を自動的に生成することがで

きます. 質問を生成し、その返答を手 に入れることで、デジタルツインは不 足している情報を自律的に収集できる ようになります.

観点別質問生成技術は、従来の質問 生成技術と異なる部分が2つありま す. 1番目は生成する質問の内容を 「観点」で制御できるという点です. 質問は人の価値観や立場が大きく反映 されます. 例えば、社内稟議を考えた とき、営業部では価格やコストの質問 が多くなり、法務部の審査では、法令 順守の観点からの質問が多数を占める ことが想定されます。観点別質問生成



Another Me

技術では、テキストと同時に観点ラベ ルを入力することで、入力した観点に 応じた質問を生成することができま す. 例えば「お金」という観点ラベル を入力すると、 コスト等の金額に関す る質問が生成されるようになり、「法 律 という観点ラベルを入力した場合 には、法令やコンプライアンスに関す る質問が生成されるようになります. 観点別質問生成技術を組み込むデジタ ルツインの価値観や所属組織に応じて 入力する観点ラベルを切り替えること で、デジタルツインは自身の考えや状 況に対して最適な質問を行うことがで き、判断に必要となる情報を収集でき ます.

また、観点別質問生成技術では、入 力の観点とテキストの内容を理解して 質問をするべきかを自動的に判断をす ることができます. 入力観点に関する 内容がすでに記載されている場合や、 入力テキストを読めば回答が分かるよ うな場合には、質問を生成しないとい う機能があります. 例えば. 「お金」 の観点ラベルを入力したとき、価格等 の記載がなければ、お金に関する質問 をしますが、価格やコストなどお金に 関して十分な記載がある場合には質問 を生成しません. これにより, デジタ ルツインは自身が判断を行う際に、不 足している情報があるときのみ質問を 行い、十分に情報が集まった際には質 問をやめて次の判断の処理に移ること ができます.

身体モーション生成技術

Another Meから実在する人物と同じ人格を感じられるためには、見た目はもちろんのこと、音声、発話、身体モーションがその人物らしくあることが重要であると考えられます、特に表情、顔や視線の動き、身振り手振りといった身体モーションの差異が、性

格特性の差異を感じさせたり⁽³⁾,他者を識別するために大きな手掛かりとなっていること⁽⁴⁾を,私たちはこれまで明らかにしてきました.

このような身体モーションを、Another Meのような自律的なシステム(例えば、対話エージェント)に付与し動作させることは工学的に非常に難しい技術課題の1つです。これまで、人間らしい身体モーションや、性格特性に応じた身体モーションを発話のテキストから生成する技術^{(5)、(6)}に取り組んでいましたが、実在する特定の人物と同じようなモーションの生成は実現されていませんでした。

そこで、私たちは、日本語の発話音 声情報に基づき、発話時の実在する人 物らしい身体モーションを自動生成す る技術を新たに開発しました. 実在す る人物の映像データ(音声と身体の 映った画像の時系列データ) を用意す るだけで、自動でその人物らしい身体 モーションを生成する生成モデルを構 築します. この生成モデルを利用する ことで、発話音声情報を入力するだけ で、その人らしい発話時の動作を自動 で生成することができます. 技術の詳 細を説明します. まず, 対象となる人 物の映像データに含まれる発話時の音 声データから音声認識技術により、発 話テキストを抽出するとともに、画像 データから身体の関節点の位置を自動 抽出します、次に、音声と発話テキス

トから身体の関節点の位置を生成可能 なGAN (Generative Adversarial Networks) と呼ばれる深層学習によ る生成モデルを学習します. 学習時 に、人物の細かな癖までもとらえて幅 広いモーションを生成できるモデルを 構築するために、学習時にデータを上 手くリサンプリングする機構に工夫が あり、その人らしさや自然さといった 主観評価等にて世界最高性能を保持し ています(2021年10月時点)(7). この 技術をベースに、日本語音声を入力と した身体動作の生成モデルを実現して います. 図2は、本人の入力映像、身 体モーションの生成結果、入力映像の 実際の正解の身体モーションの一例を 示しています.

この身体モーション生成技術によって、Another MeやCGキャラクタ、ヒューマノイドロボットにおいて、特定の人物の身体モーションを自動生成させることができます。また、その他の応用先として、Web会議における本人らしいアバターの身体モーションを発話音声情報だけから簡易に自動生成できます。

今後は、身体モーション生成モデルを少量のデータで学習可能なモデルや、 実在する人物の本人らしさをより追求 した生成技術を構築していく予定です。

対話映像要約技術

対話映像要約技術は、 録画した対話

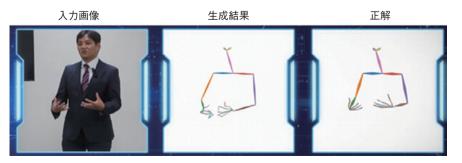


図 2 本人の入力映像, 身体モーションの生成結果, 入力映像の実際の正解の 身体モーションの一例

を実際より短い時間に要約し、内容だけでなくその場の雰囲気まで伝える映像を生成する技術です.

私たちは、人間とAnother Meが 共に成長する社会を実現することをめ ざしています. そのためには. 単に自 分の代わりとしてAnother Meを利 用するだけでなく, Another Meが 得た経験を自分自身に効率的にフィー ドバックすることが求められます. ま た, Another Meが行ったことを, 本人が「自分ごと」としてとらえられ るように、内容だけではなく、その場、 そのときに感じるであろう感情も伝え ることも必要であると考えます. この ようなAnother Meの経験を本人に フィードバックする技術の1つとして. 対話を対象に対話映像要約技術の研究 を進めています.

最初のステップとして、「会議の効率的な振り返りのための対話状況推定・映像要約技術」に取り組んでいます。この技術は、小型カメラやWeb会議などで撮影した会議映像を解析・再構成し、要約映像を生成します。

(1) 対話状況推定技術

対話の映像に含まれる、話者の音声 や振る舞い、発言内容などのさまざま な形式の情報(マルチモーダル情報) をまとめて推定の手掛かりとして用 い, 発言ごとの重要度や説得力, 発言 の意図や意欲、参加者個人の性格特性 やスキル、参加者の対話内での役割な ど、多様な対話の状況を推定しま す^{(8)~(13)}. 推定では, 各参加者の振る 舞いの時間変化や、参加者間の動きの 同期, 話者音声の変化, 発言内容など をまとめて学習するマルチモーダル深 層学習手法や, 複数の対話状況を同時 に推定するマルチタスク学習手法など の機械学習の技術を利用することで. 高精度な推定モデルを構築しています.

(2) 映像要約技術

前述の技術で得られた多様な対話状況の推定結果を用いて、重要な発言や、他の参加者へ問いかける発言、意見に反応する発言を抽出し、会議の映像を実時間の4分の1程度の短い映像として再構成して出力します。要約映像に含まれる参加者の表情や声のトーンから、参加者の発言の微妙なニュアンスも伝えることができます。

この技術を利用することにより、参加できなかった議論の流れや、議事録では伝わりきらない会議中の参加者の様子(意見に対する賛成・反対の態度など)や雰囲気(会議の熱量など)を短時間で効率的に把握することが可能になります。将来的には、人間どうしの対話だけでなく、人間とデジタルツインとの対話や、デジタルツインとうしています。さらには、対話だけでなくデジタルツインによる行動について、より高い臨場感をもって、より効率的に人間へフィードバックする手法の研究を進めていきます。

■参考文献

- (1) https://group.ntt/jp/newsrelease/2020/11/13/201113c.html
- (2) 北原・倉橋・西村・内藤・徳永・森:"ヒトと社会のデジタル化世界を創造するデジタルツインコンピューティング構想の実現へ向けた研究開発," NTT ジャーナル, Vol. 33, No. 10, pp. 40-43, 2021.
- (3) 中野・大山・二瓶・東中・石井: "性格特性を表現するエージェントジェスチャの生成," ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 23, No. 2, pp. 153-164, 2021.
- (4) C. Takayama, M. Goto, S. Eitoku, R. Ishii, H. Noto, S. Ozawa, and T. Nakamura: "How People Distinguish Individuals from their Movements: Toward the Realization of Personalized Agents," HAI 2021, pp. 66-74, Nov. 2021.
- (5) R. Ishii, R. Higashinaka, K. Mitsuda, T. Katayama, M. Mizukami, J. Tomita, H. Kawabata, E. Yamaguchi, N. Adachi, and Y. Aono: "Methods of Efficiently Constructing Text-dialogue-agent System using Existing Anime Character," Journal of Information Processing, Vol.29, pp.30-44, Jan. 2021.
- (6) R. Ishii, C. Ahuja, Y. Nakano, and L. P. Morency: "Impact of Personality on Nonverbal Behavior Generation," Proc. of

- IVA 2020, No. 29, pp.1-8, 2020.
- (7) C. Ahuja, D. W. Lee, R. Ishii, and L. P. Morency: "No Gestures Left Behind: Learning Relationships between Spoken Language and Freeform Gestures," EMNLP: Findings, pp. 1884-1895, 2020.
- (8) 二瓶・中野: "マルチモーダル情報に基づく重要発言推定モデルを搭載した議論要約ブラウザの有効性の検証," ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 22, No. 2, pp. 137–150, 2020.
- (9) 石井・大塚・熊野・東中・青野: "話者継続・交替時における対話行為と視線行動に基づく共感スキルの推定," 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.1, pp. 100-114. 2021.
- (10) 石井・熊野・大塚: "話者継続・交替時に おける参与役割に応じた視線行動に基づく 共感スキルの推定," ヒューマンインタフェー ス学会論文誌, Vol. 20, No. 4, pp. 447-456, 2018.
- (11) 大西・山内・大串・石井・青野・宮田: "褒める行為における頭部・顔部の振舞いの分析,"情報処理学会論文誌, Vol. 62, No. 9, pp. 1620-1628, 2021.
- (12) R. Ishii, X. Ren, M. Muszynski, and L. P. Morency: "Multimodal and Multitask Approach to Listener's Backchannel Prediction: Can Prediction of Turn-changing and Turn-management Willingness Improve Backchannel Modeling?," Proc. of IVA 2021, pp. 131-138, 2021.
- (13) R. Ishii, X. Ren, M. Muszynski, and L. P. Morency: "Can Prediction of Turn-management Willingness Improve Turn-changing Modeling?," Proc. of IVA 2020, No. 28, pp.1-8, 2020.



(上段左から) 大塚 淳史/ 高山 千尋/ 二瓶 芙巳雄 (下段左から) 石井 亮/ 西村 徹

デジタルツインコンピューティング研究プロジェクトでは、DTC構想の実現に向けて、企業間連携も積極的に推進しながら研究開発を進めていきます.

◆問い合わせ先

NTTデジタルツインコンピューティング研究センタ E-mail dtc-office-ml@hco.ntt.co.jp

未来社会探索エンジン実現に向けた取り組み

デジタルツインコンピューティング (DTC) 構想の実現に向けた グランドチャレンジの1つである「未来社会探索エンジン」につい て、本稿ではそのアーキテクチャ概要と、3つの主要技術について 紹介します.

| いげまつ | _{なおこ} | webs | _{あつし} |
|----------------|----------------|------------------|-------------------|
| 重松 | 直子 | 磯村 | 淳 |
| ^{うえの} | いそお | _{おき} | のぶひろ |
| 上野 | 磯生 | 沖 | 宣宏 |
| あらかわ 荒川 | ゅたか | ょしだ 吉田 | かずひろ 和広 |

NTTデジタルツインコンピューティング研究センタ

未来社会探索エンジンがめざす もの

社会構造の複雑化、自然災害等の不 確実な事象の増加により、個人の行 動・協力が社会や自然環境に与える影 響、また、それによる個人への還元が みえにくくなっています. そこで私た ちは、自然と共生する社会・生活のあ り方を探索可能とするため、人々が活 動する社会をデジタルツインで高精度 に表現するとともに、デジタルツイン を相互作用させ, 人々の行動を繰返し 変化させながら未来を探索する仕組 み、未来社会探索エンジンの研究開発 を進めています.

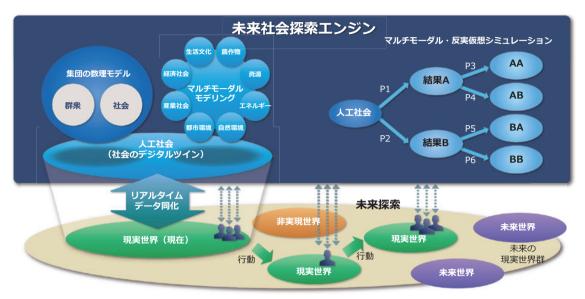
未来社会探索エンジンの実現に向け ては、「交通流」などにおける物と物 の相互作用のような既知なものだけで なく、人々の気持ちや、人と人との交 流など相互作用が複雑で、未知なもの をデジタルツインとして扱うことを私 たちはめざしており,「情報伝播」「群 衆心理|「集団力学|を取り込んだモ デリングに挑戦しています. また, 高

精細な地理空間情報やセンシング情報 により、現実世界のデジタルツインを リアルタイムに構築し、個々のモデル に特化したシミュレーションを掛け合 わせ連成させることで、例えば、「人 流|と「情報伝播|が相互作用した未 来を見える化するシミュレーション基 盤技術を研究開発しています。これら の技術により社会のデジタルツインを 駆動させ、さまざまな未来シナリオの 提示や、理想的な社会像から逆算した 現在とるべき打ち手の候補の提示を実 現します. 未来社会の姿をさまざまな かたちで見える化することで、 行政や 企業経営側だけでなく地域社会の住民 や個々人も同じ未来像を見ることによ り、さまざまな連帯を強めていくこと ができると考えています。また、個人 が望む社会を実現するための行動・協 力を主体的に考えながら探し出し、自 発的な活動を促せるようになる世界を めざします (図1).

未来社会探索エンジンのアーキ テクチャ

未来社会探索エンジンは、図2のよ うに、高精細な地理空間情報や実世界 のセンシング情報を得るため、4Dデ ジタル基盤®など(高精細デジタル基 盤) の外部のシステムと連携していま す. 未来社会探索エンジンは. 大きく 2つの基盤技術により構成されていま す. 1つは、仮想社会を構築するため に. さまざまなデータをデジタルツイ ンのコンポーネントとして提供するデ ジタルツインプラットフォームです. もう1つは、仮想社会の駆動・見える 化に向けて, 人々が活動する社会の変 容を正確にとらえるために、ユーザが アプリケーションの検索条件に投入し た、見たい未来に関するキーワードに 合わせて「人流」「交通流」「情報伝播」 などの多層的なシミュレーションを連 成させるシミュレーション基盤です.

デジタルツインプラットフォームは. CityGML (City Geography Markup Language) やBIM (Building



マルチモーダルモデリング:複数種類の情報を利用した統合的モデリング 集団の数理モデル:群衆や社会などの集団の行動や内面をモデル化したもの

図1 未来社会探索エンジン

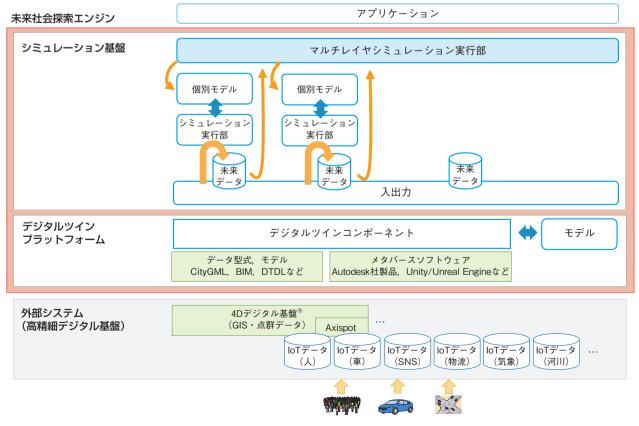


図2 未来社会探索エンジンのアーキテクチャ

Information Model)などの外部の高精細デジタル基盤とのインタフェース機能を必要に応じて持ちます。そして、高精細デジタル基盤から収集したデータを基に、「人」や「物」などのデジタルツインをリアルタイムに構成して、コンポーネントとして活用できるようにし、現実とデジタルツインを同期して管理します。デジタルツインの構成には、Autodesk社の各種製品やUnity/Unreal Engineなどの既存のメタバースソフトウェア*1などの利用も考慮しつつ実現に向けた検討を進めています。

シミュレーション基盤は、例えば「人 流|や「交通流|などの各々の個別モ デルに特化したシミュレーション実行 部を備えています. シミュレーション 基盤のマルチレイヤシミュレーション 実行部は、アプリケーションから渡さ れたキーワードに応じて、まず、必要 なデジタルツインコンポーネントをデ ジタルツインプラットフォームより取 得します. 次に, このデジタルツイン コンポーネントと, いくつかのシミュ レーション実行部を利用し、「人流」「交 通流」「物流」「気象」「河川」だけで なく「SNS (Social Networking Service) による情報伝播」「住民行動」 「住民意識」などのさまざまな層の相 互作用を計算しながらシミュレーショ ンを連成させ、その結果をアプリケー ションに返します. さまざまな層の相 互作用を計算することにより、例えば、 数分先から数年先までの情報伝播によ る人流影響を計算することができます.

コア技術

このような、高精度に未来をシミュ レーションすることが求められる「未 来社会探索エンジン」を実現するには、 既存技術では大きく分けて3つの課題 があります. 1番目は、世界中に多種 多様なシミュレーション技術が存在す るものの、自由な検索に対して「大量 のシミュレーションレイヤ(レイヤ) の中から最適なレイヤを選ぶ技術が存 在しない という点です. 2番目は、 既存のシミュレーションではあらかじ め設定可能なパラメータが決まってい るため、「もしも未来のある時点で突 発的な事象(大災害、大発明など)が 生じ、新たなパラメータを考慮する必 要が出てきた場合に対応できない」と いう点です. 最後に3番目は、通常の シミュレーションはパラメータやモデ ルを先に設定することで結果を出力し ますが、反対に「実現したい未来社会 を先に設定し、その社会に至るための 途中過程を計算で解くという逆シミュ レーションができない」という点です. そこで、NTTではこれら3つの技術 課題の解決をめざし.「必須レイヤ自 動選択技術」「What-ifシミュレーショ ン技術」「逆シミュレーション技術」 という3つの技術にチャレンジします.

(1) 必須レイヤ自動選択技術

本技術は、ユーザが入力した検索 ワードに応じて「大量に存在するレイヤの中から検索ワードに関連性の高いレイヤのみを抽出」します。具体的には、まず検索ワードの中から「事象*2」「場所*3」「時間*4」「数値*5」などの属性を抽出します、次に、未来社会探 索エンジンが用意する大量のレイヤそれぞれに対して「事象」「場所」「時間」を入力し、出力結果が「数値」に与える影響度を計算します。この影響度を基に、優先的に利用すべき「必須レイヤ」が選択され、最終的なシミュレーション結果を算出するために利用されます。

例えば、大規模な台風発生時の避難所における「毛布需要(数値)」を政府が把握したい状況を考えます。図3のように、検索ワードとして「台風NTT町 1週間後 毛布需要」が入力されると、人の移動を計算する「人流レイヤ」、人々の会話やSNSを通じた情報伝播を計算する「情報伝播レイヤ」、毛布を届けるための配送状況を把握するための「物流レイヤ」が選択されます。これら3つ以外のレイヤは、「毛布需要」に対する影響度が低いので選択されません。最後に、選択されたレイヤを利用することでユーザに予測結果を提示します。

(2) What-ifシミュレーション技術本技術は、「もしも○○が発生したらどうなるのか?」というWhat-ifの計算を従来よりも複雑な発生事象に対して実現可能にします。例えば、人間が自由に空を飛ぶことができる画期的な発明があった場合、「人間が高度方

^{*1 3}Dなどの仮想空間を構築するためのソフト ウェアを指します.

^{*2} シミュレーションの対象となるイベント(ロックダウン,首相交代,台風など)を指します.

^{*3} シミュレーションを行う空間的範囲 (日本, 東京都,三鷹駅周辺 5 km²など) を指します.

^{*4} シミュレーションを行う時間的範囲(3分後, 1カ月後,10年後など)を指します.

^{*5} シミュレーションの結果として出力される 数(感染者数,出生率,毛布需要など)を 指します.

台風 NTT町 1週間後 毛布需要

Q検索

検索ワードからの「必須レイヤ自動選択技術」







物流

- •発電
- ・インフラ老朽
- •株価
- ・二酸化炭素排出
- ・その他シミュレーション

低優先レイヤ

必須レイヤ

シミュレーション結果:

NTT町全域で120枚の毛布需要が予測されます

図3 探索結果提示までの流れ

向(Z軸上)に自由に移動する」ための新たなパラメータやモデルを追加する必要があります。そこで、NTTではシミュレーション前に想定できなかったパラメータ・モデルの生成や、パラメータが取り得る値の範囲設定などを自動化することで、これまでは扱うことが困難だった突発的な事象に対するWhat-ifシミュレーションの実現をめざします。

(3) 逆シミュレーション技術

本技術は、「〇〇のような世界にするためにはどのような取り組みをすべきか?」という逆シミュレーションの計算を従来よりも複雑な条件に対して実現可能にします。目標とする未来社会の形成方法を探るには、環境・経済・文化・医療・人流・交通・イベントなど、異なる分野間の影響を考慮する必要があります。例えば「新型コロナウイルスによる死者数0」を達成する社会を実現するには、医療だけでな

く経済・人流・施設の営業状況など、 複数の分野の相互作用を計算しなくて はなりません。そこで、NTTではこ のような異なる分野の相互作用を考慮 可能な逆シミュレーションの実現をめ ざします。

今後の展開

今後、「人流」や「交通流」などの相互作用が既知なものに加え、「群衆心理」「集団力学」を取り込み、モデリング技術を開発します。そして、多層的なシミュレーションの連成による未来社会の駆動、予測技術を確立します。

未来社会を見える化することで、将来的には、自治体や住民向けに避難体験シミュレーションへ適用することや、被災地の復興において、自治体やインフラ事業者向けに地域復興やインフラ復旧に至る最良の打ち手を選択可能とすることを視野に取り組みます。



(上段左から) 沖 宣宏/ 重松 直子/ 吉田 和広

(下段左から) 荒川 豊/ 磯村 淳/ 上野 磯生

行政や企業経営側だけでなく地域社会や個々人が望む社会の実現の一助となるように、人間の内面に踏み込んで未来社会を見える化する未来社会探索エンジンの研究開発に挑戦していきます.

◆問い合わせ先

NTTデジタルツインコンピューティング研究センタ E-mail dtc-office-ml @ hco.ntt.co.ip

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デジタルツインコンピューティング研究センタは、環境と 人間社会の調和した持続性を将来にわたって維持することが地球に おけるもっとも重大な課題であるととらえ、地球上で行われるさま ざまな経済・社会活動と環境の相互関係をできる限り計算可能に することで、人間社会のあり方の選択肢を導出するというグランド チャレンジを掲げています。本稿では、その実現のために私たちが 進めている取り組みについて解説します。

まるよし まさひろ 丸吉 政博

むとう ゆういち 六藤 雄一

とくなが だいすけ

徳永 大典

NTT デジタルツインコンピューティング研究センタ

環境と社会経済の 包摂的サステナビリティ

世界規模での猛暑や突発的な豪雨の 増加、干ばつと山火事の頻発、絶滅危 惧種の増加や作物生産量の変化に象徴 される生態系の変化など、 昨今の地球 規模での気候変動や環境変化、それに よる社会的影響を背景に、地球上の環 境を維持するための社会システムの再 構築の議論が始まっています*1.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.

気候変動の影響評価*2や社会システムの再構築の議論はさまざまな分野の専門家が長い年月をかけて精度を高めてきた科学技術によって支えられて

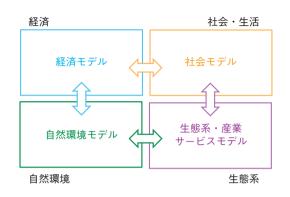
います. 観測が難しく不確実性の高い 現象を各分野における科学的アプロー チにより詳細な分析ができるように なってきました。また、環境と経済と いった異分野間の直接的な影響評価に ついても、統合評価モデル (IAM: Integrated Assessment Model) という手法によりマクロかつ統計的指 標によりその分析が行われている状況 です. 未来に向かって. 地球上の環境 や人々の暮らしにかかわる諸問題を解 決するには、個々の問題を部分的にと らえるのではなく、地球上の循環シス テムとして包摂的にとらえる必要があ ります. そのためのモデルの高精度 化, 異分野連携を可能とする計算技術 の発展がさらに加速していくと私たち は考えています.

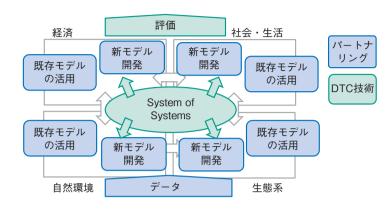
そこで、NTTデジタルツインコンピューティング研究センタでは、地球規模の包摂的な循環システムを計算可能とすることで、地球の環境が備える自律性とその一部としての経済・社会システムの自律性とが包摂的に調和した状態とそこへ導く社会システム変容

についての世界的議論を加速させるこ とを通して、「環境と社会経済の包摂 的サステナビリティーの実現に貢献す るという目標を掲げました。その目標 の実現に向けた取り組み戦略の概念を 図1に示します. 包摂的な循環システ ムを仮に図1(a)のように置くとしま す. 経済による環境への影響が産業や 生態系サービスに影響し、その状態変 化が社会的側面(例えば健康や格差. 幸福感等) に影響を与えます. それら 社会的側面の変化は経済を加減速させ る力を生み、経済の状態を変化させ、 これはさらに環境への影響へと伝搬し ていきます. このように包摂的に循環 したシステムとしてとらえたとき、そ

^{* 1} 社会システムの再構築の議論の例:世界経済フォーラムの2021年のテーマとして「グレートリセット」が謳われています。これはコロナ禍を契機に打ち出されましたが、地球規模での気候変動などの環境・生態系の問題も意識され議論がスタートしています。

^{*2} 気候変動の影響評価の例:気候変動にかかわる政府間パネル(IPCC)のAR (Assessment Report) 6-WG (Working Group) 1では「人間活動による気候変動への影響は疑う余地がない」と発表されました。今後WG2、3からも影響評価、適応策に関する報告が予定されています。





(a) 包摂的な循環システムの簡易モデル

(b) パートナリングと研究対象

図1 グランドチャレンジ実現に向けたパートナリング戦略

れを構成する要素となる各分野におい て、前述のとおり、各分野の専門家が 長い年月をかけてその現象を分析・予 測するモデルやシミュレータを科学的 アプローチにより発展させています. 今後もさらに高精度化が進むそれらの モデルやシミュレータを活用し、これ らの間のつながりやスケールの違い. 因果関係を踏まえて、相互に連鎖させ て計算処理することで、循環システム の構築をめざします (図 1 (b)). 以降 では、そこで重要となる計算処理技術 として、System of Systemsと総 称する技術に関する課題と、私たちが 進める循環システム評価の初期の取り 組みとしてのPoC (Proof of Concept) の構築状況について解説します.

環境と社会の連鎖を再現する 異種シミュレータ連成技術

地球規模の環境と人々の経済活動は各々、長年にわたる観測により得られた過去から現在のデータに基づき、モデル化され、現在から未来を予測するためのシミュレーション技術として発達してきました。

しかし、実際の地球規模の環境と

人々の経済活動の関係を予測するためには、さまざまな領域が複雑につながっているがゆえに、単領域のシミュレーションのみで精緻な予測を行うことは困難です。

同様の課題は丁業生産の分野でも存 在し、いくつかの単領域のシミュレー ション技術を連成し、System of Systemsとして解く試みが行われて います. 例えば. エンジンとトランス ミッションといったベンダも異なる複 数のシステムから構成される自動車設 計や宇宙衛星設計などで連成シミュ レーション技術が実用化されていま す. 複数要素を組み合わせることによ り各々の要素単体では持っていない特 性が実現されることを「創発」といい、 その特性を「創発特性」といいます. シミュレーションも同様で、System of Systemsとして動作させること で、 創発特性を発見することが期待さ れます. このことは環境と人間活動の 関係でも重要だと考えます. しかし, 地球規模の環境かつ、人々の経済活動 も対象とすると、膨大な計算量だけで なく、シミュレータ間の結合に関する 課題も多く、まだ実用化されていま

せん。

異種シミュレータ連成における 3つの課題とNTTの取り組み

私たちは、環境と社会の連鎖を再現する異種シミュレータの実現には、以下の3つの大きな課題があるととらえ、これらの研究開発に取り組んでいます。

■課題1:異種シミュレータの 結合

複数の異種シミュレータを連成させる技術として、米国防総省主導の後、IEEEにて標準化されたHLA (High Level Architecture: IEEE1516)⁽¹⁾やDAG (Daimler AG) が主導し標準インタフェース化されたFMI (Functional Mock-up Interface)⁽²⁾などがあります。

HLAは交通渋滞や避難誘導、宇宙衛星開発などの離散事象(discrete event)に、FMIは走行中の自動車の各種機器の連成制御などの連続事象(continuous event)のシミュレーションに用いられることが多いです、環境と社会の連鎖を再現するためには連続事象の中に離散事象を織り込む必要があり、両事象に対応可能な連成を

実現する実行制御技術を開発する必要があります。また、連成させるシミュレータの増大に伴い、処理速度やシミュレーションの精度に関する問題が発生した際の解析が困難になることが知られています。しかし、HLAやFMIは解析を行う機能を有しておらず、ユーザ自身が情報を収集し、解析を行う必要がありました。

■課題 2 : 異種シミュレータ間の 取り扱いデータにおける解像度 の差異解消

地球の表層上で生じる現象をシミュレーションする場合、計算を容易にするために、単位面積および単位時間ごとに処理されることが一般的です。この処理を行うために、過去に得られたデータから計算可能な数式モデルを構築しますが、取り扱うデータにより空間解像度(単位両積)や時間解像度(単位時間)、対象となる期間は異なります。

そのため、各シミュレータを連成する際、シミュレータ間の空間解像度や時間解像度の差異を統一化する必要があります。統一化するにあたり、解像度が細かいデータを平均化するなどして粗いデータに変換することは容易ですが、粗いデータでは、得たい解像度のシミュレーション結果が得られないことが予想されます。しかし、粗いデータに基づいてシミュレーションされた単領域の結果しか得られない場合、物理法則(力学的)ないしは、統計的・経験的な関係に基づいて解像度を細かくするダウンスケーリングを行う必要があります。

■課題3:シミュレーション全体 計算量の削減

大気や気候、海洋といった高精度な 予測が可能となりつつある分野のシ ミュレーションを単に連成させると、計算量が爆発的に増大し、実用的な時間で処理することができません。この課題を解決するためには、観測データや元のシミュレーションから得られる予測データを学習データとして機械学習・深層学習などにより代理モデル(サロゲートモデル)を作成して、シミュレーション実行時の計算量を削減するといったモデル変換の技術開発が必要です。

循環システム評価の初期の取り 組みとしてのPoC構築

私たちは、実際にこれらの技術を用いて環境と社会経済の連鎖のシミュレーションをプロトタイプ実装 (PoC)する取り組みにも着手しています。その取り組みを通して、私たちが目標とする「環境と社会経済の包摂的サステナビリティ」の実現という価値観を発信すると同時に、私たちの技術を実装し評価することで新たな研究課題の探求も進めます。

地球規模の連鎖の再現には非常に多くのモデルが関連しています. PoC 構築に着手するにあたり, まずは自然 環境と社会経済の両者に密接にかかわりのある水循環に着目しました. 水循環は, 国や流域に閉じた循環から全球 のようなグローバルな循環まで幅広く 登場する, スケールにかかわらず価値が変わらない事象です.

私たちのPoCでは、課題 1 で述べた異種シミュレータの連成技術を用いて下記 3 つのシミュレータの実行制御を試作実装することで、水循環と水利用の循環シミュレーションを実現しています(図 2).

・気象シミュレータ(アメダス降雨

データセットによるシミュレータ 出力の模擬)

- ・河川シミュレータ (MIKE)
- ・経済水利用シミュレータ(独自実 装した簡易モデル)

気象シミュレーションと河川シミュレーションの連成により、降雨量とそれが河川に流入することによる河川水量を再現しています。さらに、経済水利用シミュレーションを連成することで、経済活動(農業、工業、生活用水)のために河川から水を取水し消費し再利用可能な水を再び河川に戻すことまで考慮した水循環を再現できました。

降雨や河川水量変化、水利用による水消費や水環境負荷を時々刻々に再現するには、各シミュレー夕間の取り扱いデータの解像度の差異を解消する必要があります。今回のPoCでは、水循環と水利用とが取り扱っている水量のスケールの違いや単位時間の違いという課題2で述べた空間的・時間的な差に対して、変換処理の実装やシミュレーション設定の最適化で対応しました。

例えば、気象シミュレーションが出力する降雨量データはメッシュ単位当りの水量ですが、河川シミュレーションへの入力に必要な河川流入水量データは流域単位の流入水量です。 どちらも同じ水量という単位ですが、空間解像度が異なります。 そこで今回のPoCでは降雨量データを流域の面積や地域の流入効率を基に流入水量に変換して合わせる工夫をしています。

また時間解像度の観点でも、降雨、河川、水利用でやり取りする水量の時間単位を一致させる必要があります。今回のPoCでは、すべて1時間当りの水量という時間解像度で各シミュ

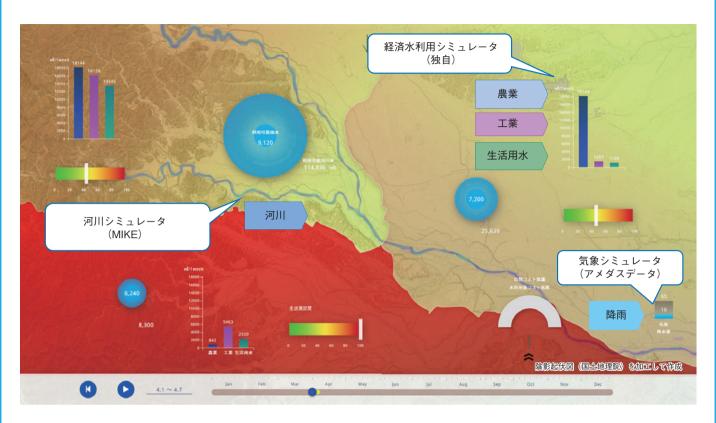


図2 水循環と水利用の循環シミュレーション (PoC) の例

レーションを動作するよう設定し連成することで対応しましたが、将来的にはダウンスケーリング技術により、このような解像度の違いにも対応可能となると考えています.

現在の社会では、活動における水の 消費に制限がないため、水循環へ負荷 をかけてしまいます。私たちは、水の ような自然資源の消費を資源循環にお ける適正なコストとしてとらえる「自 然資本コスト」の考え方を導入した社 会を仮定しモデルを構築しました。こ のモデルにより、自然資本コスト意識 の強さを変化させることで水利用の変 化、水循環への負荷の影響をシミュ レーション可能なことを確認しました。

現在のプロトタイプでは、自然環境 のシステムとして水資源、社会経済活動として水利用に絞った、特定流域の 水循環に関するモデルを実現しています。地球規模の循環を再現するためには、自然環境や社会経済を取り巻くさまざまなモデルを取り入れ連成させる必要があります。今後は、さまざまな専門家や外部組織とパートナリング体制を形成しながら、研究開発を進めます。

■参考文献

- (1) IEEE 1516-2010: IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)-- Framework and Rules.
- (2) https://fmi-standard.org/



(左から) 徳永 大典/ 六藤 雄一/ 丸吉 政博

本取り組みには関連分野の専門家の方々との連携がもっとも重要です. 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デジタルツインコンピューティング研究センタ 環境・社会シミュレーショングループ E-mail dtc-office-ml @ hco.ntt.co.jp 挑戦する 研究者たち CHALLENGERS



中谷 智広

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員

人とコンピュータが同 じ音空間を共有して, 自由に協力し合える鉄 腕アトムのような世界 を実現したい

コンピュータによる自動音声認識技術が急速に発展し、スマートフォンやスマートスピーカ等の音声インタフェースで当たり前に利用される昨今、人との対話に向けてさらなる技術の向上が待ち望まれています。 さまざまな音が聞こえている中から周囲の雑音や残響を除去して聞きたい音だけを高精度に抽出する技術に関して、世界最先端の研究を続けている中谷智広上席特別研究員に研究活動の進捗と世界初に臨む研究者の姿勢について伺いました。



あらゆる環境で人の会話を理解する 音声入力インタフェースを実現

現在手掛けている研究から教えていただけますでしょうか.

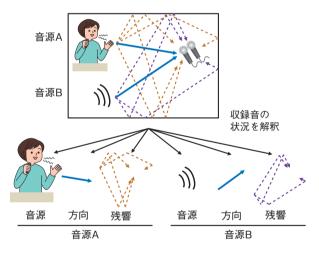
私はさまざまな音が聞こえている環境の中から目的の音声を聞き分け、会話調のくだけた音声をも認識できる技術の構築をめざしています。2016年のインタビューの際にも同じ目標についてお話しさせていただきました。その当時と比べると、スマートフォン等に話しかけて操作することは最近では当たり前の光景になってきました。しかし、現在のAI(人工知能)による音声認識技術でも、人がコン

ピュータに話しかけるときには、AIが理解できるように特別な手順に従い、さらに話し方を工夫する必要があります。一方、将来的にロボットなどが、より深く私たちの生活に溶け込めるようになるためには、日常会話の中で人が人に話しかけているのと区別がつかないような自然な会話でも適切に認識できるナチュラル音声インタフェースの実現が必要になります。

ナチュラル音声インタフェース技術の実現に向け、現段階では、音を聞き分ける技術である音声強調をテーマとして私自身は研究に取り組んでいます。日常生活の中で、人は必ずしもマイクのそばで話してくれるとは限りません。

話をしている人から離れたマイクで収録した音声は、壁等 に反射して届く音(残響)、複数の人の声(音源)、背景雑 音も収録されます. これに対し、音声強調は、残響抑圧、 音源分離、雑音抑圧を行うことで、特定の話者の口元にあ るマイクで収録したような品質の音声にする技術です.

音声強調では、私たちは2つの研究のアプローチをとっ ています. 1つは音の要素分解(図1)で、音の物理的・ 統計的性質の違いに基づいて収録した音を個々の要素に分 解します. これは非常にコンピュータらしい. 人間には不 可能だけれどコンピュータが得意な技術領域です. 最近の 成果の1つとして、残響抑圧、音源分離、雑音抑圧を同時 かつ全体最適に処理できる「畳み込みビームフォーマ (BF) |



複数マイクを用いた音の要素分解

日常のさまざまな場面で、人の声どうしが 混ざることは、よくある





■人は、声の特徴(声の高さ、声質など)に注目し、聞きたい人の 声のみを聞くことができる(選択的聴取) コンピュータにはできなかった!

図2 選択的聴取

を実現(世界初)しました、従来は、個別にしか各処理を 実現することしかできなかったため、それらを組み合わせ たときにベストな性能を引き出すことができませんでした. 本技術により各話者の強調音声をさらに大幅に高品質化で きるようになりました.

音声強調のもう1つアプローチは、選択的聴取(図2) で、聞きたい人の声に耳を傾けて聞き取る(抽出する)技 術です、こちらは、人間は日常生活の中で普通に行ってい ることですが、コンピュータには最近まで不可能だった技 術です. このアプローチの代表的な技術が、2018年9月号 の本誌記事でも紹介した、深層学習技術を用いて特定の話 者の声の特徴に合致する音声だけを取り出す技術 「SpeakerBeam」です. これにより人間のような選択的 聴取を世界で初めて実現しました. さらに, この技術を発 展させて、時々刻々と変化する会話から「いつ、誰が、何 を話したか | を高精度に推定(会話分析)する技術 RSANも実現しています.

私たちは、このようにコンピュータが得意な技術分野を 活かしつつ、人間が得意な処理の領域にも踏み込んでいく ことで、ナチュラル音声インタフェースを実現できると考 えています.



自分のやり方と違うと感じても、先輩や 周囲に耳を傾けてやってみるのも一手

このテーマに取り組み始めたきっかけはありましたか、また、課 題やテーマを探す際に心掛けていることはありますか.

私はNTT入社以来、音源分離のテーマに取り組んでき ました. NTT入社当時は音源分離の研究はまだ黎明期で, 「そんなことしてもできるわけない、もっと先に解決すべ き課題がある | という雰囲気がありました. それでも. 私 は人間にできるのだからコンピュータにもできるはずだと 思って追究し続けてきました. 今の私なら, 周りから必ず しも賛同が得られない研究を続けるのは簡単なことではな いかもしれませんが、当時の私は「すぐにできることより も、こんなことができたらいいと思えること に対して、

自分の信念や自分の感覚を信じて研究を進めていました. 結果として30年間この分野で研究を継続できているのだから. 本当に良いテーマであったと思います.

研究テーマや課題を探すのはある意味ではパズルを解くのに似ているかもしれないと思っています. パズルを解く際にさまざまな可能性を模索する感覚です. 例えば, 最初は複数の声を聞き分ける技術はありませんでしたが, どうやったらそれができるのだろうかと考えて, 音声の周波数分布から特性や特徴に関する仮説を立て, 他の音声についても同様なことを繰り返し, 多くの仮説に共通するコアな部分を見つけてテーマとしました.

このプロセスにはセンスと知識がモノを言います.知識についてはひたすら勉強するしかありません.新しい論文を読み,伝統的な技術に関しては教科書で勉強する.これを積み上げていくことでスキルが上がってきます.それ以外に知識を向上させる方法はありません.センスについては「自分だったらこうする」というビジョンを持っているかどうかではないでしょうか.これは研究者としても人として生きていくうえでも重要な能力だと思います.

上席特別研究員となっても日々勉強なのですね.

世の中が発展している以上、勉強しないわけにはいかないのです。特にニューラルネットワークにおいてはコンピュータの速度が格段に上がったこと、研究者の数が非常に増えたことで研究がものすごいスピードで進んでいますから、勉強しなければ全く追いつけません。ただし、ただ闇雲に勉強するのでは生きた研究にはつながっていきません。直観と知識を同時に働かせて、常に自分がやりたかったことにどう役立てることができるかを考えていく必要があります。

また、月並みかもしれませんが、国際会議等で仲間とディスカッションの機会を設けることも大切です。自分のアンテナではキャッチできることは限られていますから、そうした仲間と議論しながら視野を広げていくことは間違いなく重要です。以前は、上司等から国際会議等に赴く際には「人に会ってきなさい」「研究機関を訪問して回ってきなさ

い」と指示され、半ば強制的に研究者を訪ね歩いてきました。当時の私にはまだ研究者としての実績も少なく、英語でのコミュニケーションも全く自信がなかったため、相当に高いハードルでした。しかし、この取り組みを通じて、私自身が全く知らなかったことに触れることができ、その研究者等と知り合うことができました。会議で知り合うのも大切ですが、その方の研究機関を訪ねて初めて分かることも多くありますし、より深い議論ができます。このときにできた人間関係は、コロナ禍でもメールや遠隔会議等を通じて活き続けています。

知らない研究者に会いたいと連絡することはハードルが高いと思われるかもしれませんが、最初の作業としてはメールを送るだけです。実は研究者の皆さんはとても親切で、ご自身も知り合いを増やしたいと思っていますから基本的には受け入れてくださいます。もちろん、私のところにも初めてのご連絡をいただくことがありますが、存じ上げない方でもお断りすることはありません。

このように、人とのつながりの大切さを教えていただきそれに努めてきたことで、残響抑圧の分野の研究において世界的な研究者とのつながりを持ち、ワークショップを開くこともできました。研究者は他者に認められないと自己満足の世界になり、また、世界的に認められることをめざすうえでも、時には先輩や周囲の声に、たとえそれが自分のやり方と違うと感じても、耳を傾けて参考にしてみるのも1つの手かもしれません。



研究者は「箱」のような存在かもし れない

研究者にとって必要な素養を教えていただけますでしょうか.

まずは、自分がどういう研究に取り組んでいて何を解決したいと思っているかを、広く社会に知ってもらうことはものすごく大事だと思います。自らそれを宣言して活動をしているとさまざまな情報が集まってくるもので、自分1人では見つけられないような解決策を教えてもらえることもあります。

挑戦する研究者たち

CHALLENGERS



私は、研究者は「箱」のような存在ではないかと思います。その箱には研究内容が書かれたラベルが貼ってあり、自分でもさまざまなデータを集めてくるし、他の人がデータや情報を寄せてくれるのではないでしょうか。この行為はある技術を発展させるためのプロジェクトであり、どれだけ発展させられるかは研究者の能力にかかわってくるかもしれません。

また、良い情報を集めるためには、そのラベルの書き方も重要ですから、どう表現するかしっかりと考えて書かなくてはいけません。

研究者である以上、今取り組んでいる課題は本当に取り 組むべきことか、本当に解明しなければならないことは何 か、は最大の悩みであり、常に検証して最善のものにして いかなければなりません、幸運なことに、私は最初にとて も良い研究テーマに出会ったおかげで、30年間、ほぼ基本 的には同じラベル・目標をもって研究に取り組んできまし た. しかし、特に最近になって、ものすごい速さで世の中 が発展しているのを見るにつけ、もう古くなっている部分 もあると思い始めています、そろそろ新たなチャレンジに 向けて大幅なバージョンアップをする必要があるかもしれ ません. 仮に、65歳まで研究を続けることができるとして、 私に残された研究者期間は約10年です. これは生き方にも かかわってきますが、この10年間の研究者人生を価値ある ものにするにはどうしたらよいかを考え、研究者として10 年後を見通して、社会や当該分野にどう貢献するかも考え ていきたいと思っています.

私は、人間と同じように音を理解するコンピュータを実現することに、研究者としての興味、関心を持ち続けています。これは今後も変わらないと思います。人間にできることはコンピュータにも必ずできるはずです。しかし、実際にはそれはなかなか難しいことですし、難しいからこそ面白いことでもあり、気付いたらライフワークのようになっていました。まだまだ解決すべきたくさんの問題がありますが、多くの研究者と協力して、あらゆる状況で人とコンピュータが同じ音空間を共有して、周囲の状況を理解しながら適切に会話し自由に協力し合える、鉄腕アトムのよう

な世界を実現したいと考えています.

後輩の研究者に向けて一言お願いします.

基本は「仲間」と「自分のラベル」をつくることです. 仲間はさまざまなシーンにいるはずです. 例えば, 職場には信頼できる, 議論できる仲間がいます. 国内の学会であればいつもライバルとなる仲間もいます. そして, 海外であれば, 最先端の研究をしている仲間ともリンクできます. 繰り返しになりますが, 研究活動も世の中の発展のスピードもかなり速くなっていますから, 仲間と一緒に取り組んでいかなければ追い付けません. 幸いなことに, 私たちは海外の研究機関と共同研究をする機会が多くて, お互いを高め合える関係を築いています.

また、人生においても行き詰ったときに誰かに助けてもらうことや、楽しくやれるのは良いことだと思います。研究者は課題と向き合う際に自分と勝負をすることがありますから、どうしても閉じこもりがちになり、放っておくと1人になってしまいます。そうならないためにも、時に先輩方に背中を押してもらうことも必要かもしれません。

さて、実際には研究活動は失敗ばかりです。前回のインタビューのときは自分の子どもが小さかったこともあり、子育てになぞらえて、失敗してもそこには必ず「研究のタネ」がある、といった話をしたかと思います。その気持ちは今も変わっていません。自分の期待を裏切る結果だったら、そこには自分が信じていたこととは違う自然の規則が存在しているはずです。それを徹底的に検証することで、次の「研究のタネ」を見つけるチャンスが目の前にある(かもしれない)ということです。経験が浅いときには検証するための材料が乏しいために判断に苦しむかもしれません。それでも、失敗を繰り返しながら結果と向き合って経験値を蓄えてください。失敗しないと成功はしませんから、失敗にへこたれず、「タネ」を見つけていってほしいと思います。

挑戦する 研究開発者たち CHALLENGERS



川前 徳章

NTT コムウェア エバンジェリスト

AIに「Do you really want to hurt me?」 と質問して、その回答が 「君は完璧さ」と思え る日を夢見て

AIは技術革新のスピードを増し、自然言語処理・理解を中心に実用化が進んでいます。中でも、Q&A対応などで活躍するチャットボットは、コールセンタの問い合わせ履歴から自動学習し、実務で人との応答を繰り返すことで、定型的な応答から脱却し、自然なコミュニケーションができるようになってきています。これらを支えるNTTコムウェアエバンジェリスト川前徳章氏に、研究開発の概要と研究開発者としての姿勢について伺いました。



業務で使える,検索や自動発話生成の機能を備えたチャットボットの実現に挑む

現在,手掛けている研究開発を教えていただけますでしょうか.

NTTコムウェアはNTTグループの加入者情報や料金請求データ等大量のデータを扱うシステムを長年にわたり構築・運用しています。その過程で培ってきた技術をさらに磨き、重点技術領域の1つとして「データ・マネジメント」に取り組んでいます。

私はエバンジェリスト, データサイエンティストとして レコメンド, 情報探索, 機械学習と自然言語処理の研究開 発を担当し、AI関連技術によるサービスを創出、支援することでお客さまの顧客満足度を上昇させ、NTTコムウェアの付加価値を最大化することを目標としています。

このような研究開発の社会的背景として、AIの飛躍的な発展により、例えばQ&Aの回答を生成したのは人間なのかAIなのかの区別がつかなくなってきていることがあります。これは、機械学習の進化により、最初は画像認識処理の分野でAIが活躍していたものが、一気に自然言語処理の多くのタスクで実用化レベルまで達したことによります。

自然言語処理も当初はヘルプデスクやコールセンタのよ

挑 戦 す る 研 究 開 発 者 た ち

CHALLENGERS



うな問合せ対応で利用されていたものが、マーケティング 等の分野においても導入が進み、販売のための対話や応対 等の処理、レコメンド関連の分野まで展開され、注目が集 まっています。

どのような技術なのかを分かりやすく説明していただけますでしょうか。

レコメンド,情報探索,自然言語処理の研究開発においては,表現学習,マルチモーダル,生成といった技術がコアになり,これらを組み合わせることで機能が実現されます.

表現学習とは、AIが入力されたデータの意味を理解するための表現形式にデータを変換してAIに読み込ませる技術です(図1). この表現形式は、単語間、あるいは単語と画像領域の対応関係を計算要素(ベクトル)で表現したものです、機械学習を実行する際に必要な画像や音、自然言語、時系列のデータ等の特徴表現は、すべてベクトルで表現することができます、機械学習の性能はそのデータ

の表現の仕方によって変わってしまうため、これまでは試行錯誤して表現の対象に最適な特徴量を設定していたのですが、表現学習ではコンピュータがベクトルを用いて自動で特徴を学習します。私たちはこの性質を画像生成や自動翻訳などの手法の開発に活かしています。

マルチモーダルはテキスト、画像、動画、音声といった 異種のデータをシームレスに扱う技術の総称です。マルチ モーダル、マルチモーダル・カンバセーションリサーチと 呼ばれる技術は、チャットボットの対話自動生成機能に使 われています。自然文入力や画像などを併用して「人が専 門家と対話しているような」検索サービスをECサイト等 で実現しています。また、レコメンドシステムは、例えば 観たい映画を検索する際、専門家ならではの解説や推薦理 由を表示してレコメンドを提供します。

学習が進んでいないAIに「Do you really want to hurt me?」と質問しても、そこから得られる回答は「完璧」とは言い難いです。したがって、これらの対話自動生成には業務知識を持たせる必要があります。具体的に



単語+コンテンツのembedding space



一時代劇+SF=





-写直+絵画=



図1 単語およびコンテンツ (画像) の同じ意味空間への埋め込み (上) と同じ意味空間上での単語およびコンテンツの意味演算の例 (下)

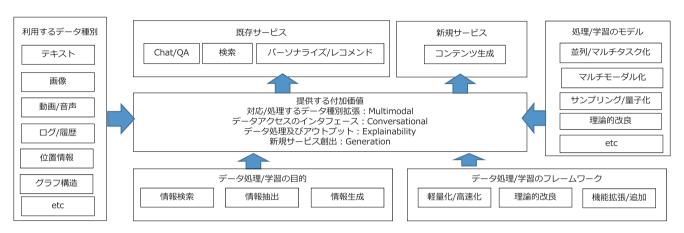


図2 研究開発中の技術要素による既存サービスへの付加価値創造、および新規サービスの創出

は業界領域に特化したデータとWebなどで公開されているデータを合わせて学習させています。するとあたかも専門知識を持つ担当者と会話したときのような説明的な要素を含んだ発話の生成ができ、質問者が納得できる対象の表示やレコメンドを提供できるようになります。

私たちのモデルでは、発話のみのUni-modalと、画像 を用いた発話が可能になる Multi-modal の両方を内包し ています. さらに、Speaker/Attribute Embeddingに よって話者(質問をする人)それぞれの特徴を発話に反 映できます. これにより、話者の属性により答えやレコ メンドする内容を変える. つまり、従来の発話自動生成 ではできなかった「カスタマイズされた発話」を可能と しているのです. 私たちはこのMulti-modal search. Multi-modal Conversational searchの研究開発を進 め、世界の先進企業の技術に負けない、そして実際の業 務で使える. 検索や自動発話生成の機能を備えたチャッ トボットを誕生させようとしています(図2). その先に 目的に合うテキストや画像や音声の自動生成をめざして います. この図は付加価値創造および新規サービス創出 に向け、私たちが対象とするデータ、目的、フレームワー クおよびモデルの取り組み概要となります.



研究は「設計」担当, 開発は「建築」担当であるが, どちらも両方の技量が必要

研究者としてキャリアをスタートさせたと伺っています. 研究開発者としてのキャリアはどのように築かれたのですか.

キャリアの出発点は大学時代までさかのぼります.統計学の演習でデータ分析をしている最中「データの分析はこれから大量のデータが得られそうなので,データ分析の重要性は増すだろう.同じデータに対し,同じツールや手法を適用すれば,誰が手掛けても同じ結果が得られるので,いずれは自動化されるだろう」と思い,周囲を見渡すと,適用できる領域が広いことに気が付いたことがきっかけです.例えば,当時はあまり理系と関連が弱いとされていたマーケティングの分野があります.実際に分析をしてみると,自分では気付かなかった結果が出てくることがあり面白いのです.これを解釈して意味付けすることでデータが情報となり,この付加価値が分析する人の強みとなるだろうと思いました.

例えば、演習で、不動産の価値と立地条件の相関を検討して、不動産価格を予測するプログラムを作成する宿題がありました。不動産の価値を駅からの距離やバスの頻度、沿線の鉄道等の条件で検討し、価格上昇に合致する条件をデータから学習させました。すると、ある値を境に不動産価格がグッと下がったのです。その理由に、

挑戦する研究開発者たち

CHALLENGERS



雨が降っても傘を差さずに歩けるアーケードがある等の要因を見出すことができました. これはほんの一例ですが、分析によって何かが明らかになることに魅力を感じて、データサイエンティストの道に入りました. そして、2002年にNTTに入社し情報流通プラットフォーム研究所(当時)で研究者としてのキャリアをスタートさせたのですが、大学の研究室と違って多くの研究者が在籍していて、私の知らなかった分野の研究者との交流が図れる日常を魅力的に感じました. そこから7年間同研究所に在籍した後、NTTコムウェアに異動しました. ただ、所属する組織は変わっても、研究開発者と呼ばれるようになっても、20年近く同じ研究を続けています.

ところで、私は研究者と研究開発者、同じテーマを両方の立場で追究している者として、それぞれの立場の違いを実感しています。開発者はお客さまに「モノを直接届ける」サービスを手掛けていることから、お客さまに近いところに存在しています。一方で、研究者はジャストアイデアで論文を出すのが1つのゴールでもあります。これを建物の構築に例えると、研究は「設計」を、開発は「建築」を担っていると思います。

とはいえ、研究成果を評価する際に、大量のデータを動かせる、使えるモノにできるかが問われていますから、研究者であっても研究開発者の素養を備えることは大切です。その逆も然りで、研究内容・成果を理解できなければ、それを応用してお客さまに届けることもできません。まさに「設計」と「建築」の関係と同じなのです。

課題やテーマを探すときに心掛けていることや,意識して実行されてきたことはありますか.

まずは取り組む前に前提としていることがあります.それは自分が思いつきそうなことはすでに誰かが行っているはずであり,誰かが着手していないことは実現困難かあるいは実現しても効果がなかったのかどちらかの可能性が高いという考えです.したがって調査は徹底するものだと考えています.私たちが従事しているのは趣味ではなく仕事ですから,取り組みが無駄になってしまったら,何もしていないのも同然です.だからこそ,取り組み以前に十分な

見極めが必要なのです.

それから、私は自分以外はすべて師匠と思い、中でも世界水準の研究者が誰かを意識しています。彼らは研究者と同時にトップレベルのエンジニアであり、企画や営業のスキルも持ち合わせているのだと認識しています。当該分野において、手掛けている研究開発をどう定義つけるのか、また、広い視野を持ってどう方向性を定めるかは重要です。これは企画に通じますし、それを専門以外の人に伝えることは営業に通じるでしょう。このような前提があり、研究や影響力やその先にあるポテンシャルクライアントを想像できるかということを大切にしています。

さらに、この力を養うために学会等で人に会うようにしています。研究者と話をすると、自分に不足していることが見えてきます。そこで足りない部分を正直かつ正確に認識するように努めます。ここでいう正直さというのは「分からなくてはいけないことを、今、私は知らない」という事実を素直に認めることが、研究者の伸びしろだと思います。

この姿勢は大学の研究室で研究に取り組んでいたころから心掛けています。素直にできないことを認めることが、自らの過小評価につながるのではないかと思う方もいるかもしれませんが、評価は他者がするものだと思います。研究者は世界各地で切磋琢磨し、技術の新陳代謝も早い分野なので、完璧な情報収集は困難ですが、可能な限り正確に自分の立ち位置を把握しておきたいと思います。



忍耐, 柔軟, 大胆さをキーワードに研 究開発に挑む

人と会うことで自分が見えてくるとは深いですね.

多くの人、研究者に会うことは自らを評価する基準を身に付ける際にも役立ちます。当該分野で成果を出している研究者や自ら研究開発を手掛けている研究開発者に会うことは重要です。国際学会であれば、ハイレベルの方々にお会いする確率は高くなります。彼らの発表を聞くだけではなく、ちょっとした立ち話でもよいので直接、会話をできる機会をつくるようにしています。

立ち話であれば発表後の質疑応答でも聞くことのできない、試行錯誤やプロセスを聞くことができますから、私は積極的に話しかけています。多くの方が実感していることかもしれませんが、国際学会の貴重な場所で、日本人どうしが集まっていては人脈も視野も広がりません。別の機会にも会える日本の方ではなく、この機会にしか会えない人と話をするために、積極的に海外の方々が集まる輪に飛び込んでいくことを優先したいです。言語(英語)の心配をする人もいるかもしれませんが、それを気にしていたら何もできません。こちらがそれなりの価値ある話をすれば、多少発音が悪くても話は聞いてもらえる・・・と思っています。最近はAIや機械学習のトップカンファレンスであるICLRやKDDの論文査読などをすることになり、責任の重みを感じています。

それから、私は研究開発をするうえでモットーとしているのは他者への感謝の気持ちです。例えば、現在、私が在籍しているのは研究所ではなく事業会社です。ここで私が今の仕事を担えるのは、多くの理解者や賛同者の存在があってこそです。この方々への感謝の気持ちを忘れずに、期待にこたえていかなくてはいけないと思います。正直であることや日頃のコミュニケーションは重要で、立場によって態度を変えることなく、誰でも同じように丁寧、親切であるように心掛けています。

後輩の研究開発者の皆さんに一言お願いいたします。

何かお役に立てることをお伝えできればよいのですが、人それぞれですので、自分にとり役立った本を紹介します。それは中国の歴史書、『正史 三国志』で、そこから忍耐、柔軟、大胆を学びました、学生時代に『正史 三国志』を読んで、呉が一番長く続いたのはまさにこの基本方針であると気付き、これは活かせると思いました。すぐに結果が出なくてもあきらめない忍耐力、上手くいかなかったらスパッと切り替える柔軟性、そして常識に挑戦する、否定する大胆さを備えていたいと思います。

コロナ禍にあって在宅勤務がメインとなり、私は自分 1 人で何ができるかを意識するようになりました。そこでは、 『正史 三国志』より後に知った東ローマ帝国の興亡から、 自分自身が担うことにもっと厳しく、より正直にならなければいけないと危機感を感じることを学びました。仕事のプロセスを他者が直接見ることができないことから、評価は結果が重視されるようになるため、同じ時間を使うにしてもやることやできることを増やし、集中力を高めることが大切になってきます。私は細かい締め切りをいくつも設定してパフォーマンスを上げるようにしています。具体的には週単位で、現在手掛けている論文を実装する本数を定める、実装したモデルの性能を改善する等の目標を設定して、達成度やその結果を分析して次の目標に反映させるようにしています。仕事に納期や締め切りがあるのと同じように、研究にも締め切りは必ずやってきます。ちょうど魏や晋が長江を渡り呉に攻め込むように。

研究、研究開発活動は誰でもできることではありませんから、それができる環境はとても恵まれていると思います。私はこれに感謝して、活動させていただける期間に少しでも多くのことをできるように心掛け、周囲の方々に恩返しをしていきたいと思います。また、私の活動のモチベーションの1つにもなっていますし、会社で仕事をしている以上、目に見える成果を上げ、誰かの役に立ちたいと思います。

私は研究と芸術は紙一重だと考えています。なぜなら研究も芸術も新しい価値観を生み出し、それを社会に理解し受け入れられるか否かで点で共通しています。周囲に理解して支援する人が欠かせないのも一緒です。理解してもらうのは難しいことでもありますが、多くの人に正直に伝えていきましょう。この分野に限っていえば、研究も開発も、その対象は急速に増えています。これはと思うことがあればまず手を動かしてみましょう。そして話してみましょう。そのためにも外へ出ましょう。

明日のトップランナー

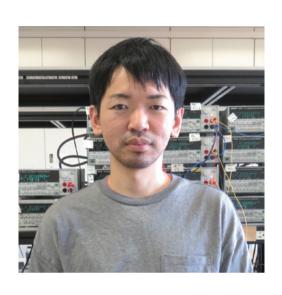
NTTデバイスイノベーションセンタ・NTT先端集積デバイス研究所

小木曽義弘 特別研究員

毎秒1テラビットの長距離光伝送を実現する 「超高速マッハツェンダ型光変調器」の研究

IoT (Internet of Things) の普及や5G (第5世代移動通信システム) サービスの開始などに伴い、これらを支える光通信ネットワークにはより一層の高速化が求められています。今回は、光ファイバ通信の末端部分を担い、高速化にも大きく寄与する「マッハツェンダ型光変調器」の研究に取り組む小木曽義弘特別研究員にお話を伺いました。

◆PROFILE:2010年日本電信電話株式会社入社. NTTフォトニクス研究所 (当時) 配属. 2014年組織改編に伴いNTTデバイスイノベーションセンタに配属. 2021年7月よりNTT 先端集積デバイス研究所兼務 (工学博士). 大学での研究以降, 現在まで一貫して「光変調器」の研究開発に取り組んでいる.





電気信号を光信号へと変換する 「光変調器」



◆「光変調器」とはどのような働きを持つものなのでしょうか.

「懐中電灯を点けたり消したりすることで崖の上から船に向かってモールス信号を送る」シーンを思い浮かべると「光通信」はイメージしやすいでしょう。懐中電灯を点けているときを「1」、消しているときを「0」とすればデジタル信号を送ることが可能というわけです。もちろんそれだけですと信号は地球の反対側までは届きませんので、実際には光ファイバを使ってその内部に光信号を通すことで、光通信を実現しています。

一方、皆さんが普段お使いのPCやスマートフォンは電気で動いており、内部では電気信号が利用されています。そのため、それらのデータを光通信により送信するには、どこかで電気信号を光信号に変換しなければいけません。それを行うのが「光変調器」です。かなりニッチな領域かと思いますが、光ファイバ通信のコアとなる重要な光デバイスといえます。

◆研究されている「マッハツェンダ型光変調器」とはどのような ものなのでしょうか.

先ほど懐中電灯を点けたり消したりして信号を送る、という お話をしましたが、光変調器の原理はまさにそれです。

一番シンプルな方式は、光の出どころであるレーザ発光素子のスイッチをオン・オフする方法です。この方式は直接変調型と呼ばれ、もっともコストが安いことから、家庭用の光回線の終端装置(ONU)などにも使用されています。

もう1つはレーザを連続的に射出しておいて、途中に光を吸収

するものを置くことで光を消す方式で、電界吸収型光変調器と呼ばれています。

そして最後が「マッハツェンダ型光変調器」です。マッハツェンダ型光変調器は、図のように分岐点で光を2つに分け、再び合流させるような構造をしています。光は波としての性質を持っていますから、図の上図のようにそのまま合流されると、上下の光の位相(波の山、谷の位置)が同じなので波の山と山とが重なり合って点灯します。対して、下図のように電気によって途中の屈折率を変化させて光の速度を変化させ、光の位相を反対にすると、波の山と谷とが打ち消し合って光は消灯します。波の干渉により光(エネルギー)は放射され、消えて見えなくなるというわけです。

直接変調型や電界吸収型では有限の速度で移動する電子等のキャリアを考慮しなければならないのに対し、マッハツェンダ型ではキャリア移動の影響が少ない電界、電場を主に利用していますので、高速な信号にも対応できるという利点があります.

◆光変調器に求められる性能は何でしょうか.

光変調器でもっとも重要な指標はSN比(Signal to Noise ratio:信号対雑音比)です。SN比の高い、つまりクオリティの高い電気信号をいかに劣化させずに光信号に変換するかが重要なポイントとなります。

そういった中で、光変調器には3つの性能が必要とされています。1番目は微弱な電気信号に対していかに感度良く光が反応するか、という「低電圧駆動」です。2番目の「広帯域」も同じく感度にかかわる性能ですが、点灯・消灯という動作を高速で行っても高い感度をどこまで維持できるか、の指標です。

そして3番目は「低光挿入損失」です. 光変調器から出てくる

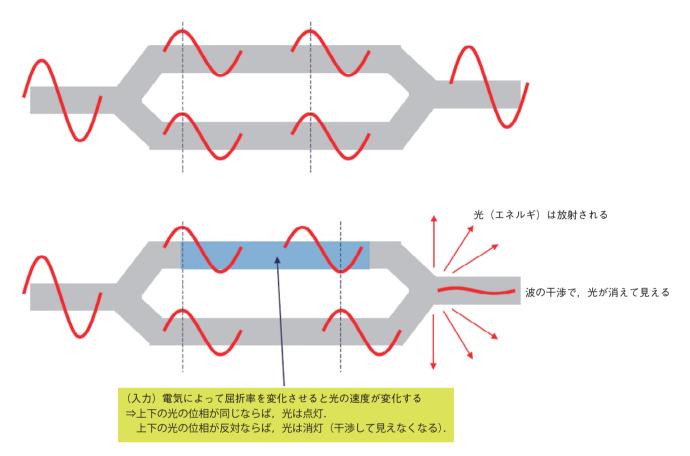


図 「マッハツェンダ型光変調器」の原理

光の幅はそのまま信号の強度に対応します。いくら感度が良くても全体の出力が落ちてしまえばSN比も落ちてしまいますから、いかに損失を生じさせないかというファクタが必要となるわけです。

これら3つはトレードオフの関係にあり、全体を広げることが 企業の競争力となります。

私は大学で、当時主流だったLiNbO₃(ニオブ酸リチウム)を 材料とする光変調器の研究をしていましたが、NTT入社後は主 に低駆動電圧性および広帯域性に優れ、小型化が可能な半導体の 材料であるInP(リン化インジウム)を使用した光変調器の研究 に従事しています。



「1波長当り毎秒1テラビット」 の長距離伝送を実現



◆2019年には世界初となる1波長当り毎秒1テラビットの長距離伝送実験の成功が報じられました.

高速化にはさまざまな要素が必要となります。私は高速な電気信号を高速な光信号に変換する部分を受け持ちましたが、高速な電気信号をつくり出す部分はNTT先端集積デバイス研究所が、送信先で劣化した信号を復元させる処理の部分はNTT未来ねっと研究所が担当しました。NTT総動員でこの1テラビットを達成したという感じです。

光変調器の部分に限っていうと、高速化の方法は3通りあります。

1番目は単純に光の点灯・消灯のスピードを上げる「高シンボルレート化」です.

明日のトップランナー 🕍



2番目は「高次多値化」です、光の点灯・消灯だけだと1ビッ トの情報しか送れませんが、例えば明るさを0.0.25.0.5. 0.75. 1のように境界を区切れば「000011「10011」のよ うな信号を送ることができるという原理です. また. 現在は光の 明るさや強度だけでなく、光の波としての位相も区切ることによ り、1度に6ビット、8ビットの信号を送るQAM(Quadrature Amplitude Modulation: 直角位相振幅変調) も開発されてい ます.

そして3番目は「多重化」です。光には「多重波長」という性 質があり、色の違う光を混ぜて送信しても受信先で再び色別にほ どくことができます. つまり色の違う光をつくってそれぞれに光 信号を乗せ、1本のファイバで送信すれば色の種類分だけ多くの 信号を送れるわけです.

これらのうち高次多値化と高シンボルレート化の掛け算によ り高速化を達成し、私がつくった光変調器は現時点でも世界最高 速の記録を持っています.

もともと光変調器の高速化は頭打ちの状態でボトルネック化 していましたので、この部分の最先端技術を私たちが保有してい ることは大きな強みであるといえます.

◆実用化の見込みについて教えてください.

現在、通信分野に対する需要はとても高く、競争はかなり激 しい状態にあります、そのため、最先端の研究がほぼ実開発レベ ルにある、ということがこの分野の特徴です.

特に私の所属するNTTデバイスイノベーションセンタは実用 化できる研究に注力しています. アイデアを出すだけではなく, いかにモノにできる技術を提案し立ち上げるか、いかにスピード 感を持って量産するところまで到達させるかが自分の使命だと考 えています.

研究ではうまくいくものの、開発フェーズに入って実用化す



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)

るまでには困難な課題が数多く存在する状態を指して. 「死の谷」 という言葉がよく使われます.

例えば、InPの加工は困難な課題の1つです. マッハツェンダ 型光変調器の光が通る道をつくるためにInPを削ると、InPはイ ンジウムとリンの原子が密集して交互に存在する材料であるた め、表面がなかなかきれいになりません、リンの原子がぽろっと 抜け出てしまい、その部分はインジウム、つまり金属が豊富な壁 となってしまいます。そこに別の金属が接近すると電気(電界) を吸収してしまい、電気信号が通らなくなるという不具合が発生

そこで、削る際のダメージをいかに減らすか、どういうふう にケアをして自分が思い描いたとおりのかたちにするかというノ ウハウ, いうなれば「職人気質」が必要となります. とはいえ職 人にしかつくれないというのでは売り物にはなりませんので、現 在は外部に出しても同じような特性を持った光変調器を大量生産 できるよう、さまざまなノウハウを工程表に落とし込んだマージ ンの広い設計書、仕様書の作成に取り組んでいます、その他生産 ラインなども検討し、最終的には数年以内での実用化をめざして います.

◆本技術により、どのようなことが可能となるのでしょうか、

直接的には5Gサービスのハイパフォーマンス化、さらに高容 量の6Gサービスへの応用などが可能となります. 動画配信の データ転送や、データセンタ間での通信などへの応用はかなり有 効でしょう. また、電波を受信して光通信で遠隔地に送信し、再 び電波を送信するRadio over Fiber (RoF: 光ファイバ無線) 技術への応用なども期待できます.

さらに光変調器自体の通信以外の分野への応用も考えられま す. 実は、電気信号を光信号に変換するという場面はいろいろな 所に存在しており、センシングの分野では、光変調器は光周波数 コム(光の周波数成分のスペクトルが等間隔で並んだもので計測 等に用いられる)の生成やガスセンシングなどに利用されていま すし、電波天文台では遠く離れた天体の観測データを処理する際 に光変調器が使われています.

逆に光を電気に変換する場面もあります. 例えば自動車の車 載センサでは、レーザで感知した情報を電気信号に変えてディス プレイなどに表示させています.

「電気信号を高速でクオリティの高い光信号に変換したい」と いうニーズは、探れば他にもたくさんあるのではないでしょうか. 私はずっと「通信」という分野にかかわる研究・開発をしていま すが、別の分野にも活用されるような技術を開発できたら面白い なと思っています.

from NTTコムウェア

マルチAI制御フレームワーク Infratector®コア

NTTコムウェアでは、デジタル技術を活用したスマートインフラメンテナンス「SmartMainTech。」を展開し、社会インフラ分野でのAI(人工知能)やデータ活用によるソリューション・プロダクトを開発しています。ディープラーニングなどのAI画像認識技術が普及し、こういったAIのプロダクト開発は一般的になりつつありますが、複数のAI画像認識の組合せやAI画像認識と統計解析など異なるAIの組合せ、あるいはAI判定の前後処理の組合せなど、AIの社会実装を進めるうえで、効率的に開発できる環境の整備は、まだまだ不十分です。ここでは、この開発を容易にする部品化フレームワークの取り組みを紹介します。

スマートメンテナンスの取り組み

NTTコムウェアでは、社会インフラ分野におけるスマートメンテナンスの取り組み全体をSmartMainTech®**(1)ソリューションと位置付け、その中でAI(人工知能)を活用したプロダクトを総合的に開発、提供しています。

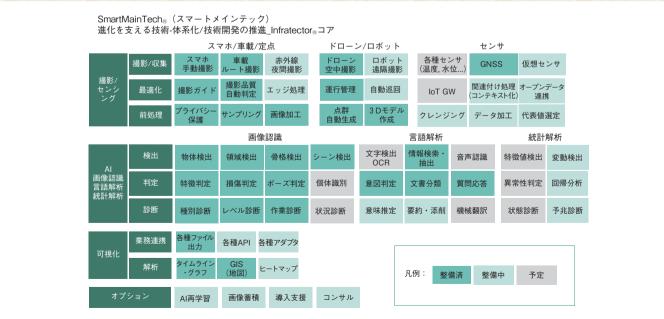
現在まで、道路舗装面の画像によるひび点検システムや、スマートフォンを利用してAIによる施工検査を実現するInfratector®TypeC*2、電柱、つり線などの架空構造物点検システム、設備や構造物のデジタルツイン化を実現するSmart Data Fusion®など、社会インフラ分野で、AIやデータサイエンスを使ったさまざまなプロダクトを開発、提供してきました。

AI開発効率化の取り組み

従来はAIシステムの開発を個々のプロダクトごとに行ってきましたが、現在は、これらAIシステムの開発を総合的にサポートする部品化・制御フレームワークを整備し、プロダクト開発の効率化をめざしています。ここでは、この部品化フレームワークであるInfratector。コア⁽²⁾を紹介します。

社会インフラ分野における、各処理構成部品のマッピングを図1に示します、この図に示したように、多くの構成

- *1 「SmartMainTech」は、NTTコムウェア株式会社の登録商標です。
- *2 「Infratector」は、NTTコムウェア株式会社の登録商標です。



from♦NTTコムウェア

部品が各処理段階で使われています。Infratector。コアでは、これらの構成部品を機能分担整理し、各モジュールの入出力インタフェースを標準化することで、再利用性を高め、開発の効率を上げることをめざしています。

AIシステムの標準構成

スマートメンテナンス系のAIシステムは通常、大きくみると、入力データの前処理部、AI認識処理部、後処理部に分けることができます。各部の処理概要について説明します(図2).

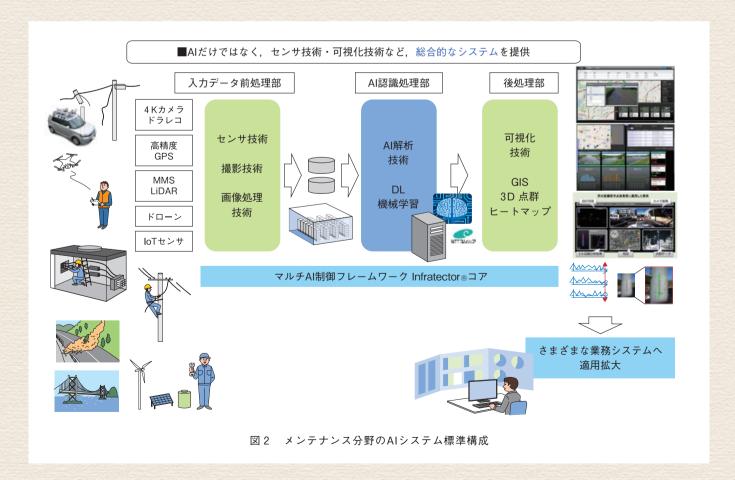
まず、前処理について説明します。AI画像認識システムでは、ディープラーニングなどの画像認識技術が使われますが、AI認識以前に、いかに高精細な画像を撮影するかといった撮影技術、適切な画像補正の前処理技術が必要になります。いくら高度なAIを使っても、適切な画像が入力できなければ判断識別できないからです。また、これらと組み合わせて使う各種センサ情報との連携も重要な要

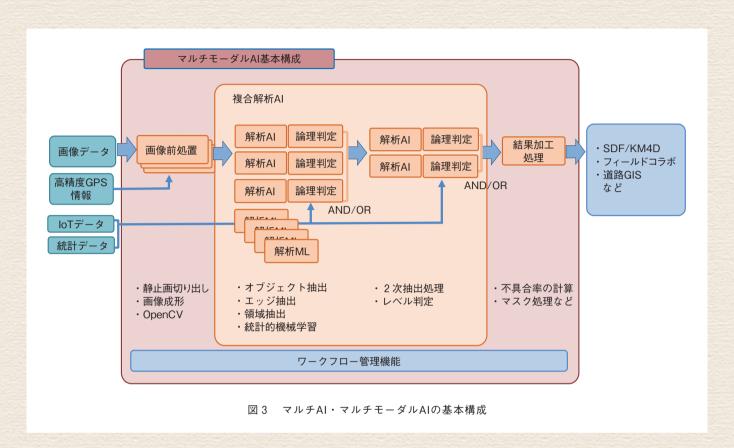
素技術となります. 高精度 GPS による正確な位置情報との連携はその一例です.

次に、AI認識処理部ですが、この部分では複数種類のAIを組み合わせて、複合的に判断することで精度の高いAI認識を実現しています、弊社ではこれを、マルチAI・マルチモーダルAIと呼んでいます。

最後に、後処理部ですが、どのようなAIシステムでも、 判定結果を効果的に可視化表示したり、その判定結果を既 存のオペレーションシステムの入力データとして連携する ためのインタフェースが必要となります。

可視化表示について、いくつか例を挙げると、道路舗装面のひび点検システムでは、地図GISシステムを中心とした地図ベースの不具合個所の表示システムを提供しています。検出した不具合個所を地図上に表示したり、この点検業務で標準的に使われる様式Aという帳票形式に合わせて出力することもします。また、ドローンやロボットを使った点検などでは、たくさんの写真や映像を大量に記録しますが、どこを撮った写真なのか、後で分からなくならない





ように、GPS位置情報や撮影方向を記録したデータから 撮影対象物の3次元可視化を行い、立体的に構造物にマッ ピングした3Dモデルで不具合個所の表示を行ったりします。

Infratector。コアでは、これらの処理を機能部品化することで、再利用性を高め、開発の効率を上げることをめざしています。

マルチAI, マルチモーダルAI

次にAI認識処理の高度化について説明します。ディープラーニングによる画像認識の精度は飛躍的に向上しましたが、まだいくつかのものを見分けるというところが一般的で、これをさらに高度化したいというニーズがあります。Infratector®コアでは、複数のAIを複合的に組み合わせ、より高度な画像認識を行ったり、認識精度の向上を行ったりしています。これは人間の視覚判断の過程に似ています。人間はまず、大まかに全体を見て、認識する対象がどの領域にあるかを判断し、それに対して(その領域に対して)さらに、詳細な視覚認識判断を行っていますが、これと同様な過程をAI認識に取り入れることにより、目的と

する認識対象範囲外の領域に対して、やみくもに認識判断をしたり、対象の領域以外で誤検出したりすることはなくなります。また、人間は検出した対象に関して、本当にそれが目的の検出対象であるか、さらに詳細に見て、見間違いでないか検証しますが、こういった過程も複数のAIを組み合わせることで可能となります。見るべき対象を画像認識でフィルタし、次の認識判断を行ったり、複数AIの検出結果に対してAND、ORをとるなどのロジック判断を行う処理の基本的な流れを図3に示します。

また、入力として画像だけでなくセンサ情報などさまざまな入力情報を総合してAI判定、将来予測を行ったりします(マルチモーダルAI).

これまで述べてきた、前後処理も含めたAI構成部品は、 柔軟に組み合わせて再利用性を高める仕組みが必要となり ますが、これには処理のフローを制御できるオーケストレー 夕のような仕組みが必要であり、現在、この整備を行って います(図4).

from◆NTTコムウェア

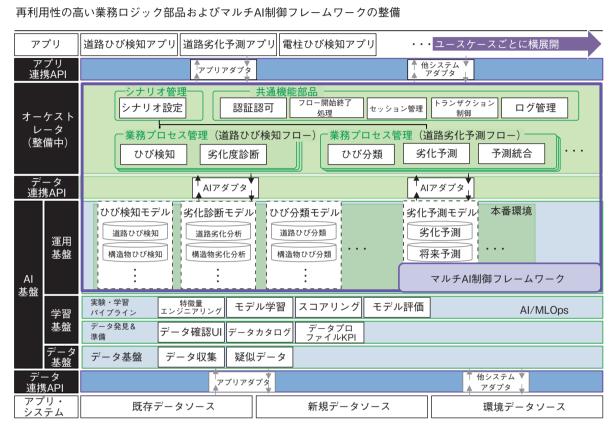


図4 全体アーキテクチャ構成

マルチAIの適用事例

以下に、NTTコムウェアで開発した、マルチAIの実際の適用事例を紹介します(\mathbf{Z} 5).

- ① 電柱ひび、営巣点検システム: MMS走行カメラ画像からAIで電柱を見つけ、さらに、ひびや、営巣をAIが検出します.
- ② マンホール種別、位置検出システム: MMS 走行画像から、AI でマンホールを探し、その輪郭を抽出、次にサイズ、形状、模様からマンホール種別を判定、その位置情報を記録します.
- ③ 架空構造物点検システム(つり線点検):スマートフォン画面でガイダンス撮影、撮影画像の適切さをAIが判断、問題なければ、さびのレベルをAIで判定します.
- ④ 道路舗装面点検システム:MMS走行画像から道路 舗装面を見つけ、複数のAIで複合的に、ひび、舗装

細粒分浮きを検出します.

- ⑤ 河川水位監視予測システム:河川に設置したカメラ映像からAIで河川の水面を見つけ、仮想水位計で水位をAI判定. さらに気象データから将来の水位を予測します.
- ⑥ 高所作業安全点検システム:作業映像から脚立を見つけ、さらに、それに立つ作業者の骨格ポーズをAI推定します。危ない動作をしていないか、作業姿勢を総合的に判定、ビューアに表示します。
- ① 風力発電ブレードの点検システム:ドローンで自動 飛行撮影し、風車のブレードを見つけ、ブレード上で の落雷痕や塗装剥がれを検出します。
- ® 鉄塔のさび点検システム:ドローンで鉄塔のフレームを見つけ、さらにさび、塗装剥がれを検出します.
- ⑨ 公園巡回点検システム:公園を4足歩行ロボットで 巡回.人や樹木を見つけ、転倒、腐朽菌など、さらに



図5 マルチAIの適用事例

状態を詳細判定します.

このように、Infratector®コアでは、さまざまな種類のAIを部品化し組み合わせることで、1つのAIでは実現できない高度な精度の高いAI認識を実現しています。

今後の取り組み

社会インフラ分野におけるプロダクト開発を加速させるための部品群の拡充とフレームワーク整備を進めます.設備情報や稼働状況など、まだまだ活用されていない構造化・非構造化データの価値を引き出し、スマートメンテナンスの実現につなげていきます.

■著者

井藤 雅稔/原田 俊彦/杉本 智

■参考文献

- (1) https://www.nttcom.co.jp/smtech/
- (2) https://www.nttcom.co.jp/smtech/infratectorcore/

◆問い合わせ先

NTTコムウェア

ビジネスインキュベーション本部 ビジネスインキュベーション部 プロダクト創出部門 Infratector® コア担当

E-mail bi-bid-ma_ito-g@srv.cc.nttcom.co.jp

NTTスマートトレード

ワンストップの 決済・送金サービスで 着実に成長

NTTスマートトレードは、決済ゲートウェイサービスにより、クレジットカード決済、口座振替などの各種決済・送金サービスとその周辺業務をワンストップで提供して成長し続けている。2021年10月に会社設立15周年を迎え、法改正を契機とした新たなビジネスへの展開や、業界のDXへの思いを中村芳博社長に伺った。



NTT スマートトレード 中村芳博社長



競争激しい業界で、繰り返される 法改正をビジネスチャンスに変えて成長



◆設立の背景と目的,事業概要について教えてください.

NTTスマートトレードは、FX(外国為替証拠金取引)の会社として、2006年10月に設立されました。金利の差分などに着目した金融ビジネスをイメージされると思いますが、外国為替に関する取引の際に発生するトランザクションを扱うビジネスモデルを基に、NTTグループ企業の1つとしてスタートを切りました。

2010年4月の資金決済法の施行により、銀行以外の事業者でも送金サービスが可能となったことをきっかけに、ネット決済・ネット送金事業を主軸とする会社に方向転換し、その後 NTTコミュニケーションズから「ちょコム」という電子マネー事業を承継するなどさまざまなサービス拡充を経て、年商約30億円、社員1人当り約1億円超という高生産性の企業へと姿を変え、2021年10月に会社設立15周年を迎えることができました。

事業は、法人向けと個人向けにサービスを提供しています。個人向けにはちょコムをベースとした「電子マネー」、「ちょコム送金」、電子マネー販売の「ちょコムショップ」といった送金・決済サービスの提供のほか、最近では「学費公共スマート払い」という、クレジットカードを利用した学費の送金サービスも開始しました。

一方、法人向けには「クレジットカード決済」「コンビニエンスストア決済」「口座振替」「電子マネー(ちょコム) 決済」といった決済・送金サービスを中心に展開し、お 客さまにさまざまな決済手段を提供するだけなく、個別ニーズにも対応できるソリューションも提供しています. 具体的なサービス例では、クレジットカード決済などの利用の際にシステム開発・接続不要で導入できる仕組み、毎月の料金案内や請求業務をサポートする「請求業務サポートサービス」、入金消込業務をサポートする「銀行振込消込サービス」、決済関連の周辺業務のBPO (Business Process Outsourcing)、振込手数料や収納手数料を削減するためのコンサルティングなども行っています.

◆政府の促進策でキャッシュレス決済が注目を浴びましたが、事業環境はどのようなものでしょうか.

開示される数値が資料によって異なるので比較は難しいのですが、当社の事業規模は業界のトップ10に入るレベルで、最大手の売上規模が約230億円とみられています。当社が年間に動かす資金は約5000億円に及びますが、業界トップ3のシェアが40%~50%といわれ、そのほか多くの会社が乱立しています。地域に根差した会社、決済などの単一業務のみで決済手段もクレジットカードなど単一の会社、特定の業種のお客さま向けの会社など、各社の特色は非常に多岐にわたっています。当社のお客さまには地方のCATVや新電力会社も多いのですが、このように広域で多様な分野をほぼカバーしている会社は、業界でも存在感があるといえます。キャッシュレス化の加速に伴いさらに新たな参入が続くと思われ、市場の成長とともに今後もしばらくこの状態が続くものと考えています。

さて、コロナ禍により企業活動や消費行動への影響が懸 念され、特に対面決済の機会損失などはこの業界において も無視できないものですが、当社の状況をみるとクレジットカードを中心に収益が伸びています。よく分析してみると、大きな理由としては、食事の宅配やゲーム関係の課金など、旺盛な巣ごもり需要を取り込んできたことが見て取れます。政府のキャッシュレス・ポイント還元事業などの促進策だけではなく、現金を触らずに済む感染予防の観点からのキャッシュレス化という流れもあるかと思いますが、コロナ禍の下で生まれた新たなビジネスモデルにも着実に対応して成果を上げてこられたと思います。



新たな市場、新たな事業 ステータス、業界DXへの挑戦



◆こうした環境の中で勝ち残っていくためにどのように取り組んでいくのでしょうか.

将来的には企業としての成長と拡大をめざしていくことは念頭に置きつつ、一方では現在の規模で小回りの利く体制であるからこそ、高生産性がキープできているという点も無視できません。この両者のバランスを取りながら、お客さまのニーズを敏感にキャッチした新サービスの提供や、法制度の規制が厳しい中での規制緩和の動きへの柔軟な対応、そしてTrusted Third PartyとみなされているNTTブランドの持つバリューを活用して、成長へのシナリオを描いていくつもりです。特に2022年からは新生ドコモグループの一員となりますので、スピード感や柔軟性といった当社の強みを一層スマートライフの分野で活かしていきたいと考えています。

こうした流れの中で、当面は具体的に①学費公共スマート払いサービスに代表されるようなペーパレスな決済サービスの展開、②改正資金決済法(「金融サービスの利用者の利便向上及び保護を図るための金融商品の販売等に関する法律等の一部を改正する法律」(令和2年法律第50号)により改正された資金決済法)への対応、③NTTグループ内の協創拡大、に注力していきます。

学費公共スマート払いサービスは、通常金融機関に出向いて振替用紙により納入していた学費などをクレジットカードの利用や口座振込みで支払うことができるサービスです、学費や入学金の納入がスマートフォンやPCからの操作で行えるだけではなく、学校側においても入金消込作業を効率化することができます。すでに約300

校で実績がありますが、公共料金などの支払いにも応用できるので他分野への展開も進めているところです.

改正資金決済法については、銀行などを除いた資金移動業者は1回の移動限度額が100万円以下に規制されていたものが、第一種資金移動業、第三種資金移動業の3類型に改められ、第一種資金移動業では100万円超の移動が可能となるものです。1回100万円超の資金移動は、大手だけでなく中堅中小企業でも需要が高いものと考えており、第一種資金移動業への認可申請を行い、新たな需要に対応する新サービスの開発・提供をめざしています。

NTTグループ内の協創拡大についてですが、実は当社はこれまで収益、利益の多くをグループ外で上げており、それが1つの特徴ではありました。ただ、先ほどもお話ししたように、今後は新ドコモグループの金融・決済事業の一翼を担うことになります。大きな土俵でグループ協創の利点を活かし、より大きく貢献したいと思います。特に、グループ各社がそれぞれ個別にソリューションやプラットフォームを提供しているところを決済の側面から下支えし、これらとうまく連携することでシナジーを出していきたいと考えています。

◆今後の展望についてお聞かせください.

金融や決済・送金に関する業界は、暗号資産やキャッ シュレス決済、PCI DSS (クレジットカード業界のセキュ リティ基準). NFT (Non-Fungible Token: 非代替性 トークン) など多岐にわたり大きな成長の可能性を有し ていますが、課題が多いことも実感しています、特に利 便性(流通性)と安全性(セキュリティ)の両立は重要で、 究極の暗号といわれる量子暗号が実用化されるまでのセ キュリティ対応については、常に関心を持ち研究してい く必要を感じています. また. デジタル化の最先端に触 れ、デジタル化そのものにも親和性がある一方で、減り つつあるとはいえ押印作業や多くの書類や規制などが残っ ており、デジタル化と距離のある部分も併せ持っていま す. この両者の差が大きいほど、デジタルトランスフォー メーション (DX) が貢献できる余地が大きいと思います. 自らできるところからDXを進めることで業界に一石を 投じるとともに、その成果を新たなソリューションとし て展開していきたいと思います.



あらゆる決済サービスをワンストップで実現



取締役 送金決済本部長 小平 豊 さん

◆担当されている業務について教えてください.

送金決済本部では、各種決済・送金サービスの提供、お客さま(加盟店など)への営業活動、決済機関・金融機関とのアライアンスからサービスを提供する基盤システムの構築・運用まで、NTTスマートトレードが提供しているサービス全般にわたって業務を行っています。

当社の基盤システムは各種金融機関のシステムと接続されており、この基盤システム上で提供される「決済ゲートウェイサービス」によりお客さま(加盟店)に多様な決済サービスをご利用いただけます。決済においては、

例えば、クレジットカード決済では「決済データ」、口座振替では「収納データ」、請求書やコンビニエンスストア決済では「送付依頼データ」といったように、決済手段によりやり取りするデータも異なり、お客さまから見るとそれぞれ個別に対応しなければならないところを、この「決済ゲートウェイサービス」により1フォーマットですべての決済の請求から結果のやり取りが可能となります(図).

さらに、決済業務においては請求書発行などの周辺業務 もあります、当社では、請求書作成・発送業務、口座振 替依頼書登録処理業務、クレジットカード情報登録処理業 務、弁護士への回収委託取次ぎ業務や決済周辺業務などの BPOの受託も行っており、お客さまの決済関連業務をワ ンストップできめ細かくサポートさせていただきます。

単なる決済サービスではなく、こうしたワンストップのトータルサービスがお客さまに評価され、さらにはTrusted Third PartyとしてのNTTのブランドバリューもあり、営業収益も順調に伸びてきています。

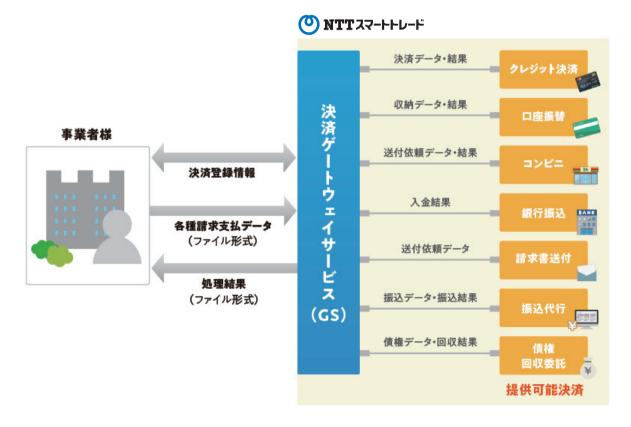


図 ゲートウェイサービスのイメージ

◆ご苦労されている点を伺えますか.

法制度による規制の厳しい業界で、法改正への対応がしばしば発生します。最近の例では、クレジットカードを取り扱う加盟店におけるクレジットカード情報の漏洩事件や不正使用被害の増加を背景に、2018年6月に改正割賦販売法が成立し、クレジットカード利用の加盟店にカード情報保護対策が義務付けられ、2021年4月施行の改正法においては、その対象加盟店の範囲が拡大されました。これにより、加盟店ではクレジットカード情報の非保持とPCI DSSに準拠したシステムやオペレーションが義務化されました。

当社もPCI DSSに準拠しているのですが、毎年、クレジットカード情報の保護についてシステム面、運用面など、多面的に厳しく審査を受けており、この対応にかなりの稼働と費用を要しています。加盟店においては、すべてのカード端末のICカード対応だけでも大変なうえに、PCI DSS準拠・維持などとても手が回りません。そこで、PCI DSSに準拠した事業者にクレジットカード情報を登録してもらうことで対応せざるを得ません。法制度の改正をチャンスととらえて、PCI DSSに準拠することで、お客さまの開拓やカード情報登録ソリューションなどの決済ソリューション提供といった新しいビジネスにつなげることができました



新たな事業の柱の構築と、法改正への 対応でビジネスチャンスをつかむ



◆今後の展望について教えてください.

新しい事業の柱として、教育関連をターゲットとした「学費公共スマート払いサービス」の拡大に注力していきたいと思います。日本では、金融機関の窓口において振込用紙で学費を支払っている学校が大半で、これをクレジットカードにより金融機関の窓口へ行かなくても支払い可能とするサービスです。利用者(支払者)からはその利便性に対する評価をいただいており、学校側にも入金消込業務の効率化を図ることができると評価をいただいています。実績は現在で約300校ですが、日本には学費を払う学校が5000以上もあり(2021年文部科学省調査速報)、それらをターゲットにお客さま開拓を進めていきたいと思います。

そして、改正資金決済法への対応として、企業間決済や 社員給与払いなどの新たな事業展開をめざして第一種資 金移動業への認可申請です、監督官庁の金融庁にとって も当社にとってもすべてが初めてのことなので、書類の やり取りやQ&Aなど、予想以上に頻繁に行っており、こ れから最後の山場を迎えようとしています。

NTTスマートトレード ア・ラ・カルト

■ジェネレーションギャップが懐かしい

少人数でまとまりがよく、40歳代以上の社員数が多く、その中に20歳代・30歳代の若手が混ざっているとのことです。当然話の傾向も異なり、音楽の話 1 つをとっても、先輩方は昔のヒット曲、若手は YouTube の映像を中心とした話題で、どうしてもジェネレーションギャップが出てしまうそうです。とはいえ、中にはその間に入って「通訳」をしてくれる社員もいるとか、最近は在宅勤務が多くなり、社員どうしが顔を合わせて会話することもほとんどなく、「ジェネレーションギャップが懐かしい」という声も聞こえてくるようです。

■桜に囲まれて

会社の近くには北の丸公園や靖国神社、千鳥ヶ淵といった桜(花見)の名所が点在しています。それ以外でも数多くの桜が植えられており、まさに桜に囲まれた会社です。昼休みには散歩やランニングをしている人も多いそうですが、季節になるとその人数も増えるとか、中には、外出からの戻りが心なしか遅くなる人もいるのかもしれません。

■お堀の向こうは日本武道館

会社のすぐそばにあるお堀の向こうは日本武道館です。現在はコロナ禍で開催が見送られていますが、イベントがある日には最寄りの地下鉄駅付近を中心に多くの人が行きかいます。付近の飲食店やそのほかの店の看板や、行きかう人たちの年齢層や手に抱えているグッズを見るだけで誰のイベントなのか予想もつくとのことです。お気に入りのアーチストのライブの日には、チケットを持っていないにもかかわらずソワソワしだす社員もいるそうです。また、登録有形文化財の「旧九段会館」も一部を残しながら新しいビルへと変わり、時間の経過を感じるそうです。

Technical Solution

宅内設備のネットワーク構成を自動作成支援する ツール「NeST」

最近の宅内設備はIP通信機器が増え、故障修理等の業務におけるネットワーク構成(IPアドレス、トポロジ)の把握に時間を要しています。NTT東日本技術協力センタでは、宅内IP機器の自動検出とネットワーク構成図の作成を支援するツール「NeST」を開発しました。

開発背景

お客さまのネットワーク構成に関する情報は、IP通信機器が増えた昨今の保守・故障修理対応には欠かすことのできない重要な情報です。各種機器のネットワーク経路確認や故障の全体像把握を行ううえで必要な情報となります。お客さまが把握されている場合やネットワーク構築時の情報を事前に入手している場合は問題ありませんが、構成図がない場合やお客さま側でネットワーク構成や接続機器を変更された場合には、保守・故障修理の作業前に改めてネットワーク構成図を作成する必要があります。主な作業としては、各種機器の接続構成の目視確認やIPアドレス/MACアドレス等の調査によりネットワーク構成を把握し、それらの情報を整理しPCで作図します。手書きでの作業も多く、機器台数が多い場合は作成に時間を要します。

このように多くの時間がかかっていたネットワーク構成図作成作業の効率化を図るため、NTT東日本技術協力センタにて「ネットワーク構成図アプリケーション "NeST (Network STructure)"」を開発しました。本ツールを活用することでスマートフォンにて簡単・ス

ピーディにネットワーク構成図が作成でき、保守・故障修理業務の効率化を見込むことができます.

本ツールの利用方法と主な機能

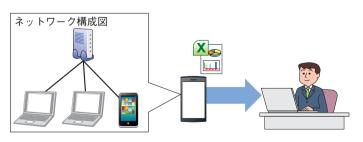
本ツールは Android 搭載スマートフォンにて利用可能なアプリであり、スマートフォンを調査対象のLANに接続することで以下の機能が利用できます(図1.2).

- ① ワンタップでLANに接続された機器をリスト化: お客さまのネットワーク構成を調査するうえで、LANに接続された機器の台数や使用されているIPアドレスは把握しなければならない重要な情報です。本ツールではネットワークスキャン機能を用いることで、ワンタップでLANに接続された全端末のIPアドレス、MACアドレスの情報を自動で取得しリスト化することができます*1.
- ② 機器情報の編集や写真添付をアプリ上で簡単実施:①で収取した情報に、それぞれの機器名・機器の外観写真・設置状況の写真を付加することで、より分かりやすいネットワーク構成図をつくることができます。

*1 機器のセキュリティ設定などにより一部取得できない場合があります.



①LANに接続された機器を 自動でリスト化 ②機種情報や写真を登録



③ネットワーク構成図を 自動作図 ④ファイル出力により PCにて閲覧・編集が可能

図1 ツール利用概要





図2 ツール画面

機器の外観については従来であれば、別途持参したデジ タルカメラ等を用いて撮影を行い、それぞれの写真がど の端末の何を撮影したものかメモに残したうえで、事務 所に戻って整理し、機器との対応を行っていました。本 ツールでは①でリスト化した機器ごとに詳細情報が登録 可能であり、スマートフォンのカメラで撮影した現地の 写真を機器に対応して登録することもできるので、現地 の情報も含めた機器リストを現地にて簡単に作成するこ とができます.

③ ワンタップでネットワーク構成を自動作図:ネッ トワーク構成図は従来であれば、現地で取得した各種 データや手書きメモの情報を整理し、トポロジのかた ちにまとめて作成していました。機器台数が多い場合 や多段接続の場合は作成に時間を要する作業となって おりました. また. 作成者によってネットワーク構成 の描画方法や記載する情報に差が出てしまうといった 問題もありました。本ツールでは①、②で取得・作成 した機器リストを基にワンタップでネットワーク接続 図を自動作成することができます. ②で必要な情報を 登録することで機器の表示がアイコン表示となり. ひ と目でどのような機器が接続されているか把握するこ とができます. また, 多段接続の構成をトポロジのか たちで描画するため各機器の接続構成が視覚的に分か りやすい図面を作成することができます.

④ 検出した情報を基にネットワーク構成図を自動作 成しExcel形式にて出力: 本ツールは、スキャンした機 器リストから、機器の画像データを用いて接続を描写し、 Excel形式のネットワーク構成図を出力することができ ます. この機能を用いることでPCでもネットワーク構 成図の閲覧や編集が可能となるため保守・故障修理の 作業レポートや機器更改の際の事前調査資料等にも活用 いただけます.

今後の展望

現在はトライアル実施中のため、主に技術協力センタ の技術協力業務で活用しつつ、NTT東日本の保守業務 担当者を中心に展開していますが、本ツールはお客さま 宅内設備構築時の事前調査にもご利用いただけるツール だと考えています*².

併せて機能充実化や精度向上を図ることで、より使 いやすく便利なツールへ改良を重ねていきたいと考え ています.

技術協力センタ ネットインタフェース技術担当では、 これまで培ってきた通信にかかわるデータの解析手法や スキルを活用して、現場業務の効率化に資するような新 たなツール開発を行っています、引き続き現場の課題解 決に向けた技術協力活動を推進し、サービス品質向上・ 通信設備の信頼性向上に貢献していきます.

◆問い合わせ先

NTT東日本

ネットワーク事業推進本部 サービス運営部 技術協力センタ ネットインタフェース技術担当 TEL 03-5480-3702 E-mail nif-ml@east.ntt.co.jp

^{*2} 現在はNTTグループにのみ提供予定とさせていただいています。