

NTT

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可
令和2年7月1日発行 毎月1回1日発行 第32巻第7号(通巻376号)

7

JULY 2020
vol.32 No.7

技術ジャーナル

特集

IOWN構想特集 —デジタルツイン コンピューティング—

CONTENTS

2020年7月号

- 4 | **特 集**
- IOWN構想特集**
- デジタルツインコンピューティング—**
- 6 | デジタルツインコンピューティング構想
- 12 | ヒトDTCの挑戦と今後の展望
- 18 | 新たな社会を切り拓くモノのデジタルツインコンピューティング
- 24 | 実世界とサイバー世界を連動させる
サイバーフィジカルインタラクションに関する取り組み
- 29 | デジタルツインコンピューティングの社会的課題
- 35 | **主役登場**
藪下 浩子 NTTデジタルツインコンピューティング研究センタ
- 36 | **from ★NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル**
ID・パスワードのあり方を変えるdアカウント パスワードレス認証
- 47 | **挑戦する研究者たち**
宮本 裕
フェロー NTT未来ねっと研究所
「今ここだ!」の瞬間を共有できる仲間と社会を支える
——社会生活を大きく変革する光通信技術開発に挑む



NTT 技術ジャーナル

- 53 | **グローバルスタンダード最前線**
FG-AI4EE会合報告
——AIを活用したICTの気候変動対策への適用と標準化動向
- 57 | **テクニカルソリューション**
アクセスポイント設計機能を備えた無線LANテストの機能拡張開発

Focus on the News	60
イベント	73
読者の声	74
8月号予定	
編集後記	

本誌掲載内容についての
ご意見、ご要望、お問い合わせ先
一般社団法人電気通信協会内
NTT技術誌事務局
TEL (03) 3288-0608
FAX (03) 3288-0615
E-mail jimukyoku2008@tta.or.jp

本誌ご購入のお申し込み、
お問い合わせ先
一般社団法人電気通信協会
ブックセンター
TEL (03) 3288-0611
FAX (03) 3288-0615
ホームページ <http://www.tta.or.jp/>

企画編集
日本電信電話株式会社
〒100-8116 東京都千代田区大手町1-5-1
大手町ファーストスクエア イーストタワー
NTTホームページ URL <http://www.ntt.co.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2020
●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。

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

特集

IOWN構想特集 —デジタルツイン コンピューティング—

デジタルツイン



複製・交換・融合



シミュレーション
・未来予測

サイバーフィジカル
インタラクション



社会と倫理

実世界とサイバー空間とを結びつける「デジタルツイン」が、IoT（Internet of Things）の進展等により実現されてきている。NTTでは、ネットワークやコンピューティング環境の進化に伴い、あらゆる事物のデジタル化および実世界との融合がますます進展していく未来像を踏まえて、2019年6月に「デジタルツインコンピューティング構想」を発表した。本特集ではその取り組みについて紹介する。

Digital Twin

デジタルツインコンピューティング構想

デジタルツインコンピューティング構想の概要、適用範囲、アーキテクチャと実現に向けて取り組むべき主要課題について紹介する。

6

ヒトDTCの挑戦と今後の展望

ヒトDTCを用いた特徴的なユースケースとして、集団の合意形成、共感と他者理解、未来予測と成長について紹介する。

12

新たな社会を切り拓くモノのデジタルツインコンピューティング

ヒトとデジタル化されたモノとをインタラクション可能にする技術と、デジタル化されたモノやヒトの動きを大規模・高解像・高精度にシミュレーションする技術について紹介する。

18

実世界とサイバー世界を連動させるサイバーフィジカルインタラクションに

関する取り組み

運動機能における能力拡張を実現する生体信号デコーディング・フィードバック技術と、未来の予測結果をフィードバックすることで違和感のない操作を実現するゼロレイテンシメディア技術について紹介する。

24

デジタルツインコンピューティングの社会的課題

デジタルツインコンピューティングがリアルとバーチャルが融合した新しいデジタル社会を実現していくための社会的課題を、データ、自律エージェント、仮想社会と、セキュリティ・プライバシー、倫理・制度の3×2のマトリックスに分類して紹介する。

29

主役登場

数下 浩子（NTTデジタルツインコンピューティング研究センタ）

私が夢見るDTCの世界

35

Computing

デジタルツインコンピューティング構想

実世界とサイバー空間とを結びつける「デジタルツイン」が、IoT (Internet of Things) の進展等により実現されてきています。ネットワークやコンピューティング環境の進化に伴い、あらゆる事物のデジタル化および実世界との融合がますます進展していく未来像を踏まえて、2019年6月に「デジタルツインコンピューティング構想」を発表しました。本稿では構想の概要、適用範囲、アーキテクチャと実現に向けて取り組むべき主要課題について紹介します。

なかむら たかお
中村 高雄

NTT デジタルツインコンピューティング研究センタ

デジタルツインとは

実世界とサイバー空間とを結びつける「デジタルツイン」が、ICTの進展により実現され、注目されてきています。デジタルツインとは、例えば工場における生産機械、航空機のエンジン、自動車などの実世界の対象について、形状、状態、機能などをサイバー空間上へ写像し、正確に表現したものです。デジタルツインを用いることで、サイバー空間内で対象物に関する現状分析・将来予測・可能性のシミュレーションなどを行うことが可能となります。さらに、サイバー空間での処理結果に基づいて実世界の対象をインテリジェントに制御するなど、高度なICTの恩恵を実世界の対象にフィードバックさせることが可能になります。

今後、実世界のさまざまな対象のデジタルツイン化が進むことにより、産業を超えた異種・多様なデジタルツインの掛け合わせ・相互作用（インタラクション）による大規模なシミュレーション等に対する要請が高まってくると考えます。例えば、生産機械単体から、

生産ライン、工場全体、さらには流通などを含めたサプライチェーン全体の再現や、建物、道路、自動車、市民などを掛け合わせた都市全体の再現などです。しかし、現在のデジタルツインは目的ごとに作成・利用されていることから、このような自由な掛け合わせが困難です。また、ヒトのデジタルツインについては、これまでは生理学的な計測データなどによるモノ的な側面での再現が中心であり、コミュニケーションなどの社会的な行動に関するシミュレーションは困難です。

デジタルツインコンピューティングとは

私たちがめざす「デジタルツインコンピューティング (DTC)」は、これまでのデジタルツインの概念を大きく進展させるものであり、多様なデジタルツインを自在に掛け合わせてさまざまな演算を行うことにより、これまでになく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サイバー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（図1）。

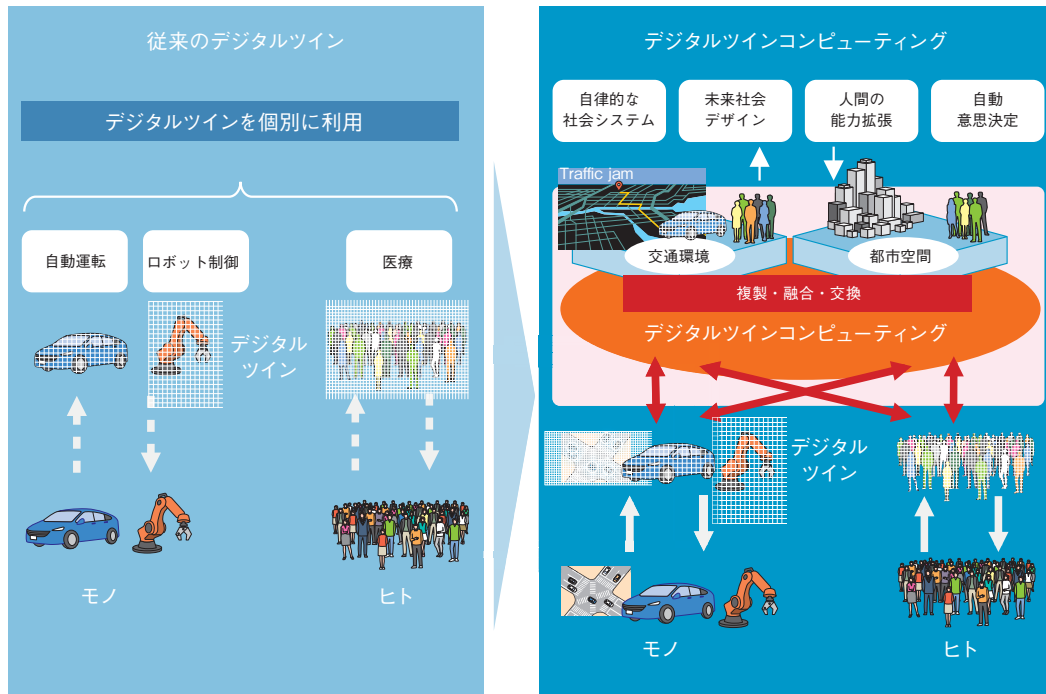


図1 デジタルツインコンピューティングコンセプト

DTCの特長の1つとして、さまざまなデジタルツインをサイバー空間上に配置し、相互作用により全体として駆動する1つの世界、すなわち仮想社会をつくり出すことが挙げられます。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作用のための共通的な手段を提供します。また、ありのままの現実をデジタル化するだけでなく、実世界とは異なる環境条件や存在しない対象を配置した仮想社会を構成することで、例えば未来都市のデザインなど、存在しない世界での試行等が可能となります。

DTCのもう1つの特長であるデジタルツイン演算は、デジタルツインを多数複製して

さまざまな試行等に活用する、あるいは異なるデジタルツイン間で構成要素の一部を交換や融合させて実在しない性質を持つデジタルツイン（派生デジタルツイン）を生成する等、複製や加工といったデジタル性の利点を活用するための操作です。派生デジタルツインを組み合わせて仮想社会を構築することで、実世界の機能や相互作用を拡張することが可能となります。

さらにもう1つ、DTCの大きな特長として、ヒトの内面の再現に挑戦することが挙げられます。例えば個々人の思考や判断をサイバー空間上で再現・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でしょう。本特集記事『ヒトDTCの挑戦と今後の展望』で詳しく述べます。

DTCでは、さまざまなモノやヒトどうしが実世界の制約を超えて高度に相互作用する多様な仮想社会をつくり出し、さらに仮想社会との融合により実世界が拡張・超越していきます。ヒトの活動範囲が仮想社会まで進展することによる人間の可能性の拡大、あるいは大規模シミュレーションや未来予測による複雑な社会課題解決のための社会デザインや意思決定支援など、これまで実現し得なかった革新的サービスの創出をめざしています。

適用域とユースケース

DTCの適用域とユースケースについて図2に示します。DTCではヒト1人を対象とするようなミクロでより深いレベルから、数人の集団、都市、国、そして地球規模といったマクロでより広範なレベルまで、取り扱うデジタルツインの規模・粒度をさまざまなスケールでとることができます。これにより、

- ・ 高度な判断プロセスや熟練スキルのデジタル化とリアルなヒト・モノへのフィードバックにより、人材育成コスト低減や労働力不足に対処する
- ・ 複数の人生を同時に歩んだ“複数の未来の自分”とそれぞれ会話をすることで、リア



図2 デジタルツインコンピューティングの適用域

ルの人生における選択を精緻な裏づけとともに実行する

- デジタル化された各分野の専門家が高速に議論し、災害・事故・犯罪等の事態に応じた対応策をスピーディに導出する
- 空間と時間の4D情報を活用して人流・交通流を制御し、気象、スケジュールまで組み合わせた混雑・渋滞解消やCO₂最少社会を実現する
- 都市における中長期的な社会活動の試行・予測に加え、未来の生活者の意見をシミュレーションし、それを設計にフィードバックすることで、将来に向けた適切な街づくりを実現する
- 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・街づくりを実現する

といった、幅広い適用範囲でさまざまなユースケースを考えることができます。

アーキテクチャと実現に向けた主要課題

DTCは、実世界のモノやヒトのセンシングによるデジタルツインの生成、デジタルツイン演算による派生デジタルツインの生成とそれらを掛け合わせた仮想社会の構築、そして実世界へのフィードバックを行います。DTCアーキテクチャは、図3に示すレイヤで構成されると想定されます。

- ① 実空間：実世界に現在存在するモノやヒト、およびそれらを含んだ現実の空間

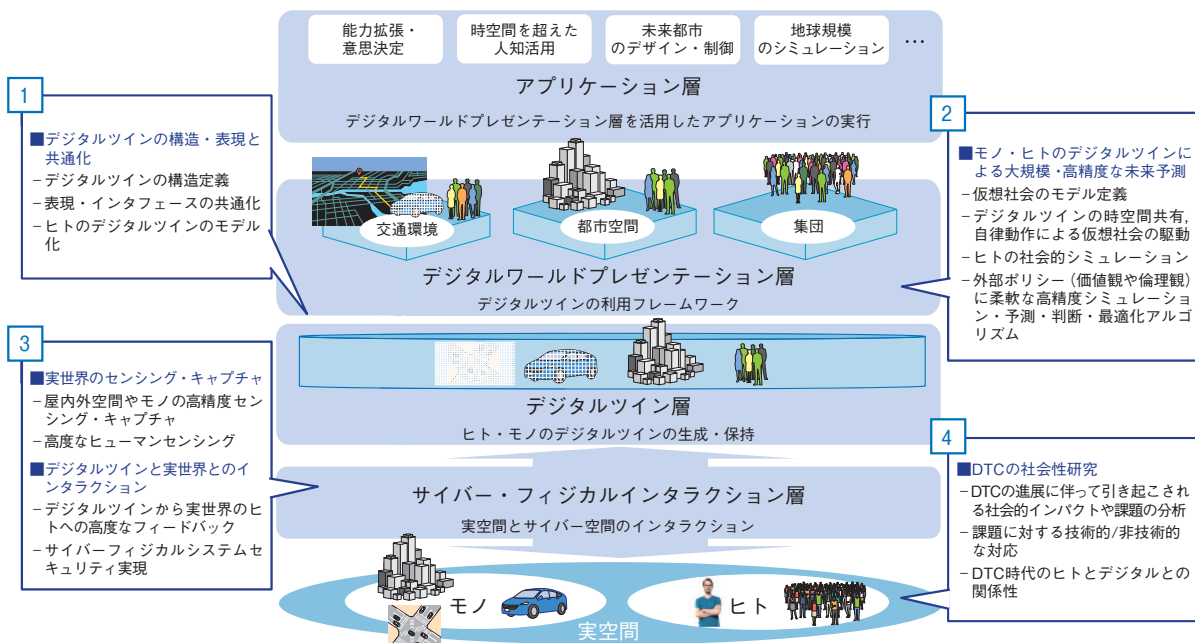


図3 デジタルツインコンピューティングアーキテクチャと実現に向けた主要課題

です。

- ② サイバー・フィジカルインタラクション層：実空間のモノやヒトのセンシングによりデジタルツインを生成するために必要となるデータを収集する機能と、仮想社会での試行や予測の結果を実空間にフィードバックする機能を提供します。
- ③ デジタルツイン層：収集されたデータやモデルの蓄積、およびそれらを用いたデジタルツインの生成・蓄積を行います。
- ④ デジタルワールドプレゼンテーション層：デジタルツイン層に格納されたデジタルツインに対する演算（複製・融合・交換）により派生デジタルツインを生成します。また、派生デジタルツインを組み合わせて仮想社会を構築します。
- ⑤ アプリケーション層：デジタルワールドプレゼンテーション層を活用したアプリケーションの実装を可能とし、実行します。

このアーキテクチャに沿って、前述のユースケースを含むDTCの実現に向けて取り組むべき主要課題を以下に示します。

(1) デジタルツインの構造・表現と共通化

デジタルツイン層に関しては、DTCのめざすデジタルツインの相互利用の枠組みとして、デジタルツインの構造定義および表現形式・インタフェースの共通化が必要です。また、ヒトのデジタルツインについては、ヒトの内面や個性の再現を含めた構成要素の定義およびセンシングデータからのモデル化・再現技術の確立が必要となります。

(2) モノ・ヒトのデジタルツインによる大規模・高精度な未来予測

デジタルワールドプレゼンテーション層に関しては、多様なデジタルツインを掛け合わせる場である仮想社会のモデル定義、配置されるデジタルツインの時空間共有と相互作用、個々のデジタルツインの自律動作による仮想社会駆動のメカニズムが必要となります。また、個々のヒトの思考や判断の再現に基づいて、対話・合議等のコミュニケーションや集団行動などの社会的シミュレーション方法の確立が必要です。そしてこれらをベースとして、社会規範や価値観、倫理観などの外部ポリシーに柔軟に対応して適切な計算結果を導くことが可能な、高精度シミュレーション・予測・判断・最適化アルゴリズムの確立が必要となります。本特集記事『新たな社会を切り拓くモノのデジタルツインコンピューティング』で取り組みについて紹介します。

(3) 実世界のセンシング・キャプチャ、デジタルツインと実世界とのインタラクション

サイバーフィジカルインタラクション層に関しては、屋外の建物・道路や室内構造といった空間や静的対象に加え、走行する自動車などの動的対象の高精度なセンシング・キャプチャが必要です。また、ヒトのデジタルツインがユーザの内面や個性まで再現するために、ウェアラブルデバイス・カメラ・マイクによる計測データやネット上での行動データ等を統合する高度なヒューマンセンシング技術が必要となります。また、サイバー

空間上の経験を実世界のヒトにフィードバックさせて、デジタルツインを介した仮想社会での活動や、サイバー空間の力を借りた実世界の能力拡張を可能とするために、高度なHMI（Human Machine Interface）デバイスなどを用いたフィードバック方法も必要となります。本特集記事『実世界とサイバー世界を連動させるサイバーフィジカルインタラクションに関する取り組み』で紹介します。

実世界とサイバー空間の融合が進むDTCの世界では、CPS（Cyber Physical System）セキュリティもこれまで以上に求められます。

(4) DTCの社会性研究

DTCの進展に伴って、例えばプライバシーの観点やデジタル犯罪等のリスク、未来予測と自由意志や責任に関する倫理的観点、ボーダーレスなデジタル社会における価値観の変容など、引き起こされるさまざまな社会的インパクトや課題に関する分析と、課題に対する技術的・非技術的な対応が求められます。またDTCの社会受容に向けて、ヒトとデジタルとの新たな関係性についての人文・社会的な研究も求められるでしょう。本特集記事『デジタルツインコンピューティングの社会的課題』で詳細を述べます。

おわりに

前述のとおり、DTC構想の実現に向けた課題は非常に広範な領域に及びます。NTT研究所では、幅広い学術・技術分野の専門家や産業界のパートナーの方々とのコラボレー

ションにより、課題解決や社会実装を進めDTC構想の実現をめざしていきます。DTC構想に関するより詳しい内容は「デジタルツインコンピューティング ホワイトペーパー」⁽²⁾をご覧ください。

■参考文献

- (1) <https://www.ntt.co.jp/news2019/1906/190610a.html>
- (2) <https://www.ntt.co.jp/svlab/DTC/whitepaper.html>



中村 高雄

パートナーの皆様と連携して高いハードルにチャレンジし、DTC構想の描く将来の新たな価値の実現をめざしていきます。

◆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ー
E-mail dtc-office-ml@hco.ntt.co.jp

ヒトDTCの挑戦と今後の展望

ヒトDTC（ヒトデジタルツインコンピューティング）は、ヒトの外面に関するデジタル表現だけでなく、内面までのデジタル表現をめざします。ヒトの人格や思考といった内面を含む情報をデジタル化することで、今までにない価値を生み出すことができると考えています。本稿では、ヒトDTCを用いた特徴的なユースケースとして、集団の合意形成、共感と他者理解、未来予測と成長について紹介します。また、社会へヒトDTCを浸透させるための課題など、これからのヒトDTCプロジェクトの方向性について述べます。

としま いわき
戸嶋 巖樹

のと はじめ
能登 肇

ひろた けいいち
廣田 啓一

こばしかわ さとし
小橋川 哲

くらはし たかお
倉橋 孝雄

おざわ しろう
小澤 史朗

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

DTCにおけるヒトのデジタルツインは、ヒトの活動範囲を実世界からサイバー空間まで拡大することを可能にします。自分とサイバー空間上のあらゆるデジタルツインとのインタラクションは自らのデジタルツインを通じて行われます。さらに、その結果を実世界

の自分にフィードバックさせることで、サイバー空間での活動から得られる経験を実世界と同様に得ることが可能となります（図1）。この時、身体的・生理学的な特徴といったヒトの外面に関するデジタル表現だけでなく、内面までのデジタル表現をめざします。ヒトの個性・特徴を再現するモデル（例えば、行動傾向、性格、価値観をモデル化した人格・

実世界からサイバー空間まで
範囲を拡大して活動するヒト

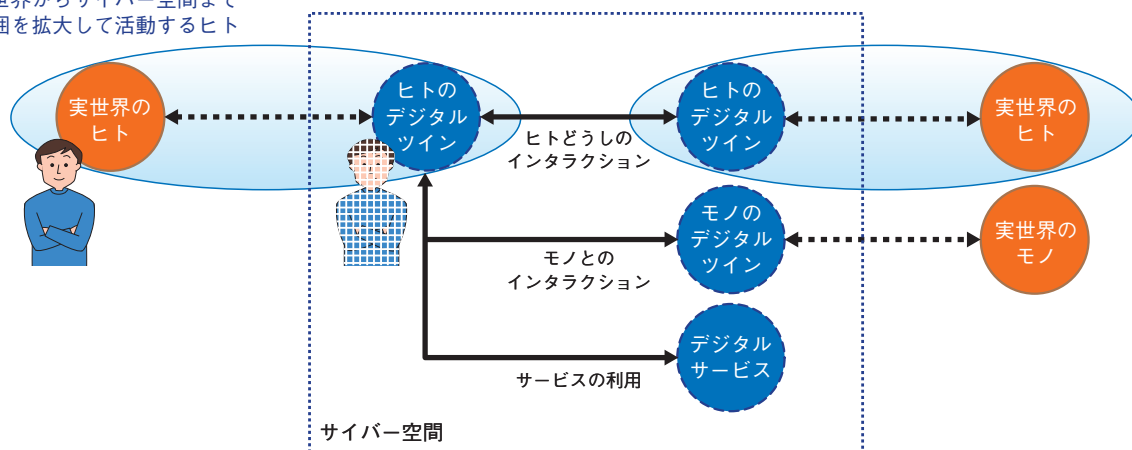


図1 ヒトのデジタルツインを介したサイバー空間でのインタラクション

思考モデルや、知覚、知識、言語能力、身体能力などをモデル化した能力モデルなど）はデジタルツインの振る舞いを規定し、サイバー空間における他者からの働きかけに対してあたかも本人のように反応することに加え、仮想社会において自律的に駆動させることで、本人のように他者に対して働きかけを行うこともできるようにします（図2）。このようにヒトのデジタルツインを発展させ、利用可能とするシステム全体について、ヒトDTC（ヒトデジタルツインコンピューティング）と定義しています。

本稿では、最初にヒトDTCのもたらす価値を整理し、その価値に対応する具体的なユースケースについて説明します。次にDTCを実現するうえで避けて通れない社会に受け入れられるために必要な検討について

整理し、最後にプロジェクトの長期的展望について述べます。

ヒトDTCの価値

ヒトのデジタルツインは状態や行動を表すデータだけでなく、判断や行動の傾向といったヒトの個性や感情を表現するモデルも有することで、仮想社会における他者とのインタラクションや自律的な活動を、あたかも自分自身のように行うことを可能にします。このことは、本質的に3種類の価値をもたらすと考えています。1番目は、物理的制約を超えて、さまざまなタスクを代替可能とすることです。中でもサイバー空間におけるコミュニケーションでは、実在のヒトどうしのコミュニケーションで行われるような実時間処理を超えて、膨大な処理を高速に行うことができ

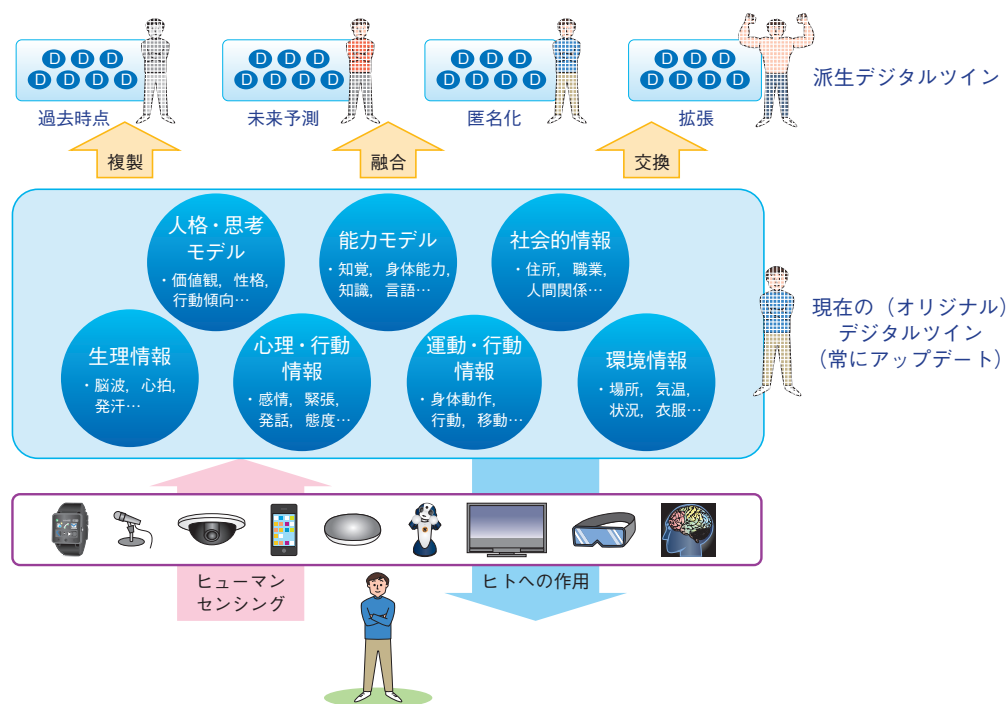


図2 DTCにおけるヒトのデジタルツイン

ます。2番目の価値は、感情を表現するモデルを持つことで、感情をそのまま伝達することが可能となることです。この世界では、ニュアンスをそのまま伝えることができるため、想いがすれ違わない世界を創ることができま
す。最後の価値は、社会的側面や多様性に基
づくインタラクションが実現できることで、
ヒトの個性まで考慮した精密な分析、そして
未来の予測が可能となることです。本人の行
動変容の参考にするなど、さまざまな使い方
が考えられる価値です。これらの価値の根源
は、ヒトの個性を実装し、感情のモデルを実
現することにあります。ヒトDTCにおいては、
この「ヒトの個性」を扱うことをもっとも
重要な課題の1つととらえて研究開発を推
進します。

ヒトDTCのユースケース

■ 集団の合意形成

ヒトのデジタルツインは、個人の知識や経験などの記憶を持ち、まるで本人と同じような個性や価値観を持ちながら、思考・判断を行うことができるため、実世界の本人に代わり、さまざまなタスクに従事させることが可能です（図3）。特にDTCでは、実世界で行われるものと同じコミュニケーションをデジタルツインが代替することで、複数の人とのコミュニケーションを必要とするような高度なタスクを実行できるようになります。その代表的な例は会議における合意形成です。DTCを活用した合意形成では、実世界の人を介さず複数のデジタルツインからなる集団の考え方の傾向をシミュレーションしてタイムリーに可視化したり、その場にはいない有

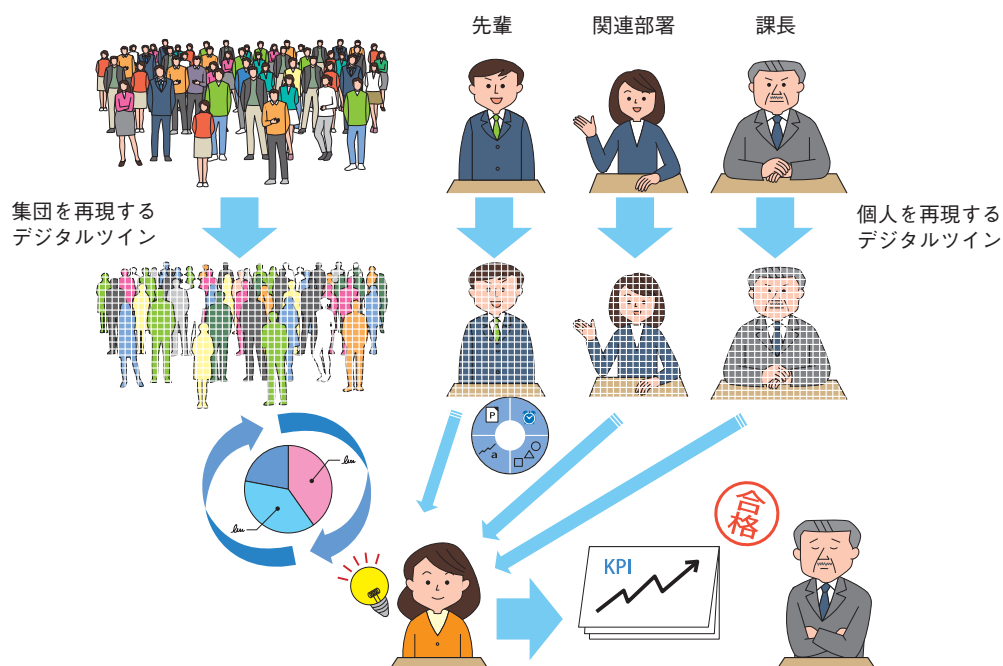


図3 ヒトのデジタルツインによる集団の合意形成

識者のデジタルツインからの働きかけにより個人の内面にある暗黙知を引き出したりすることで、その集団ならではの新たなアイデアの創発や意思決定がスムーズに実現できることが期待できます。また、DTCではデジタルツインの「複製」によって、実世界の状態とは関係なく同時に複数の仮想社会にデジタルツインを存在させることができるため、実世界では時間・空間の制約上ではこれまで不可能であった超多数数の合意形成が瞬時に可能になると考えています。

■ 共感と他者理解

感覚や感情のデジタル化も、ヒトのデジタルツインを生み出すための重要な要素です。本人のスキャン情報からデジタルツインとして復元した感覚・感情を、DTCを用いて相手の理解できるかたちに変換し、現実空間にフィードバックすることにより、お互いに分かり合っている共感状態を生み出すことができます(図4)。感覚や感情を用いた共感が役立つ例として、診察室での患者に対する医師の診断が挙げられます。現実の診断では、患者は医師に対して痛みのような感覚や不安といった感情を言葉で定性的に伝えることのみができます。また痛みを定量化できたとしても、個々人が得る感覚や感情は人によって異なります。そのため、患者は医師に正しく伝えることができたのか、また医師は患者が正しく説明しているのかを判断することは困難です。DTCによる診断では、デジタル化した痛みの感覚や不安な感情をDTCにより相手に伝わるかたちに変換してからフィードバックすることにより、相手への正しい伝達を可能にします。ヒトのデジタルツインを用

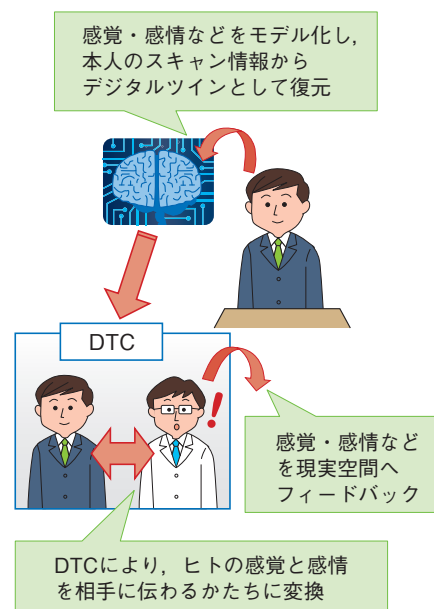


図4 ヒトのデジタルツインによる感覚の共有

いた共感の実現は、今までのコミュニケーションを大きく変革し、言葉にしたことが相手に分かるように伝わるだけでなく、言葉にできない・しないことも相手に分かるように伝わる世界を実現します。

■ 未来予測と成長

DTCにおけるヒトのデジタルツインでは、個々のヒトに対するミクロなレベルのシミュレーション結果を、自身の行動などを決定するために利用することも可能です(図5)。「融合」や「交換」によって、新たな知識や能力を付与した派生デジタルツインを用いることで、もし新しい知識を身に付けたらどうなるのか、といった別の未来の可能性を予測し、社会や自身を成長させるために利用することが期待できます。自身を成長させるという例として、新たな語学の学習などが挙げられます。自己の成長は、自身の動機付けや目標設定があり、それを実現するための身体的活動

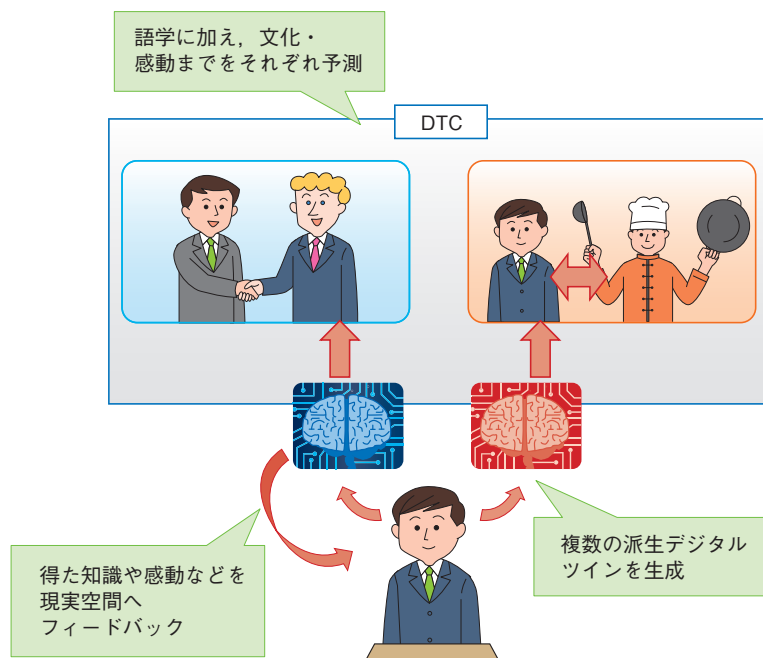


図5 ヒトのデジタルツインによる未来予測と成長

や知的活動での経験を通じて得られるものです。DTCにおけるヒトのデジタルツインでは、自己の派生デジタルツインを複数創生し、習得したい語学すべてをそれぞれの派生デジタルツインを用いることでシミュレーションすることができます。英語やドイツ語、フランス語などを仮想社会内の他者デジタルツインとの交流を通じ、実践的な学習に加え、指導を受けることや、交流を実際に体験したときの感情や感動も得ることができます。これらシミュレーション結果を用いて、自身が習得しやすい言語、感動をより得やすい国などの新たな知識を実世界の自身にフィードバックし成長を促進・サポートするのです。

ヒトDTCの社会受容性とセキュリティ

これまで述べたように、DTCはヒトの能力を拡張し、有益な結果をもたらすことが期

待されます。一方で、私たちがこの恩恵を受けるためには、DTCの世界観に対する社会受容性についても十分に考慮されなければなりません。自分と同じ外観と思考を有するヒトDTCがつくられることに対する心理的な抵抗感、自分に関する多様な情報が集約されることに対するプライバシー意識など、認知度と個人の受容性を高める啓蒙が不可欠です。また、ヒトDTCが既存の人と同じような経済活動をすることで、法制度の運用、あるいは法制度そのものの変容をもたらすかもしれません。ヒトDTCが人の知識・能力を倍化し、人の何倍もの活動を提供することによる、社会的影響や経済的影響は大きなパラダイムシフトを引き起こすことでしょう。こうしたDTCの実現と普及が現実社会にもたらすさまざまな影響について、哲学や倫理学といった人文学的な分野、法学、社会心理学や行動

経済学といった社会学的な分野などの有識者と議論を交わしながら、DTCのあるべき姿を模索していく必要があります。

また、ヒトDTCやモノDTCが現実社会の情報をすべて反映したものであるとする場合、そこから起こり得る脅威やリスクはさまざまであり、それらに対するセキュリティを十分に検討し、技術的・非技術的にかかわらず、さまざまな側面から対処を行う必要があります。倫理規定や法的な概念を導入し、現実世界と同等の秩序あるDTC世界を実現するとともに、これまで長年培ったセキュリティ技術とサイバーセキュリティの活動から得られた多くの知見を基に、セキュリティバイデザイン、プライバシーバイデザインの考えにのったDTCのセキュリティをつくり上げていきます。

おわりに

ヒトDTCに関する研究は、本稿で挙げたようないくつかのゴールを思い描き、まさにスタートしたばかりです。しかし、ベースとなる技術、例えば音声・言語・画像等の認識や生成技術はAI（人工知能）によって大きく進化しています。これらの技術に対して、ヒトの個性に着目したり、よりヒトの内面に踏み込んだりすることで、DTCの研究開発を加速したいと考えています。また、個性や内面への踏み込みの観点や社会への浸透の観点では、AI分野の技術以外にも、脳科学をはじめとした生物・医学分野や、倫理・哲学から行動経済学のような人文系分野など、工学を離れた分野や、学際領域的な分野にも広げる必要があります。私たちヒトDTC研究

チームは、自らの研究を進めるだけでなく、これらの非常に幅広い分野の研究を、私たちがハブとなって結びつけることで技術的な実現を推進するとともに、世界に対してDTCがもたらす価値を共感してもらうことで、それが受容される社会規範の変容をもたらすことが大きな役割だと考えています。



(上段左から) 戸嶋 巖樹 / 小橋川 哲 / 能登 肇

(下段左から) 倉橋 孝雄 / 廣田 啓一 / 小澤 史朗

ヒトのデジタルツインコンピューティングは、将来に向けて大きな可能性があります。一方で、実現には技術的、非技術的にさまざまな課題があり、社内外と積極的に連携して解決に取り組み、強力に挑戦してまいります。

◆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ー
第一グループ
E-mail dtc-office-ml@hco.ntt.co.jp

新たな社会を切り拓くモノの デジタルツインコンピューティング

デジタルツインコンピューティング構想では、ヒトに加え、モノも高精度にデジタル化し、デジタル化されたモノを実在するヒトが活用することで、ヒトの生活をより良いものにすることをめざしています。そのため私たちは、ヒトとデジタル化されたモノとをインタラクション可能にする技術と、デジタル化されたモノやヒトの動きを大規模・高解像・高精度にシミュレーションする技術に取り組んでいます。本稿では、これらの技術への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

かわたに むねゆき
川谷 宗之

もり こうや
森 航哉

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

NTT デジタルツインコンピューティング研究センタでは、デジタルツインコンピューティングにおける「実空間のデジタルツイン化技術」、および「大規模リアルタイムシミュレーション技術」に取り組んでいます。「実空間のデジタルツイン化技術」では、物理的に存在するモノの形状・状態等をデジタル化し、実在するヒトがこれらデジタル化されたモノを実空間内で共有・操作できる空間（デジタルツイン空間）の実現をめざしています。モノをデジタル化する技術として、すでに物体を3次元データ化する3Dモデリング技術等が提案されており、これらの既存技術を要素技術として統合することによりデジタルツイン空間の実現を進めていきます。「大規模リアルタイムシミュレーション技術」では、都市や国全体等の広域な空間上で、精緻にデジタル再現された人流、交通流、気象条件、

エネルギー流等を、ダイナミック、リアルタイムかつ高精度に予測することで、都市機能のリアルタイム制御や、都市機能の改善による都市生活への影響評価に役立てることなどをめざしています。本稿では、「実空間のデジタルツイン化技術」における、現状の技術動向と課題、および「大規模リアルタイムシミュレーション技術」における現状の取り組みを述べます。

実空間のデジタルツイン化技術

ヒトがデジタル化されたモノを利用する場合、これまではマウス、キーボード、タッチパネル等のさまざまなインタラクション手段が用いられてきました。今後は、ヒトの視覚・聴覚・触覚を用いた、より直観的かつ直接的にデジタル化されたモノを利用することが、さらに重要になると考えています。このためには、すでに提案されているヘッドマウントディスプレイやVRグラス等のウェアラブル

デバイス等のハードウェア技術に加えて、物理的なモノを3次元デジタル化する「3Dモデリング技術」も重要となります。「3Dモデリング技術」は、モノの「大きさ」と「移動できるか（可搬性）」に依存して以下の3つに分類できます。

- ①無限に広がり可搬性のない「地理空間のデジタル化技術」
- ②巨大かつ可搬性のない「建造物のデジタル化技術」
- ③大小さまざまな大きさで可搬性のある「モノのデジタル化技術」

以降では、これらの分類に沿った技術の動向を説明します。

■無限に広がり可搬性のない「地理空間のデジタル化技術」

都市等の地理空間的な情報（地形情報）のデジタル化と、そこに付随する情報を付加し、地形情報と付加情報を統合的に活用するシステムとしてGIS（Geographic Information System）が用いられてきました。地形情報をデジタル化するために、航空機からのレーダー測位や衛星画像からの形状抽出が行われます。また、緯度・経度・標高の座標系を基準に、これらの地形情報に加え、平面地図とその地形情報、国境・地物といった分析対象ごとにレイヤを用意し、重ね合わせられます。これらの情報は、広範囲な情報を実用的な速度で描画できる特徴点数や位置精度となっているため、マクロな表現に優れている特徴が

あります。

■巨大かつ可搬性のない「建造物のデジタル化技術」

建物や道路・橋などの建造物では、建造物で利用される材質、強度などの属性管理と合わせて、建物の構造を3Dモデルとして設計するBIM（Building Information Modeling）/ CIM（Construction Information Modeling）が用いられてきました。実物を建築する目的から、精度が高いためミクロな表現に優れています。また、その3DモデルをGIS上に配置することで都市の表現が可能（図1）であり、近年はGISとともにオープンな都市モデルとして公開する動きが出ています^{(1),(2)}。

■大小さまざまな大きさで可搬性のある「モノのデジタル化技術」

私たちの身の回りのさまざまな工業製品の構造を3Dモデルとして設計するために、CAD（Computer Aided Design）が利用されています。CADを用いることにより、実物を製造する前に、モノどうしの衝突判定や、物理シミュレーションを用いた歪み計測なども可能となります。実物を製造する目的から、精度が高いためミクロな表現に優れています。一方で、さまざまな産業分野ごとにデータ形式が異なっており、データ形式の共通化が図られている状況ではありません。

また、近年、実在するモノの動画像から特徴点を推定し3Dモデル化する「フォトグラ



BIMツールであるAutodesk Revitの建物データ⁽¹⁾(※CC BY-NC-SA 3.0)を、GISツールであるEsri ArcGIS⁽²⁾にて地図上に配置。これにより形状が正確な都市モデルの構築が可能だが、配置には手動による位置合わせが必要。

図1 GISとBIMの3Dモデルによる都市モデルの作成例

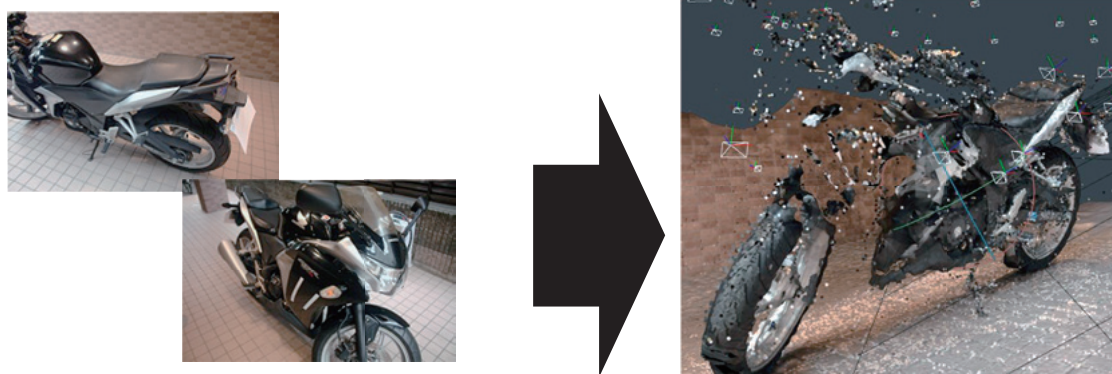
メトリ技術」⁽³⁾(図2)や、レーダー測定による形状抽出の技術も提案されています⁽⁴⁾。あらゆるモノを画像から3Dモデル化できるという利点がある一方、その抽出精度は光などの環境に依存しますし、動きのあるモノのリアルタイムな抽出は残像処理などの課題が多いです。

実空間のデジタルツイン化技術の課題

DTCでは、実在のヒトが実空間に存在するさまざまなモノとインタラクション可能とするために、実在するモノをデジタル化します。ここで、「インタラクション可能」とは、例えば「モノに触れたときに肌触りを感じる」といった感覚へのフィードバックから、「モノに触れるとその利用履歴が分かる」といっ

た情報のフィードバックまでさまざまなことが考えられます。

前述した3Dモデリング技術では、産業分野ごとの用途に合わせて属性が定義されていますが、デジタル化されたモノが実在のヒトとインタラクションすることを前提とした属性は考慮されていません。また、第三者によってデジタル化されたモノを、都市のように地理的広がりを持ち、建物が並び実空間上に配置し、複数のヒトどうしが同時に触る等、リアルタイムかつダイナミックにデジタル化されたモノを動かせるデジタルツイン空間を構成するには、さまざまな産業分野でつくられてきた異なる属性(3次元座標系、精度、データ形式等)を共通化するなど、統合的な管理が必要となります。



入力画像
(位置・向きを変えた画像を100枚以上用意)

抽出した 3Dモデル
(鏡面反射の強い部分は抽出できていない)

図2 フォトグラメトリ技術を実装したツール (Meshroom) による 3D モデル抽出例

私たちは、モノのデジタルツインが、インタラクション可能とするために備えるべき属性、および異なる産業分野で生成されているデジタル化されたモノを1つの実空間上で統合的に扱うことができるようにするためのインタフェース条件等を、1つのフレームワークとして形成することをめざします。

大規模リアルタイムシミュレーション技術

大規模リアルタイムシミュレーション技術では、デジタル化された都市空間を構成するデジタルツインを用いたシミュレーションにより、人流、交通流、物流、エネルギー流等の都市全体の営みのリアルタイム最適制御や、都市や行政の中長期的な計画立案、意思決定を可能とすることをめざしています。このDTCにおけるシミュレーションは、「広域」

「高精度」を特徴としています。以降では、それぞれについて課題と取り組みを説明します。

(1) 広域シミュレーション

都市のシミュレーションには、都市に暮らす人々とその営み、自動車などの交通機関、気象などの環境のシミュレーションが含まれます。東京を例にとると、人口は1300万人以上、350万台を超える自動車が保有されています^{(5), (6)}。これらのシミュレーションを単一の計算機で行うことは現実的ではなく、例えば東京をいくつかの領域に分割し、それぞれの領域を並列分散処理する方法が考えられます。ただ、この場合、分割した領域をまたいで移動する人や自動車を考慮しなければなりません(図3)。私たちは、このような領域をまたいだ移動も想定した広域シミュレーションの研究を行っています。

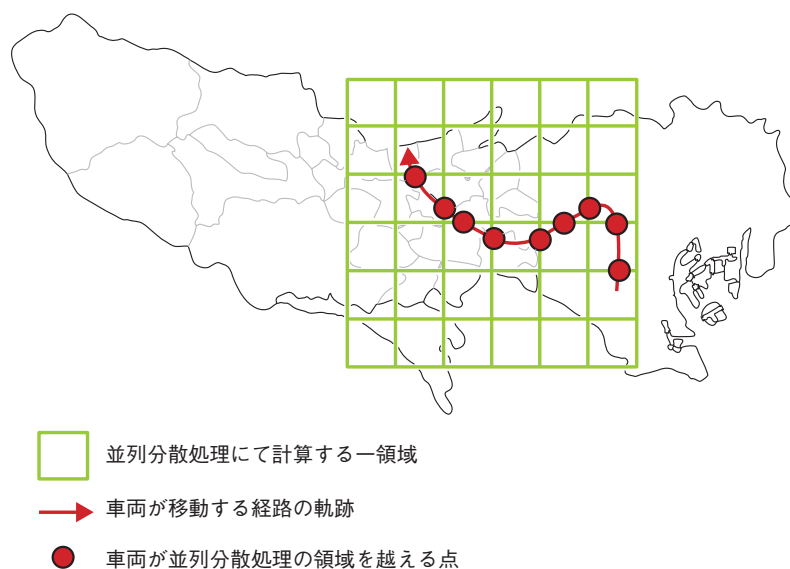


図3 並列処理の領域をまたいで移動する車両の例

(2) 高精度シミュレーション

都市全体の営みのリアルタイムな最適制御や都市や行政の計画立案・意思決定に、シミュレーションを用いる場合、シミュレーションの結果の精度を高めることは必要不可欠です。

そのために、例えば、1人ひとりの住民から、車1台1台、建物の間を通り抜ける風の流れや陽当たりなど、これまではあまり考慮されてこなかった計算要素をシミュレーションに含めることで精度を向上する方法が考えられます。しかし、これらの計算要素を単純に増やした場合、計算量が膨大になってしまうため、どの計算要素がシミュレーション結果に強く影響を与えるかを明らかにし、シミュレーションに取り込む方法を研究しています。

また、例えば、交通事故やゲリラ豪雨など、

過去の事象からは簡単には予測できない不確実な現象により生じるシミュレーション結果の変動も考慮する必要があります。それら不確実な事象の発生も考慮しシミュレーションを行うには、計算機上での数値解析だけでなく、現実世界で発生した事象をリアルタイムにシミュレーション計算に反映させ、現実世界の事象に近づけていく必要があります。私たちはその技術の研究を行っています（図4）。

私たちは、これらの取り組みにより大規模、高解像、高精度な都市シミュレーションを実現し、都市の営みの最適化や人間の意思決定に役立てていくことをめざしています。

今後の展望

私たちは、モノと空間をインタラクション

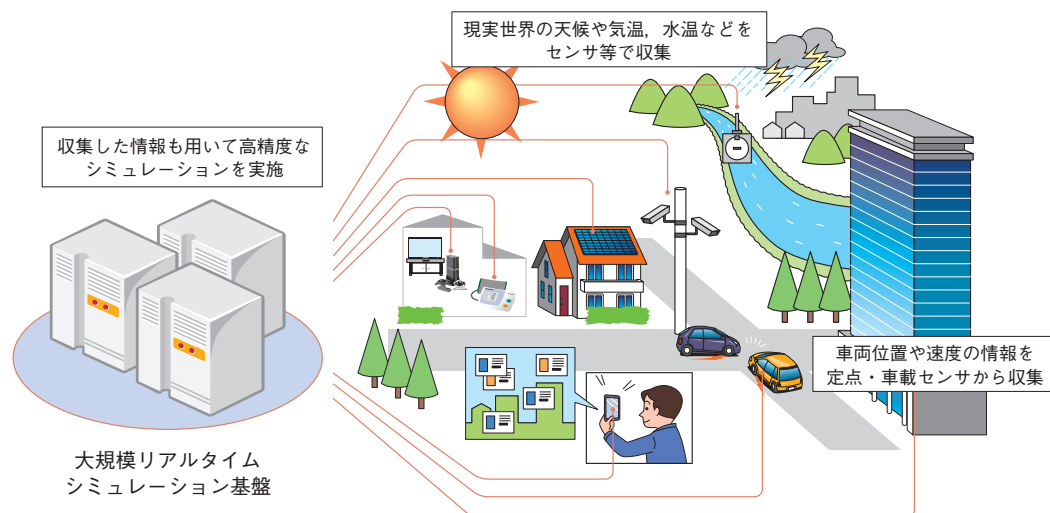
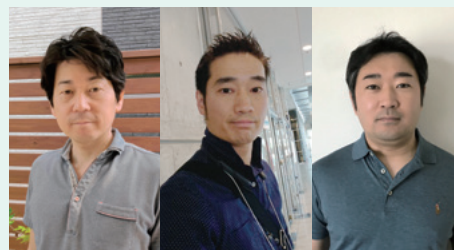


図4 現実世界の現象を利用したシミュレーション

可能なものとして高精度かつリアルタイムにデジタル化する技術と、そのデジタル空間で未来を予測しその予測結果を現実にフィードバックする技術の研究開発に取り組んでいきます。その中で、4D デジタル基盤⁽⁷⁾の実現も推進していきます。また、DTC 構想の実現のために企業・業界を超えたパートナーリング戦略を推進していきます。

■参考文献

- (1) <https://knowledge.autodesk.com/ja/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/JPN/Revit-GetStarted/files/GUID-7B9C7A69-1083-406D-A01F-53D405C167F3-htm.html>
- (2) <https://www.esri.com/products/arcgis/>
- (3) <https://alicevision.org/>
- (4) D. Zou, P. Tan, and W. Yu: "Collaborative visual SLAM for multiple agents: A brief survey," *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, Vol.1, No.5, pp.461-482, 2019.
- (5) <https://www.toukei.metro.tokyo.lg.jp/jsuikai/js-index.htm>
- (6) https://www.airia.or.jp/publish/statistics/ub83e10000000wo-att/01_2.pdf
- (7) <https://www.ntt.co.jp/news2020/2003/200326c.html>



(左から) 丸吉 政博 / 川谷 宗之 / 森 航哉

NTT デジタルツインコンピューティング研究センタでは、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

実世界とサイバー世界を連動させるサイバーフィジカルインタラクションに関する取り組み

デジタルツインコンピューティング実現に向け、実世界とサイバー世界をつなぐサイバーフィジカルインタラクション層で取り組む技術のうち、ヒトのデジタルツインにおける演算処理の結果を実世界のヒトへフィードバックすることにより運動機能における能力拡張を実現する生体信号デコーディング・フィードバック技術と、実世界の物理的な距離と、ヒトに認知的な時間感覚を超え、遅延を解消させる予測提示をフィードバックすることで違和感のない操作を実現するゼロレイテンシメディア技術について紹介します。

こいけ
小池

ゆきお
幸生

まつばやし
松林

たつし
達史

こんどう
近藤

しげくに
重邦

NTT サービスエボリューション研究所

実世界とサイバー世界を連動させるサイバーフィジカルインタラクション

NTT 研究所では、さまざまなモノやヒトどうしが実世界の制約を超えて高度に相互作用することで多様な仮想社会をつくり出し、仮想社会と実世界の融合によりヒトの活動範囲や可能性の拡大するサービスを創出する、デジタルツインコンピューティング (DTC) 構想の実現をめざしています。本稿では、実世界とサイバー世界をつなぐサイバーフィジカルインタラクション層で取り組む技術のうち、ヒトのデジタルツインにおける演算処理の結果を実世界のヒトへフィードバックすることにより運動機能における能力拡張を実現する生体信号デコーディング・フィードバック技術と、世界の物理的な距離と、ヒトに認知的な時間感覚を超え、遅延を解消させる予測提示をフィードバックすることで違和感のない操作を実現するゼロレイテンシメディア

技術について紹介します (図)。

DTC 構想実現に向けた生体信号デコーディング・フィードバック技術

DTC におけるヒトのデジタルツインは、実世界の自分がサイバー空間上のさまざまなデジタルツインと、またさらにその先にいる実世界のヒトとインタラクションするためのインタフェースであるという側面を持ちます。具体的には、HMI (Human Machine Interface) を通じて、サイバー空間での経験を実世界の自分に伝えることを可能とするものであり、HMI がデジタルツインと実世界とのインタラクションにおいて重要な役割を担うものです⁽¹⁾。デジタルツイン演算のキーコンセプトの1つである「交換・融合」によって、ヒトのデジタルツインは単なるヒトの再現でなく、サイバー空間での能力拡張が可能となります。その能力をヒトが実世界で発揮する際にも同じく HMI が重要な役割を担い

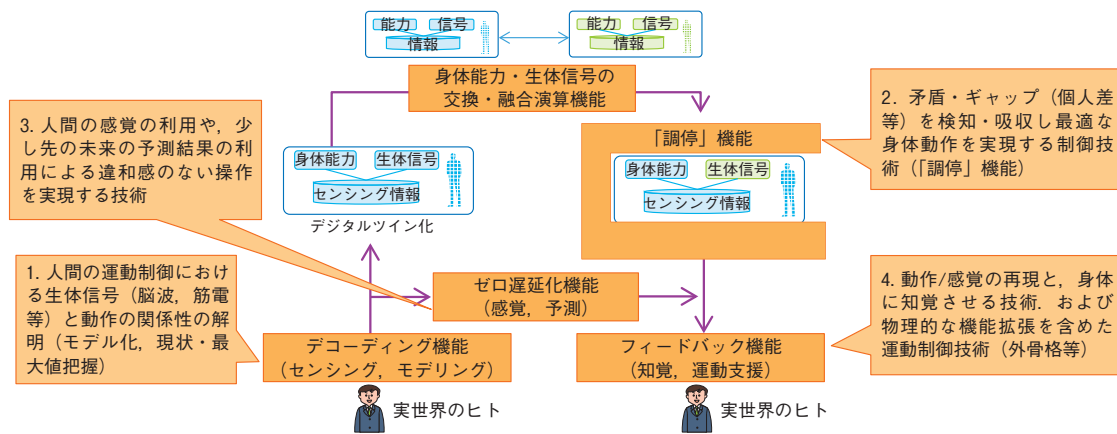


図 サイバーフィジカルインタラクション層を支える技術

ます。

私たちは、人の能力拡張、特にサイバー空間と実世界ともに重要な要素となる運動機能における能力拡張の観点から、それを実現するためのHMI技術（生体信号デコーディング*・フィードバック技術）への取り組みを開始しました。

人体における運動制御は一般的に、感覚器で受けた刺激が神経系を通じて脳によって知覚され、脳内で行動計画等の認知的活動が生じ、遂行すべき運動の指令を筋骨格系に対して神経系を通じて伝達し、信号を受けた筋肉が収縮することで成立します⁽²⁾。これら感覚系機能、神経系機能、筋骨格系機能および機能間を伝達する生体信号のヒトのデジタルツイン間における交換・融合、およびその結果を実世界のヒトへフィードバックすることによる各機能の強化、信号の流通の実現が、めざす運動機能における能力拡張です。熟練者の運動制御機能や生体信号を訓練者へ投影し

ての訓練や物理的な支援による運動能力拡張が可能となります。

運動機能における能力拡張を実世界のヒトへフィードバックし、ヒトの運動能力拡張を実現するために、生体信号のデコーディングとフィードバックを中心とした以下の技術が重要と考え、これらを生体信号デコーディング・フィードバック技術として取り組みます。

- ・人間の運動制御における各機能要素間の生体信号（脳波、筋電図等）と動作の関係性の解明およびデジタル化（デコーディングによるデジタル情報化および再現性の高い感覚・運動信号の時空間特徴量抽出手法とパタン化）
- ・デコード情報を元とし矛盾・ギャップを検知・吸収し最適な身体動作を実現する運動制御技術（「調停」機能）

* デコーディング：生体信号の解析・理解（脳波からの感覚再現等）。

・動作/感覚の再現と身体に知覚させる技術，および物理的な機能拡張を含めた運動制御技術（外骨格活用とその制御方式）

特に「調停」機能はデジタルツイン演算による能力拡張実現において重要な役割を果たすと考えています。人の運動制御における各機能および信号をデジタルツイン間で「交換・融合」する場合，単に実世界にフィードバックを行うだけではなく，実世界にフィードバックを行う際に生じることが想定されるデジタルツイン情報と実世界との矛盾・ギャップを検知し調整する必要があるからです。より具体的には，各機能および信号における個人差の吸収や，デジタルツインと実世界のヒトとの状態の差異の吸収が必要です。例えば運動熟練者の生体信号を未習熟者にフィードバックする場合，未習熟者の筋力，関節可動域限界や現状の姿勢からそもそも期待どおりに動作しない可能性や，筋繊維断裂や関節の損傷など安全面でも問題がある可能性があります。そのためその人に合わせて信号強度を調節することや，より適した動きになるよう信号の変換を施したうえでフィードバックする「調停」機能を備えた新たなHMI技術実現により，能力拡張されたヒトが，あたかも自分の身体そのものであるかのように動作させることができる世界をめざします。

DTC構想の中核であるデジタルツイン演算「交換・融合」をヒトに適用し，ヒトの能力拡張実現に向け，生体信号デコーディング・フィードバック技術研究開発を進めます。

DTC 構想に向けた ゼロレイテンシメディア技術

実世界においては，ヒトやモノにはそれぞれ固有の空間的座標軸と時間軸が定まり，空間と時間の概念は密接に紐付けて考えられています。視覚情報であれば光速で，聴覚情報であれば音速で情報の交換が行われており，情報伝達は物理的に光の速度を超えることはできません。そのため遠隔のモノを操作する際には必ず遅延が生じ，同じ空間として認識するには物理的な制約を超えなければなりません。またヒトは，感覚器情報から脳内に信号が送られ，認識，判断を行ってから行動を移すなど，認知的な情報伝達の遅延が発生します。そのため同一空間で起こる事象でさえ，ヒトの認識・判断には認知的な制約を超えなければなりません。私たちは，モノを操作する際に生じる通信などの物理的な遅延に加え，ヒトの認知による遅延に注目し，DTCにおける空間的な距離の制約を超えた「距離非依存の能力拡張」と，ヒトに依存しない認知の世界に踏み込んだ「ヒト非依存の能力拡張」の観点に注目し，ゼロレイテンシメディア技術の取り組みを開始しました。以下，この2つの能力拡張のめざす方向性と，技術概要を紹介します。

■距離非依存の能力拡張

ヒト・モノが融合し協調を行うDTCにおいて，サイバーフィジカルインタラクション層を通じて実世界へのフィードバックを行う際には，デジタルワールドプレゼンテーショ

ン層における単純な同期的時間進行ではなく、サイバー空間のフレームワークにおける時空間の概念を定めなければなりません。実世界へフィードバックを行うときには必ず物理的な通信遅延が起これ、この遅延がさまざまなアプリケーションにおいて問題となります。例えば、映像配信におけるリップシンクのずれによる違和感⁽³⁾、また近年ではVR/ARなどにおけるシステム処理による遅延から生じる映像酔い⁽⁴⁾、⁽⁵⁾などがあげられます。これらは、人が期待している情報と異なる感覚器情報が与えられることによる違和感から生じる⁽⁴⁾ことが分かっており、DTCにおいても大きな課題の1つとなると考えられます。

実世界へのフィードバック時もさることながら、遠隔にいる“ヒトとモノ”や“ヒトとヒト”のインタラクションにはさらに遅延が大きくなるため、融合する2つの異なる時間軸を合わせる技術が必要になります。例えば遠隔機械操作などの信号処理であれば、入力に対して生じる環境変化の予測を行うことにより、原理的にはサーバ空間では同じ時空間上の同じ時間軸に合わせることが可能です。しかし、単純な物理予測だけではヒト・モノが融合する世界にはたどり着きません。ヒトはモノを操作する際にも操作に対する感覚的なズレが生じ、訓練や慣れによって解消されることが知られています。例えば車の運転では、50 km/hで運転する状況と、300 km/hでレースを行っている状況では、ハンドリング操作とタイヤと路面の抵抗から受ける操作感異なる処理能力が使われ、認知的な時間

感覚が全く異なります。

そこで私たちは、ヒトが身体を動かし、モノを操作する際に生じる認知上の遅延（感覚的遅延と呼ぶ）と、モノを操作する際に生じるシステム的な問題と遠隔通信における遅延（物理的遅延と呼ぶ）を合わせ、環境変化の予測のみならず、脳内で行われる予測モデルに関する研究を進め、物理的遅延と感覚的遅延から生じる違和感の解消により、実空間における距離の物理的ギャップを、サイバー空間を通じて克服し、遠隔のモノを自在に操作する能力拡張の実現をめざします。

■ヒト非依存の能力拡張

ヒトがモノを操作する際に生じる認知上の遅延許容量や予測能力はヒトによって大きく異なります。例えば、外科医、飛行機パイロット、カーレーサー、プロスポーツ選手など、訓練されていないヒトと訓練された卓越技能者ではこの能力に大きな差があり、この認知的な能力差は、慣れや訓練によって習得することができます。この技能習得課程には多大な訓練を要するものもあり、一方卓越技能者の体感する世界を疑似的に体験させることが有効とされています。例えば、飛行機やカーレーサーは初めから実機による操縦を行って訓練するのではなく、フライトシミュレータやドライブシミュレータを用いて十分な訓練を行いますし、また、競泳ではロープで引っ張ってもらうことにより高速な水泳状態を体感させ、野球ではピッチングマシンの高速球にて練習を積むことにより速球の対応能力をあげる訓練を行います。近年では、筋肉に

EMS（筋電機刺激）を与えてヒトの反射神経を強化した体感をさせる能力拡張の研究もあり⁽⁶⁾、ヒトの認知的な遅延量を超えた反応が可能になります。この研究では落ちてくる棒を掴むことや、飛んでくるボールの写真を撮るなどの行為を、刺激量の変化によってあたかも自分自身で行った（行為主体感）錯覚をさせることを可能としています。

そこで私たちは、ヒトの身体的な反射機構と、推論的意思決定が行われる脳の内部モデルによる予測機構の両側面から研究を推進し、ヒトの予測能力の研究に取り組みます。さらにはこの予測能力の交換を可能とすることにより、自身の限界を、さらにはヒトの能力の限界を超えた、ヒト非依存の能力拡張の実現をめざします。

■めざす世界とその応用

距離非依存の能力拡張とヒト非依存の能力拡張により、サイバー空間における時空間を操り、実空間における距離の物理的ギャップを克服し、遠隔の物を動作するかのごとく、自在に操作する世界の実現をめざします。例えば、宇宙空間や地球の裏側にあるロボットアームなどの遠隔操作を行い、このアーム操作をリアルタイムに、人の手で「掴む」「動かす」「工作する」という感覚で動作させます。さらには、遠隔における周囲環境のヒトとモノの相互作用を考慮した予測により、ゼロを超えたマイナス遅延の世界に必要な半自律制御技術にも取り組み、DTCにおける能力拡張技術に取り組んでいきます。

■参考文献

- (1) <https://www.ntt.co.jp/svlab/DTC/whitepaper.html>
- (2) 伊藤：“運動制御ネットワーク,” 計測と制御, Vol.56, No.3, pp.161-162, 2017.
- (3) 池田・由雄：“マルチメディアにおける同期,” 電学誌, Vol.126, No.5, pp.288-291, 2006.
- (4) K. M. Stanney, R. R. Mourant, and R. S. Kennedy: “Human Factors Issues in Virtual Environments: A Review of the Literature,” in Presence, Vol.7, No.4, pp.327-351, August 1998.
- (5) 氏家・鶴飼・斎田：“映像酔いに対する運動ボタンと映像コンテンツの影響（〈特集〉サイバー空間の安全・健康・快適性）,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.9, No.4, pp.377-385, 2004.
- (6) S. Kasahara, J. Nishida, and P. Lopes: “Preemptive Action: Accelerating Human Reaction using Electrical Muscle Stimulation Without Compromising Agency,” CHI 2019, pp.1-15, Glasgow, Scotland, U.K., May 2019.



（左から）近藤 重邦 / 小池 幸生 / 松林 達史

NTTサービスエボリューション研究所では、実世界とサイバー世界を連動させることで、人を中心に据えたコミュニケーション・インタラクションサービスに資する技術の研究開発を推進してまいります。

◆問い合わせ先

NTTサービスエボリューション研究所

企画担当

TEL 046-859-2236

E-mail ev-journal-pb-ml@hco.ntt.co.jp

デジタルツインコンピューティングの社会的課題

本稿では、デジタルツインコンピューティングがリアルとバーチャルが融合した新しいデジタル社会を実現していくための社会的課題を、データ、自律エージェント、仮想社会と、セキュリティ・プライバシー、倫理・制度の3×2のマトリックスに分類して説明します。社会的課題の本質は、人が新たな豊かな生活の実現のためリアルとバーチャルの両方で不都合なく活動が行えることの探求にあります。

たかはし かつみ
高橋 克巳

NTT セキュアプラットフォーム研究所

デジタルツインコンピューティングの社会的課題とは

NTT 研究所では、リアルとバーチャルが融合した新しいデジタル社会の実現に向けて、デジタルツインコンピューティング（DTC）の研究開発を行っています。DTCの社会的課題は、人がリアルとバーチャルの両方で活動を行ったときに生じる不都合を起こさせない、あるいはそれをあらかじめ発見することです。現代人はリアル社会とバーチャル社会の両方で生活をしています。その両者の活動をストレスなくつなげることで、人の活動は拡張され、豊かな生活がもたらされると私たちは考えています。逆に1人の活動の中で、リアルとバーチャルの間になんらかのギャップ、例えば、バーチャルで活躍してもリアルで認められない、あるいはバーチャル活動が暴走してリアル活動が破壊される等、が存在するようであれば、個や社会にとってストレスや不安の元となる可能性があります。このようなギャップ（これを断絶したパラレルワールドと呼ぶことにします）の存在をどうやっ

たら予見できるのかが社会的課題の本質です。さらに、それを防ぐ、あるいは被害を小さくする技術的手段を準備していくことで、私たちが掲げたDTC構想が社会的に安定した存在になると考えています。

DTCの構成要素

DTCでは新しいデジタル社会を実現していくために、私たちはデジタルツインの考え方を取り入れました。デジタルツインとは「実世界の対象について形状、状態、機能などをサイバー空間上に写像し、正確に表現したもの」です。デジタルツインが集まることで、仮想社会がつくられます。社会的課題を詳細化する準備として、DTC全体を次の3つの構成要素でとらえてみます（図1）。



図1 DTCの構成要素

- ・ データ
- ・ データに相互作用機能がついた自律エージェント
- ・ 自律エージェントの集合で構成される仮想社会

データはモノ・ヒトを表現したものです。従来デジタルツインはモノに対して発展してきましたが、DTCが扱うデジタルツインはヒトに軸足があります。デジタルツインを単一の問題解決ではなく、社会の広さで考えようとしているため、それが汎用的で、複雑な内容を表現できる必要があると私たちは考えています。この考えで「ヒトの内面まで表現する」という目標が立てられています。

デジタルツインは自律エージェント、すなわち自律動作するシステムを想定しています。これはデジタルツインが仮想社会での活動を強化・代行することを想定しているためです。デジタルツインはツイン間でやり取りでき（演算と呼ばれる機能を用いた相互作用として実現する）、その少なくとも一部は自律的に行われる必然性があると考えています。さらに実在しない性質を持つデジタルツインをデジタルツインが生成する（派生デジタルツイン）ことも検討しています。これは私たちのチャレンジです。また、デジタルツインはシミュレーションやその他の計算をして、その結果をリアルの対象に積極的にフィードバックさせようとしています。これはリアルとバーチャルのギャップを埋めるた

めの役割を果たします。デジタルツインは自律エージェントであるだけでなく、フィードバックを受けたリアルのヒト・モノと一体で見ると、サイバーフィジカルシステムでもあります。

デジタルツインの集合とその活動を仮想社会と呼んでいます。DTCはデジタルツインを配置し動作できる環境を提供します。デジタルツインはヒトやモノのデータを内部に持つ自律エージェントですので、なんらかの社会が構成できます。前述のデジタルツインの相互作用だけでなく、ツインの動作環境や派生デジタルツインにも高度な機能を持たせること、あるいはさらに外部アプリケーションと連携することで、さまざまなタイプの仮想社会が構成できると私たちは考えています。

社会的課題の考察

DTCの目的はリアルとバーチャルが融合した新しいデジタル社会の実現で、リアルとバーチャルの間のギャップをつくらないこと、すなわち「パラレルワールド問題の解決」が社会的課題であると説明しました。

パラレルワールド問題の解決には、どのような方法があるでしょうか。例えば、DTCが提供するデジタルツインの環境がデジタルツインの活動すべてをモニターして、統制するという方法があり得ます。専用の閉じたサービスでデジタルツインが使われる場合には否定はしませんが、私たちは一般にはこの

ようなアプローチを用いませぬ。その代わりに、DTCのそれぞれの要素が従来のデータ処理やコンピューティングの規律に従い、さらにその全体調和を図ることで、断絶したパラレルワールドを起こさせないと考えています。

この考えに従って、DTCの要素、データ、自律エージェント、仮想社会ごとに課題を論点として考察していきます。分析は技術の視点（セキュリティ・プライバシー）ルールの視点（倫理・制度）から試みます。技術は情報セキュリティ⁽¹⁾とプライバシー・フレームワーク⁽²⁾を軸としますがより広い概念を扱います。ルールは現行法に従うことはいうまでもありませんが、法の有無を問わず倫理から制度までを強くは区別せずに扱います。

データに関する論点

DTCが想定するデジタルツインのデータは以下のような性質を持ちます（図2）。

- ・データはモノ・ヒトを表現したもの
- ・パーソナルデータを含む
- ・汎用的な問題に対応するため広い範囲を記述
- ・複雑な問題に対応するために詳細に記述
- ・センサの積極的な活用
- ・さまざまなデータソースからのデータを統合
- ・他のデジタルツインにから生成されることもある

デジタルツインはデータの「かたまり」で

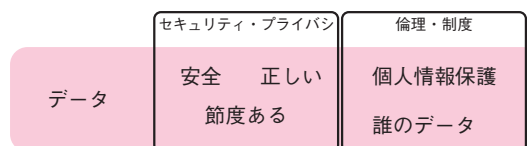


図2 DTCが想定するデジタルツインのデータ

す。DTCはヒトに対して積極的に考えていますのでパーソナルデータを多く含みます。さらにDTCではデジタルツインにより高度なコンピューティングを行わせたいために、汎用的であり、複雑な内容が表現できることをめざしています。「ヒトの内面まで再現」とすると、パーソナルデータとして強力かつ慎重な取り扱いが必要なものとなります。

DTCはデータ生成方法にも積極的な考え方を持っています。リアル世界のセンサ・キャプチャデータやウェアリングデバイスによる計測データや、ネット上での行動データを統合して使えるようにすることを検討しています。また、単なる蓄積だけではなく他のデジタルツインによるデータ生成（派生デジタルツイン）も検討しています。

上記から想定される論点には次のようなものがあります。

■セキュリティ・プライバシーからの論点

デジタルツインはデータのかたまりですので、情報セキュリティの確保は必要です。安全の基本の機密性（漏れない）と可用性（必要なときに使える）の議論はいうまでもありません。ではデジタルツインの完全性をどう

とらえるか。単純にデータの完全性（正確で欠けがない）と割り切れれば料理は簡単ですが、少し情報セキュリティの範囲を超えて、モノやヒトのデジタル空間における完全性と考えると興味深い論点となります。この完全性は極論すると、任意の問題解決に対して「あるデジタルツインが必要なデータをすべて記述しているか」となります。また、データプライバシーの文脈で推奨されている考え方にデータ最小化というものがあります。これはデータの取り扱いに節度を求めるものです。データを緻密に集めながら節度も同時に追求することが目標になります。

■倫理・制度からの論点

デジタルツインデータはパーソナルデータでもあるので、個人情報保護制度に合っていることが必要で、規制対象の個人データに該当しないとしても整合性が問われます。特に、デジタルツインの本人（主体）が、デジタルツインが生成されることやその利用目的を、どのように、どの程度理解できるように設計するのがこの論点の中心になります。

また、このデジタルツインデータは他者設置のセンサや、他のデジタルツインからのデータも取り込んで生成される、いわば共同著作物のようなものになる可能性があります。これは「データは誰のものか」という論点になります。

自律エージェントに関する論点

DTCが想定するデジタルツインの自律エージェントは以下のような性質を持ちます（図3）。

- ・ デジタルツインは自律動作するシステム
- ・ 演算と呼ばれる機能を持ち、他のツインと相互作用する
- ・ 演算機能で、新しいデジタルツイン（派生デジタルツイン）を生成する
- ・ 仮想社会を構成する
- ・ リアルと一体でサイバーフィジカルシステムを構成する

デジタルツインは対象であるヒト・モノをデータとして表現しているソフトウェアシステムです。このソフトウェアは演算と呼ばれる機能を持ち、他のツインと相互作用することで自律動作します。何をどこまでさせるか、すなわち自律の範囲はこれから順次実現されていきますが、現時点で計画されている能力の1つが、派生デジタルツインとよばれる実在しない性質を持つデジタルツインの生成です。デジタルツインは仮想社会を構成し、またリアルの実体にデータをフィードバックし

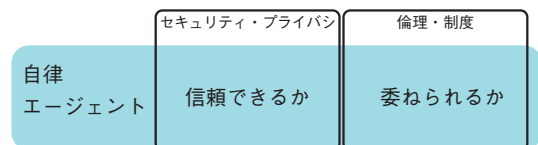


図3 DTCが想定するデジタルツインの自律エージェント

て、リアルと一体でサイバーフィジカルシステムを構成します。

上記から想定される論点には次のようなものがあります。

■セキュリティ・プライバシーからの論点

この自律エージェントへの期待は、他の多くのシステムと同様に信頼性だと考えています。いつでも期待の動作をしてくれる（ことを信じるに足りる）性質です。信頼性は多くの要件を含む概念で、ここで詳細に述べませんが、このケースに特徴的なものに、認証・認可（情報セキュリティ）、AI（人工知能）の誤動作（AIの立場）、物理的安全さ・セキュリティ（サイバーフィジカルシステムの立場）などがあります。

■倫理・制度からの論点

第1の論点は、このツインに「仕事を委ねて大丈夫か」という点です。委ねるかどうかの判断が客観的にできるかどうかということが技術課題解決の糸口となります。これはAI倫理の文脈でよく語られる、透明性や説明可能性といった概念が関係すると考えられます。第2に、委ねて良いと判断できるのであれば、その委託の社会的位置付けです。この自律エージェントは道具なのか、代理人なのか、分身なのか、といったことを検討し制度との関係を落とし込んでいきます。この論点の派生論点として、ツインを使って良いのか、というものがあります。家で勉強するときにはスマートフォンを使って良いが、試験会

場には持ち込めない、といった問題です。第3に、ツインにさせていけない仕事があるかという論点があります。法律に反することはいいませんが、それ以外はどうか。例えば、派生デジタルツインを例にとってみると、他人が誰かのデジタルツインをつくるとはどのように解釈されるのか、つくって良いものと悪いものがあるのか、などが論点となります（ちなみに、つくったデータは誰のものかというデータに関する論点も存在します）。

仮想社会に関する論点

DTCの考える仮想社会は、前述のとおりデジタルツインの集合とその活動によってつくられるものです。仮想社会は外部アプリケーションとの連携で実現されることもありますし、デジタルツインの本人（主体）との連携によるサイバーフィジカルシステムを含んだものも考えられます。仮想社会のバリエーションは多く、さらにその責任主体もさまざまなケースが考えられますが、今回は一般的な論点を上げることとします（図4）。

■セキュリティ・プライバシーからの論点

仮想社会への一般的かつ代表的な期待は、

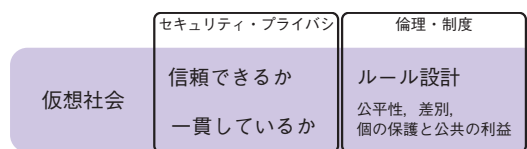


図4 DTCの考える仮想社会

自律エージェントと同様に信頼性で、サイバーセキュリティ対策がより重要です。さらに加えて一貫性の担保が大事な論点となります。一貫性とはデジタルツインの「状態」とその主体の「状態」に矛盾がないことです。ツインは1つとは限りませんのでツイン間の矛盾も含みます。例えば、ある主体の持ち物をツインAが売却し、同時にツインBが廃棄してしまうようなことが起こると一貫性がなくなります（トランザクション管理）。仮想社会では、「どこまでトランザクション管理が必要か」が最初の問いになり、これがパラレルワールド問題への1つの鍵となります。

■倫理・制度からの論点

自律エージェントが構成する仮想社会の論点で大事なものが、その社会のルール設計です。各エージェントが勝手に振る舞い出すことをどう制約するかという問題です。例えば、有限リソースの分配（公平性の担保）や、基本的な禁止事項の有無（例えば、差別の排除）が挙げられます。加えて、公共の利益のための対応、例えば災害やパンデミック対応のために、個の保護を上書きするルールを許すのか、という論点もあると考えています。

今後の展開

本稿ではDTCのねらいを説明し、そのための解決すべき社会的課題を、データ、自律エージェント、仮想社会の3要素に分解し、セキュリティ・プライバシーおよび倫理・制度

の視点から論点として説明しました。これらを謙虚に考え続けることで、リアルとバーチャルが融合した新しいデジタル社会の実現が達成できると考えています。

■参考文献

- (1) ISO/IEC 27000: 2018: "Information technology — Security techniques — Information security management systems — Overview and vocabulary," 2018.
- (2) ISO/IEC 29100: 2011: "Information technology — Security techniques — Privacy framework," 2011.



高橋 克巳

未来のパラレルワールドをDTCで気持ちよく歩きましょう。

◆問い合わせ先

NTTセキュアプラットフォーム研究所
企画担当
E-mail scplab@hco.ntt.co.jp

主役登場

私が夢見るDTCの世界

藪下 浩子

NTTデジタルツインコンピューティング研究センタ



綺麗な景色や美味しそうな料理、びっくりした光景など、感情がゆずぶられるシーンを目にしたとき、スマートフォンを取り出して対象を撮影する。皆さんにもそんな習慣はありませんか。

映画や小説のように、限られた発信者の感動を楽しむサービスは古くからありましたが、SNSの流行によりそれが一般化し、誰でも簡単に感動を共有できるようになり、新たなコミュニケーションとして根付いています。自分がリアル世界で感動した内容について画像やテキストを交えてWebで共有し他者からフィードバックを得たり、その逆に他者の感動に触れたりすることで、リアル世界の時間や空間の制約を受けずに、その人を身近に感じることができます。遠方に住んでいたり、生活スタイルの違いがあったりで、リアル世界で疎遠になっていた友人さえも身近に感じられることは、SNSの魅力の1つだと思います。

一方で、自分の感動を記録することにとらわれ、せっかくリアル世界で感動シーンに対峙しているにもかかわらず、そのシーンをスマートフォンの画面越しに見つめ、撮影の良し悪しを気にしながらカメラ操作したり、テキスト編集したりしている自分に気が付き、はっと我に返り少し残念な気持ちになることがあります。現時点ではWebでのコミュニケーションのために、少なからずリアル世界での感動体験の質に良くない影響が発生している面もあるのではないのでしょうか。

さて、NTTが提唱したDTC（デジタルツインコンピューティング）は、世界中のあらゆるモノやヒトすべてをセンシングして、再現したりシミュレーションに活用したりす

る新しいコンセプトです。さまざまなユースケースが想定されますが、私はこのコンセプトの最大の魅力は、ヒトの内面理解と他者共有だと考えています。これまでも360度全天球カメラ映像のように、リアル世界をセンシングし、それを写實的に再現する技術はありました。ただし、人間は必ずしもリアル世界をありのまま正確にとらえているとは限りません。周囲に広がるリアル世界の一部を、注目したり見落とししたり、また無意識的に誇張したり脚色したりして記憶しています。そしてこの事象のとらえ方は、その人の性格や過去の経験などに基づき異なるものでしょう。例えば子どもの運動会の応援に訪れた親は、会場の様子や他の大勢の子どもたちよりも自身の子どもに注目し、時に過去の思い出も振り返りつつ、さまざまな感情を抱くと思いますが、その感動のベクトルは各々異なると思います。DTCは、リアル世界を写實的にとらえるだけではなく、個人がどのようにその事象をとらえたかを表現し、さらに受け手の感じ方に合わせて表現を調整する可能性を持ったコンセプトであると考えます。そのため同一のシーンにおいても個々の感動のベクトルごとに多様なリアル世界の表現ができ、自身の感動を正しく他者と共有し合うことができるようになるかもしれません。

本コンセプト実現にあたっては、乗り越えなければならない課題がたくさんあります。しかしかつてのように手放しにリアル世界での感動に心から浸りきり、かつWebでの共有と共感も楽しむ、そんな日を夢見て鋭意検討を進めていきたいと思っています。

Technology Reports (特集)

生体認証

セキュリティ

FIDO認証

パスワード課題を解決するFIDO (ファイド) 認証特集

ID・パスワードのあり方を変える
dアカウント パスワードレス認証

プロダクト部 おさき ともひこ うえさか ひろき
尾崎 友彦 上坂 浩貴
まきの ゆきこ とみやま ゆきこ
牧野 由樹子 富山 由希子
もりやま こういち
森山 光一

近年、フィッシングなどで奪取されたパスワードを用いた不正アクセスが問題となっている。また、類推しにくい複雑なパスワードを覚えなければならないなどパスワード管理にも煩わしさがある。このようなパスワード認証の課題を解決しつつ、セキュリティと利便性を両立するため、ドコモは2020年3月にFIDO^{®*1}認証を活用したdアカウント^{®*2} パスワードレス認証の提供を開始した。スマートフォンの生体認証などを利用し、パスワードを無効化して不要とすることで、利便性を確保しつつ、dアカウントの不正利用を防止する。

1. まえがき

近年、インターネットサービスへのログインや、ネットショッピングにおける決済などさまざまな場でオンライン認証の必要性が増している。一方、第三者による不正アクセスや不正決済などのニュースが後を絶たない。特に最近では、巧妙なフィッシングサイト^{*3}でパスワードを奪取し、それらを悪用した不正アクセスが増加している。

ドコモは、スマートフォンやPCなどからdポイントの確認やdマーケット^{®*4}などドコモのサービスを

利用する際の共通IDとしてdアカウントを提供しており、ドコモ回線のユーザだけではなく、ドコモ回線以外のユーザにも広く利用されている。このdアカウントのログインや決済時の本人確認などのシーンにおいて、ドコモは2015年からシンプルで堅牢なオンライン認証を可能にするオープンな標準規格、FIDO (Fast IDentity Online) (ファイド) 認証を活用したdアカウント生体認証を提供してきた [1]。パスワード入力の代わりにスマートフォンの生体センサに指紋や虹彩をかざすだけのシンプルな動作で認証を可能とし、dアカウント認証の利便性向上を

©2020 NTT DOCOMO, INC.

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、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 FIDO[®]: FIDO Allianceの商標または登録商標。*2 dアカウント[®]: (株)NTTドコモの登録商標。

*3 フィッシングサイト: 実在する企業などの公式サイトとそっくりな偽サイト。巧みにIDやパスワードなどの個人情報を入力させて奪取する。

*4 dマーケット[®]: (株)NTTドコモの登録商標。

行ったものである。しかし、パスワード認証をユーザが選択できる限り、パスワードを取り巻くセキュリティ課題を常にもち続けることとなる。そのため、FIDO認証導入当初から、将来的にはパスワードを無くすことでdアカウント認証をよりセキュアにすることを構想していた。

今回、dアカウントFIDO生体認証の十分な普及を背景として、パスワード認証をいよいよ無効にする機能を開発し、全面的にFIDO認証に移行可能なオプション機能の提供を開始した。これによりパスワードに起因したdアカウントへの不正アクセスを防止することができる。

本稿では、まずdアカウント パスワードレス認証のベースとなるdアカウント FIDO生体認証の概要について述べる。次にパスワードレス認証の実現にあたっての課題、設計・開発と導入の詳細について解説する。そして、今後の展望について述べる。

2. dアカウント FIDO生体認証の導入背景と概要

ドコモは、スマートフォンやタブレットからユーザがもっと便利にログインしてサービスを使えるようにするため、「あんしんをもっと便利に」をキャッチフレーズとして、2015年5月にdアカウント FIDO生体認証を導入した。ドコモ回線のユーザには、dアカウント（旧docomo ID）とそのパスワードに加えて、spモードパスワードとネットワーク暗証番号（いずれも数字4桁）を提供しており、それらをまとめる便利な認証手段として生体認証の機能を積極的に展開することとした。

生体認証を導入するにあたり、FIDO認証に着目した理由の1つは、ユーザと認証器（例えばスマートフォン）の間の本人照合の部分と、公開鍵暗号方式を活用した認証器とサーバ間の検証部分が完全に分離されていることである。これにより、スマート

フォンそれぞれの機種の特徴にあった生体センサを搭載でき、異なる種類の指紋センサを搭載した複数のスマートフォンと世界初の虹彩認証スマートフォンを対象として、dアカウント FIDO生体認証の同時提供を開始するなど、端末ラインアップの魅力を高めることができた。また、機種ごとに生体センサが異なっても認証サーバ側の個別対応を不要にできた。

そして、FIDO認証に着目したもう1つの大きな理由は、セキュリティにおける優位性である。FIDO認証では、オンライン上に生体情報やパスワードのような秘密情報を流さないため、フィッシング耐性がある。そのため、dアカウント FIDO生体認証を提供開始した当初から、将来的にはパスワード認証を無くし、FIDO認証の特長を活かしてセキュリティ強化につなげたいという構想をもっていた [1]。

一方、提供開始当初はFIDO生体認証対応スマートフォン4機種でスタートしており、多くのサービス・アプリを継続的に提供する必要から、従来のパスワード認証も併存させる必要があった。生体センサが反応しなかった場合などへの考慮もあった。

2.1 FIDO UAFの採用とアーキテクチャ

dアカウント FIDO生体認証の当初の導入にあたっては、2014年12月に正式に仕様が公開されたFIDO UAF（Universal Authenticator Framework）1.0^{*5}を採用した。そして、すでに商用導入していたdアカウント認証サーバと端末のdアカウント設定アプリに対してFIDO UAF 1.0の追加対応を行った。

dアカウント設定アプリは、ドコモのさまざまなサービスからの認証要求に対して一元的に処理を行うアプリである。ドコモのサービスはWebで提供しているもの、ネイティブアプリで提供しているものがあり、合わせて100以上存在する。そして、それらのサービス・アプリを原則としてdアカウント設定アプリと連携させることで、dアカウント認証

^{*5} FIDO UAF 1.0：パスワードレス認証のためにデザインされた仕様。2014年12月に策定された。

サーバとの結合インタフェースをシングルポイントにしている。

このdアカウント設定アプリにFIDO UAF 1.0クライアントを内包し、端末メーカーにてFIDO認証器として必要な要件を実装することで、dアカウントへのFIDO認証の導入をスムーズに実現することができた。

2.2 dアカウントFIDO生体認証における本人確認方法

dアカウント FIDO生体認証では、ドコモ回線のユーザがスマートフォンなど生体センサを具備する端末をFIDO認証器として設定する際、ネットワーク暗証番号の入力を必須とすることでオンライン認証に使われる生体情報がdアカウント認証の対象である本人のものであることを担保した。すなわち、本人確認できた場合にのみFIDO認証を設定させることで、本人確認の結果をFIDO認証器に括り付けることができる。

(1) ネットワーク暗証番号と本人確認

ネットワーク暗証番号とは、ドコモショップやドコモオンライン手続きでのご注文受付時などにユーザが入力する数字4桁の番号である。

ドコモでは、電気通信事業者として携帯電話不正利用防止法順守のため、従前から回線契約時などの本人確認に必要な事業基盤を確保している。1つはドコモショップなど店頭における対面での身分証明書の提示を受けての本人確認、1つは本人確認書類に記載された住居に、携帯電話などを転送不要郵便や特定事項伝達型本人限定受取郵便などで送付することによる本人確認、そしてもう1つが回線契約時に発行するネットワーク暗証番号による本人確認である。

ネットワーク暗証番号で本人確認を行うには、回線契約済みのSIM (Subscriber Identity Module)^{*6} カードを挿入してドコモ回線に接続した端末において4桁の番号を入力する。SIMカードは個体として

唯一性があり、かつ契約していないと回線接続できないため、それ自体が強力な所持認証（回線認証）である。また、このとき入力された4桁の番号はインターネットを流れない。すなわち、ネットワーク暗証番号は、一般のオンラインパスワードと異なり、回線認証と契約者本人のみが記憶する知識による認証を組み合わせた強力な多要素認証で、堅牢性の高いオンラインでの本人確認手段である。

(2) キャリアフリーのdアカウント FIDO生体認証

dアカウントはドコモの回線以外のユーザでも利用可能（キャリアフリー）だが、ネットワーク暗証番号は利用できない。そのためFIDO生体認証の設定においては、認証器である端末の画面ロックを必須とし、第三者がその端末を使用できないことを前提に、dアカウントのパスワード入力が必要な設計とした。

2.3 スマホ認証

dアカウント FIDO生体認証を発表したとき、「あんしんをもっと便利に」と合わせて将来構想として発表したのが「スマホが暮らしの鍵になる」である。すなわち、生体センサを具備しない周辺デバイスで提供するサービスを使う場合の認証においても、生体認証対応スマートフォンを使って安心・便利に認証していただきたいという構想である。

当時のPCは現在と比較して、生体センサを具備しているものは大変少なかった。また、テレビやセットトップボックスにリモコンでカーソルを何度も移動させてパスワードを毎回入力するのは面倒である。2017年1月に提供開始したスマホ認証では、あらかじめPCやセットトップボックスなどの周辺デバイスを登録しておくことで、それらのデバイスで提供するサービス・アプリにおいて「スマホで認証」ボタンを選択するだけで、パスワードを入力することなく、dアカウント FIDO生体認証対応のスマートフォンで簡単に認証することができる。

^{*6} SIM：携帯電話会社と契約した電話番号などを記録しているICカード。

2.4 対応機種種の拡大

dアカウント認証における「あんしんをもっと便利に」をより多くのユーザに提供するため、dアカウント FIDO生体認証の提供開始以降、対応機種種の速やかな拡大を図った。

まず、いち早くiOS^{*7}に対応する取組みを行った。iPhone[®]*8・iPadでは、すでにTouch IDを搭載している機種が普及し始めていたことから、2016年3月からTouch ID搭載機種への対応を行った[2]。また、2017年12月からFace ID搭載機種へも正式対応を開始した。

さらに、Android[™]*9においてもさらなる対応機種増に向けた取組みを行った。当初は、端末メーカーへのFIDO UAF 1.0対応について積極的な働きかけを行った。また、ドコモがFIDOアライアンスに加入してから[3] 並行して、FIDO UAF対応端末が普及するための仕組みづくりとその採用を推進した[4]。すなわち、Android OSの新しい機能を活用することで、端末メーカーがFIDO認証器として必要な要件を実装するためにAndroid OSを特別にカスタマイズする必要がないFIDO UAF 1.1^{*10} [5]の仕様化で貢献し、2017年11月から対応端末を提供開始した[6]。これにより端末メーカーの開発負担を低減でき、dアカウント FIDO生体認証対応機種種の継続的な提供を確実にした。

結果として、2019年末時点で、FIDO生体認証対応機種はAndroid、iOS搭載端末合計で93機種にまで広がっている（Android FIDO UAF 1.0：36機種、Android FIDO UAF 1.1：32機種、iOS：25機種）。

3. dアカウント パスワードレス認証の実現に向けた課題

ドコモが販売するほぼすべてのスマートフォンとタブレットで、dアカウント FIDO生体認証が利用できる土台を整えることができた背景を踏まえ、

dアカウントのパスワード認証を無効化し、FIDO認証に全面的に移行するパスワードレス認証の導入が現実的となった。

dアカウント パスワードレス認証により、第三者によるパスワードの不正奪取やリスト型攻撃^{*11}などを防ぐとともに、パスワード管理の煩雑さからも解放され、安全かつ快適なオンライン認証を提供することができる。しかし、パスワードレス認証の実現に向けては、下記のような検討すべき多くの課題があった。

- ・パスワードレス認証への移行方法
- ・生体認証の代替手段
- ・アカウント再設定と端末紛失時などの復旧手段の提供
- ・多様なデバイスへの対応
- ・多数のドコモサービス・アプリへの影響

(1)パスワードレス認証への移行方法

セキュリティを考慮すると、すべてのユーザがパスワードレス認証を利用することが望ましい。しかし、日々使い慣れたパスワードが使えなくなったときのユーザへの影響やサービスの継続性などを踏まえて、移行可能な対象範囲と移行方法を丁寧に検討する必要があった。

(2)生体認証の代替手段

パスワードが無効化されると、指の怪我などで生体センサが利用できない場合の代替手段として従来のパスワード認証が利用できないため、これに代わる手段を確保する必要があった。また、生体認証対応端末を持っていても生体センサを利用しないユーザが約3割いるため（ドコモ調べ）、そのようなユーザもパスワードレス認証を利用できる手段を検討する必要があった。

(3)アカウント再設定と端末紛失時などの復旧手段の提供

パスワードを無効化した後に機種変更をするときの再設定や、端末紛失・故障した場合のFIDO認証

*7 iOS：「IOS」は米国およびその他の国におけるCisco社の商標または登録商標であり、ライセンスに基づき使用されている。

*8 iPhone[®]：「iPhone」「iPad」はApple Inc. の商標。ただし、「iPhone」商標は日本国内では、アイホン株式会社のライセンスに基づき使用されている。

*9 Android[™]：Google LLCの商標または登録商標。

*10 FIDO UAF 1.1：FIDO UAF 1.0の拡張版で2016年12月に策定された。「キーの構成証明機能（Key Attestation）」を利用可能で、これにより端末メーカーによる機種ごとのカスタム実装なしにFIDO UAFアプリの開発・搭載が可能となる。

*11 リスト型攻撃：不正に入手したIDとパスワードの一覧を用い、アカウントへの不正アクセスを試みる攻撃手法。

器としての端末の復旧について、ユーザや応対部門にも分かりやすい手段を提供する必要があった。

(4)多様なデバイスへの対応

生体センサを具備しないPCやセットトップボックスなどのデバイスや、2台目のスマートフォンなどからログインや認証を利用するシーンも想定されるため、それらのデバイスからパスワードレス認証を使ってもらうための手段の検討が必要であった。

(5)多数のドコモサービス・アプリへの影響

現在、dアカウントを利用しているすべてのサービス・アプリがFIDO生体認証に対応しているわけではない。また、店頭などの装置でdアカウントのIDとパスワードを入力することを求めるサービスや、dアカウント設定アプリとシングルポイントで連携していないサービス・アプリも存在する。そのため、パスワードを無効化した場合のあらゆる場面での影響を考慮し、認証手段の提供を確保する必要があった。

4. 設計・開発と導入

dアカウント パスワードレス認証の実現にあたっては、セキュリティ強化を目的とし、前述した複数の課題を解決しながら、利便性を損なわず、ユーザが簡単に利用できることを念頭に設計した。

4.1 全体構想とアーキテクチャ

dアカウント パスワードレス認証は、dアカウント FIDO生体認証のアーキテクチャをベースとして実現することとした。dアカウント設定アプリに新たな設定項目の1つとして、dアカウントのパスワードを無効化できる機能を設ける。ユーザがこの機能を選択することで、dアカウントのオンラインパスワードをサーバ側で一切無効化する。また、合わせてdアカウント設定アプリと連携するサービス・アプリのdアカウント認証画面のすべてでパスワード入力欄を削除することでパスワードレス認証を実現する（図1）。



図1 パスワードレス認証の概要

dアカウント パスワードレス認証は、最初はドコモ回線のユーザを対象にスタートした。ドコモ回線のユーザはネットワーク暗証番号が利用できるため、本人確認した結果をFIDO認証器（スマートフォンなど）に括り付けることができる。パスワード認証を無効化することで、適切に設定されたFIDO認証器のみを使ってパスワードレスでのログインや本人確認のためのオンライン認証ができることになるため、パスワードを取り巻くセキュリティ課題を解決できる。

4.2 パスワードレス認証への移行設定

セキュリティ強化という目的を考慮すると、できるだけ多くのユーザがパスワードの無効化の設定をすることが望ましい。一方、日々使い慣れたパスワードが使えなくなったときのユーザの懸念を考慮し、まずはオプション機能としてオプトイン^{*12}で提供を開始した。

dアカウント パスワードレス認証へ移行するには、dアカウント FIDO生体認証対応機種にプリインストールしてあるdアカウント設定アプリをバージョンアップし、新たに設けたメニュー「パスワード無効化設定」からユーザ自身の操作によってパスワードの無効化をONに設定する。

その際、すでにdアカウント 生体認証を設定しているユーザについては、「パスワード無効化設定」をONにする際に1回だけ生体認証を行えば完了するようにした。また、生体認証を設定していないユーザについては、ネットワーク暗証番号の入力で設定を完了するようにした。このように簡単な操作でdアカウントのパスワードを無効化することができる（図2）。

なお、必要に応じてパスワードの無効化をOFFに戻すときには、ONに設定するときと同様にdアカウント設定アプリから切替え可能な仕様とした。

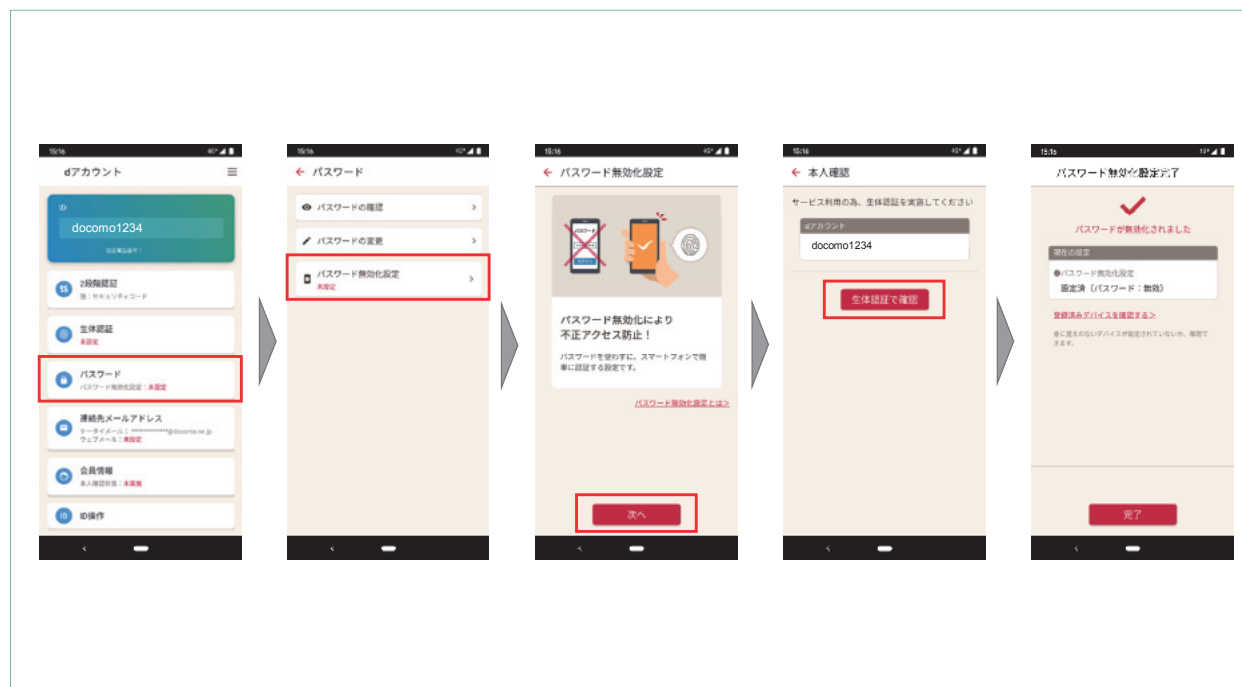


図2 dアカウント設定アプリの「パスワード無効化設定」と設定時の画面遷移

^{*12} オプトイン：ユーザの選択により利用や設定を許可すること。

4.3 生体認証が使えない場合への対応

(1)画面ロック解除の活用

生体認証対応端末を持っていても生体センサを利用しないユーザがいること、また指の怪我などで生体センサが利用できない場合を考慮し、生体以外の手段でもパスワードレス認証の実現を検討する必要があった。FIDO認証の特徴はユーザと認証器（スマートフォンなど）の間の本人照合の部分と、公開鍵暗号方式を活用した認証器とサーバ間の検証部分が完全に分離していることである。つまり、FIDO認証器ローカルでの本人照合には生体認証に加えて、本人のみがもつ知識、例えば端末の画面ロック解除で使われるローカルPINなどもFIDO認証に活用することができる。

幸い近年のスマートフォンOSでは端末の画面ロック解除は端末の所有者のみが知る情報としてセキュアに実装されており、かつアプリケーションからも活用可能である。そこで、dアカウント パスワードレス認証では生体認証に加えて、画面ロック

解除のためのローカルなPIN／パスコード／パターンでもdアカウントのログインや決済時の本人確認をできるようにする。

なお、dアカウント パスワードレス認証は、前述したようにドコモ回線のユーザへの対応から始めるため、生体認証ができない場合の代替手段としてネットワーク暗証番号を入力して本人確認を行うこともできる。こうした状況から、画面ロック解除によるdアカウント パスワードレス認証は段階的に提供を開始する方針とした。

(2)FIDO UAFからFIDO2^{*13} [7] への移行

画面ロック解除を活用した認証を実現するため、Android OS端末向けに提供しているdアカウント設定アプリは、FIDO UAF 1.1からFIDO2へ移行することとした。Android OS 7.0以降のバージョンで標準的に利用できるようになったFIDO2の実装を活用することで、端末の画面ロック解除で用いるローカルなPIN／パスコード／パターンを本人照合の手段として利用することが可能となる（図3）。また



図3 画面ロック解除を用いたdアカウント パスワードレス認証（Android OS端末におけるFIDO2の活用事例）

^{*13} FIDO2：FIDO認証のさらなる普及のため、FIDO認証モデルをプラットフォーム対応させた仕様群。FIDOアライアンスとして策定した機器間連携仕様（CTAP：Client to Authenticator Protocol）とFIDOアライアンスが提案し、W3Cとして策定したWeb認証APIで構成されている。Web認証APIの最初のバージョンは2019年3月に正式に勧告化された。

将来、ドコモの回線契約を持っていないユーザに対しdアカウント パスワードレス認証を提供する場合にも、より多くの端末でFIDO認証が提供可能になる。

Android OSの画面ロック解除でdアカウントによるログインや本人確認をするためには、dアカウント設定アプリをバージョンアップし、FIDO UAF 1.1からFIDO2へ移行する。

移行の操作は単純で、dアカウント認証の動線の1画面で、生体認証に加えて画面ロック解除でもdアカウント認証が可能になることを案内した上で、FIDO2への登録のための操作として指紋センサなどにタッチする。つまり、ユーザはFIDO仕様の違いを意識する必要がない(図4)。本機能は2020年5月以降、提供開始予定である。

なお、端末メーカーにFIDO認証器として必要な要件を実装するためにAndroid OSを特別にカスタマイズする必要があったFIDO UAF 1.0対応端末につ

いては、FIDO2への移行対象外とした。

4.4 アカウント再設定と端末紛失時の復旧手段

機種変更をする場合、新しい端末でdアカウントの再設定が必要になる。dアカウント パスワードレス認証を設定済みのユーザはパスワードが無効化された状態であるが、設定のときと同様にネットワーク暗証番号を利用して本人確認を行うことで、再設定を完了することができる。

端末を紛失した場合には、dアカウント FIDO生体認証でも実績がある通り、ドコモの端末紛失時の手続きに従う。すなわち、SIMカードを再発行して新たな端末を準備すれば、上記の再設定と同様にネットワーク暗証番号で本人確認を行ってdアカウント パスワードレス認証を再設定することで復旧できる。

なお、ユーザがドコモ回線を解約した場合には、パスワード無効化設定は自動的にOFFに戻る仕様とした。



図4 FIDO UAF 1.1からFIDO2への移行時の画面遷移

4.5 多様なデバイスへの対応

FIDO UAFからFIDO2へ移行することにより、生体認証を使えない場合の代替手段としてだけでなく、生体センサをもたない機種でも画面ロック解除を利用することでdアカウント パスワードレス認証を利用できるようにした。

PCやテレビ、セットトップボックスなど生体センサの搭載されていないデバイスでログインするユースケースには、既述のスマホ認証の仕組みをdアカウント パスワードレス認証にも応用した。すなわち、あらかじめ設定をしておくことで、PCやセットトップボックスなどの周辺デバイスで提供するサービス・アプリでdアカウント認証ボタンを選択すると、パスワードレス認証設定済みのスマートフォンに認証要求を通知するようにした。そして、そのスマートフォンでパスワードを入力することな

く、生体認証や画面ロック解除で簡単に認証することができる（図5）。あらかじめ必要な設定においては、第三者のなりすましによる認証要求を防ぐための工夫をしている。

パスワードレス認証（パスワード無効化）設定済みのdアカウントは、マルチデバイスでの認証にも対応する。つまり、ユーザが複数の回線を持つ場合、それらに1つのdアカウントを紐づけることができる。そのため、ユーザが所持する回線数に応じたFIDO認証器を設定可能であり、どちらの端末でもdアカウント パスワードレス認証をすることができる。

4.6 多数のドコモサービス・アプリへの対応

dアカウント パスワードレス認証の企画に際して網羅的な確認を行った結果、dアカウント設定アプリとシングルポイントで連携していないサービ

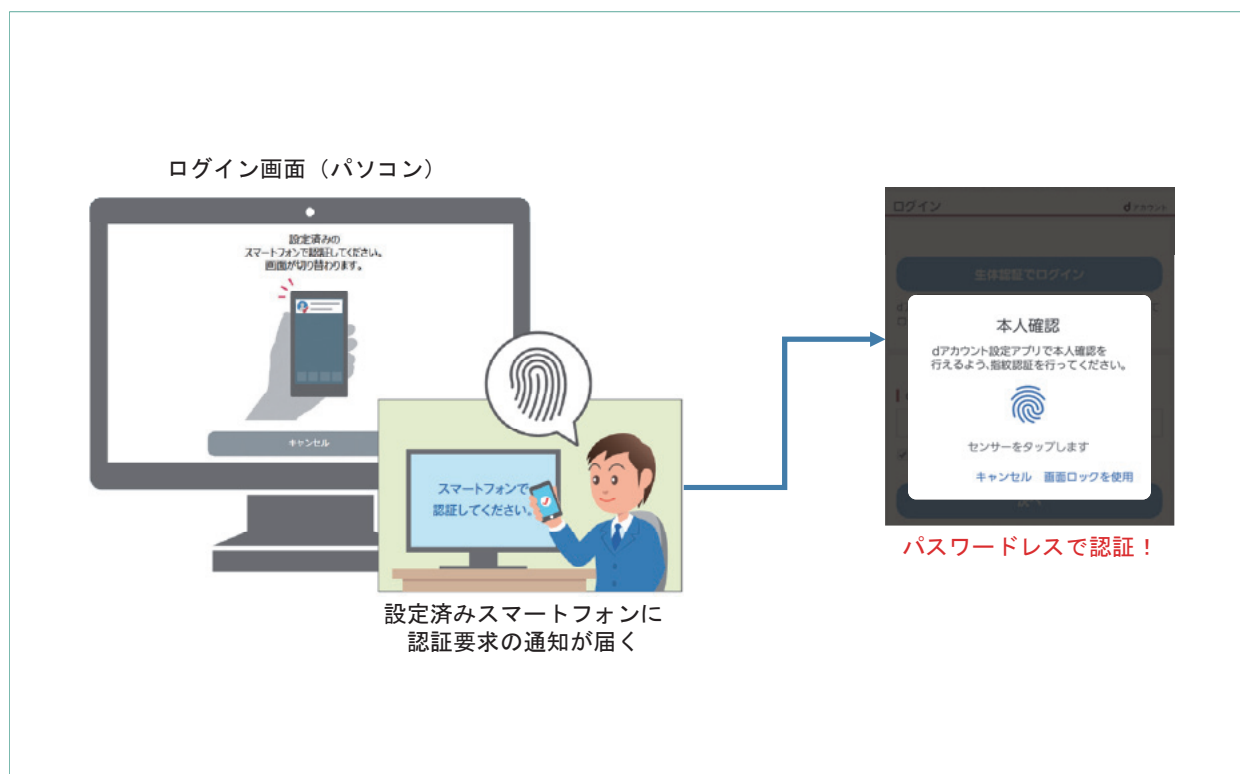


図5 パソコンからdアカウント パスワードレス認証

ス・アプリが一定数あることが分かった。この解決のため、スマホ認証の仕組みを応用した。

すなわち、それらのサービス・アプリでパスワードレス認証が必要なシーンを生体センサが搭載されていないデバイスで認証が必要なユースケースと捉える。そして、それらのサービス・アプリでdアカウント認証ボタンを選択すると、dアカウントパスワードレス認証を設定済みであるそのスマートフォンに認証要求を通知することで、スマートフォンにパスワードを入力することなく、認証することができる。

いくつかの特定の装置でdアカウントのID・パスワードを入力して認証している場面があることも分かったが、この新しいスマホ認証の仕組みで同様に解決を図った。

5. 今後の展望

今回、提供を開始したdアカウント パスワードレス認証は、FIDO認証の特長を活かしてセキュリティ強化につなげる取組みの第一歩である。

現在のdアカウント パスワードレス認証は、dアカウントをより安心して利用するためのオプション機能であり、dアカウントのパスワードが存在する状態からパスワードを無効化する仕様となっている。将来的には、dアカウントを新規作成する段階からパスワードレスとする機能を提供し、オプション機能としての提供ではなく、デフォルトでの提供も視野に入れている。

また、ドコモのサービスの多くはドコモの回線契約を持たないユーザにも提供している。このようないわゆるキャリアフリーのユーザもdアカウントをさまざまな用途で利用しているため、dアカウントパスワードレス認証のキャリアフリー対応についても検討している。

このような複数のアプローチで、より多くのユー

ザにあんしんでもっと便利なdアカウント パスワードレス認証を提供する取組みを継続していく予定である。

6. あとがき

本稿では、dアカウント FIDO生体認証の導入背景と概要を述べ、パスワードレス認証の実現にあたっての課題、設計・開発と導入の詳細について解説し、今後の展望について述べた。

dアカウント パスワードレス認証の導入により、ドコモはこれまで当たり前であったIDとパスワードのあり方を根本から変える。既存のアセット^{*14}を十分に活用することで、利便性を損なうことなく、幅広いユーザがより安心してdアカウントを利用するための機能を提供開始することができた。第三者による不正アクセスや不正決済などのニュースが後を絶たない昨今、FIDO認証への注目度も年々増してきている。ドコモは今後もFIDO認証を積極的に活用した先進的な端末の提供とサービス展開を通じて、「パスワードのいない世界」の実現をめざしていく。

文 献

- [1] 森山 光一：“パスワードのいない世界へ：NTTドコモにおけるFIDO（ファイド）標準を活用したdアカウント生体認証の取組みと将来展望,” 電気通信, Vol.80, No.840, pp.13-19, Jan. 2017.
- [2] NTTドコモ：“dアカウントログイン等のオンライン認証にTouch IDが対応.”
https://www.nttdocomo.co.jp/info/notice/pages/160307_00.html
- [3] 森山, ほか：“FIDOアライアンスにおけるオンライン認証の標準化動向とドコモの貢献,” 本誌, Vol.28, No.1, pp.22-32, Apr. 2020.
- [4] M.Hata and R.Lindemann：“FIDO Alliance White Paper：Hardware-backed Keystore Authenticators (HKA) on Android 8.0 or Later Mobile Devices,” Jun. 2018.
<https://fidoalliance.org/wp-content/uploads/Hardware->

^{*14} アセット：保有する有用な資産や資材、利点のこと。

- backed_Keystore_White_Paper_June2018.pdf
- [5] FIDO Alliance : “First FIDO UAF 1.1 Implementations Ease Deployment of Advanced Biometric Authentication on Android Devices,” Dec. 2017.
<https://fidoalliance.org/first-fido-uaf-1-1-implementations-ease-deployment-advanced-biometric-authentication-android-devices/>
- [6] FIDOアライアンス : “FIDO（ファイド）UAF 1.1の初実装が登場，Androidデバイスへの先進的生体認証の導
- 入が容易に ～ドコモ スマートフォン Xperia™の二機種が市場初の対応デバイスに～,” Dec. 2018.
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000006.000029122.html>
- [7] W3C : “W3CとFIDO Alliance - パスワード不要の安全なログインが勧告化に,” Mar. 2019.
<https://www.w3.org/2019/03/pressrelease-webauthn-rec.htmlja>

本記事は，NTT DOCOMOおよびグループ会社の研究開発成果などを紹介する技術広報誌「NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル」より転載いたしました。記事に関するお問い合わせは下記にお願いします。

◆問い合わせ先

NTTドコモ R&D戦略部

TEL 03-5156-1749 E-mail dtj@nttdocomo.com

URL https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/rd/technical_journal/

挑 戦 す る 研 究 者 た ち CHALLENGERS



宮本 裕

フェロー
NTT未来ねっと研究所



「今ここだ!」の瞬間を共有できる仲間と社会を支える——社会生活を大きく変革する光通信技術開発に挑む

通信技術の発展は人々の社会生活を大きく変革してきました。世界的な新型コロナウイルスの感染拡大による未曾有の事態においても、リモートワークやオンライン診断といったICTを活用したサービス・アプリケーションは、人々の生活や経済活動を支えてきました。一方、総務省の情報通信白書によると、世界的に普及が進んだIoTデバイス数は現在、約400億ともいわれています。こうしたサービスやアプリケーションを支えている光通信インフラの研究開発と実用化に至るまでの道程・研究者の心構えについて、NTT未来ねっと研究所、宮本裕フェローに伺いました。



キャパシティクランチ克服への挑戦

現在手掛けている研究について教えてください。

NTTはこれまで光通信技術の研究開発において世界をリードしてきました。1981年から時分割多重(TDM)光ファイバ通信方式の実用化が始まり、以来、光増幅中継方式、波長多重(WDM)方式、デジタルコヒーレント方式といった光伝送方式の3つのパラダイムシフトを連続的に起こし続けることで、40年間で約 10^6 倍の伝送容量拡大を実現してきました。いまだにデータ通信量は年率1.4倍程度の割

合で増加し続けており、5G(第5世代移動通信システム)やIoT(Internet of Things)の本格導入により、今後も同様に、指数関数的に増大することが予想されます⁽¹⁾。

最近では、1波長当りのチャンネル容量100~400 Gbit/sのデジタルコヒーレント方式を用いた大容量波長多重システムが研究開発・実用化され、ファイバ1本で8 Tbit/sの大容量長距離伝送が実現しています^{(2),(3)}。現在では、デジタルコヒーレント方式のさらなる高度化により、チャンネル容量も600 Gbit/s/波長が実用段階にあり、今後も新たな研究開発を進めることで1 Tbit/s/波長を超える高速化



が進むと期待されています^{(3),(4)}。

一方で、今後10年スパンでの光通信インフラの発展を図1の実用システムのトレンドから予測すると、2030年代にはPbit/s級容量の長距離伝送が必要となります。しかしながら、近年の研究において、現在利用している既存の光ファイバを用いた長距離伝送時の物理的な伝送容量限界が100 Tbit/s付近で顕在化すること（キャパシティクラッシュ）が分かってきてます。このキャパシティクラッシュの技術課題を克服し、現在の100倍以上のデータトラフィックを低電力かつ経済的に収容可能なペタビット級の光インフラを実現するために私たちが取り組んでいる研究開発が、スケーラブル光通信技術です⁽¹⁾。この実現には、これまで取り組んできた光伝送技術とともに、光ファイバそのものの新たな光媒体技術をセットで考えた技術革新、すなわち、第4のパラダイムシフトが必要であると考えています。

私たちの研究開発の一例として、光媒体研究部門との密な連携をとり、光ファイバ1本当りの伝送容量を現在の既存の光ファイバを用いた実用システムの125倍以上の毎秒1ペタビット以上に拡大可能な空間多重光通信技術があり

ます。NTTでは、2012年に、国内外の研究機関と共同で、1本の光ファイバに12個のコア（光ファイバ内の光信号の通り道）を実装したマルチコアファイバを適用し、デジタルコヒーレント技術をさらに高度化した32値の光直交位相変調（QAM）信号を波長多重することで、1コア当たり84 Tbit/s容量伝送、すなわち、ファイバ1本当たり1.01 Pbit/s（=84 Tbit/s×12コア）の信号を52.4 km伝送する実証実験に世界で初めて成功しました。また、その後、2017年には、32コアファイバを用いた新たな実験により、毎秒1ペタビットで1000 km以上の長距離光増幅中継伝送のポテンシャル実証にも成功しています（図1）。

また、1波長当りの高速化では、デバイス研究部門との密な連携により、将来的には波長当たり10 Tbit/s級容量の光伝送技術開発に取り組んでいます。例えば、既存のシングルモード光ファイバを用いて、それまでのシリコンCMOS半導体回路やデバイス実装技術では実現が困難とされていた1波長当たり1 Tbit/s容量の長距離波長多重伝送実験に世界で初めて成功しています。2019年には、超高速光送受信回路の新しい光・電子集積化構成方法により、

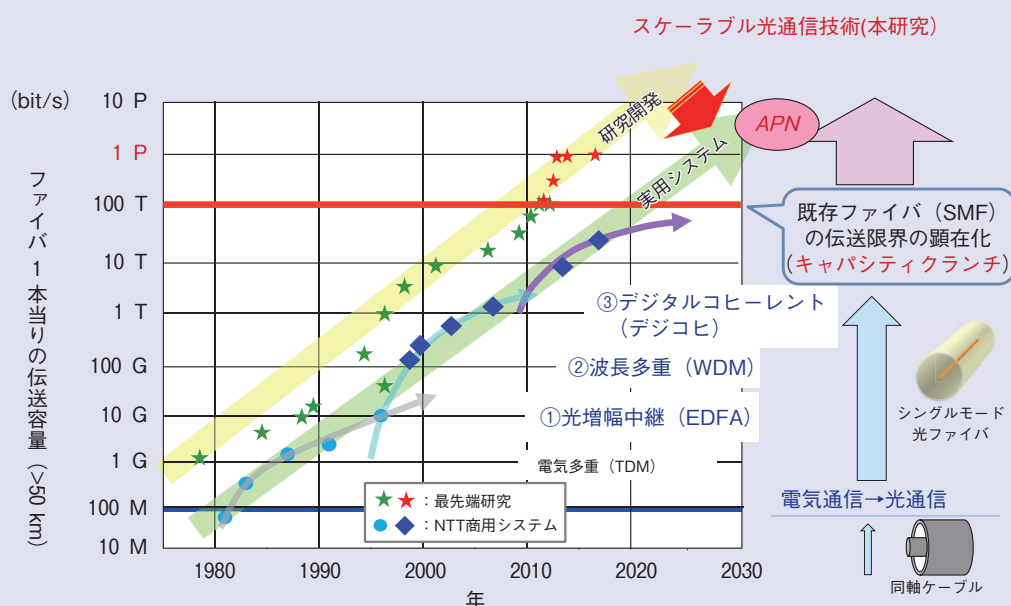


図1 スケーラブル光通信技術によるキャパシティクラッシュへの挑戦

チャネル容量 $B = (a) \text{ シンボル速度 } B_s \times (b) \text{ 周波数利用率 } \eta \times (c) \text{ 空間・波長多重数 } M$

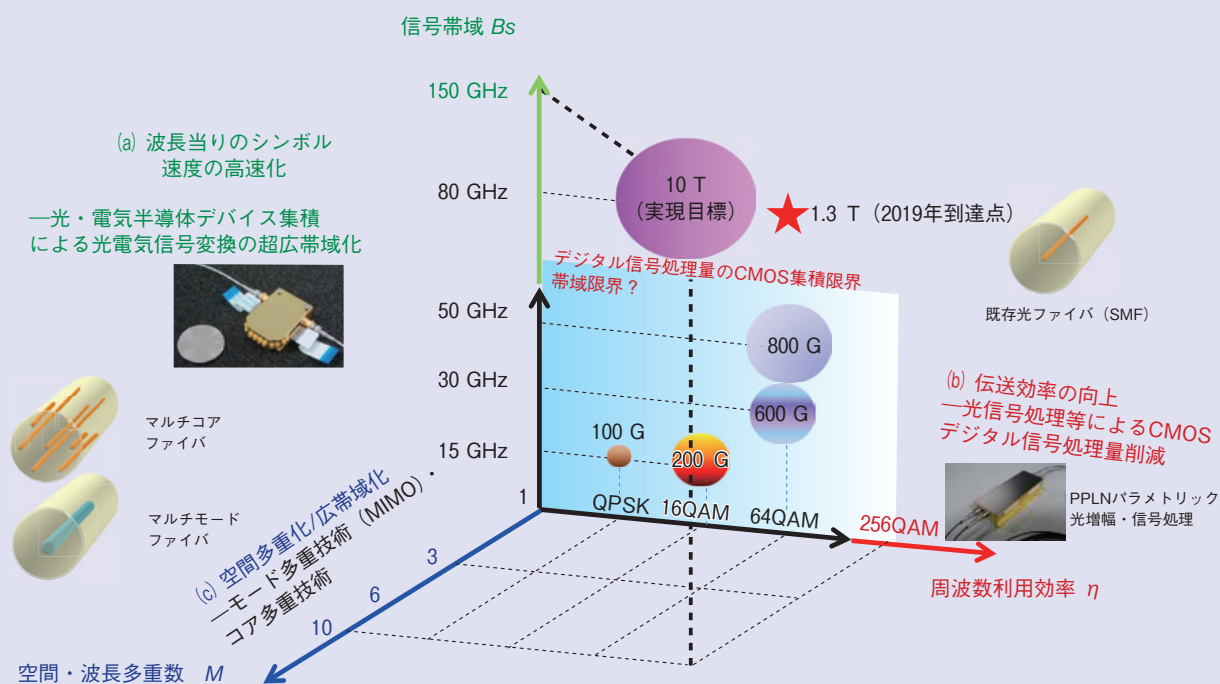


図2 1波長当りのチャネル10 Tbit/s容量実現に向けた取り組み

100 GHz超の帯域を有するアナログ・マルチプレクサ集積回路 (AMUX IC) と広帯域 InP (インジウム・リン) 半導体変調器の一体光モジュール集積を実現することで、世界最高速のチャネル容量1.3 Tbit/sでの波長多重長距離伝送実験に成功しました (図2 (a))。また、NTT研究所が長年にわたり開発してきた周期的分極反転二オプ酸リチウム (PPLN) による高効率パラメトリック 光増幅技術により、既存の技術では実現が難しい広帯域光増幅・波長変換やデジタル信号処理の飛躍的な低減技術にも取り組んでいます (図2 (b))。

世界初の成果を連発されているんですね。トレンド、しかも最先端を走っている実感はありますか。

時代に何とか追いついているという感覚です。これまで携わってきたNTTにおける光通信インフラの研究開発においては、図1に示したとおり、研究開発段階での実験実

証で目標性能に初めて到達したとき (黄色のライン) から、システム実用化 (緑のライン) に至るまでに約10年程度を要してきました。その理由は、光通信インフラは一度導入すると、10年以上のシステム寿命の間、保守、運用をし続ける必要があります。すぐ撤収するわけにいかないため注意深い検討が必要なためです。先端研究フェーズのグローバルな競争の中で、目標性能を初めて実験実証するといった成果は、めざしている性能を実現する方法が、初めて1つ見つかったときにあたります。通信システムは1つの要素技術では実現できないので、10年間のうちの前半は、研究者はさまざまな要素技術を発案し、それらを多様に組み合わせたシステム性能を幾度も試験します。後半の実用化フェーズでは、どの要素技術の組合せが経済性や信頼性の要求条件に耐えられるか、あるいは、開発パートナーを見つけつつ提案技術の必要な部分は国際標準化が可能か、といったさまざまな取り組みを通し、技術の候補を冷徹に絞



り込んでいきます。こうした中で選り抜かれた技術がこれまで実用化されてきました。最初の発想がそのまま生き残って実用化に至る技術は経験的に全体の2割から3割ぐらいで、自分自身の提案技術がお蔵入りになるときも多々あります。ですから、最終ゴールの実用化にたどり着くためには、システムの研究開発では、複数の技術ポートフォリオを用意しておくことが常に大切なことと考えています。ちなみに、最近ではGAFA（Google, Apple, Facebook, Amazon）等のデータセンタ内にも、これまでテレコム用に開発してきたさまざまな光通信技術が導入され始めていますが、テレコム用途とはまた別の観点での性能が求められています。技術のライフサイクルも早く、保守・運用の考え方も大きく違うため研究開発に求められる性能や研究開発スピードも大きく変化しつつあり、時代の変化に合わせた研究開発が必要になってきています。

一方で、不思議なことに光通信インフラと新しい情報サービスは、鶏と卵のような関係でバランスを取りながら発展しているように感じています。私がNTTに入社したのは1988年で、当時の通信インフラの主体は電話トラフィックでした。入社当時、光増幅中継技術を用いた光通信システムのパラダイムシフトが始まり、幸いにも、1本の光ファイバで1波長を用いて10 Gbit/s容量を長距離光増幅中継伝送する研究開発・実用化に携わることができ、多くの貴重な経験をさせていただきました。1996年に実用化した当初は、電話トラフィックのみであれば十分すぎる大容量化が実現され、しばらく大容量化は必要ないかも？といった声もありました。ところが、90年代後半にかけて、日本国内においても商用インターネットの普及が加速すると、各地にインターネットプロバイダが次々に出現し、地域網でも伝送容量が足りないという時代となり、10 Gbit/s光通信インフラが日本全国にあっという間に導入され、グローバルにも普及しました。同じようなことは、これまで幾度も経験してきましたが、つい最近ではスマートフォンを当たり前にする時代が到来し、モバイルインターネットによるデータトラフィック需要を十分に収容するのに、冒頭にご紹介した1波長100 Gbit/sのデジタルコヒーレント技術を用いた光通信インフラがタイムリーに導入されました。

今年、商用サービスが始まった5Gサービスの普及等により、さらに、新たなサービスや産業が生まれれば、容量が再び足りなくなることが想定され、その時々で社会が求める通信インフラをいち早くタイムリーに提供するために、今後も持続的な研究開発を進めることが必要だと考えています。

私自身、上述した技術の潮流をすべて見通して仕事をしてきたわけではなく、その時々時代の通信性能を満たすシステムの研究開発・実用化のサイクルを不断なく回すことで、ようやく時代の求める性能に追いついてきたというのが正直な実感です。このような研究開発・実用化のサイクルを回し続ける仕事のやりがいは、実用化した技術が人間社会に与える大きなインパクトを自分自身も肌で感じることができる点だと思っています。例えば、今回の新型コロナウイルスのパンデミックにより、今回のインタビューもWeb会議を通して行われていますが、今では多くの人々が当たり前のように使っているリアルタイムビデオ通信は、少し前では考えられなかったことでした。通信インフラの重要性はこうした突発的なパンデミックや自然災害のときは大きくクローズアップされますが、その進化は一朝一夕にはできず、今後の社会基盤の発展やニーズに対応していくために、普段から地道に取り組んでいく必要があります。地道な研究開発の積み重ねを経て、初めてタイムリーに期待にこたえる技術を提供できると思っています。



タイムリーな研究開発と実用化、 非常識の常識化が求められている

社会のニーズや発想に耐え得る盤石な技術を生み出すことに注力されてこられたのですね。フェローとなられたご実感は湧きましたか。研究をする際に大切にされてこられたことを教えていただけますか。

新型コロナウイルスの感染拡大防止のための在宅勤務が続く、皆さんと同じく在宅勤務下での研究開発を模索していることもあり、まだ、あまり実感は湧いていません。一方で、NTT研究所が、私の入社する前からこれまで世界のトップランナーとして走り続けてきたのは、電気通信研究所初代所長・吉田五郎氏の「知の泉を汲んで研究し、実用化により世に恵みを具体的に提供しよう」という言葉に

凝縮されていると思います。すなわち、研究所のさまざまな“知の泉”を総動員して、これまでお話してきた研究開発と実用化のサイクルを同時に回し続けることが世代を超えて受け継がれているからだと思います。私のフェローの役目としては、今後も普段の研究開発を通して次の世代に“知の泉”を回すバトンを受け継いでいくことも大切な事項と思っています。

研究開発と実用化のサイクルで、最初の研究開発のプロセスでは、常識の問題点を洗い出し、非常識なアイデアをたくさん紡ぎ出します。そして、次の実用化プロセスではその中から実用性に勝るものを選び出し、非常識だったアイデアから生まれたものを常識に変える行為です。これを絶え間なく繰り返すことで、知見やアイデアが蓄積され、それが次のアイデアや知見を生み出す、つまりアイデアや知見が泉のように湧いてくる、いわゆる「知の泉」となります。これを枯らさないように発展・蓄積していくことが大切なことだと思います。前述の吉田五郎氏の言葉は、研究者としての私にとって、ある種、座右の銘のようなものであり、フェローとして周囲をリードし、実行していく道しるべと考えています。

この“知”にも2つの意味があるとNTT入社当時に先輩から教えていただいた記憶があります。1つは知識。もう1つは知恵です。当時はよく分からなかったのですが、経験を積み重ねていく中で、知識はさまざまな分野の見識で、見識をどう役立てるかが知恵であるということがようやく理解できるようになりました。新しい人がチームに入ってくればどんどん新しい知識が流入してきます。その知識を、時代の求めに応じていかにタイムリーに応用して、形あるものにしていくか、というのが知恵によるものかと思っています。そして、時代や技術の流れに対峙して研究開発・実用化に取り組んでいると、時として「今ここだ！」と、知恵のひらめきを実感する瞬間があります。この感覚を言葉で表現するのは非常に難しいのですが、この瞬間を逃さないこと、見据えることが研究開発・実用化を進める際には非常に重要だと考えています。私の場合は、これまでに研究開発から実用化に至るプロセスを3度ほど経験する中で、同じ課題に共に向き合う仲間とともに不思議と共鳴す

る「今ここだ！」という感覚を幾度か経験しました。この感覚は同じ研究開発に携わる仲間とともに、普段の実験や実用化等を通じて試行錯誤を繰り返すことで、初めて、目標や価値観が共有でき、「今ここだ!」「そうだよね!」と知恵が共鳴し合う瞬間が生まれるように思い、まさに「知の泉」が湧くような状態です。この「知の泉」が湧く瞬間をできるだけ多くの仲間や開発パートナーと共有しながら、今後の研究開発を進めていきたいと思っています。

たまたま、5年ほど前に海外の研究開発パートナーと共同研究する機会があり、これまで日本人どうしなら通じ合っていたことが全く通用しないという経験をしました。そのときにどうしたらこの状況を打破できるかと思案したのですが、パートナーがどこの国の人であっても、大切にしなければいけないことは同じだと気付きました。普遍的な成功のカギは、ゴールを共有し、それを言葉にしてはっきり伝えることです。意見が対立することであっても、ゴールや価値観を「そうだよね!」というかたちで共有できていれば、その原点に戻って対立を乗り越えられるからです。

私は2000年代のはじめに、光の波の性質を利用した通信方式（誤り訂正符号・差動位相変調など）を適用し、波長当り43 Gbit/s容量での長距離波長多重伝送を世界で初めて実験実証したのですが、その後の実用化検討段階でフィールド調査を進めるうちに、当初に用意した要素技術の組合せでは性能が十分確保できないことが分かり、実用システムの性能を満たすために技術要素のさらなる追加開発を余儀なくされました。当時、信号処理LSIの自主開発プロジェクトリーダーを務めていた私は、この事態にだいたい追い詰められましたが、将来技術として用意していた要素技術を前倒して投入して何とか実用化に至りました。現実の世界は何が起きるかをすべてを予見できませんし、実際に実環境での測定等をしてみないと分からないことも多々あります。1人の力ではどうにもできないことも頻繁に起こりますが、そのときに、技術のポートフォリオが準備できていれば、なんとかゴールに到達することができることを身をもって経験しました。切羽詰まった局面で次に踏み出す勇氣を出して、これまでさまざまな困難を乗り越えてこられたのは、目的を共有する諸先輩、多くの優秀な仲間や開発



パートナーと「今ここだ!」「そうだよな!」という智慧の共鳴によって適切な判断ができたことによると思っています。一方で、時として、そういうピンチにも冷静な判断をするためには、時として脳と体を休ませて気持ちを若々しく保つことが重要だと考えています。前述のように思うような成果が得られないとき等、気持ちが追いつめられるようなことは頻繁に起きますから、気持ちをリセットしないと次へ進めないこともあります。そのためにも趣味や瞑想、などの自分なりのリセット方法を持っていると良いと思います。私は美術や美しいものが好きで、芸術鑑賞を楽しんでいます。中でもルネ・マグリットの『大家族』という作品が好きです。また、サミュエル・ウルマンの不朽の名作といわれる『Youth（青春の詩）』も勇気を与えてくれます。ある友人に教えてもらった彼の詩に“In the center of your heart and my heart there is wireless station, so long as it receives message of beauty, courage and power from men and from the Infinite, so long are you young.（あなたや私の心の中に心の無線局があり、人類や神から美しさ、勇気、力を受信しつづける限り、人として若いままです）”という一文があります。心の“wireless station”という無線通信に紐づく表現が使われているところに通信技術の研究者としては非常に心を動かされます。この詩がつけられた約100年前は、ちょうど大洋横断通信を可能とする無線通信が初めて実用化されたところで、遠く離れた大西洋上のタイタニック号の事故を検知するのに初めて無線通信が使われたことで人命救助がなされそうです。グローバルなリアルタイム通信を初めて実現する無線通信のインパクトが世界中に認識され、芸術作品の比喩としても使われるような通信技術は、いつの時代にも社会や人の心にも大きなインパクトを与えるのだと思うと、この詩を眺めるたびに勇気をもらいます。

若い研究者の皆さんへの一言をお願いします。

研究所において、一研究者として1つの研究テーマに没頭できる時間は長いようで短いと感じます。うまく時間を使いながら、NTT研究所ならではのさまざまな知の泉を

活用することで、自分しかできないテーマにめぐり合う努力を是非していただきたいと思います。それを続けていると、きっと「今ここだ!」という瞬間に出会えると信じています。私自身、NTT研究所に配属されていから、学生時代の専門分野とは全く違う光通信システムという研究テーマに飛び込みました。最初は、全く議論に参加できずに落ち込むことがありましたが、続けていくうちにやりがいのあるテーマとの出会いがありました。そういうチャンスが来たら、全力で技術課題に挑んでほしいと思います。

企業におけるシステム研究開発分野の研究者のミッションの1つには、研究開発と実用化のバランスを取りながら世の中に役立つモノを紡ぎだすことだと考えています。特に、通信システムの研究開発は要素技術が多岐にわたるので1人ではできません。研究者にとって目標を達成した瞬間がもっとも幸福な時間ですが、良いパートナー、研究所の仲間とこうした時間を多く実感したいと思いますし、これから新しい分野にチャレンジされる研究者の皆さんにも是非それを何度も実感してもらいたいと思います。繰り返になりますが、インフラ技術というのは重要な技術で、有事の際にはその重要性がクローズアップされますが、通常は目立ちにくい存在です。時代に合わせた技術開発も実用化までには10年を要し、ある意味地味でもありますが、この営みを続けていくことが重要であり、今後とも尽力したいと思います。

参考文献

- (1) <https://www.ntt.co.jp/journal/1703/files/jn20170308.pdf>
- (2) <https://www.ntt.co.jp/journal/1103/files/jn201103013.pdf>
- (3) <https://www.ntt.co.jp/journal/1607/files/jn20160710.pdf>
- (4) <https://www.ntt.co.jp/journal/1903/files/pdf/JN20190316.pdf>



FG-AI4EE会合報告——AIを活用したICTの気候変動対策への適用と標準化動向

ちょう ぎょうぎ†1 た か や かずひろ†1 こんどう よしひろ†2 すぎもと よしのり†2

張 曉曦 / 高谷 和宏 / 近藤 芳展 / 杉本 元紀

NTT宇宙環境エネルギー研究所^{†1}/NTTアドバンステクノロジー^{†2}

AI（人工知能）やブロックチェーンなどの新技術は、さまざまなサービスの利便性・効率性を向上させる一方で、多数のセンサを用いた情報収集や学習・データ解析の際に大量のエネルギーを消費するため、導入効果と同様に環境への影響を評価する必要があります。ITU-T（International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector）では、AIを含むさまざまな新技術の環境効率評価を検討するフォーカスグループFG-AI4EEが2019年5月に設置され、2019年12月に第1回会合が開催されました。ここでは、FG会合における検討状況について紹介します。

AIや新技術の環境への影響

内閣府が提唱するSociety 5.0^①では、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立することを目標にしています。AI（人工知能）、IoT（Internet of Things）、ビッグデータ等を活用した情報流通では、質の高い生活の実現をめざしています。その一方で、気候変動に起因すると考えられる自然災害の発生とその被害が世界中で深刻化しており、ICTを活用した効果的な環境保護手法の実現が求められています。特に、AIやその他の新技術は、近い将来の環境予測や気象現象の可視化等、環境問題を解決するツールとして期待されてい

ます。しかし、AIやその他の新技術も、既存のアプリケーションと同様に、規模や計算量が大きくなることによるエネルギー消費が環境負荷となります。さらにAIは、センサやシステムログなどから収集される大量のデータを解析する際だけでなく、事前学習やチューニングの際にも大量のエネルギーを消費します。そのため、ICTを活用して環境問題を解決しつつ、ICTの環境負荷を最小限にしていくためには、ICTのパフォーマンスと環境負荷の関係（環境効率）を評価・測定する手法が必要となりますが、これまでの環境分野における国際基準やガイドラインでは規定されておられません。

FG-AI4EE 設立の目的

国連傘下の国際電気通信連盟（ITU）の中では、電気通信標準化部門（ITU-T）の第5研究グループ（SG5）において、通信事業者やICTベンダがさまざまなICTの環境的側面における課題解決のガイダンスとなるITU-T勧告を作成しています。ICTセクタの環境への影響を評価する方法論を勧告L.1450として完成させており、2019年には、NTTが中心となってICTの利用による他セクタへの影響の評価方法も勧告L.1451として完成させています。このようにICTによる環境への貢献が定量的に評価できるようになってきたことから、2019年5月に「AI及びその他の新技術の環境効率」に関する標準化の事前検討を実施する時限検

討組織であるフォーカスグループ（FG-AI4EE: Environmental Efficiency for Artificial Intelligence and other Emerging Technologies）を設置し、AI及びその他の新技術の環境効率に対するグローバルな対話を推進する活動を開始しました。

AIやブロックチェーンなどの新技術は、さまざまな分野の業務効率と可能性を拡大する一方で、導入・運用時に大量のエネルギーを消費し、環境負荷を増加させます。国連のSDGs（持続的開発目標）を達成するためには、新技術を活用したソリューションの環境負荷を評価・測定する手法と国際的な評価基準が不可欠です。本FGは、SDGsの実現のための標準化ニーズを明確にするためのプラットフォームとして機能することが期待されています。

第1回FG-AI4EE会合の概要

第1回のFG-AI4EE会合は、2019年12月11～13日にウィーン（オーストリア）で開催されました。また、FG会合に併設して関連するワークショップであるAI4EEフォーラム、およびU4SSC（United for Smart Sustainable City）指標テーマ別グループ会合が開催されました。FG会合はITU-T SG5会合とは異なり、通信関連の関係者だけではなく国連などの国際組織、政府系機関、大学やシンクタンクといった学術系機関などさま



ざまな分野の方も加わり、合わせて約30名（日本からは筆者である近藤、杉本の2名）が現地参加しました。また、世界各国からのリモート参加者は約15名でした。

AI4EEフォーラムでは、AIの環境的側面における可能性を探る議論を目的としたセッションと、環境的側面を評価するためのユースケースに関する議論を目的としたセッションが開催され、AIの必要性和FGのめざすべき方向性について課題認識が共有されました。FG会合では、①マネジメント体制、②ワーキンググループ構成、③付託事項（ToR）、④今後作成予定の成果物、について議論がありました。

■マネジメント体制

FG議長は、ITU-T SG5のWorking Party 2の議長も務めるDr. Paolo Gemma（Huawei）とIBMのWatsonグループを率いるDr. Neil Sahota（IBM & University of California）であり、副議長には、大学教授、金融・経済や環境・エネルギー部門のエキスパートが名を連ねております。今会合で合意された議長および副議長を表1に示します。

■ワーキンググループ構成

表2に示す3つのワーキンググループ（WG）で具体的な検討が実施されることが合意されました。

(1) WG1：環境効率を向上させるための要求条件

WG1では、AIや新技術を導入する際の環境効率を向上させるための要求条件について検討します。さまざまなユースケースにおいて、導入する新技術が要求条件を満足することで、エネルギー消費量が削減され、結果として環境影響が軽減されることを期待

します。例えば、Passive Optical Network（PON）における光加入者線終端装置（OLT）および光加入者線ネットワーク装置（ONT）から使用帯域等のUtilization KPI（Key Performance Indicator）をデータ収集し、AIを活用した根本原因解析（RCA）により、Service Level Agreement（SLA）を満足する必要最小限のリソースを導くことで、PONの電力消費やオンサイト呼出し回数を削減するというユースケースが提案されています（図）。

(2) WG2：環境効率の評価・測定方法

WG2では、通信事業者及び関連する利害関係者がAIやその他の新技術を導入する際に役立つ環境効率の評

価・測定方法が検討されます。この評価・測定方法に基づいて、導入する技術の運用効率と環境的側面も考慮した品質を改善することで、SDGsのビジョンに合致した成果が得られると期待されています。

(3) WG3：環境効率向上のための実装ガイドライン

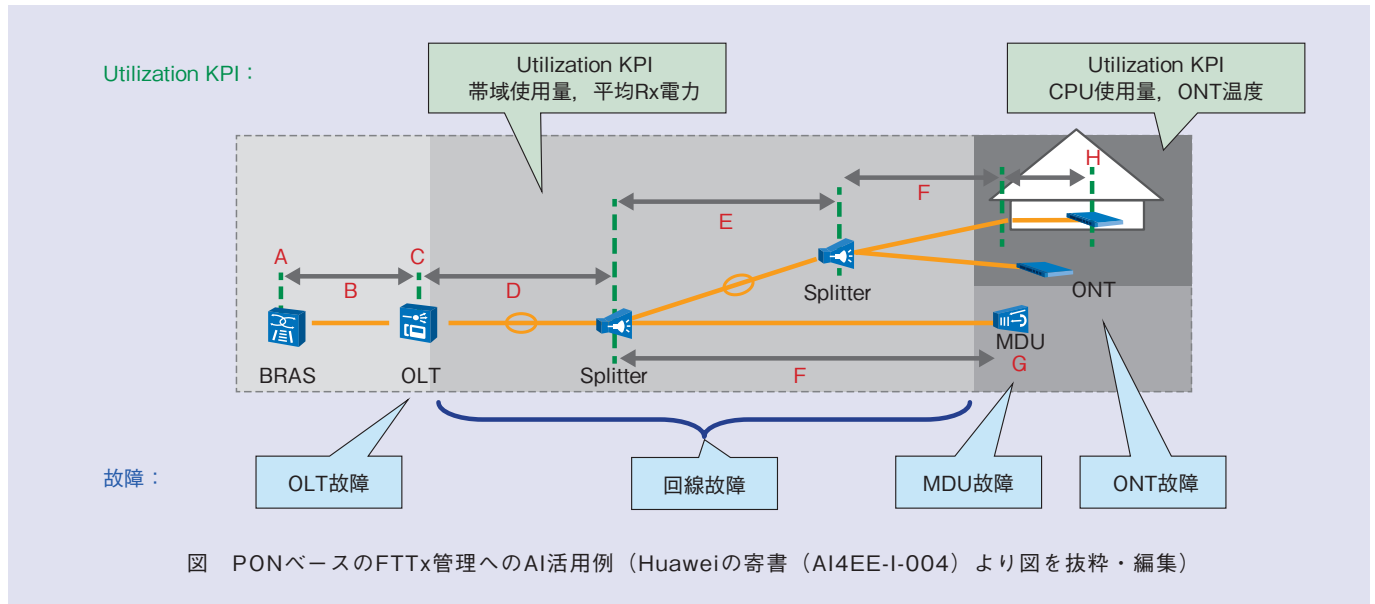
WG3では、AI及びその他の新技術の環境効率を向上させるための実装ガイドラインについて検討される予定です。例えば、仮想通貨を支えるブロックチェーンに対しては、計算量の多いユーザのほうが有利に働く仕組み“Proof of Work”から競争しても無駄なエネルギーを消費しない仕組み“Proof of Stake”に移行することにより、環境効率を向上させる方法とそ

表1 FG-AI4EEのマネジメント体制

議長	
・ Paolo Gemma（Huawei, 中国） ・ Neil Sahota（IBM兼カリフォルニア大学, 米国）	
副議長	
・ Barbara Kolm（オーストリア経済センター（AEC）兼オーストリア国立銀行） ・ Kari Eik（国際経済関係機構（OiER）、オーストリア） ・ Joel Alexander Mills（AugmentCity, ノルウェー） ・ Mats Pellbäck Scharp（Ericsson, スウェーデン） ・ Alice Charles（世界経済センター（WEF）） ・ Claudio Bianco（Telecom Italia, イタリア） ・ Peter Ulanga（ユニバーサル通信サービスアクセス基金、タンザニア共和国） ・ Stefano Nativi（欧州委員会共同研究センター（EC-JRC）） ・ Mandar Deshpande（インド通信省） ・ 国連環境計画（UNEP）	

表2 FG-AI4EEのWG構成

WG	名称
WG1	Requirements of AI and other Emerging Technologies to Ensure Environmental Efficiency (環境効率を向上させるための要求条件)
WG2	Assessment and Measurement of the Environmental Efficiency of AI and Emerging Technologies (環境効率の評価・測定方法)
WG3	Implementation Guidelines of AI and Emerging Technologies for Environmental Efficiency (環境効率向上のための実装ガイドライン)



の原理に関するガイドラインを提供します。

■付託事項 (ToR)

本FGは、SDGsを達成するためAIやブロックチェーン、クラウド・エッジコンピューティング、5Gなどの新技術の登場に伴う、環境効率や水・エネルギー消費の問題に対処する技術レポートおよび技術仕様書の作成をめざします。具体的には以下を目的とします。

- ・AIやブロックチェーンに代表される新技術を展開・実装するうえでの環境影響の評価
- ・AIを含めた新技術の環境影響に関する国際的な意見交流、認識の向上に向けた議論の場の提供
- ・利害関係者に対して、新技術を運用するうえでの環境影響を最小とするための支援
- ・環境側面における健全な方法で新技術を適用するためのフレームワークと標準化アプローチの開発
- ・環境影響に関する将来的な標準化

作業に向けた戦略的な指針の提示

■今後の成果物

第1回FG会合で、28件の成果物を作成することが合意されました。表3に抜粋を示します。政府系・学術系からは、気候変動対策について実効的に取り組むことを重要視し、AI・ブロックチェーンなどのエネルギー効率の評価指標などが提案されました。通信事業者として中国電信より、AI・ビッグデータ分析を活用した5G網のエネルギー効率の測定・評価方法、および実装ガイドなどが提案されました。そのほか、デジタルツインを活用したKPIなどの測定データの視覚化による環境影響評価方法の実装・設計要件、環境親和性の評価・測定の報告テンプレート、AI/ML（機械学習）を活用した網運用管理の実装ガイドが提案されました。

なお、表3に示す成果物を扱うWGについては合意されておらず、寄書での提案内容を基にしています。今後のFGでの議論結果により各成果物を扱

うWGが決定される予定です。

第1回FG会合以降の社会的環境の変化

新型コロナウイルスの世界的な感染拡大により、世界の社会システムが大きく変わろうとしています。例えば、テレワークや遠隔教育の増加、および遠隔医療の促進による通信トラフィックの増加、ネットショッピングや宅配の増加、外出制限による飲食店や学校給食休止に起因する食品フードロスの増加など、環境面では利益もある一方で不利益も少なからず増大しています。今後持続可能なスマートシティの実現に向け、ICTの活用による温室効果ガスの削減を達成しつつ経済活動を持続させる方策が必要となっています。

NTTグループでは2030年に向けて、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を打ち出し、技術開発の柱の1つに「ICTインフラにおけるエネルギー効率の飛躍的



表3 FG-AI4EEの成果物案（抜粋）

WG	名称	提案元
WG2	AI・ビッグデータの観点でのエネルギー効率の評価指標	テッサリア大学 (ギリシャ)
WG3	AI・ブロックチェーンの環境効率の高い優良事例など2件	オーストリア経済センター 兼オーストリア国立銀行
WG2	AI・ブロックチェーンの環境効率など（政策立案者向け）など3件	欧州委員会 共同研究センター
	コンピューター処理、データ管理、エネルギーの観点	
WG1	環境親和性（eco-friendly）の評価など4件	IBM 兼カリフォルニア大学 (米国)
WG2	KPI・評価指標（U4SSCのKPI含む）など3件	
WG3	環境親和性を保証するための実装方法など3件	
WG1	AIを用いたFTTx網の運用管理など4件	Huawei (中国)
WG2	5Gを用いたスマート水管理のエネルギー効率	
WG1/ WG2/ WG3	デジタルツインを用いた環境影響評価方法（KPIの可視化）など3件	AugmentCity (ノルウェー)
WG2	AI・ビッグデータ分析を用いた5Gのエネルギー効率評価	China Telecom (中国)
WG3	AIを用いたIDCインフラのエネルギー効率改善など4件	

向上」を挙げています^{(2),(3)}。IOWN構想を実現させることで環境影響を最小化し、今回の新型コロナウイルスによるものだけでなく、今後考えられる世界的危機にもICTの活用により回避もしくは被害最小化を図ることが必要となります。世界の企業が持続的に発展するため、環境と社会を考慮したESG経営*の観点からICTサービスの提供が環境に与える負荷を適切に評価し、IOWNの活用により社会課題を解決していくことがより一層求められます。



AIなどの新技術はさまざまな分野の業務効率と可能性を拡大する一方で、導入・運用時に大量のエネルギー

を消費し環境負荷を増加させます。SDGsを達成するためには、環境負荷を評価・測定する手法と国際的な評価基準が不可欠となります。第1回FG-AI4EE会合では、エネルギー効率や気候変動に関して提案されました。ICTは生物圏から、社会、経済までの広い分野にわたるSDGsへの貢献に重要な役割を果たすため、企業が環境、社会を考慮したESG経営を意識し、世界でそのベストプラクティスを共有し、国際的なガイドラインを作成することも今後のFG活動に期待されます。NTTグループは、IOWNにより環境問題を始めさまざまな社会問題の解決に資するよう、今後も本FGの動向を把握しつつ、NTT研究所のICTと環境に関する研究開発成果をFG活動に寄与することにより、国際社会に貢献していきます。

■参考文献

- (1) https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/
- (2) 岩科・荒金・南端・進藤・藤原：“IOWN (Innovative Optical and Wireless Network)

構想実現に向けた取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol.32, No.1, pp.34-37, 2020.

- (3) <https://www.ntt.co.jp/news/2020/2004/200416a.html>

* ESG経営：企業が長期的な成長を遂げるため「Environment（環境）」「Social（社会）」「Governance（企業統治）」を重視する経営的考え方。

アクセスポイント設計機能を備えた無線LANテストの機能拡張開発

屋内、屋外を問わず、無線LANを利用したインターネット接続環境が整備され、多数のお客さまがご利用になっています。その一方で、無線LANに接続できない、スループットが出ない、通信が途切れるといったトラブルに関する問合せも継続しています。そのようなトラブルの主な原因はチャンネル間干渉となっており、チャンネルの再設計が必要となります。そこで、NTT東日本技術協力センタでは、NTTアクセスサービスシステム研究所より無線LANアクセスポイント（AP）設計ソフトウェア技術の成果提供を受け、AP設置設計機能としてLANテストへ組み込みましたので、その概要と利用方法について紹介します。

無線LANテスト

NTT東日本技術協力センタでは、無線LANに起因するトラブルの早期解決をめざし、市販のノートPCに専用無線LANアダプタと専用ソフトウェアを導入することで利用可能な無線LANテスト（図1）を2012年度より全国の各事業部・支店（支店等）へ展開しています^{(1),(2)}。

無線LANテストは、支店等からの無線LANにかかわる技術相談、技術支援依頼の増加に伴い、そのトラブルを現地で早期に解決できるよう開発してきました。支店等から相談される無線LANトラブルの主な原因としては、無線LANアクセスポイント（AP）の電波強度不足、外来ノイズによる電波干渉、AP間でのチャンネル干渉問題といったものがあります。また通信トラブル以外の相談として、APのチャンネル設計方法やAP設置前の電磁環境調査といったものもあります。これらの相談内容を

現地で解決するためのツールとして、AP検出・受信強度測定、スループット測定、AP分布表示、電磁環境モニタ、ノイズ分布表示、干渉解析、長期監視、レポート作成といった機能を具備した無線LANテストを開発し、支店等でご利用いただいています（表1）。

AP設置設計機能の開発

従来の無線LANテストでは、チャンネル間干渉等により所望のスループットが得られない場合、干渉解析機能を使うことで、最適なAPチャンネルを確認することがで

表1 無線LANテストの主な機能

主な機能	機能詳細
AP検出・受信強度測定	受信可能なAPのSSID、MACアドレスの一覧表示 AP電波の受信強度の表示
スループット測定	選択したAP電波の受信強度とスループット（下り）を測定
AP分布表示	APからの電波受信強度とスループットを測定し、ヒートマップ表示
電磁環境モニタ	2.4 GHz帯、5 GHz帯におけるチャンネルの使用状況を、電波強度レベルで表示
ノイズ分布表示	各チャンネルにおけるノイズレベルを測定し、周波数分布表示
干渉解析	チャンネル間干渉によるスループット低下の可能性を数値化し、干渉による影響が少ない推奨チャンネルを表示
長期監視	電磁環境の測定データを長期間記録
レポート作成	測定結果をレポートとして出力
AP設置設計 ※新機能	APの測定データを基に、APチャンネル等の最適設計を行う機能



きます。この干渉解析機能は、AP設置場所における各チャンネルの使用状況、各チャンネルに対する外来ノイズの有無等から、APに設定すべき推奨チャンネルを表示します。近年では、無線LAN利用者や利用端末の増加に伴い、同一エリアに多くのAPが設置されるケースが増えており、干渉解析機能だけでは、最適なチャンネルの設定が困難になってきています。

そこで、NTTアクセスサービスシステム研究所（AS研）が開発した無線LAN AP設計ソフトウェア技術（置局設計ソフトウェア）^③を利用して、APの設置において最適なスループットを得られるような設計機能を追加開発しました。この機能を追加することにより、無線LANテストの測定結果と置局設計ソフトウェアが連携し、最適な置局設計が可能になりました。

■ AP 設置設計機能の概要

AP設置設計機能では、無線LANテストのAP検出機能により検出した設計対象以外のAPのチャンネル情報、受信強度情報も活用し、実際の設置環境内でまんべんなく最適なスループットが得られるようAPに設定すべきチャンネルおよび出力レベル、帯域幅をAS研考案のアルゴリズム^④により導出します。

本機能を動作させるPCの動作環境を表2に、ソフトウェアの構成を図2に示します。置局設計ソフトウェアの主機能となる制御エンジンによるパラメータ算出と無線シミュレータによるスループット計算は、仮想マシン（VM）上で実行しています。仮想マシンで実行された推奨チャンネルや出力レベル、帯域幅といったパラメータ情報とスループットの計算結果は、AP設置設計機能インタフェースを介して無線LANテスト上に表示されます。将来的には置局設計ソフトウェアの機能をクラウドサーバ上で実現することにより、端末側の機能のスリム化と計算の高速化を想定しています。しかしながら、現状では無線LANテストを動作させるPC上に仮想マシンを搭載するため、従来の無線LANテストよりもメモリ容量の多いPCが必要となります。

■ AP 設置設計機能の操作手順

AP設置設計機能の操作手順を以下に示します。

- ① 「AP分布表示機能」による分布図作成：設計するエリアの図面を作成し、設計対象・設計対象外APの受信強度を測定します。
- ② 最適化画面へ移動：分布表示機能による測定が完了したら、画面内の「最適化」ボタンを押下することで、計算を実行する画面へ遷移します。

表2 PCの動作環境

項目	仕様
OS	Windows10（64 bit）
CPU	動作クロック 1 GHz 以上
メモリ	16 GB 以上
ディスク容量	500 GB 以上
ディスプレイ解像度	1920×1080以上

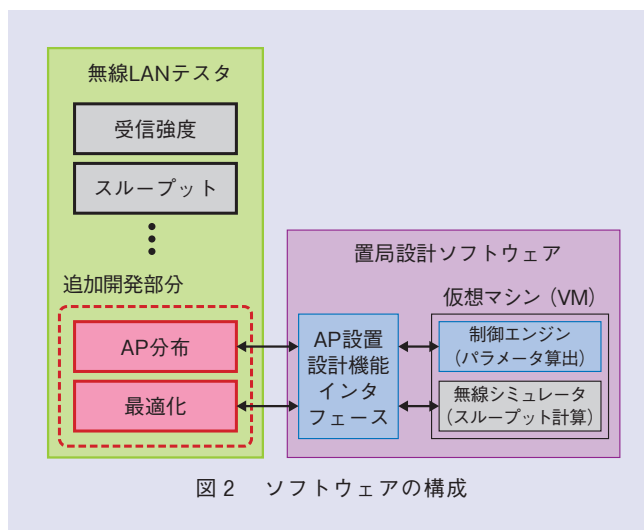


図2 ソフトウェアの構成

- ③ 最適化計算の実施：測定結果等を最終確認し、「最適化計算」ボタンを押下することで、計算が始まります。AP分布表示機能で検出されたAP数にもよりますが、小規模な場合で数分、AP数が多くなる場合には数十分程度の計算時間が必要になる場合があります。
- ④ 計算結果の表示：計算が終了しますと、最適化後のチャンネル、出力レベル、帯域幅といった設定内容と、推定受信強度マップ、推定スループットマップが表示されます。

このように、従来の無線LANテストが持つ「AP分布表示機能」を活用し、簡易な操作により実際の設置環境においてもっともスループットが高くなるAPの設定値を計算により求めることが可能となります。このほかにも、「AP分布表示機能」による実際の設置環境での測定を実施しなくとも、「最適化」タブを利用することで、置局設計ソフトウェアの制御エンジンと無線シミュレータによる設置設計の計算が実施可能です。

AP 設置設計機能の活用例

屋内環境において複数のAPを設置したものの所望の



図3 APの設置条件例

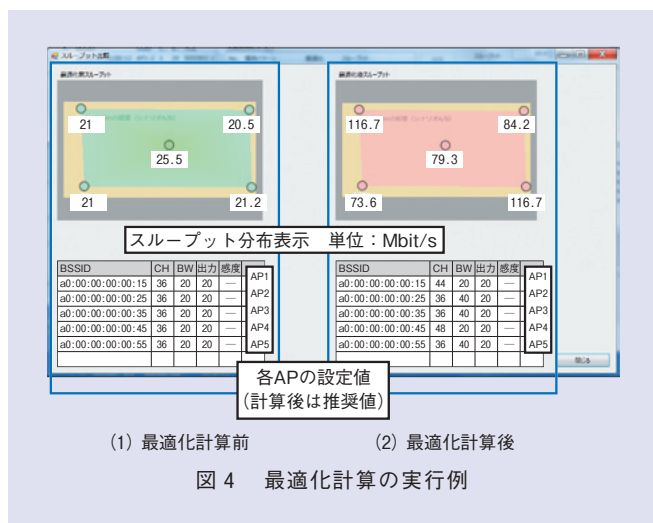


図4 最適化計算の実行例

スループットが得られない場合に、本機能を活用することによりスループットを改善することができます。本機能の活用例として、10 m×20 mの屋内環境にAPが5台設置されているケースについて手順を示します(図3)。はじめに、無線LANテストで受信強度、スループット、チャンネル使用状況等の確認を行います。今回のケースでは、すべてのAPが5 GHz帯の同じチャンネルを使用していました。そこで、AP分布機能により各APの受信強度を測定した後、置局設計ソフトウェアにおいてスループットのシミュレーションにより分布図を作成し最適化計算を行います。なお、今回は5 GHz帯を利用していることから、レーダによる通信停止を防止する観点でW52(チャンネル36, 40, 44, 48)の帯域のみを使用する条件としました。最適化の結果を図4に示します。左側に計算前のデータが、右側に計算後の結果が表示されています。計算前は平均スループットが21.84 Mbit/sでしたが、置局設計ソフトウェアによる計算後に表示されて

いるチャンネルと帯域幅、出力レベル設定とすることで平均スループットを94.1 Mbit/sへと大幅に改善させることができました。

今後の展開

無線LANテストは、無線LAN電波の見える化により、無線LANトラブルの早期回復を支援するだけでなく、無線LANサービスの円滑な導入も支援するツールです。そのため、無線LANサービスのトラブル発生時の保守作業に必要な各種機能に加え、APを新たに設置する際にどのような設定値にすれば良いのかの最適化設計を行う機能を具備しました。本ツールを活用いただくことにより、安定的かつ快適な無線LANサービスの提供が可能になります。

技術協力センタでは、引き続き支店等の課題解決に向けた技術協力活動を推進し、通信設備の品質向上・信頼性向上に貢献していきます。

参考文献

- (1) 岡本・平澤・伊藤・村川: “Wi-Fi サービスの円滑な提供に向けた無線LANテストの導入,” 信学通信ソサイエティマガジン, Vol.7, No.1, pp.38-43, 2013.
- (2) NTT東日本: “IEEE802.11acに対応した無線LANテストの導入,” 情報通信エンジニアリング協会, Raisers, 2015年5月号.
- (3) <https://www.ansl.ntt.co.jp/j/times/110/01/>
- (4) B. A. H. S. Abeysekera, M. Matsui, Y. Asai, and M. Mizoguchi: “Network controlled frequency channel and bandwidth allocation scheme for IEEE 802.11a/n/ac wireless LANs: RATOP,” PIMRC2014, pp.1041-1045, Washington DC, U.S.A., Sept. 2014.

◆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 EMC技術担当

TEL 03-5480-3711

FAX 03-5713-9125

E-mail gikyo-ml@east.ntt.co.jp

科学的なトレーニング支援技術を開発しラグビー選手を対象に有効性を実証

NTTは、早稲田大学ラグビー蹴球部の協力を得て、ラグビー選手のストレンクス&コンディショニング(S&C)のコーチングにおいて、機能素材「hitoe®」で培ったウェアラブル生体センサ技術と心理学アプローチを応用したワークショップ(WS)による行動変容介入手法を用いることにより、科学的知見を活かしたS&C強化が可能なことを実証しました。

なお、この実験は実験主体者であるNTT、被験者としての早稲田大学ラグビー蹴球部の協力に加え、株式会社ユーフォリア、株式会社アシックスが参画し、4者の協働で行われました。

■目的と背景

近年ラグビーはますますその戦術が高度化、複雑化するとともに、それを遂行するために必要とされる体力的要求も増大しています。早稲田大学ラグビー蹴球部のS&C部門はその要求に対し、かつてより科学的トレーニング手法を導入することでチーム強化の基盤をつくることをめざしていました。そこにユーフォリアがさまざ

まなデータを一元的に管理できるシステムを、アシックスがウェア設計技術を、NTTが機能素材「hitoe®」*をベースとしたウェアラブル生体センサ、先端的なデータ解析技術と、対話研究で培ったWSの知見を、それぞれ提供することで、選手たちの取り組みを科学的にサポートする実証実験を行いました。その結果、S&Cにおけるアスリートモニタリングとアスリートセンタードコーチングというアプローチに対し、今回新たに開発したNTT技術を適用することで選手育成を支援することに成功しました。

■科学的トレーニングをサポートする成果

今回の成果は、選手のトレーニングにおいて選手の客観的な状態を数値化するアスリートモニタリングと、選手のトレーニングに対する主体性を引き出すアスリート

* hitoe®：東レとNTTが開発した機能素材です。最先端繊維素材であるナノファイバ生地を高導電性樹脂を特殊コーティングすることで、衣服や帽子など人の体に密着した形に縫製できます。家庭洗濯などの耐久性にも優れ、非金属材料でありながら心拍数や心電波形などの生体信号を高感度に検出できます。「hitoe」は東レ株式会社および日本電信電話株式会社の登録商標です。



図 快適性の高いhitoe®を用いて作成されたウェアにより、選手の負担感が軽減

センタードコーチングにより構成されます。

アスリートモニタリングでは大量のデータが必要とされるため、まず選手のデータを安定的に測定する必要があります。アシックスの動作分析から得られた設計技術によりコンプレッションウェアの快適性と運動追従性が向上しました。そこにNTTがラグビー選手の筋肉の付き方を考慮した電極配置を見出し、「hitoe[®]」を電極として縫製することで、ラグビー選手のトレーニングに対しても格段に信頼性の高い生体データ計測ウェアを実現しました（図）。このウェアと計測機を介して取得された選手の生体データはユーフォリアのコンディション管理システム「ONE TAP SPORTS（ワンタップ・スポーツ）」にて一元的に管理されますが、そこにNTTの持つ心拍数解析技術の1つを応用することで、ワークロードを推定

できることが実証的に示されました。これはチーム全体のワークロードを効率的に把握しながら練習を行うことに役立てられました。その一部成果は生体医工学分野の国際会議にて発表されました。将来的には傷害・体調不良のリスクを抑えた効果的な練習プランニングなどにも役立つと考えられます。

他方、アスリートセンタードコーチングでは選手のトレーニングに対する主体性を引き出すために、選手が自分自身で意思決定する過程が重要になります。そこで本取り組みでは、選手が自分自身でS&C強化のための目標を設定・遂行する過程に着目し、そこにNTTが対話研究で培ったWSの知見を活用することで、選手どうしが対話をしながら自分自身で具体的な目標を設定するWSを設計・実施しました。その結果、選手の目標が具体化され、目

hitoe[®]を利用したワークロード推定と 傷害・体調不良リスク管理への応用に向けた取り組み

樋口 雄一

NTTデバイスイノベーションセンタ ライフアシストプロジェクト
(現、NTTテクノクロス IoTイノベーション事業部第一ビジネスユニット)

研究者
紹介

NTTデバイスイノベーションセンタでは機能性素材「hitoe[®]」をベースとしたウェアラブル生体センサの研究開発とその応用に取り組んできました。

今回の共同実験は研究企画部門からの要請で始まりました。連携先の早稲田大学ラグビー蹴球部の村上、白井両コーチと議論や実験を重ねていく中で、hitoe[®]を用いて傷害・体調不良リスクとの関連があるワークロードを推定することにテーマが定まっていきました。ラグビー選手は体型が特殊で、一般人向けのデータ計測ウェアの電極位置ではノイズが発生しデータ取得が難しいため、専用のデータ計測用ウェアの検討から進めていきました。データ計測ウェアの仕様を定めていく初期段階では、詳細なデータ取得のために、サンプル品を着た練習中の選手と一緒に走るという実験をしたこともありました。データ計測用ウェアが完成し、計測システムが決定した後、早稲田大学ラグビー蹴球部のコーチ、選手のご尽力の末、複数年に渡ってデータを計測でき、ワークロードの推定を示すことができました。今回の発表には結果を載せていませんが、hitoe[®]による傷害・体調不良リスクの推定にも取り組んでおり、学会発表を予定しています。

ワークロード推定に限らず生体情報は適切に利用すればより良い意思決定のためのツールとなり得ます。今後も意思決定をアシストするための生体情報の可視化とその応用に取り組んでいきたいと思っています。



標記述の具体度とストレングスの数値向上との関連 ($r=0.344$, $p=0.043$) が確認できました。このことから、WSでの目標設定を通じ選手の行動変容が促され、ストレングスの数値向上が実現されたと考えられます。この取り組みは、選手自身が体力的基盤の増強を計画実行する過程を通じて、柔軟かつ迅速に意思決定する選手の人間の育成に役立つ可能性を持っています。

これらの成果は、第56回全国大学ラグビーフットボール選手権大会に優勝した早稲田ラグビー蹴球部において科学的トレーニングをめざすS&C強化に実際に活用されました。

■今後の展開

本実験の成果を踏まえ、NTTは引き続き選手たちの取り組みを科学的に支援する技術の研究活用を進めます。データを測定する最新の装置や快適性の高いウェア、

測定データを解析するシステム、人の行動や心理を加味したコーチング方法など多岐わたるNTT技術を組み合わせることにより、総合的にヒトとしての選手の成長をサポートする世界をめざします。

◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門

プロデュース担当

TEL 03-6838-5650

E-mail takashi.sato.va@hco.ntt.co.jp

URL <https://www.ntt.co.jp/news2020/2003/200313a.html>

人と人のインタラクションによる行動変容をめざして

赤堀 渉

NTT サービスエボリューション研究所 ユニバーサルUXデザインプロジェクト

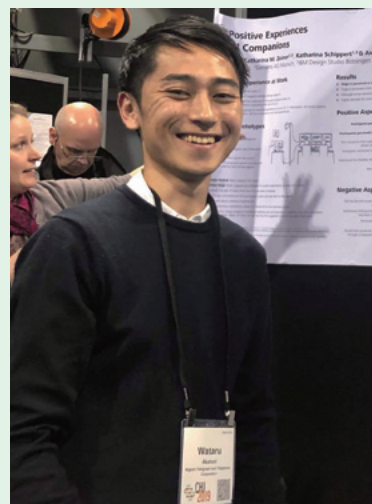
(2020年7月1日より、NTT サービスエボリューション研究所 イノベティブサービス研究プロジェクト所属)

私たちは、心理学、データサイエンス、デザインなどの知見を活用しながら、人の価値観や行動を理解し、人をより良い状態に変容させるための研究開発を進めています。その中でも私は、人と人のインタラクションをデザインすることで、自主的な行動変容を促進することをめざした研究開発に取り組んでいます。

本共同実験では、早稲田大学ラグビー蹴球部の協力を得ながら、参加者間の情報共有を通じて多様な視点が得られるという特性を持つ体験型講座（ワークショップ）をデザインし、その特性が選手の自主的な行動変容の促進、および体力的基盤強化に与える効果検証を実施しました。早稲田大学ラグビー蹴球部は、選手の自主性を重んじる風土が根付いており、選手の自主的な行動変容の促進、および体力的基盤強化で一定の成果を見出すことができました。さらに本成果は、選手自身が迅速かつ柔軟に意思決定するような人間の育成にも役立つ可能性があると考えています。

今後は、行動変容を促進するワークショップ等のインタラクションの場のデザインにおいて、情報通信技術を用いた支援の可能性を検討する予定です。インタラクションおよび行動変容は複雑な過程を含むため、デザインとその評価が難しい領域と言えます。そのため、私たちは、人をより良い状態に変容させるために本質的に重要な支援とは何かを解き明かすことをめざし、着実に研究を進めていきます。

研究者 紹介



大規模住民コホートデータを活用した国立大学法人東京大学との介護予防に資する共同研究の開始

NTTと東京大学医学部附属病院（東大病院）は、2020年4月1日から3年間にわたり東大病院22世紀医療センターに設置する社会連携講座「ロコモ予防学」において、東大病院の保持する大規模コホートデータとNTTのデータ分析技術を基に、ロコモティブシンドロームの予防のための影響因子の解明、および生活習慣病・認知症などの介護原因疾患との関係性の解明、介護につながる影響因子の特定、効果的な介護予防・介入方法の検討、およびその社会実装に向けた共同研究を開始しました。

■背景

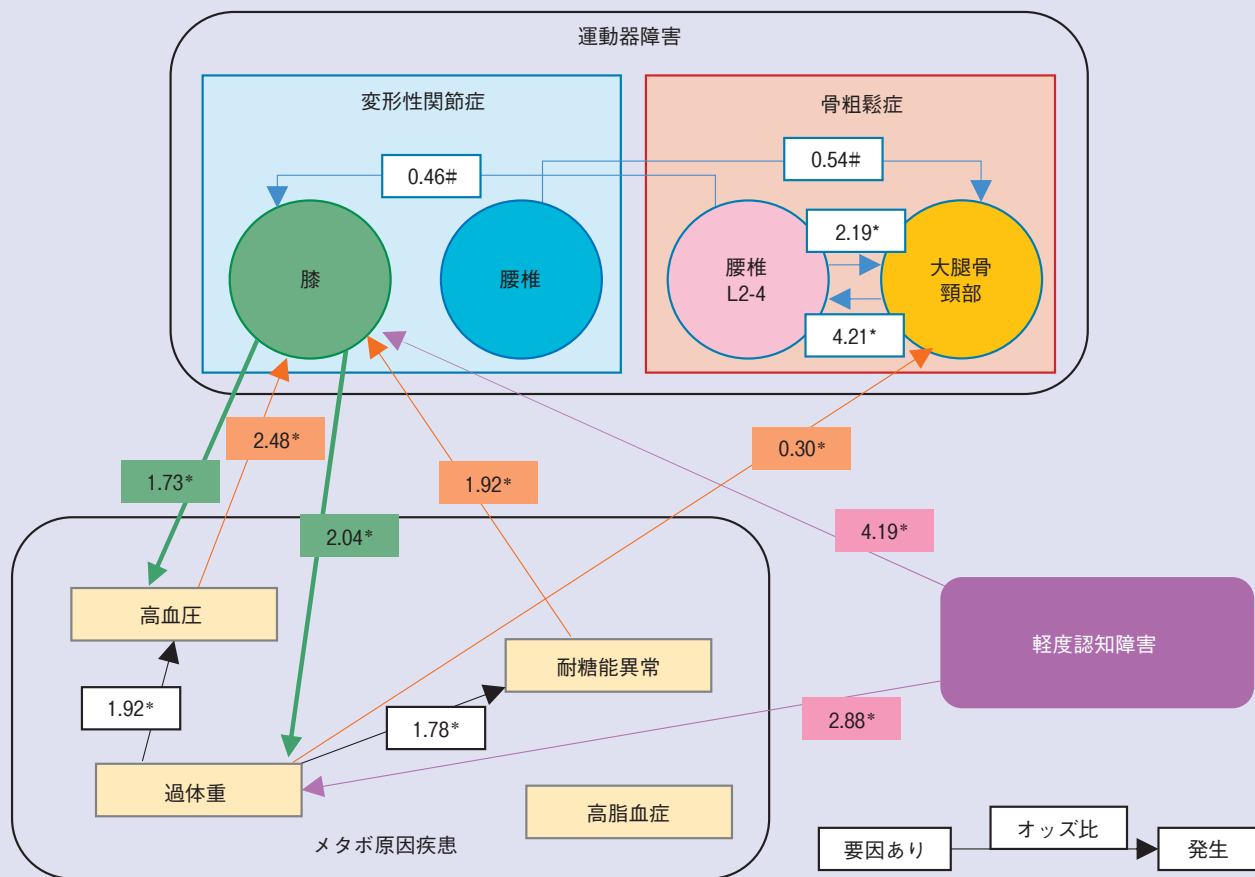
超高齢化社会に突入した日本において、社会保障制度の持続可能性を確保するための給付と負担の見直し等と併せて、「健康寿命の延伸」や「医療・介護サービスの生産性の向上」など、患者・高齢者、そしてサポートする方々に寄り添った対策が求められています。特に、介護を必要とする高齢者は年々増加しており、要介護者およびその家族のQOL向上は大きな社会課題となっています。これらの課題に対してさまざまな対処が検討・実施されていますが、介護に至る原因・過程はさまざまであり、画一的な対処によって介護を予防することは難しいと考えられています。このような背景から、東大病院では介護予防の方策を検討するため、2005年から運動器（骨、関節、筋肉など）をターゲットとした世界最大規模となる住民コホート研究ROAD（Research on Osteoarthritis/osteoporosis Against Disability）を開始しています。

本共同研究では、東大病院がこれまでROADプロジェクトで蓄積してきた一般住民の方々の各種検査データや生活習慣等の問診データと、NTTの情報解析技術をかけ合わせることによって、疾患の変遷や生活習慣から介護に至るリスク因子を明らかにし、個人に適した介護の予防法を提供することを目的とします。また、それらを個人にフィードバックし介入することで行動変容を促し、介護リスクの低下につなげ、高齢者がいつまでも自分の足で歩ける幸せな生活の実現に貢献したいと考えています。

■共同研究における役割

本共同研究の中心である東大病院所属の吉村典子特任教授は、高齢者が運動器疾患により要介護状態となる要因やリスクを把握するためには分野横断的に疫学データを収集することが重要であると考え、2005年より世界最大規模の住民コホート研究ROADを開始しています（図）。ROADプロジェクトでは、分析したコホートデータから得た知見を一般化して将来的に日本全体の介護リスク低減に寄与することを目的に、山間・漁村・都市という環境の異なる地域に在住している約4400名を対象に追跡調査を実施しています。このプロジェクトでは個人の運動・食事等の生活習慣項目はもとより、現病歴・既往歴・職業歴等の情報、並びに骨や関節のレントゲン画像、骨密度、MRIによる脳・脊椎画像、血液尿検査、認知機能検査等の検査データを収集しています。研究を通じて、これまでに要介護の発生率や、ロコモティブシンドローム（ロコモ）の頻度、変形性関節症・骨粗鬆症の発生率、およびこれらの疾患とMCI（軽度認知障害）やメタボリックシンドロームとの発生の相互関係について報告してきました。このような研究実績を活かし、東大病院は匿名化された大量の疫学データと疾病の状態・変遷に関する医学的知見を提供します。

NTTは、これまで健診データや診療データを用いて生活習慣病の発症リスクや重症化の予測を実現するなど、医療・健康分野におけるデータ分析技術を蓄積してきました。健診や診療においては定期的なデータ取得が困難な場合が存在し、分析を阻害する要因の1つとなっていました。そのような欠損のあるデータにおいても、高精度な分析・予測を実施可能な技術をNTTは保持しています。ROADプロジェクトにおいては、一度の検査で大量の情報を取得しますが、長年にわたり個人のデータを取得するコホート研究の性質上、途中でプロジェクトから離脱される方や検査を毎回受けることができずに間隔をあけて参加される方も一定数いらっしゃいます。本共同研究においては、プロジェクトで取得した匿名化された大量の個人の検査・生活習慣データの分析を実施することはもちろん、連続して検査を受診できなかった方々の貴重なデータもNTTの分析技術によって



: $p < 0.1$, * : $p < 0.05$

ロジスティック回帰分析にて、各要因の発生を目的要因とし、他の要因は説明要因として、年齢、性、居住地域、喫煙、飲酒を調整して解析した。

出典：Yoshimura N, et al: Mod Rheumatol, Vol. 27, No.1, pp. 1-7, 2017.

ROAD

図 住民コホートROADから得られた結果の一例：要介護原因疾患の相互関係

活用します。

このように、疫学データや医学的な知見を持つ東大病院とデータ分析技術を保有するNTTが共同研究を通じて、これまで知られていなかった疾患の関係性を解明するとともに、介護に至るリスク因子の特定、さらには介護予防・介入方法を確立し、日本全体の介護リスクの低

減に向けて貢献したいと考えています。

◆問い合わせ先

NTT広報室

TEL 03-5205-5550

URL <https://www.ntt.co.jp/news2020/2003/200325a.html>

要介護予防実現に向けた大規模コホートROADスタディ

吉村 典子

東京大学医学部附属病院 22世紀医療センター ロコモ予防学講座 特任教授

研究者 紹介

このたび、NTT様と共同研究「要介護予防実現に向けた大規模コホートデータの分析」を実施させていただくことになりました。私は和歌山医科大学を卒業し、内科で5年ほど勉強した後、予防医学の道を志しました。昔から高齢者が大好きでしたので、今、高齢者の幸せな老後の形成に貢献できる機会をいただいたことを大変幸甚に存じております。

私どもロコモ予防学講座では、要介護予防および高齢者のQOLの維持増進をすることを主たる目的として、2005年より3000人以上の地域住民が参加する大規模住民コホートROAD（Research on Osteoarthritis/osteoporosis Against Disability）スタディを開始し、すでに13年目の追跡調査を終了しています。私どものROADスタディは高齢者疾患につながる情報を高い参加率で追跡しているコホートであり、私どもの講座から発表された解析結果は高齢者疾患、特に運動器疾患やロコモティブシンドロームの予防のための基本資料として活用していただいております。しかしながら多くの参加者の長期追跡データを蓄積しているため、膨大なデータの海に溺れそうになっていました。今回、共同研究でNTT様にデータハンドリングをご指導いただくことになり、お互いに協力して最終目的である高齢者の幸せの実現に向けてWin-Winの研究成果が出せるように努力していきます。



高齢者がいきいきと暮らせる社会の実現に向けて

千葉 昭宏

NTT 物性科学基礎研究所 バイオメディカル情報科学研究センタ/スマートデータサイエンスセンタ

研究者 紹介

高齢化率の高い日本では、高齢者の健康維持・増進が重要な社会課題となっています。高齢になっても活動的であるためには、運動の習慣化や食習慣の改善など、早期の対策が必要ですが、若いうちから意識するのは難しいものです。それは、高齢になったときの健康上のリスクを自覚しづらいことが一因となっていると思われます。もし将来の要介護になるリスクが予測され、その要因を見つければ、日々の行動の見直しに役立つと思われます。

私たちは、ICTで医療の未来を創造することをミッションに、健康診断の結果や病院の電子カルテシステムの診療情報のような医療健康に関するデータの分析に取り組んできました。今回、東京大学医学部附属病院の医学的知識とNTTの分析ノウハウが融合した相乗効果によって、長期にわたって収集された膨大なデータから要介護予防のヒントが見つかることが期待されます。研究は開始されたばかりですが、ロコモティブシンドロームをはじめとした要介護に至るまでの状態の予測と要因の分析に取り組んでいます。

データの先には実在する人がいます。分析者は、そのことを忘れてはいけません。私たちは、これまでデータ収集の現場を体感し、医師との議論を重ねてきました。そして、人々の健康を守りたいと心から強く思うようになってきました。ゆりかごから墓場まで、ICTでその人の健康を見守っていく。そのような世界の実現に向けて、これからも研究を推進していきます。



Focus on the News

多様なセンシングデータをリアルタイムに統合し、さまざまな未来予測を可能とする「4Dデジタル基盤™」

NTTは、ヒト・モノ・コトのセンシングデータを、リアルタイムに高精度空間情報に精緻に統合し、多様な産業基盤とのデータの融合や未来予測を可能にする「4Dデジタル基盤™」の研究開発に着手しました。

4Dデジタル基盤は、NTTのIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想における「デジタルツインコンピューティング」を支える基盤として、NTT R&DおよびNTTグループ会社の技術・アセットを活用し、2021年度からの機能の順次実用化と、継続した研究開発による機能拡充をめざします。

■背景および目的

Society5.0等で提唱されるサイバー・フィジカル・システム時代では、多様なソースからデータを収集し、それらをデジタル空間上で統合・蓄積・分析することで、さまざまな社会問題の解決や、新たな価値創造ができると考えられています。NTTの「デジタルツインコンピューティング」構想においても、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交換・融合・複製・合成等することにより、大規模かつ高精度な未来の予測・試行や、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しています。

しかし、すでに統計化されたデータどうしの連携や、位置・時刻情報にズレがあるデータどうしのマッチングでは、未来予測の精度が高まらないケースがあります。社会実装に向けては、センシングデータをリアルタイムに収集し、その位置・時刻を高い精度で一致・統合させることが課題となると考えています。このような背景において、多様なセンシングデータの位置・時刻情報を精緻に統合し、未来予測に資する4D（緯度・経度・高さ・時刻）データを提供する、4Dデジタル基盤を構築します。

■4Dデジタル基盤とは

4Dデジタル基盤では、図に示すように、高精度で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、多様なセンシングデータをリアルタイムに統合し、高速に分析処理を行います。

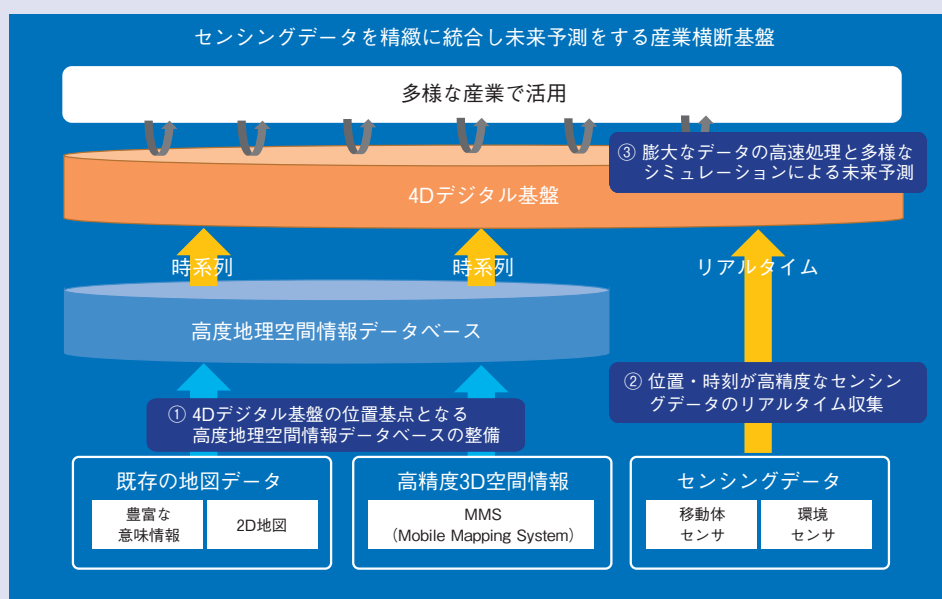


図 4Dデジタル基盤の概念図

- (1) 4D デジタル基盤の位置基点となる高度地理空間情報データベースの整備
 - ・地図事業のデータ・ノウハウを活かした、既存の地図データの位置のさらなる高精度化
 - ・インフラ管理事業でMMS (Mobile Mapping System) 等の活用による道路を中心とした高精度3D空間情報の整備
- (2) 位置・時刻が高精度なセンシングデータのリアルタイム収集
 - ・都市部での測位・時刻同期精度を高めるスマート・サテライト・セレクション[®]等の技術と、5G等の高速・低遅延通信による、精度の良いセンシングデータのリアルタイム収集
 - ・マッピング技術を用いた高度地理空間情報データベースへのセンシングデータの精緻な統合
- (3) 膨大なデータの高速処理と多様なシミュレーションによる未来予測
 - ・高速時空間データ管理技術による動的オブジェクトから大量に送信される情報の高速検索、および分析
 - ・AI技術による最適化シミュレーション・未来予測と行動変容

■4D デジタル基盤が提供する価値

4D デジタル基盤は、さまざまなセンシングデータの位置・時刻情報の整合性を確保しながら空間情報上に統

合し、各産業のICT基盤が持つデータと融合させることができます。これにより、移動体の正確な位置の把握や、さまざまな未来予測が可能となり、「道路交通の整流化」「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」といった、価値の実現が可能となると考えます。

■今後開始予定の取り組み

NTTでは、4D デジタル基盤の2021年度以降、順次機能の実用化をめざし、必要な技術の研究開発を推進するとともに、「高度地理空間情報データベース」の構築を、2020年度より高精度な地図整備ノウハウ活用してゼンリンと共同で開始します。

また、インフラの維持・管理基盤の整備をNTTインフラネットと、オフィスビル・街区マネジメントの実証実験をNTTアーバンソリューションズと、社会基盤としてのソリューション展開に向けた実証実験をNTTデータと、それぞれ2020年度より共同で実施します。

◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門

プロデュース担当

E-mail contact-nttrd-4ddpf-ml@hco.ntt.co.jp

URL <https://www.ntt.co.jp/news2020/2003/200326c.html>

実世界の精緻な把握・表現による社会課題解決・新たな価値創造をめざして

三輪 紀元

NTT 研究企画部門 プロデュース担当

近年、ICTのめざましい発展により、膨大なIoT (Internet of Things) データの収集や分析が可能となりつつあります。これに伴い、政府やさまざまな企業が、Society5.0等で提唱されるような、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムの実現をめざして、データ流通のプラットフォーム開発・運用に取り組んでいます。

しかし、サイバー・フィジカルの融合において、すでに統計化されているデータや、位置・時刻の情報にズレがあるIoTデータどうしを掛け合わせても、実世界の現象把握・そこからの未来予測の精度が高まらないケースがあるのではないかと考えたところが本構想の出発点でした。

4D デジタル基盤の“4D”は、緯度・経度・高度・時刻の4つの次元を意味しており、4次元の情報を可能な限り精緻に、リアルタイムに把握する基盤、という意を込めています。実世界の1コマ1コマを、ニーズに応じて正確にサイバー空間上に表現することで、社会課題の解決や新たな価値創造につながるようなデータの融合・未来予測を実現させることをめざしています。

本基盤および構成技術群と、さまざまなIoTデータを組み合わせることで、日本のみならず、グローバルで、コネクティッドカー・自動運転、スマートシティ、社会インフラ維持等、さまざまな領域で活用可能性があると考えています。

一方で、本構想は新たな社会基盤構築へのチャレンジでもあり、一朝一夕で実現できるものではありません。将来ビジョンを明確に描きながらも、重厚長大なプラットフォーム構築ではなく、スピード感を持って実現可能な技術・サービスから社会実装に着手し、暮らしを支える基盤へと、NTTグループおよびパートナーの皆様とともに育てていきたいと思っています。

担当者 紹介



光量子コンピュータチップ実現に向けた高性能量子光源の開発に成功

NTTは、国立大学法人東京大学と共同で、室温動作可能な将来の汎用光量子コンピュータチップに必須となる高性能な量子光源（スキーズド光源）を実現しました。スキーズド光とは量子ノイズが圧縮された光で、これを用いることで量子もつれをつくることができます。光量子コンピュータチップ実現には広い帯域と高い圧縮率を持った連続的なスキーズド光が必要とされています。

スキーズド光は非線形光学結晶に励起光を照射することで生成されます。従来手法の多くは、鏡を用いて結晶の中で光を往復させることで量子ノイズ圧縮率の高いスキーズド光を生成していました。しかし、その帯域は構造上の理由から高々ギガヘルツオーダに制限されていました。そこで、結晶中に光の通り道をつくり、励起光が1回通過する間にスキーズド光を生成する手法が広帯域なスキーズド光源として期待されています。この手法ではギガヘルツの1000倍にあたるテラヘルツオーダの帯域が期待できるものの、これまで連続的な光として報告されている量子ノイズ圧縮率は37%程度にとどまっていた。

今回、NTTで研究開発を進めてきた高性能な非線形光学結晶デバイスと東京大学の有する高度光制御・測定技術により、75%以上の量子ノイズ圧縮に成功し、本手法における世界最高値を更新しました。この値は、任意の量子計算を実行できる量子もつれ（2次元クラスター状態）の生成に必要な65%を超える値です。また、得られたスキーズド光はテラヘルツオーダの帯域を有することが確認できました。これは飛行する光量子ビットの間隔をおよそ300ミクロン程度に短縮し、NTTが光通信応用に開発してきたような光学チップ上での光量子計算を可能にします。さらに計算のクロック周波数を上げることができることから、高速な量子コンピュータの実現も期待されます。

本成果は、2020年3月30日（米国時間）に米国科学誌「APL Photonics」に「Featured Article」として掲載されました。また、AIP（米国物理学協会）のハイライト（Scilight）に選ばれました。なお、本研究の一部は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業チーム型研究（CREST）の支援を受けて行われました。

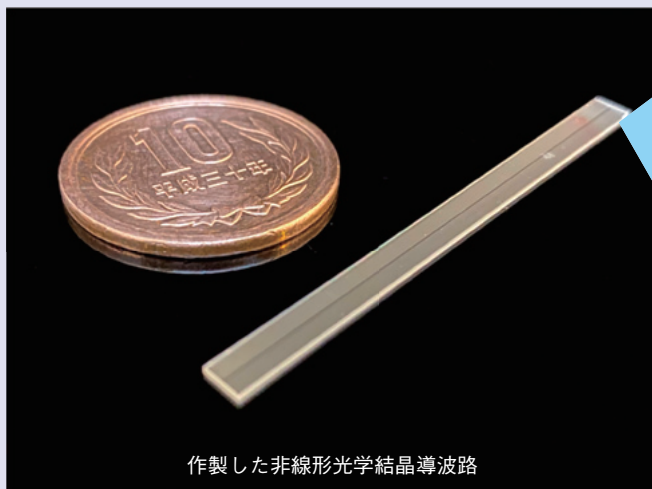
■研究の背景

量子コンピュータは従来のコンピュータでは解くことが難しい特定の問題を高速に解くことができることから、世界各国で開発が進められています。なかでも、大規模な汎用量子計算の実現に向けて、一方向量子計算という手法を利用する光量子コンピュータに期待が高まっています。この手法ではあらかじめあらゆる量子計算の重ね合わせとなる汎用的な量子もつれ状態（2次元クラスター状態）を用意しておき、量子ビットを順次測定していくことで残りの量子ビットを操作、任意の計算を実行する手法です。近年、飛行する光を量子ビットとし、光学的遅延線による時間領域多重方式を利用することで室温下において1万量子ビット以上の量子もつれ状態が実現されました。

この方式では量子性を有した光（スキーズド光）が用いられます。特に連続的に飛行し、かつ広帯域なスキーズド光は、時間軸上に短い間隔で情報を載せることを可能にし、量子もつれ状態の大規模化や情報処理の高速化および光学的遅延線の短縮（小型化）に有用となります。例えばテラヘルツオーダのスキーズド光は、約300ミクロンの光学長を有する量子ビットを定義可能にするので、時間領域多重に必要な光学的遅延線が光チップ内に集積可能な長さで済みます。また、テラヘルツオーダのクロック動作を可能にするので量子コンピュータ自身の処理速度も高速になります。

■研究の成果

将来の汎用光量子コンピュータチップの実現に必要なとなる、高性能な量子光源の開発に成功しました。光量子コンピュータの量子光源に求められる性能として、広帯域性と高いノイズ圧縮性の両方が必要となります。これまでの研究ではこの2つを同時に満足するものはありませんでした。今回、NTTがこれまで研究開発を行ってきた非線形光学デバイス（図）により、この2つの性能を兼ね備えた量子光源を実現しました。今回の結果である広帯域性により、飛行する光量子ビットの長さを300ミクロン以下に短縮でき、光チップ内での操作が可能になります。また、同時に光コンピュータ自身のクロック周波数を上げることが可能になるので、高速な量子計算



作製した非線形光学結晶導波路

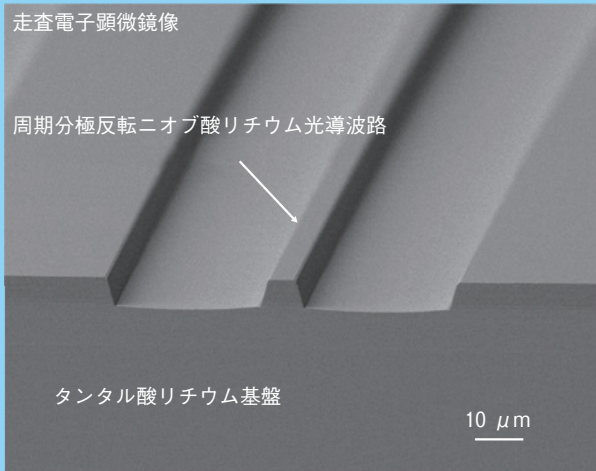


図 作製した非線形光学結晶による光導波路の写真

全光学式量子コンピュータ実現をめざして

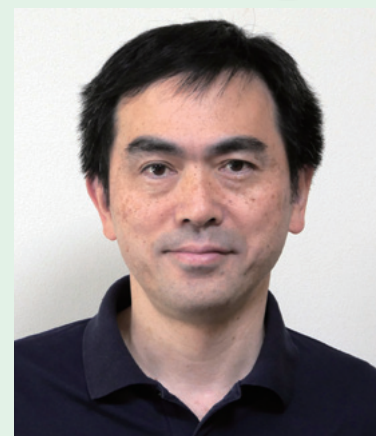
古澤 明

東京大学 大学院工学系研究科 物理工学専攻 教授

研究者
紹介

今回の成果は、私の夢である全光学式量子コンピュータ実現への記念すべき第一歩となっています。私はこれまで、光量子コンピュータのための量子もつれ光源として、光パラメトリック発振器を作製・使用してきました。光パラメトリック発振器から放出されるシグナル光とアイドラー光は、量子もつれの関係にあるからです。しかし、光パラメトリック発振器は非線形光学結晶を共振器内に置く構造であるため、動作帯域は共振器の帯域で制限されてしまいます。そのため、量子コンピュータを広帯域で動作させるための障害になっています。量子コンピュータは、ショアのアルゴリズムなど特定のアルゴリズムに関しては高速なアルゴリズムが知られていますが、一般的に使われているアルゴリズムが高速になるわけではありません。私は光の持つ広帯域性を利用し、普通のアルゴリズムでも高速に動作する量子コンピュータをつくるのが夢です。もう少し具体的に言うと、室温で動作し、クロック周波数10 THzでマルチコアのスーパー量子コンピュータを創るのが私の夢です。

今回の量子もつれ光源では、NTTの皆様がこれまで開発してこられた高性能導波路光パラメトリック増幅器を使わせていただきました。光パラメトリック増幅器であるため共振器がなく、それによる帯域制限もなくなり、2 THz程度の量子もつれ光を生成することができました。夢の実現に大きく近づいたと思います。



が期待されます。さらに今回達成したノイズ圧縮率は、大規模な量子もつれ状態の生成に十分な圧縮率であり、今後の光量子コンピュータ研究開発を大きく加速するものです。

■今後の展開

今回実現したのは光量子コンピュータの光源部分にあたります。今後、この広帯域なスクィーズド光を活用して、これまで以上の大規模量子もつれ状態の生成および汎用量子コンピュータ実現に向けた各種光量子操作を実証します。また、現状これらの実験は光学定盤上でミラー、レンズなどの多数の光学部品とともに実験されており、非常に大きいシステムとなっています。今後はNTTで培ってきた光集積デバイス技術を駆使し、小型の光チップ上で光量子コンピュータを実現するための技術開発を行っていきます。

◆問い合わせ先

NTT 先端技術総合研究所

広報担当

TEL 046-240-5157

E-mail science_coretech-pr-ml@hco.ntt.co.jp

URL <https://www.ntt.co.jp/news2020/2003/200330b.html>

社会に還元される光量子技術をめざして

柏崎 貴大

NTT 先端集積デバイス研究所 機能材料研究部 異種材料融合デバイス研究グループ 研究員

入社以来、私は長距離通信やコヒーレントイジングマシンに向けた非線形光学デバイスの研究に携わってきました。非線形光学とは光と物質や、物質を介した光どうしの相互作用に着目し、多彩な現象を扱う分野です。空気中では干渉しないような波長の異なる光どうしが相互作用を引き起こすので、光で光を制御することも可能です。

粒子的に見ると非線形光学デバイスは2つの光子を1つにしたり、1つの光子を2つに分けたりします。これを利用することで一般的なレーザー光とは異なった非古典的な光を生成可能です。今回のスクィーズド光も非古典光です。20世紀半ばのレーザーの実現以降このような非古典光の生成は数多く実証されてきましたが、光源として商用化された例は多くありません。私は入社当時からこの研究に取り組みたいと考えていたのですが、当時のデバイスレベルおよび私の知識・経験は未熟なものでした。そこから約5年あらゆる作製工程を見直し、改良を行ってきました。このようなときに光量子分野の最前線でご活躍される古澤教授と共同研究させていただけたこともあり今回の成果につながりました。

世の中には光量子技術がまだ浸透していないように思えます。これは手軽に扱える量子光源がないからだと考えています。かつてレーザーの実現によりさまざまな光産業・研究分野が発展してきたように、社会に還元される光量子技術の発展に向け、高性能で使いやすい量子光源の研究開発に挑んでいきたいです。

研究者 紹介



Focus on the News

全国の授業動画やプリント教材を集め、無償で学習できる取り組みを実施

NTTコミュニケーションズ（NTT Com）は、クラウド型教育プラットフォーム「まなびポケット」上で全国の自治体や学校からご提供いただいた授業動画やプリント教材など（学習コンテンツ）を、教職員が活用することで、児童・生徒が自宅などから無償で学習可能にする「One School プロジェクト」を2020年5月7日から開始しました。

新型コロナウイルス感染拡大防止を目的とした休校措置への対応として、学習コンテンツを提供いただけてご協力者を募集するとともに、「まなびポケット」上でその学習コンテンツを活用できるようにすることで、児童・生徒の「まなびをとめない」環境づくりに貢献します。

■背景、目的

新型コロナウイルス感染拡大防止に向けて、全国の自治体において小中学校の休校措置が継続されています。NTT Comは、休校中の児童・生徒や教職員を支援する「まなびをとめない」施策として、クラウド型教育プラットフォーム「まなびポケット」および提携コンテンツを無償で提供しています（2020年4月末時点で約30万IDのお申込み）。

休校措置を受けて全国の学校は現在、各々が試行錯誤しながら、オンライン授業や児童・生徒の心のケアなどを実施しており、その実現のためPC・タブレット配備や教育クラウドサービス活用などの自宅学習の環境づくり、独自学習コンテンツの準備・提供などに取り組まれています。

NTT Comは、全国の教育委員会や学校関係者、教育関連企業などが独自に作成・蓄積している学習コンテンツを、より多くの児童・生徒が利用可能な仕組みをつくることで、休校措置中のさらなる学習機会の提供および将来的な教育のデジタル化実現に向けて取り組みます。

■実施概要

全国の小中学校の教職員が撮影した授業動画や自作プリント教材などを募り、「まなびポケット」にて収集、無償で公開します（図）。



図 学習コンテンツのイメージ

■学習コンテンツのご利用について

(1) 学習コンテンツのご利用方法

NTT Comが提供するクラウド型教育プラットフォーム「まなびポケット」上で、ご利用いただけます。

(2) 「まなびポケット」のお申し込み方法

support-ed-cl@ntt.com までお問い合わせください。「まなびポケット」は学校単位でのお申し込みとなります。一般のご家庭などからは直接お申込みいただけませんのでご注意ください。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーションズ

経営企画部 広報室

TEL 03-6700-4010

E-mail pr-cp@ntt.com

URL https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2020/0507_2.html

AIを搭載した画像診断支援ソリューションがCOVID-19の診断支援に貢献

NTTデータと、NTTデータのインドにおけるパートナー会社であるDeepTekは、インドの病院Ruby Hall Clinicで、AIを搭載した画像診断支援ソリューションをCOVID-19診断の支援に活用する活動を開始しました。

本ソリューションは、患者の医療画像をAI技術で解析し医師の診断を支援するとともに、優先順位決めなどの管理業務を効率化するものです。今回、既存技術を拡張し、同様の診断プロセスでCOVID-19の診断支援を可能としました。NTTデータとDeepTekは、医療現場でのPoCを通じて、COVID-19の診断支援に貢献していきます。

■背景

X線やCT画像などの医療画像を用いた診断は、それを行う放射線科医が世界的に不足していることを背景にAIによる診断支援の研究開発や実証実験などの取り組みが進んでおり、NTTデータは、これまでに世界各地の病院で実証実験を行ってきました。

一方、世界的にCOVID-19が問題化する中で、検査の補助的な手段としてX線やCT画像による肺炎の診断が利用されています。今回、インドの病院で開始したPoCでは、NTTデータの技術をベースに、この画像診断の支援における有用性を検証します。

■医療画像解析について

既存の画像診断技術で使用している肺のさまざまな疾患を検知するアルゴリズムをベースに、実際のCOVID-19患者の医療画像を用いて、AI画像診断アルゴリズムを開発しました。これにより診断対象の医療画像において、健康な状態と比較した際に異常の可能性がある箇所を画像上とテキストで示すことで、放射線科医が行うX線やCT画像を用いた診断業務を効率化し、医師の診断を支援します。具体的には、X線やCT画像上にAIが識別した箇所を黄色や白で強調表示し、識別した内容を解説したテキストを別途出力します。これに加えて、患者リストにおけるアラートなど医師の診断業務にまつわるワークフロー全体をサポートすることで、COVID-19罹患（りかん）状況に関する医師の判断を統合的に支援することが見込まれます。

■今後について

今後NTTデータとDeepTekは、本サービスをインド、およびAPAC各国で提供開始し、日本への展開も検討しています。本サービスを通じて、各国の医療機関における医療体制の強化、医師の負担軽減、病院の診断プロセス改善を提案していきます。また、学習用データ（医療画像）を増強しAIの判断精度を高めるにあたり、より多くの医療機関と協力体制を構築できるよう、コンソーシアムや共用プラットフォームなど大規模活用を想定したインフラ化の検討を行います。

◆問い合わせ先

NTTデータ

広報部

TEL 03-5546-8051

URL <https://www.nttdata.com/jp/ja/news/release/2020/052501/>