

NTT

技術ジャーナル

超高臨場感通信技術Kirari!

image segmentation
Linear blending
infrared light
Diminished Reality
Virtual Reality/
Augmented Reality
Video Processing & Display Technologies
User Datagram Protocol
Depth Perception
Proof of Concept
MPEG Media Transport
media
Deep Learning
Smooth motion parallax
Autostereoscopic 3D
machine learning
ultra-realistic
communication
3D Screens
Sports Viewing

■トップインタビュー

澤田 純 NTT代表取締役社長

■from NTT西日本

IoT事業拡大のためのLoRaWAN™の事業化

10 2018
Vol.30 No.10

トップインタビュー



澤田 純 NTT代表取締役社長

つなぐ (connect), 信頼 (trust), 誠実 (integrity) で,
共通価値基盤を盤石にする 6

特集

超高臨場感通信技術Kirari! 10



超高臨場感通信技術Kirari! Beyond 2020 12

機械学習を用いた任意背景リアルタイム被写体抽出技術 16

競技空間を取り囲んで観戦する “Kirari! for Arena” 21

360度テーブルトップ型裸眼3D映像表示技術 25



「VR&ARを活用したスタジアム観戦」における
競技フィールド再構成のための映像処理・提示技術 30

主役登場 柿沼 弘員 (NTTサービスエボリューション研究所) 35

NTT技術ジャーナル

from ★ NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル

AIタクシー

—交通運行の最適化をめざしたタクシーの乗車需要予測技術— … 36

from ◆ NTT西日本

IoT事業拡大のためのLoRaWAN™の事業化 …………… 44

グローバルスタンダード最前線

■TTC技術調査アドバイザリーグループにおける
フォーラム調査活動 …………… 48

テクニカルソリューション

■アクセス系設備の生物被害対策
——忌避テープの展開 …………… 52

Focus on the News …………… 55

NEWS …………… 58

特許紹介 …………… 59

イベント …………… 65

読者の声 …………… 66

11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	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内 NTT技術誌事務局	一般社団法人電気通信協会 ブックセンター
TEL (03) 3288-0608	TEL (03) 3288-0611
FAX (03) 3288-0615	FAX (03) 3288-0615
E-mail jimukyoku2008@tta.or.jp	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 2018

●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。

■表紙デザイン：高橋デザインルーム

トップインタビュー

澤田 純 NTT代表取締役社長



◆PROFILE：1978年日本電信電話公社に入社。線路などの設備業務を担当した後、1998年NTTアメリカ副社長、2000年よりNTTコミュニケーションズにて経営企画部担当部長、コンシューマ&オフィス事業部企画部長、関西支店長を経て、2008年取締役経営企画部長、2014年NTT代表取締役副社長、2016年NTTセキュリティ代表取締役社長を兼務、2018年6月より現職。

つなぐ (connect),
信頼 (trust), 誠実
(integrity) で、共通
価値基盤を盤石にする

今年「ブランドファイナンス Global 500」において20位にランクインしたNTT。世界的企業ブランドを築き上げ、不動の地位を獲得しました。「国内外の市場で確たる成長を遂げるにはさらなる変革が必要だ」と語る澤田純NTT代表取締役社長に所信と経営指針について伺いました。

お客さまを支え、パートナー企業と連携、
自らの変革に努めることが基本

◆社長就任おめでとうございます。就任以降どのような気持ちで職務を遂行されていますか。

ありがとうございます。新しい任務への対応で落ち着きませんが、変わらず誠実を基本姿勢として、説明や議論をしに来てくださる方にも失礼にならないよう務めています。また、活動は常に能動的に動くことを心掛けており、就任が決定した直後からグループ主要会社の社長との月例会議（社長会）を設定し、意思疎通を円滑にする仕組みづくりを始めています。

◆それではこれからの経営指針や所信をお聞かせいただけますでしょうか。

まず、事業は鵜浦前社長がさまざまな改革に挑んできたこともあり、2017年度も過去最高収益、最高利益を上げることができました。全体的には非常に好調な状況にあります。ただ、環境の変化が速いので、さらに上向きにするには自らをさらに変革（デジタルトランスフォーメーション）して、市場の変化に対応し競争にも打ち勝っていくチャレンジが非常に重要だと考えています。中でもグローバル化は重要なキーワードです。チャレンジするなら成長過程にあるグローバル市場も見込んでいきたい。すでにこの市場では全体比2割に近い収益を上げていますが、まだまだ広げていきたいのです。一方で、国

内市場も変革のときを迎えています。固定電話の契約数が年々減少し、携帯電話の契約数が伸びている時代ですから、2024年に計画されている固定電話のIP網への切り替え、PSTNマイグレーションを意識しながら、国内のメインとなるサービスをどう定めていくのかを見据え、自らの変革を進めていかなくてはなりません。

経営の基本は企業価値を上げることにありますから、利益を上げていくことに努めなくてはなりません。基本理念はお客さまの変革を支援し、パートナー企業としっかりと連携し、自らも変革に努めることです。企業の社会貢献をCSRと言いますが、CSRそのものが私たちの本業です。つまり、私たちの企業活動そのものが社会貢献につながると考えます。ところで、誠実な姿勢で社会貢献をしながら、自らも変革していくことは一見矛盾しているようにみえますが、事業の根幹に「つなぐ (connect)」「信頼 (trust)」「誠実 (integrity)」の3つの理念を置き、これに基づく共通価値基盤を盤石にすれば30万人の社員は一体感のある、両者バランスの良い企業活動を展開できると考えています。

◆**バランスの良い企業活動を支えるためには何が大切だと考えていらっしゃる吗。**

企業活動において重要なのは「人」です。NTTには国内に約18万人、世界各国に国籍や文化の違う社員が約12万人在籍しています。バックグラウンドの違う30万人を同じ方向に向かせるのは難しいことです。しかし、社内のダイバーシティを認めながら仕事をする中で、ビジネス、そして社会貢献につなげることができると思います。そこで、30万人のコミュニケーションを円滑に運ぶための仕組みが必要だと考え、これまでは会社単位で展開していたコミュニケーションの構造を変革しました。手始めに社長就任時に全世界に向けてビデオレターを英語で配信しました。大手町の本社ビルを背景に挨拶したところ、「これが本社なんだ!」「紙面よりも現実味がある!」と世界各国の社員から声が寄せられました。日本語は紙面で配信しましたが、国内向けにもビデオレターで配信してほしかったという声も上がりました。このように新たなコミュニケーション方法は前向きな反応を得ることができました。

これからもイベント、節目ごとにNTTグループ全体の状況を把握してもらうために、ビデオレターを全社員に向けて配信していきます。そして、海外事業会社のエグゼクティブと相互にコミュニケーションを図るため、対面でディスカッションする場を設けました。さらに、グループ各社の社長には社員との対話会等、さまざまな方々との交流を通じて意思疎通を図る機会を得るように促し、情報や意思が各社幹部に加え、社員にも十分に行き届くようなコミュニケーション基盤を整えていきます。

さらに、これまで持株会社が策定してきた中期経営計画に、主要会社のトップにも参画してもらい各社の計画も反映していきます。今回はNTT東日本、NTT西日本、NTTコミュニケーションズ、NTTドコモ、NTTデータ、NTT都市開発が参画して中期経営計画を策定する予定です。一方、主要会社のグループ社長会は年に2回開催していますが、グローバル全体の社長会はこれまで開催



していませんでした。今後は、ICTを駆使してグローバル全体の社長会を展開し、時にはお互いに顔を合わせられる仕組みも考えていきたいです。電話やビデオを使つての会議も有意義ですが、本社のある日本で主要グローバル会社のトップが顔を合わせてミーティングをすることにはまた違う意義を感じています。

権限委譲と基本理念の共有を8対2のバランスで。世界基準の評価を導入する

◆**30万人企業の経営陣を束ねることは並大抵なことではないと感じます。**

そのとおりです。簡単なことではありません。2年前にグループ5社、15カ国から1500人を集めて組織化し、NTTセキュリティという会社を立ち上げました。このときに実感したのは、本社からの命を受けて全員が同じ方向を向くことは不可能だということです。そこで、方針決定の8割を各地域に任せ、2割を本社の意向により方針決定することにしました。この割合に落ち着くまでには試行錯誤の繰り返しでしたが、最終的には実際に動いている各地域の現場の実情に即した8割の部分を尊重し、任せることにしました。理念やシステムの決定などの大枠は本社の意向に基づいて決めていきますが、それ以外は権限委譲をしなくてははいけません。日本はそれが下手ですよね。任せているようで任せきれない。任せたといいながらいちいち報告を求めれば任せたことにはなりません。評価の基準を明文化のうえ共有して、任せたことを評価するのが世界のすう勢です。

評価が良くないときは、場合によってはその責任者にポストや会社を辞めていただく、良ければボーナスを出すというのが、世界基準の評価による結果の反映ですが、日本では、これまで包括的、相対的な評価であり、その結果として辞めさせるようなことはありません。こうした状況を世界の基準に合わせていきたい。すでに海外の会社では実践していますから、今後、ポストや会社を辞するといった極端な話はともかく、こういった権限委譲の考え方や仕組みを徐々に日本の会社にも導入していきたいと考えています。しかし、文化の変革は一朝一夕にはいきません。鵜浦前社長も最高益を上げ、株価を上げ、株主を大切にしながら経営に舵切りするのに5、6年の歳月を費やしています。何か1つの大きな変革を起こそうと

思ったら同じくらいの年月は必要になるでしょう。2024年に予定しているPSTNマイグレーションが国内事業変革の大きなチャンスになると考えています。

また、社員1人ひとりが能動的に動けるようにもしたいです。過去の経験ですが、営業を担当していたときも、通信ケーブルや端末に関する保全部門である線路宅内課を担当していたときも、データを分析し、「見える化」をして部下に提示しました。営業のときは受注数などを1人当りに換算して時系列に並べるのです。すると傾向や要因を社員自身が理解して、自発的に戦略を立てて仕事に臨んでくれるようになりました。これにより2年半で売上が2倍になりました。保全のときはちょうどメンテナンスコストデータが出たときでした。全国平均等を割り出してみると、技術力があると自負していても、実際の成績（コスト）は下位であることが分かりました。そこで、その結果を、そんなことはないと思っている職人気質の社員に見せたところ、これではまずいと奮起し、仕事を自発的に求め、実績が3倍になったのです。業績の改善に対して、支社からは「いったい何をしたんだ？」と言われましたね。

こうした経験からいえることは、実績の見える化、自覚の重要性です。NTTの社員は皆優秀で誠実な方が多いので、現状に問題があれば「やらなくちゃ！」と自発的に動いて、計画的に仕事をしてくれるのです。裏を返せば私にできることは、見える化により自覚を促すことくらいかもしれません。ただ、これは信頼のおける関係性が築かれていなければ効果がないと思っています。単にあおっているだけだと聞き流されてしまいます。社員が働きやすい環境の整備を進めていくことが幹部の課題だと思っています。大きな組織では仕方のないことではありますが、現場の問題を上位組織へエスカレーションしていく過程において途中で中庸化してしまい、本質が見えなくなることがあります。これを解消するために権限委譲をしたいですし、現場には結果をコミットしてほしいと考えています。こういう仕事の進め方が健全ではないでしょうか。

人を幸せにする仕事をしよう

◆人と並んで改革を促す柱として技術をキーワードにされています。どのような思いや構想があたりでしょうか。



すべてにおいて、技術が世の中を変えていくきっかけになると私は理解しています。技術と人、社会の関係はイノベーションとマーケットとも言い換えることができるでしょう。この2つは両輪ですが、やはりイノベーションが先行しないと変革は起きません。そういう意味では研究所の存在に大きな期待を寄せています。

最近では、技術・イノベーションの分野が広がってきており、マーケティング技術も広がってきています。両者の間の垣根もなくなりつつあり、こういった流れの中でインキュベーションが行われ、新しいものが生み出されてきています。情報通信はツールであり、それによって人や社会に価値を提供することが大切なのです。医療、健康、交通等すべての分野において私たちの提供するツールを使っていただき、各分野で活躍するパートナーにとってなくてはならない技術を開発していかなければならないと思っています。

こうした活動を支えていくのがR&Dです。一言でR&Dといっても、R（研究）がなければD（開発）はできません。技術トレンドを洞察し、RとDそれぞれの成長を意識したR&D戦略を策定・展開して、RとDどちらも世界一にしたいと思っています。研究企画部門とディスカッションを進め、NTT R&Dフォーラムで方向を発表していく考えです。

◆NTTのR&Dにおける急務と考える分野はどのようなものが想定されますか。

例えばロボットですが、本当に役に立つロボットが欲しいと思っています。姿はカメラであろうが机であろうが何でも良く、人間を幸せにしてくれる要素があるロボットがいいです。人が喜ぶものを提供する仕事はやりがいがありますね。

その他に、AI（人工知能）、ゲノム、高度な自動運転車、ドローンの運行管理、フレキシブルなIoT（Internet of Things）のセンシング、ブレンマシーンインタフェース、マイクロロボット…いっぱいあります。それぞれに思いがありすぎて言葉がまとまりません。

あえて1つ申し上げるなら、私がコグニティブ・ファンデーションと表現しているソフトウェア基盤です。これはさまざまなものをつなぎ、処理し、蓄積するための存在です。一般的な言葉で説明すると処理をするのがクラウド、蓄積するのがストレージ、これらの連携、つまりつなぐ部分はネットワークです。世の中、さまざまなモノをつないでビッグデータを解析しています。実はこのネットワークの部分、連携の部分はソフトウェアで実現するのですが、現在は確固たるソフトウェア基盤がないのです。第5世代移動通信システム（5G）でつなぐことはできますが、それは公衆網という一部でしかないのです。一般的に言えば、その外側にLANがあり、工場などのシステムがあります。これらをエンド・ツー・エンドでつなげなければ意味がなく、星の王子様というところの「うわばみ」のような存在になってしまう（本当のこと、本質が置き去りにされる）のです。

例えば、自動運転車も会社ごと方式をつくったとしたらその間をどうつないでいくかが課題となります。コグニティブとは認知という意味ですが、異質、違う存在

であっても認知してつなぐことができるかということなのです。これはソフトウェアでなければできません。言い換えればマルチオーケストレーションが可能な存在が欲しいと思っています。

話は変わりますが、電力を直流化し、NTTの電話局を蓄電所にして電気自動車の充電や、周囲の企業にも電力を供給する事業は面白いと思います。バッテリー、太陽光発電これらはすべて直流であり、電気自動車等のモータも直流で動作するものが多いことから、世の中の機器が直流化されると効率が良くなります。また、自然エネルギーを利用しやすくなりますので、温暖化対策への貢献もできていると考えています。こうした取り組みはまだ世界的に展開されていませんから、日本がイニシアチブをとることができますし、人や社会の役に立つものになっていくのではないのでしょうか。

◆新しく日本が台頭する機会が誕生するのですね。社長になられて、改めて感じていることはありますか。

周囲からのさまざまな要望におこたえする、問題があればそれを取り除くのが私の仕事です。NTTは規模も世界的影響も大きいですから、私の知識や経験はそのポストに追いついているか、十分であるかを常に自問自答し、自分を鍛え続けていこうと思っています。そのうえで、さまざまなシーンにおいて、決断はなるべく早く、明確に伝えることに努めています。難しい話なら検討するか否かを伝える、やる、やらないをお互いに分かった時点ではっきりとさせたいです。また、途中でさらに良いアイデアを誰かが発したなら、躊躇せずに取り入れていきたい、一度言ったことにこだわらず、正しい



と思ったことに変えていきたいと思っています。こうした姿勢が結果的に誠実につながるのではないのでしょうか。

◆最後に社員の皆様に一言お願いします。

現在は非常に良い事業状況にあると感じています。しかし、技術革新や世の中の流れは思った以上に速く展開しています。この流れに対応するために自らのポジションで自らの変革に明るく臨んでください。現実には、どんなに用意をしてもアドリブの連続。そういうものだと思います。また、大変なことがあってもあまり苦にならないものです。また、何事も楽しいほうが良いですよ。楽しいと元気になる、良い循環が生まれます。楽しい社会をつくるためにともに歩みましょう。

(インタビュー：外川智恵／撮影：大野真也)

インタビューを終えて

澤田社長にはNTTコミュニケーションズ 経営企画部長時代に、トップインタビューに登場していただいております。今回のインタビューでは、6年前と変わらない笑顔で迎えてくださいました。当時、どんなに大変なことがあっても寝たら忘れてしまうとおっしゃっていた澤田社長。「責任の重さでしょうか。最近では肩が凝って首が回らないときがあるのですが、忘れっぽいのでそれすらも忘れちゃうんですよ」と、聞き手に負担をかけない心配りをさりげなく織り交ぜながらお話しくださいました。

分刻みのスケジュールであっても、出勤ルートを変えてリフレッシュ、NTTグループのスポーツ観戦や応援、歴史探訪は時間の許す限り、続けていらっしゃるとか、長らく行きたかった元伊勢、天橋立にある籠（この）神社を訪ねることができたとおっしゃるので、神社の趣の話に広がるかと思いきや、「ゲノムの分野では、ミトコンドリアDNAの解析からコアDNAの解析ができるようになった。すると日本人のルーツについて定説を覆すようなことが明らかになってきた」と、興味の対象をさらに広げ、深く掘り下げていらっしゃいました。

あくまでも自然体で日々を味わい、努力を怠らない澤田社長の周囲を笑顔にする暖かさに触れることのできたひと時でした。



超高臨場感通信技術

高臨場

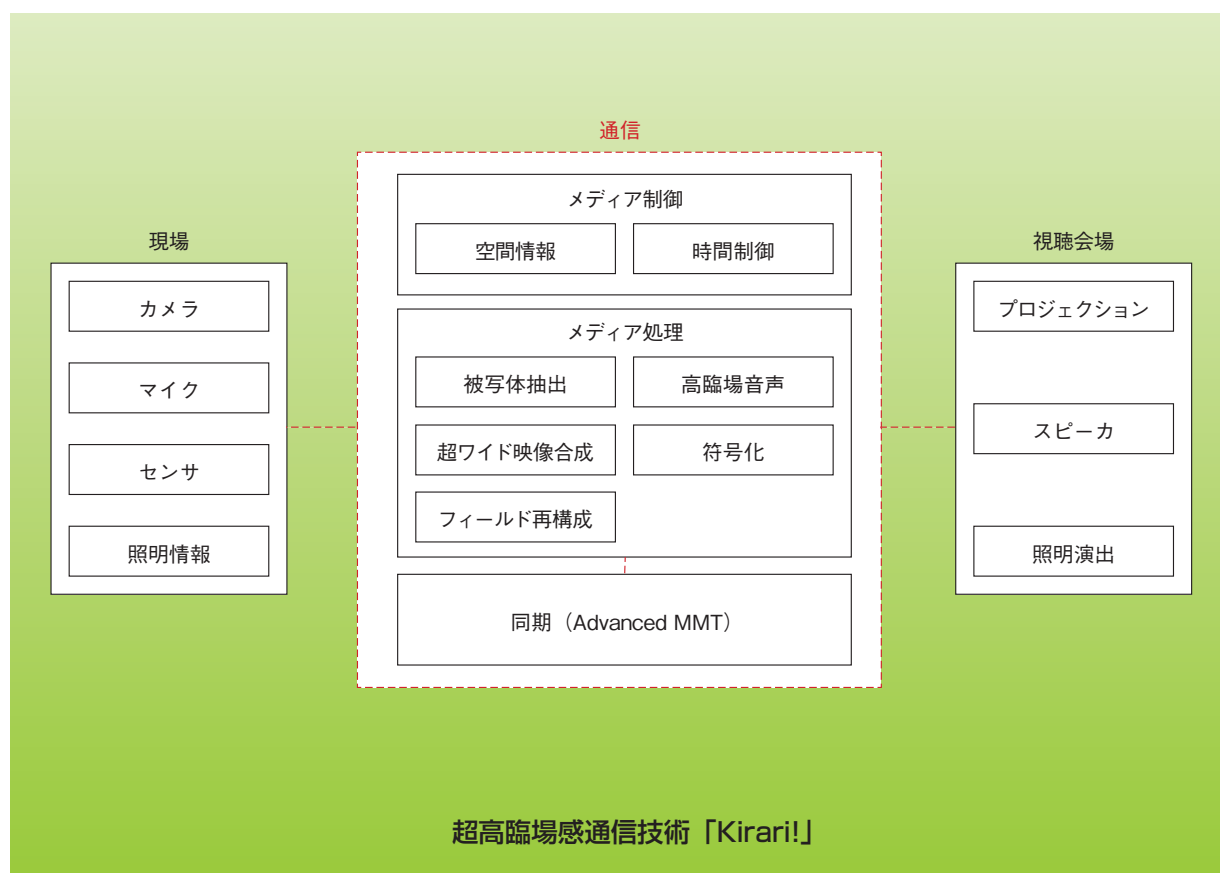
機械学習

空中像

光リニアレンディング

VR/AR

本特集ではNTT R&Dが掲げる「新たな感動を生む高臨場UXサービスの創出」のめざす方向性とサービスイメージ、そのサービスを実現するために、NTT研究所で取り組んでいる超高臨場感通信技術Kirari!について紹介する。



Kirari!

■ 超高臨場感通信技術Kirari! Beyond 2020

12

Kirari!の技術概要およびライブビューイングや今までにないような驚きの演出による公演等に加え、Beyond 2020の方向性について紹介する。

■ 機械学習を用いた任意背景リアルタイム被写体抽出技術

16

擬似3D映像などを用いて選手の存在感までも遠隔地に提示する際に必須となる被写体抽出技術において、任意背景からリアルタイムに被写体を抽出するシステムを紹介する。

■ 競技空間を取り囲んで観戦する“Kirari! for Arena”

21

簡易な構成で実現可能な、視覚的効果を活用した2D空中像による映像提示、および全周囲から取り囲んで観戦できる表示システムの概要を紹介する。

■ 360度テーブルトップ型裸眼3D映像表示技術

25

3D映像をテーブル上に浮かび上がらせる360度テーブルトップ型裸眼3D映像表示技術の基本となる視覚的な知覚メカニズムとプロジェクタ配置の光学構成を中心に紹介する。

■ 「VR&ARを活用したスタジアム観戦」における競技フィールド再構成のための映像処理・提示技術

30

VR (Virtual Reality) とAR (Augmented Reality) で共通的に利用できる映像コンテンツを作成する映像処理技術や、目の前に実物感のある映像を表示するための映像表示技術を紹介する。

■ 主役登場

柿沼 弘員 (NTTサービスエボリューション研究所)
Kirari!における被写体抽出技術の今とこれから

35

超高臨場感通信技術Kirari! Beyond 2020

NTTグループでは、超高臨場感通信技術Kirari!の研究開発を通じて、「空間の壁を超える」価値創造に貢献していきます。高音質、高画質という進化の枠を超え、あたかも目の前に人がいるかのような超高臨場感をめざします。本稿では、Kirari!の技術概要およびライブビューイングや今までにないような驚きの演出による公演等に加え、Beyond 2020の方向性について紹介します。

あ く つ あきひと†1 みなみ けんいち†2

阿久津 明人 /南 憲一

ひ だ か こう た†2

日高 浩太

NTTサービスエボリューション研究所 所長†1
NTTサービスエボリューション研究所†2

Kirari!

平成28年1月22日に閣議決定された第5期科学技術基本計画⁽¹⁾では、新たな概念「Society 5.0」が掲げられています。狩猟社会（1.0）、農耕社会（2.0）、工業社会（3.0）、情報社会（4.0）に続く、人類史上5番目の社会Society 5.0⁽²⁾（図1）は、科学技術イノベーション総合戦略（平成28年5月24日閣議決定）⁽³⁾において、次のように定義されています。

- ・サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させることにより、
- ・地域、年齢、性別、言語等による格差なく、多様なニーズ、潜在的なニーズにきめ細かに対応したモノやサービスを提供することで経済的發展と社会的課題の解決を両立し、
- ・人々が快適で活力に満ちた質の高い生活を送ることのできる、人間中心の社会

これまでも情報通信技術（ICT）の進展に伴い、離れた場所の人との音声・映像コミュニケーションが実現され、より高音質、高画質の通信へと遷移してきました。また、各種センサの技術進歩により、人がいるフィジカル

空間そのものをセンシングできるようになってきました。センシング情報をサイバー空間でメディア処理して伝送し、“あたかも目の前に人がいるかのように”別のフィジカル空間に再現させることが、Society 5.0では一般的になるかもしれません（図2）。この

再現を高臨場感と呼ぶこととすれば、NTTグループが進めるKirari!とは、通信によるメディア伝送の先をいくテクノロジーで、高音質、高画質という進化の枠を超えた超高臨場感を実現するものです。

Kirari!によって、離れた場所の人



図1 Society 5.0のイメージ

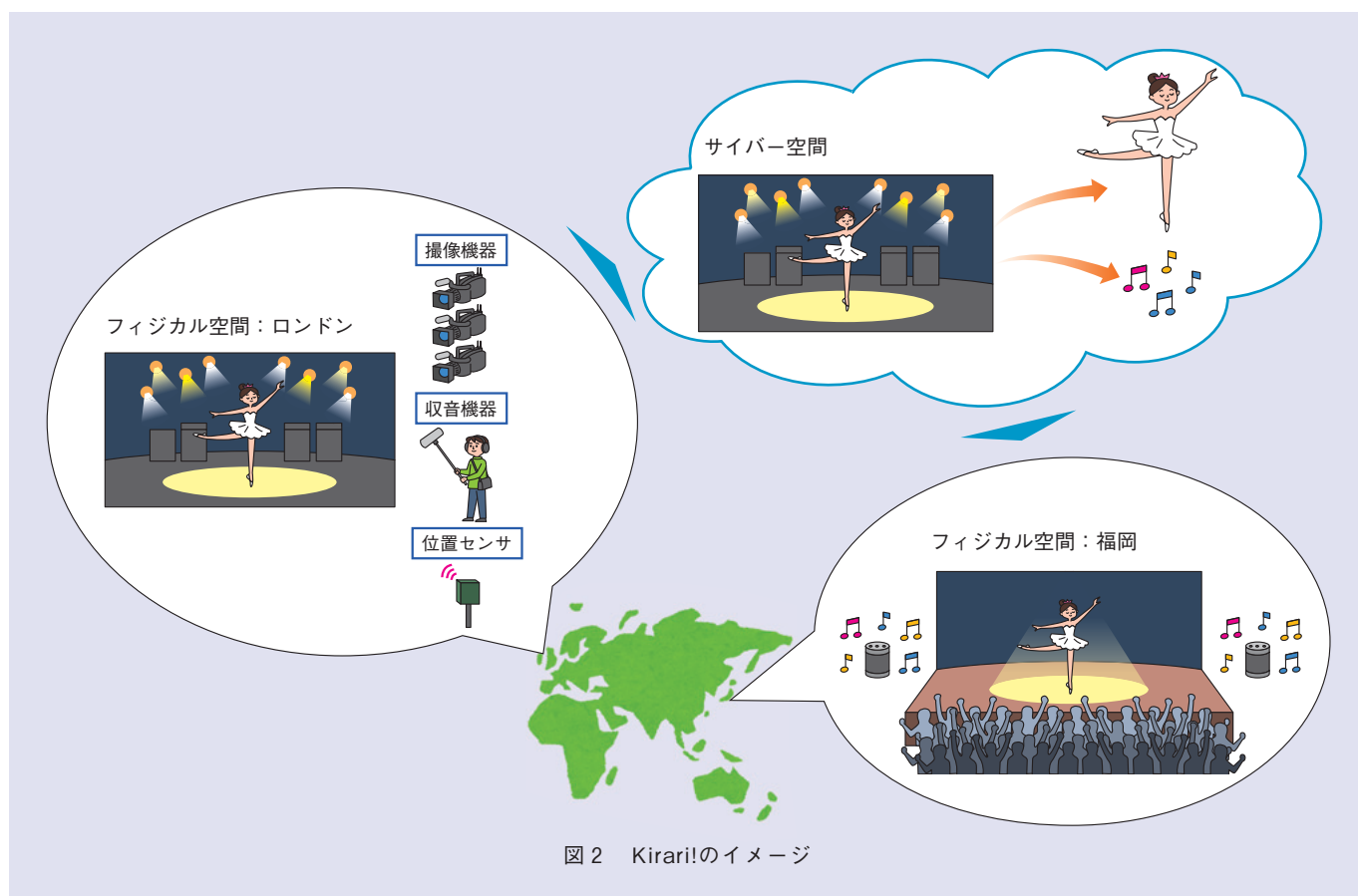


図2 Kirari!のイメージ

や空間を、距離を超えてリアルタイムに伝送することができます。これにより、例えば、スポーツ観戦のために現地に足を運ぶことなく競技を体験することや、公演会場に遠隔地から演者が参画するような演出も実現可能になります。来るSociety 5.0では、「空間の壁を超える」観点で、Kirari!が貢献できると考えています。

Kirari!の利活用例を図3に示します。観戦が簡単ではない海外でのスポーツ大会を地元でライブビューイングする例では、錯視効果を用いて立体と見まがうような視聴体験や、従来の画角をはるかに凌ぐ視野角いっぱいの視聴体験を提供します。また、公演等へ、今までにないような驚きの演出を提供することも可能です。例えば、実

際の演者をセンシングおよびメディア処理し、錯視効果による演者を創出して重畳します。重畳する時刻を制御することで、本来であればあり得ない、現在の演者と少し過去の演者との共演が実現します。このような取り組みを通じて、さまざまなコンテンツを、空間の壁を超えて超臨場感で体験いただくことをめざしています。

Kirari!の技術概要

Kirari!の技術概要を図4に示します。スポーツや公演をしている現場、通信、視聴会場の3つの観点で考えると、通信で示される領域が超高臨場感通信技術Kirari!になります。カメラ、マイク、センサによって抽出された情報を、ネットワークを介してメディア

制御、メディア処理、同期して視聴会場に伝送します。

メディア制御は、カメラで撮像された人物とセンサによって得られた位置情報、および照明情報を関連付ける空間情報と、人物の配信時刻を絶対時刻で制御するための時間制御から構成されます。

メディア処理は、撮像された画像情報から人物の領域を被写体抽出し、マイクの音響情報から波面合成音響技術⁽⁴⁾等により高臨場音声とします。これらは、図3のスポーツ中継や公演において、錯視効果により人物を立体的に表示させるとともに、音を客席まで飛び出させるような音響再現に必要な処理です。一方、超ワイド合成では、図3の視野角いっぱいの画角での視聴体験

に向け、複数のカメラ画像を合成します⁽⁵⁾。また、フィールド再構成において、被写体の構造や状態を解析して3次元的に再構成することを可能にします。さらに、効率的な伝送のために符号化処理を行います。

メディア伝送規格MMT (MPEG Media Transport) に独自の拡張を行ったAdvanced MMTにて同期伝送します⁽⁶⁾。絶対時間で同期できることから、世界中の任意の地点に同時刻に伝送可能となります。Advanced MMT

は、画像、音響、照明情報等を基に、超高臨場感を実現するための設計図の役割を担います。

視聴会場では、Advanced MMTの設計図に従い、プロジェクション、スピーカ、照明演出等を施します。

今後の展開

超高臨場感を実現するKirari!を多くのユーザに体験いただくため、あたかも目の前で行われているかのようなスポーツのライブビューイング、今までにないICT演出による芸能公演、過去の演者との共演に焦点をあてたダンス、遠隔地の講演中継等のPoC (Proof of Concept)、トライアル等を実施してきました (図5)。これらの施策を推進するためには、Kirari!の高度化として、人が行き交うような環境においても、注目する被写体を高精度に抽出する必要があります。また、より高解像度の映像を超ワイド合成することも課題となります。

一方で、社会実装に向けては、コス

例) 海外の競技を地元でライブビューイング
錯視効果で立体と見まがう視聴体験



従来の16:9 フレームをはるかに凌ぐ視野角
いっぱいの画角での視聴体験



例) 今までにない演出による公演の鑑賞
過去の自分との共演



図3 Kirari!の利活用例



超高臨場感通信技術「Kirari!」

図4 Kirari!の技術概要

Kirari!の高度化・経済化による既存施策の推進

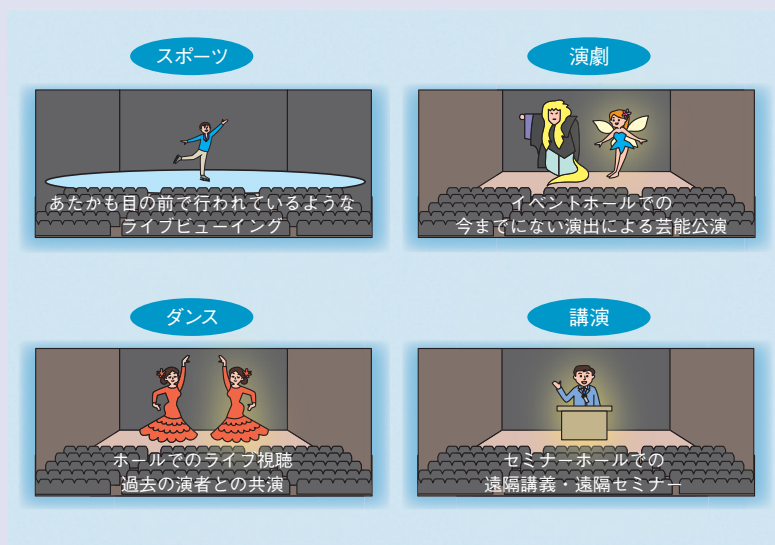


図5 Kirari!の展開

Beyond 2020



ト削減施策も重要課題です。例えば、高解像度映像をより圧縮することや、メディア処理のサーバ数削減についても、検討を進めています。さらに、メディア制御が高度化することにより、過去の演者との共演等において、実物の演者の隣に、正確に過去の演者を自動重畳可能となりますので、演出のための人的コスト削減にも貢献できます。

Kirari!のスポーツ、公演等への社会実装を促進すると同時に、Beyond 2020を見据える時期にきています。例えば、保守・監視分野に適用すれば、道路や駅等を超ワイド合成映像で監視できます。あたかも目の前で監視対象が存在しているかのような体験につなげることができます。医療分野における医師の遠隔診断、エンタープライズ分野での受付の無人化、テレワークの促進にも検討を広げていきます。今後

もこれらの取り組みを通じて、Society 5.0における「空間の壁を超える」価値創出に貢献していきます。

■参考文献

- (1) <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>
- (2) 日高・長谷川・布施田：“新たな経済社会としてのSociety 5.0を実現するプラットフォーム,” オペレーションズ・リサーチ, Vol.61, No.9, pp.551-555, 2016.
- (3) <http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/2016.html>
- (4) 堤・高田：“客席まで飛び出す音響を実現する波面合成音響技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.29, No.10, pp.24-28, 2017.
- (5) 佐藤・難波・小野・菊池・山口・小野：“競技空間全体の高臨場ライブ中継に向けたサラウンド映像合成・同期伝送技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.29, No.10, pp.19-23, 2017.
- (6) 外村・今中・田中・森住・鈴木：“超高臨場感ライブ体験(ILE)の標準化活動について,” ITUジャーナル, Vol.47, No.5, pp.14-17, 2017.



(左から) 日高 浩太/ 阿久津 明人/
南 憲一

NTTでは、Society 5.0における「空間の壁を超える」価値創出に向けて、あたかも目の前に人がいるかのような超高臨場感通信技術を、スポーツ、エンターテインメント分野で先行的に社会実装し、これをレバレッジにBeyond 2020を見据えた他分野適用も推進していきます。

◆問い合わせ先

NTTサービスエボリューション研究所
ナチュラコミュニケーションプロジェクト
TEL 046-859-2509
E-mail kota.hidaka.yk@hco.ntt.co.jp

機械学習を用いた任意背景リアルタイム被写体抽出技術

NTTサービスエボリューション研究所では、遠隔のスポーツ選手があたかも目の前にいるかのように感じさせる超高臨場感通信技術Kirari!の研究開発を進めています。本稿では疑似3D映像などを用いて選手の存在感までも遠隔地に提示する際に必須となる被写体抽出技術において、任意背景からリアルタイムに被写体を抽出するシステムを紹介します。

かきぬま ひろかず な が お じ ろ う
柿沼 弘員 / 長尾 慈郎
 みやした ひ ろ む と の む ら よ し ひ で
宮下 広夢 / 外村 喜秀
 な が た ひ で の ふ ひ だ か こ う た
長田 秀信 / 日高 浩太

NTTサービスエボリューション研究所

はじめに

映像中から人や物体の正確な領域を把握することは、高品質な画像編集や合成を実施するうえで必須の技術のため、コンピュータビジョンにおける主要な研究テーマの1つです。超高臨場感通信技術Kirari!においても、正確な被写体領域を抽出することは疑似3D映像提示を行い、高い臨場感を得るために必須となります。NTTサービスエボリューション研究所では、任意背景リアルタイム被写体抽出技術⁽¹⁾において、グリーンバックなどのスタジオ設備を用いずに試合会場や演技している舞台映像からリアルタイムに被写体の領域のみを抽出するシステムを提案しています。本稿では、そのシステムを①従来では判別できなかったよりわずかな特徴量の差までも判別する機械学習を導入すること、②赤外線光などを用い抽出したいオブジェクトの特徴量を生成すること、でより正確に被写体領域を抽出できるようにシステム開発したので紹介します。

機械学習を用いたリアルタイム被写体抽出フレームワーク

リアルタイムに対象領域を抽出する

処理には背景差分法が知られています。背景差分法は、入力画像と背景画像との差分をとり、しきい値処理することで変化のあった被写体の領域として抽出するため、高速な処理ができ、事前の準備が少ないことから広く用いられてきました。しかし、適切なしきい値決定は難しく、また、背景の変化などに対応できないなどの問題がありました。そこでNN（Neural Network: ニューラルネットワーク）を用い、入力される特徴ベクトルを別の特徴空間に変換し、識別を行う被写体抽出方法を開発しました。NNを用いることで、識別のための特徴空間はあらかじめ与

えられる教師データによりNN内で決定され、より適切な特徴空間に自動で変換されることが期待されます。また、識別に用いる入力も、対象の画像だけでなく、リファレンスとなる被写体の特徴を有した画像や、時間の異なる画像や、領域情報、赤外線映像などを入れても、NN内で適切に特徴空間に変換され、背景や被写体の高次元特徴量を用いた被写体抽出が実行できるため、背景の変化などにロバストになることが期待されます。

開発システムのワークフローを図1に示します。開発システムは2段階の被写体抽出を行います。1段階目で

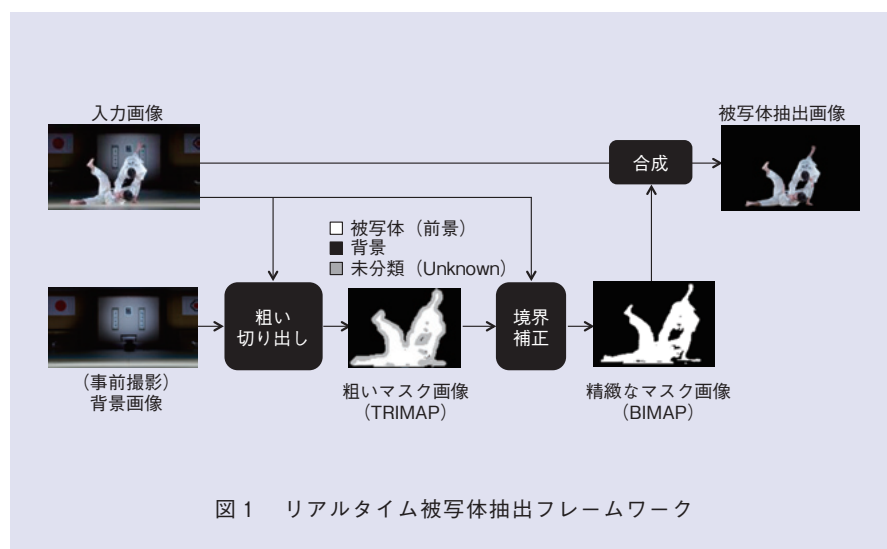


図1 リアルタイム被写体抽出フレームワーク

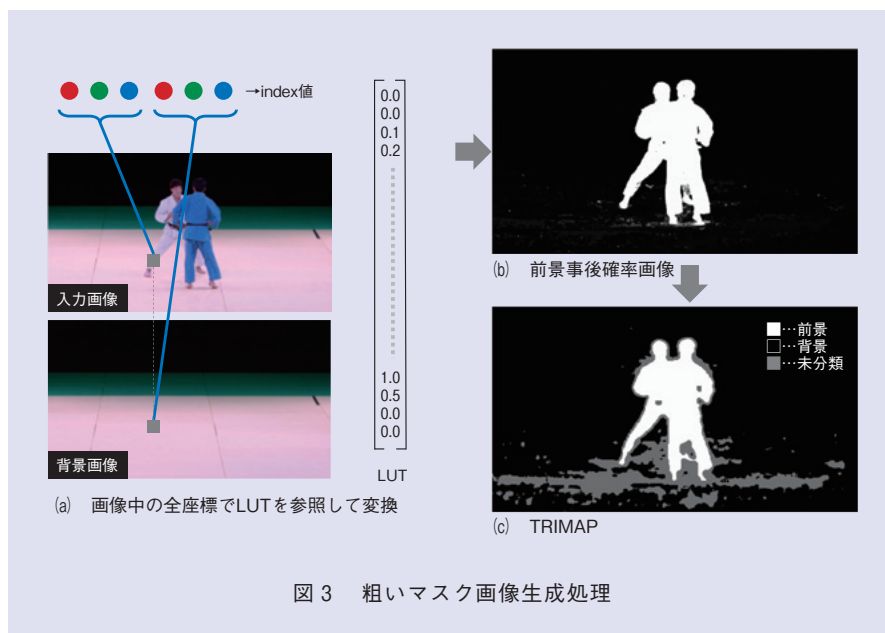
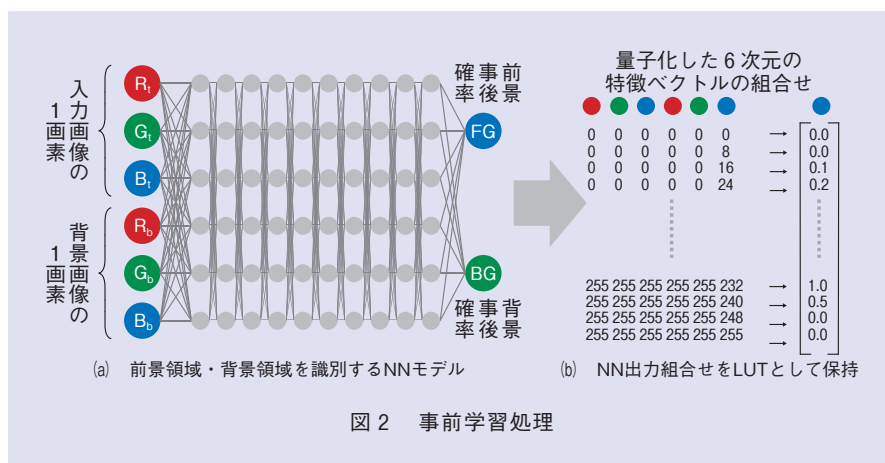
は、被写体領域を粗いマスク画像 (TRIMAP^{*1}) として抽出し、2 段目では TRIMAP を頼りにしたマッティング処理^{*2}にて正確な被写体領域を抽出します。機械学習は 1 段目の TRIMAP を導出するのに導入しました。

機械学習処理は事前学習処理と適用処理に大別できます。事前学習処理は、教師データから NN モデル中のパラメータを学習させることを目的として実行されます。事前学習処理フローを図 2 に示します。事前学習処理では、まず、教師データを用意します。被写体の含まれない背景画像と被写体の含まれるサンプル画像をあらかじめ取得しておき、正解となるマスク画像を作成します。次に、作成したマスクの前景領域に対応するサンプル画像中の注目画素と、背景画像中の対応画素を組み合わせたものを入力特徴ベクトルとし、その組合せが前景領域であるとして学習させます。また同様に、マスクの背景領域に対応するサンプル画像中の注目画素と、背景画像中の対応画素の組合せについても、入力特徴ベクトルが背景領域であるとして学習させます。このようにして、ある入力注目画素に対応する背景画素の組合せに対して、それが前景領域であるか背景領域であるかを識別する NN モデルを得ま

す (図 2 (a))。しかし、NN 処理は一般に演算量が多いことから、NN 演算処理を LUT (Look Up Table: ルックアップテーブル) 実装することで高速に処理します。そこで、入力特徴ベクトルを量子化処理によって少ない階調数に削減し、量子化された入力特徴ベクトルのすべての NN 出力組合せを

LUT として保持します (図 2 (b))。なお、図 2 では分かりやすいように RGB の各画素について行う処理を記載しましたが、画像位置情報を入れるなど入力ベクトルは色情報に限定されません。

LUT を適用し、TRIMAP を生成する適用処理を図 3 に示します。適用は



*1 TRIMAP: 既知の領域と未知の領域を示した領域マップ。既知の前景領域を白、既知の背景領域を黒、未知領域を灰色に設定します。

*2 マッティング処理: 被写体を抽出するアルファマスクを導出する処理。アルファマスクは0から1までの値を持ち、入力画像に掛け合わせて抽出映像が得られます。

機械学習処理と同様の処理で量子化した入力特徴ベクトルを導出し、導出した特徴ベクトルに応じてLUT参照することで、注目画素の前景画素である事後確率を高速に導出します（図3(b)）。得られた前景事後確率画像から、前景か背景かがあいまいである領域に対しては未分類領域と設定することでTRIMAPを生成します（図3(c)）。TRIMAPの未分類領域に対しては、注目画素と特徴ベクトルの近い周辺の画素が、前景と背景どちらの領域と識別されているかの情報を用いて、未分類領域を識別する境界補正処理を実施します。境界補正処理の詳細について図4に示します。未分類領域の注目画素について距離が近い領域をらせん状に探索を行い、注目画素が前景と背景にどちらが似ているかでアルファ値を決定しています。導出されたアルファ値を使い、被写体は抽出されます。この境界値補正処理を導入することにより、画素情報だけでなく、周りの画素の情報を考慮した被写体抽出が実行できるほか、粗い切り出しは低解像度画像に対して処理を行い、境界補正のみすべての画素に対して実行するなど、処理の効率化も図れるフレームワークとなっています。

赤外線光を用いた同一色背景からのリアルタイム被写体抽出

機械学習を用いることで、NN内で自動的に高次の特徴空間に変換してくれるものの、色情報や形状情報を頼りに抽出するため、入力特徴ベクトルが

同じ場合は理論的に分離不可能となります。そこで、新たな特徴を増やす試みとして肉眼で見えない赤外線を利用した可視光-赤外線カメラによる被写

体抽出システムを開発しました。

可視光-赤外線カメラを用いた被写体抽出撮影環境を図5に示します。平行に設置された可視光カメラと赤外線

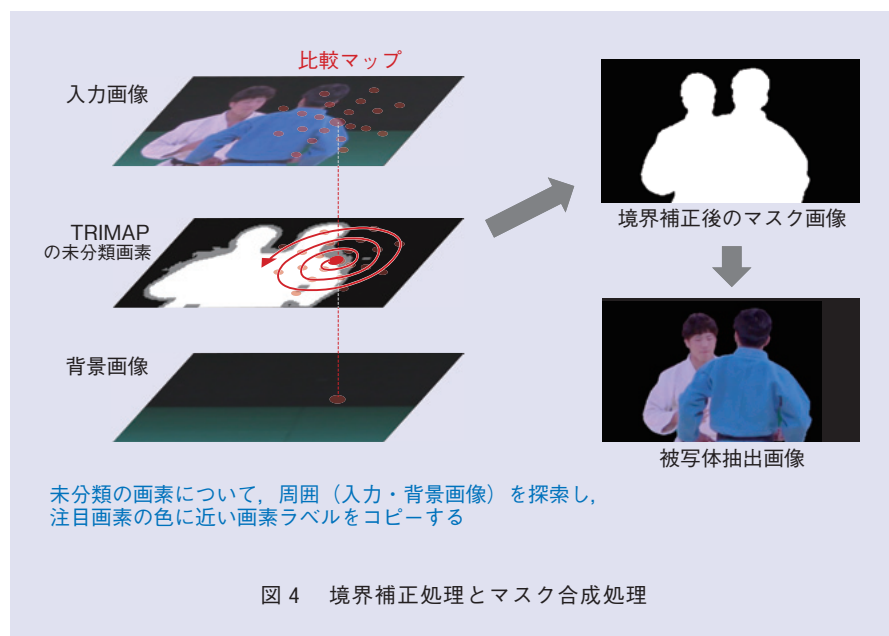


図4 境界補正処理とマスク合成処理

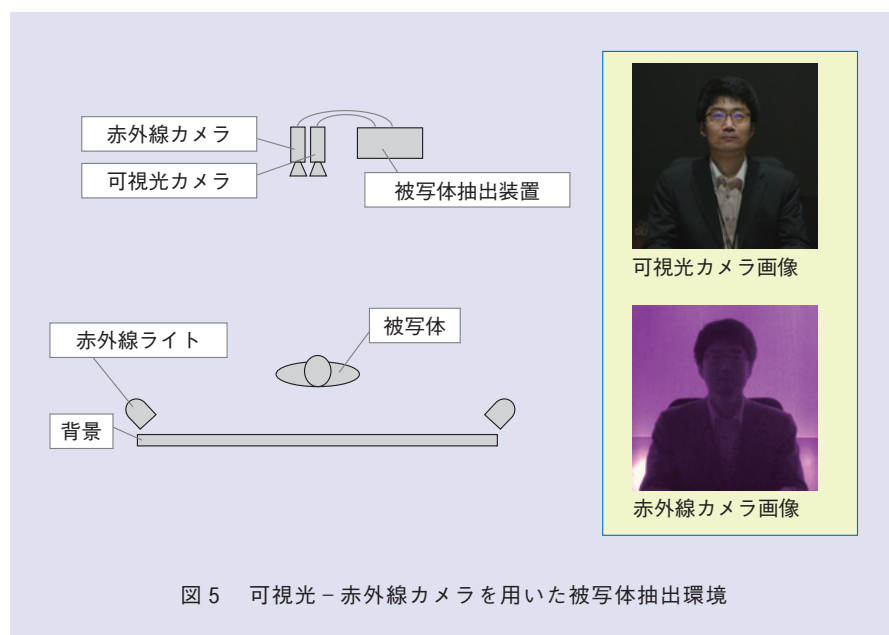


図5 可視光-赤外線カメラを用いた被写体抽出環境

カメラはそれぞれ、可視光のみおよび赤外線のみを撮影します。赤外線ライトは背景に赤外線が照射され被写体には極力照射されないように設置します。これにより赤外線カメラ画像において背景は比較的明るく、被写体は比較的暗く写すことができます。図5の可視光カメラ画像では、人物と背景が同色のために色情報を用いた分離は難しいところ、赤外線カメラ画像で

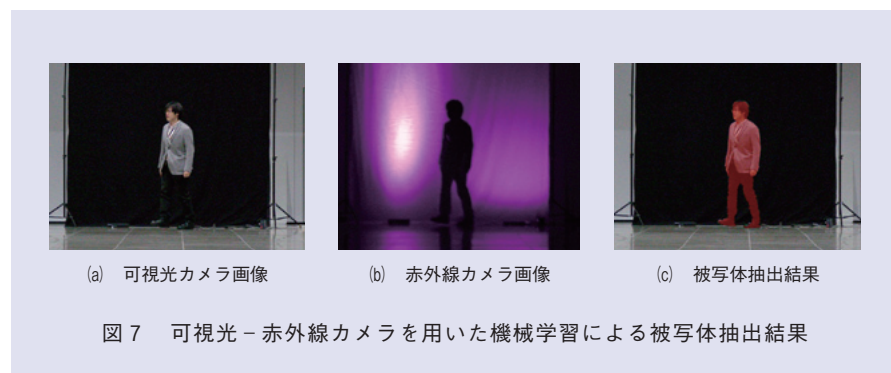
は、人物のシルエットが抽出できていることが確認できます。次に、赤外線カメラ画像を精度良く被写体抽出するため、可視光カメラと赤外線カメラの視差補正を行います。補正は、あらかじめキャリブレーションボードを撮影しておき、赤外線カメラ画像と可視光カメラ画像の同一特徴点が重ね合わせられるように射影変換行列を導出・適用することで補正を行います。こうし

て得られた赤外線カメラ画像を機械学習の入力特徴ベクトルに入れることで、色情報や形状情報ではない新たな特徴を取り込んだ被写体抽出ができます。

評価実験

機械学習を用いたリアルタイム抽出システムを開発し、今年4月に幕張メッセにて行われたニコニコ超会議2018の超歌舞伎「積思花顔競（つもるおもいはなのかおみせ）」の中で使用しました。開発システムは3840×2160画素、フレームレート60 fpsの映像に適用することができますが、他のシステムとの連携のために、本トライアルの中では1920×1080画素、フレームレートは59.94 fpsの映像に適用しました。超歌舞伎本編のクライマックスのシーンにて、中村獅童さん演じる惟喬親王（これたかしんのう）を背景が変化する場合、舞台映像からリアルタイムに抽出し、初音ミク演じる小野初音姫（おののはつねひめ）の対決を盛り上げることができました。そのときの映像サンプルを図6に示します。惟喬親王の背景にある戸板は人手で持っているため揺れ、背景差分法ではうまく抽出できていませんが（図6(b)）、機械学習を用いることにより正確に抽出できている様子が確認できます（図6(c)）。

次に、赤外線カメラを用いる効果を確認しました（図7）。赤外線カメラの利用により、可視光カメラだけでは抽出が難しい場合も被写体を正確に抽



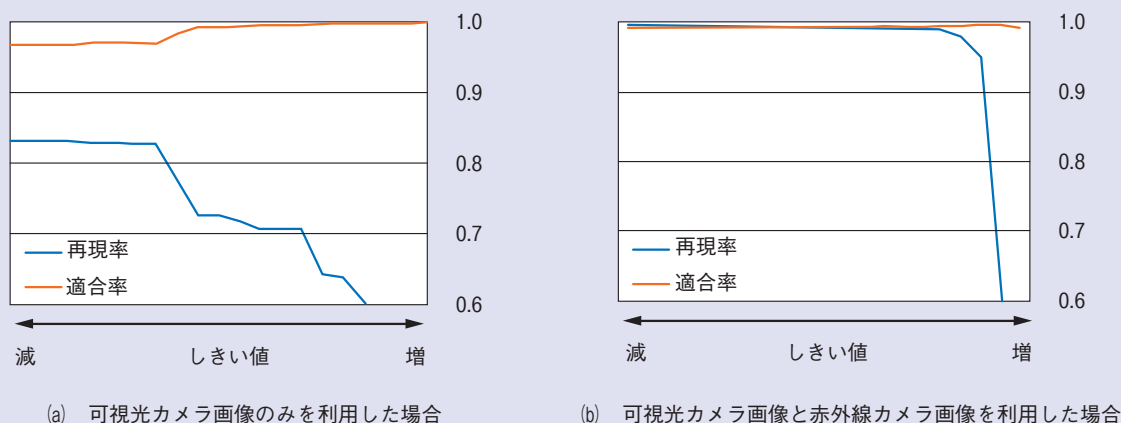


図8 背景差分法による再現率と適合率の比較

出できていることが確認できます。機械学習では、NNの学習の際に自動的に高次特徴空間への変換が行われ、しきい値処理などは発生しませんが、今回、赤外線カメラを用いることでどの程度頑健になるのか、背景差分法のしきい値を変化させることによって評価しました(図8)。赤外線カメラを用いることで再現率・適合率がともに高く、また、背景差分法のしきい値を大きく変動させた場合にも安定して動作することが確認できます。

今回は、赤外線カメラを用いた場合を紹介しましたが、私たちのシステムは、ステレオカメラやLiDARから生成される深度マップなど、条件に応じて被写体をうまく抽出できる特徴を入力することもできます。

今後の展開

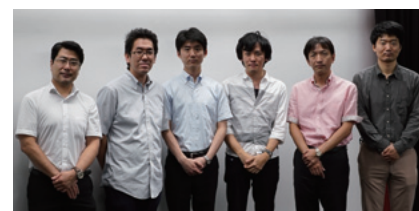
本稿では、機械学習を用い、入力特

徴ベクトルを新たな特徴空間にNN内で変換・識別することで、被写体の高次の特徴量を基に高精度に抽出する方法、および可視光カメラだけではどうしても抽出することが難しいユースケースに対応するため、肉眼で見えない赤外線カメラを利用した手法について紹介しました。

今後は、セマンティクスを考慮した被写体抽出を行うため、深層学習を利用した被写体抽出のリアルタイム化を進めるとともに、被写体が重なるなどのオクルージョン発生時も精度良く被写体を抽出する方式の検討を進める予定です。

参考文献

- (1) 長田・宮下・柿沼・山口：“任意背景リアルタイム被写体抽出技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.29, No.10, pp.33-37, 2017.



(左から) 長田 秀信/ 外村 喜秀/
宮下 広夢/ 柿沼 弘員/
日高 浩太/ 長尾 慈郎

見る人・使う人に驚きと感動をもたらすようなサービスやシステムの実現のため、今後も技術をさらに進化させていきます。被写体抽出技術を使うことで、今までになかったような観戦・観劇のスタイルや、SF映画で見たようなコミュニケーションスタイルが実現できると信じています。

◆問い合わせ先

NTTサービスエボリューション研究所
ナチュラルコミュニケーションプロジェクト
TEL 046-859-3780
E-mail nagata.hideonbu@lab.ntt.co.jp

競技空間を取り囲んで観戦する “Kirari! for Arena”

NTTサービスエボリューション研究所では、競技空間などを取り囲んで観察する高臨場なライブビューイングを実現する表示システムを開発しました。被写体があたかも目の前にいるかのような映像提示を実現するため、人の視覚的な効果を活用することで空間中に被写体を知覚させ、奥行き方向への移動も表現しています。本稿では、簡易な構成で実現可能な視覚的效果を活用した2D空中像による映像提示、および全周囲から取り囲んで観察できる表示システムの概要を紹介します。

い さ か たける まきぐち もとひろ

井阪 建 / 巻口 誉宗

た か だ ひであき

高田 英明

NTTサービスエボリューション研究所

高臨場ライブビューイング

街頭TVからはじまりライブビューイングに至るまで、一堂に会した観客がスポーツ中継を楽しむメディアは観客どうしのつながりを重視することで感動を共有してきました。また、2020年には、4K・8K放送の普及により、世界中の多くのスポーツがTV中継されるだけでなく、インターネットによるライブ配信や街中での手軽なライブビューイングといった多様な視聴スタイルによって、一層多くの感動が場所や時間を問わず広く共有されると予想されます。

こうした世の中の視聴スタイルの多様化を踏まえ、NTTサービスエボリューション研究所では、あたかもその場にいるかのような高臨場なライブビューイングをあらゆる場所でリアルタイムに実現するイマーシブテレプレゼンス技術“Kirari!”の研究開発を推進してきました。

“Kirari!”における映像提示手法については、いくつか研究が進められています。その中でも虚像を活用する2D空中像表示手法は、汎用の2Dディスプレイと入射光の一部を透過・反射するハーフミラーなどの光学素子を組み合

わせることで、簡易な構成にもかかわらず等身大の人をあたかもその場のステージ上に存在するかのように提示できます(図1)。この手法では映像が提示される位置が表示装置から離れることから、観察者は自分と同じ空間に映像が浮かび上がったかのように見え、映像中の被写体を実物として知覚します⁽¹⁾。本手法をスポーツのライブビューイングに応用すれば、競技を実際に目の前で観戦しているかのような高い臨場感を与えることができます。

空中像による臨場感向上

ライブビューイングでは、複数の観

察者が同じ場に集まりコンテンツを同時に視聴することが多いため、広い視点範囲に対して被写体の空間位置を正しく提示する必要があります。しかし、これまでのTVやスクリーンでは全観察者に同じ視点の映像を提示するため、被写体の正しい位置や距離感まで再現することができませんでした。これは、2D空中像を用いた場合でも同様の問題が生じます。

これまでに、広い視点範囲に被写体の空間位置を提示可能なディスプレイ技術が多く研究されています^{(2),(3)}。しかしこれらの研究では、多くのプロジェクタや特殊な光学系を必要として

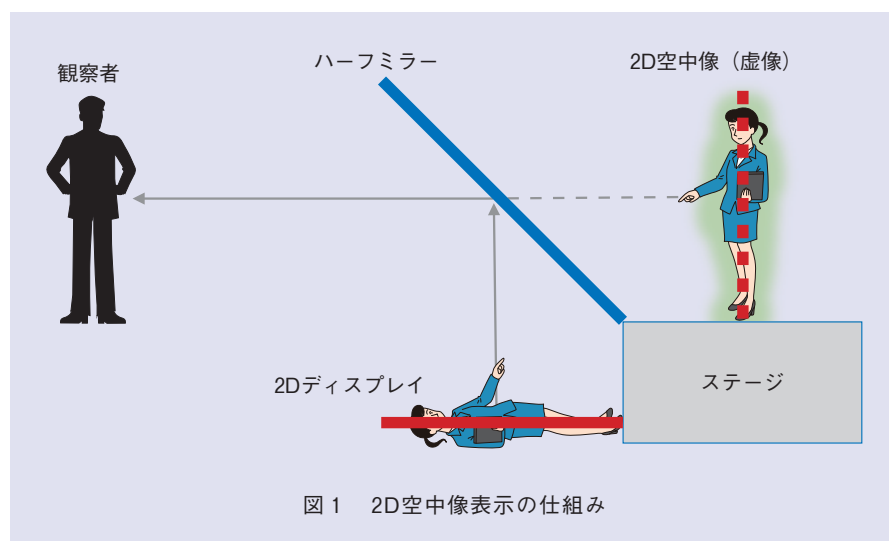


図1 2D空中像表示の仕組み

おり、装置構成が複雑で大規模になり、表示面の大型化も困難なため、目的とするライブビューイングへの適用は困難です。

一方、私たちが注目している2D空中像表示手法では、装置構成がシンプルなため、大型化はもちろん、スマートフォンやタブレットと組み合わせた手軽な空中像表示も可能です⁽⁴⁾。

2D空中像表示では、虚像の表示面の位置が固定されるため、奥行き方向の移動表現はできません。これまでに、2D空中像表示に対して奥行きを付与する研究も行われてきましたが⁽⁵⁾、観察者は1名に限られ、特殊なメガネも装着する必要があります。これまで、広い範囲にいる複数の観察者に対して、被写体の奥行き移動を表現するという試みはされていません。

本稿では、シンプルな構成で複数の観察者に対して被写体の奥行き移動を表現するため、心理的な奥行き知覚の効果を積極的に用いる手法を提案し、全周囲から取り囲んで観察できる表示システムへの適用について紹介します。

遠近法と奥行き知覚

心理的要因による奥行き表現手法として、遠近法が古くから広く知られています。遠近法は、被写体の大きさや位置を眼に映るものと同様に描くことで、絵画等の固定された2D平面への描画であっても観察者に大幅な距離感を認識させることが可能です。この遠近法を2D空中像表示に適用すること

で、奥行き方向への移動を提示することができます。

遠近法では、被写体までの奥行き距離が遠くなるほど描画される位置や大きさはある1点に収束します。この点は消失点と呼ばれ、例えば奥行き方向に無限に伸びる床面が持つ左右の稜線も消失点で1点に交わります。被写体がまっすぐに奥行き方向へ移動する場合も、被写体の移動方向はこの消失点に向かいます。複数の視点がある場合、視点ごとに消失点が変わるため、被写体の移動方向はそれぞれの視点ごとに設定しなければなりません。2D空中像表示ではステージ等の実物体による消失点は視点ごとに正しいものが与えられますが、空中像として表示する被写体には1つの視点の消失点しか設定できず、異なる視点位置から見た際に

本来の向きへの奥行き移動が表現できないという問題がありました。

奥行き付与手法

図2のように、破線と四角形で示す被写体の移動方向が、丸印で示す床面が持つ消失点に向かう方向と一致せず誤差を有する場合でも、経験的に人は奥行き方向への移動を認識します。この奥行き移動が認識される誤差の許容範囲を、被験者実験により検証し定義しました⁽⁶⁾。そして、視点ごとに許容範囲を設定し、それらの共通範囲に収まるように被写体の移動方向を決定することで、複数の視点に対して奥行き移動を表現する手法を提案しました。

奥行き移動が認識される誤差の許容範囲は、被写体と床面との位置関係に大きく依存します。被写体が被写体領

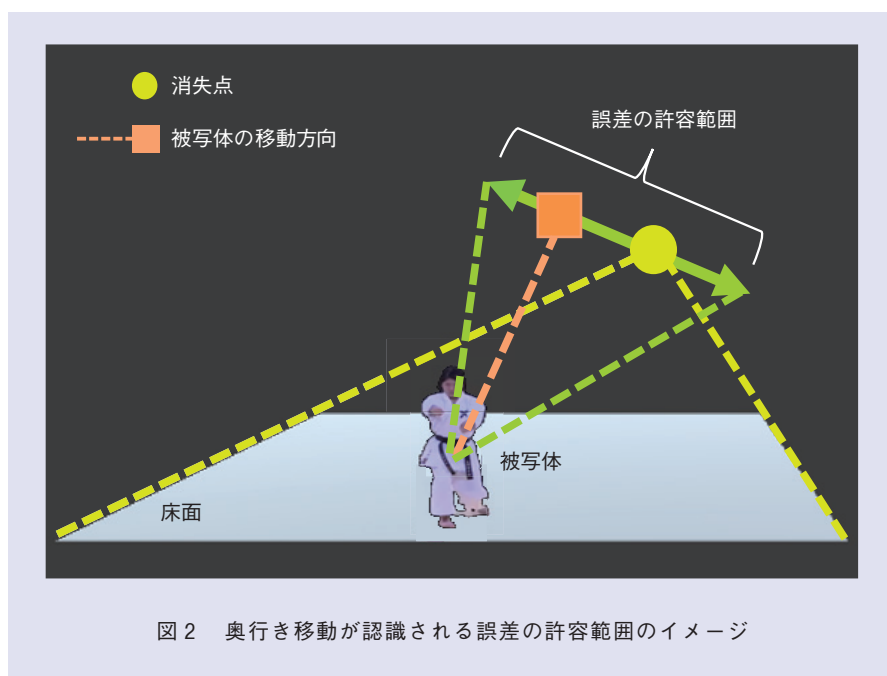


図2 奥行き移動が認識される誤差の許容範囲のイメージ

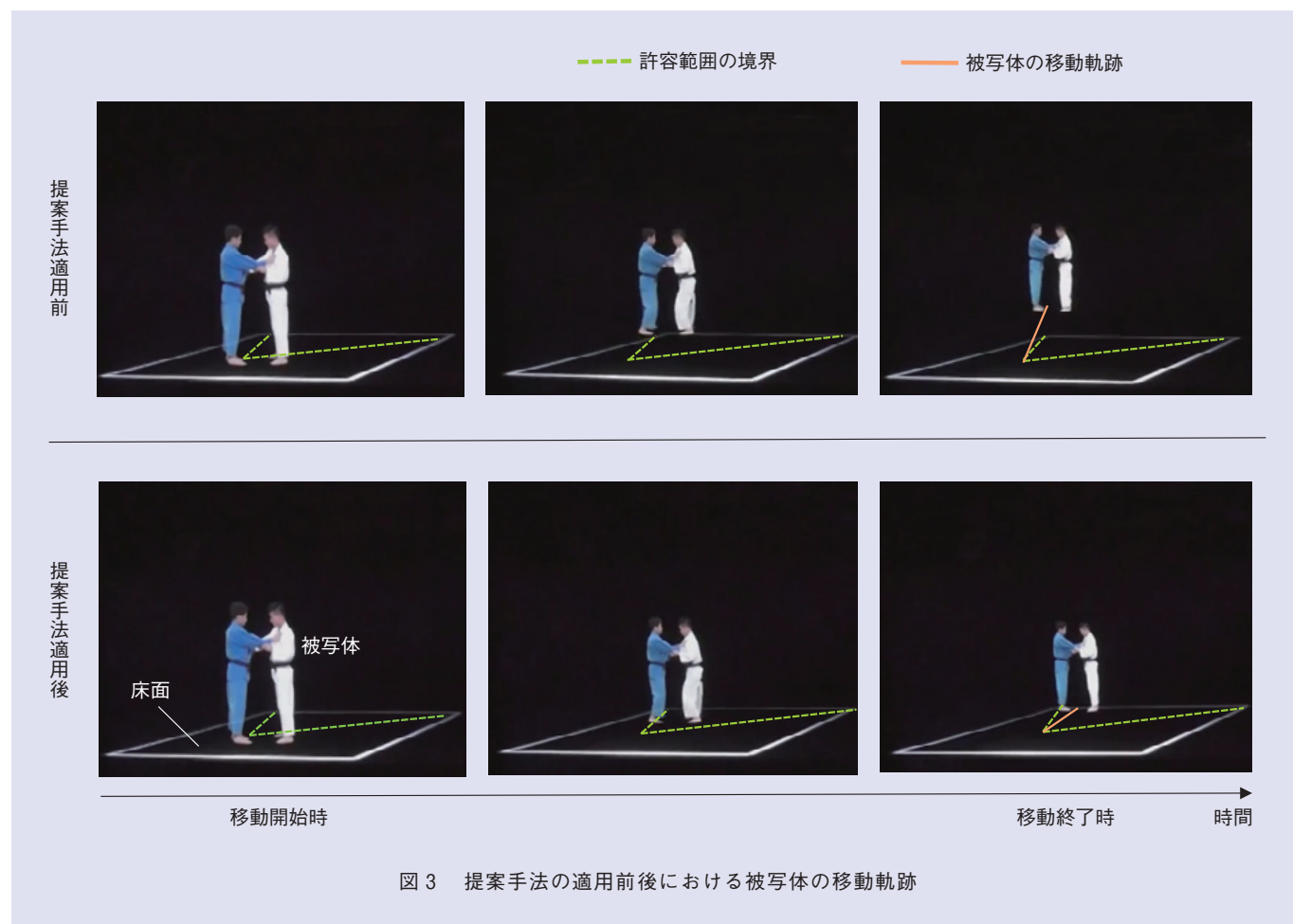
域の足元、床面奥側の左右2端点を結ぶ三角形の領域内に向けて移動している場合は、実際の奥行き方向への動きに違和感が小さくなります。この知見に基づき、2D空中像の奥行き移動を表現するための手法を、被写体の位置、観察範囲の情報から、フレームごとの被写体位置を決定するアルゴリズムとして決めました。また、ステージ等の実空間の床面に虚像による被写体が接地しているかのように表現するための調整も行います。

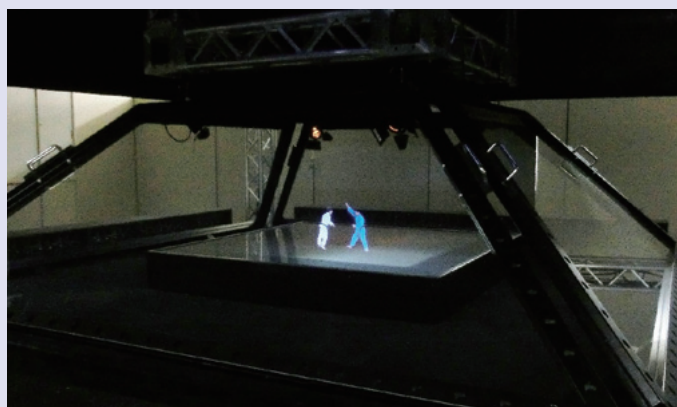
本手法によって、被写体を違和感なく床面に接地させつつ、奥行き移動を表現できるようになりました。奥行き付与手法の適用前後における被写体の移動軌跡を図3に示します。実線が被写体の移動軌跡を、破線と床面で囲まれる領域が許容範囲を示しています。この図から、提案手法の適用前では移動軌跡が許容範囲から逸脱しますが、適用後は許容範囲内に収まることが分かります。これは、等身大の被写体が10 m×10 mの床面内を移動範囲とす

るとき、約7.5 m～9.0 m相当の奥行き移動を表現できる可能性を示しています。

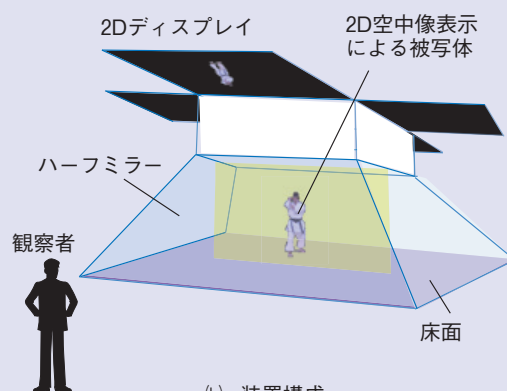
競技空間を取り囲んで観戦する “Kirari! for Arena”

2Dディスプレイとハーフミラーから構成される光学構成を1つの床面を共有するように4つ組み合わせ、それぞれの虚像面に4方向から撮影された被写体を表示することで、全周囲から観察可能な“Kirari! for Arena”のプ





(a) 実際の見え方



(b) 装置構成

図4 “Kirari! for Arena”のプロトタイプシステム

プロトタイプシステムを構築しました(図4)。このシステムでは、被写体のみが抽出された映像と、LiDARにより計測した被写体の距離情報を入力とし、本手法による画像処理をリアルタイムに行って表示します。多数のプロジェクタや特殊な光学素子が必要な従来の表示装置に対して、汎用のディスプレイとハーフミラーだけの簡易な構成で全周囲への表示を実現でき、高い実用性を備えていることから、複数人で競技空間を取り囲んで観戦するスポーツのライブビューイングなどへの応用が期待されます。

今後の展開

今回、ディスプレイとハーフミラーを組み合わせた簡易な構成で実現できる2D空中像表示に着目し、心理的奥行き効果を積極的に活用して被写体の奥行き移動を複数の観察者に対して提

示する奥行き表現手法を提案しました。また、それを応用し、全周囲から空間位置も含めた被写体を観察可能な“Kirari! for Arena”のプロトタイプを構築しました。

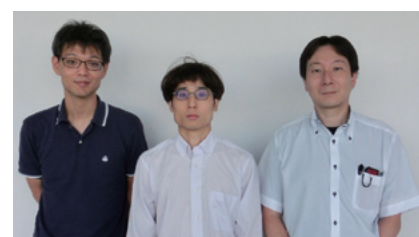
今後、被写体位置のより正しい表現や表現エリアの拡大について、陰影表現など多くの映像表現手法の適用によって実現していく予定です。

参考文献

- (1) 宮崎：“三次元像の空中表示技術の現状と展開,” 光学, Vol.40, No.12, pp.608-615, 2011.
- (2) S. Yoshida: “fVisiOn: 360-degree viewable glasses-free tabletop 3D display composed of conical screen and modular projector arrays,” Optics Express, Vol. 24, No. 12, pp. 13194-13203, 2016.
- (3) B. Alex, H. Otmar, I. Shahram, H. Steve, M. David, K. David, and K. Danny: “Vermeer: Direct Interaction with a 360° Viewable 3D Display,” Proc. of UIST 2011, pp.569-576, Santa Barbara, U.S.A., Oct. 2011.
- (4) 巻口・高田・新島・松井・横山：“モバイル端末で利用可能な小型多層空中像投影装置の提案と実装,” 情報学論, Vol.58, No.11, pp. 1787-1798, 2017.
- (5) O. Bimber, B. Fröhlich, D. Schmalstieg, and L.M. Encarnação: “The Virtual Showcase,”

ACM SIGGRAPH 2005 Courses, No.3, Los Angeles, U.S.A., July-August 2005.

- (6) 井阪・巻口・高田・小野：“2D空中像の奥行き移動知覚に関する一考察,” 2017年映像情報メディア学会年次大会予稿集, 34D-5, 2017.



(左から) 巻口 誉宗/ 井阪 建/
高田 英明

人々の日常を変革する視聴体験を早期に提供できるよう、研究開発を日々推進していきます。

◆問い合わせ先

NTTサービスエボリューション研究所
ナチュラルコミュニケーションプロジェクト
TEL 046-859-3675
E-mail 3diming-ml@hco.ntt.co.jp

360度テーブルトップ型裸眼3D映像表示技術

NTTサービスエボリューション研究所では、遠隔地の競技空間などを取り囲んで観察する視聴体験の実現に向け、3D映像をテーブル上に浮かび上がらせる360度テーブルトップ型裸眼3D映像表示技術を開発しました。本稿では本技術の基本となる視覚的な知覚メカニズムとプロジェクタ配置の光学構成を中心に紹介します。

まきぐち もとひろ たかだ ひであき

巻口 誉宗 / 高田 英明

NTTサービスエボリューション研究所

裸眼3Dによる超高臨場感な映像提示

将来の究極の映像提示手段の1つとして、3Dメガネ等を必要とせずに運動視差も含めた自然な立体視が可能な裸眼3Dディスプレイが期待されています。特に、表示対象があたかもテーブル上に実在するかのように提示できるテーブルトップ型の3D映像表示技術は、スポーツ競技のフィールド全体を俯瞰して観戦するライブビューイングや工業製品のモデリング等、幅広い応用が期待されます。複数人でテーブルを囲んでスポーツを観戦できれば、各自が自分の応援するチームのプレーを望む方向から自由に覗き込むことが可能となり、観戦者どうしのコミュニケーションも飛躍的に高まります。こうした体験を実現するには、観戦者の表情やアイコンタクトを妨げる特殊な3Dメガネなどを用いずに3D映像を観察でき、さらに360度の視点移動にも対応した裸眼3D映像表示技術が必要となります。

360度の視点移動が可能な裸眼3D映像表示技術としては、円錐形の特殊スクリーンに対し、微小な間隔で設置した数百台規模のプロジェクタで3D映

像を提示するシステムなどが提案されています⁽¹⁾。こうした、複数のプロジェクタで各視点位置に応じた視点映像を投影する手法では、3Dコンテンツを複数人が同時に裸眼で視聴できるという利点がある一方、視点移動に伴う映像の切替えをなめらかにするためにプロジェクタを密な間隔で大量に配置する必要があり、機材コストの増加や装置が複雑かつ大規模になるという問題がありました。

NTTサービスエボリューション研究所ではこれまでに、隣り合う視点映像の輝度を視点位置に応じた輝度比率で合成し提示することで、中間視点の映像を視覚的に補間して知覚させる「リアブレンディング」という視覚系による知覚メカニズムと、そのリアブレンディングを光学的に実現する「空間結像アイリス面型光学スクリーン」を用いることで、従来よりも4分の1～10分の1の少ないプロジェクタ数でなめらかな視点移動を実現する裸眼3D映像表示の基本技術を確立し、対角50インチスクリーンと13台のプロジェクタを用いた垂直型の視点移動対応裸眼3D映像スクリーンシステムを開発してきました⁽²⁾。また、そのスクリーンを水平方向に応用したテーブ

ルトップ型の実現に向けた検討を進め、プロトタイプの実装によってテーブルトップ型に対してもリアブレンディングのプロジェクタの削減効果があることを示してきました⁽³⁾。しかし、これまでの検討では垂直型に向けて開発したスクリーンと投影システムをテーブルトップ型に展開したため、光学設計の制約から視域が1方向の左右約65度に限られ、360度の全周囲化には至っていませんでした。

本稿では、リアブレンディングを用いたテーブルトップ型裸眼3Dスクリーンシステムの視域を360度に拡張するための新たな光学構成と、60台のプロジェクタを用いたテーブルトップ型の新たなプロトタイプについて紹介します。

視覚系による知覚メカニズムの活用

左右方向に微小にずれて重なり合った同一の2つの像において、それぞれの像の輝度の比率を変化させると、人の網膜上には図1(a)のような2重エッジが左右についた像として映ります。しかし、人の視覚系では、像の2重エッジの幅がある程度小さい場合には、2重エッジではなく1つのエッジ

として知覚されることから、図1(b)に示すように輝度の比率に応じてエッ

ジの位置がなめらかに遷移することが知られています⁽³⁾。この2つの像の輝

度の比率分配に応じた像のエッジ知覚のメカニズムを隣接するプロジェクタの映像の重ね合わせに適用した表示原理をここではリニアブレンディングと呼んでいます。

これまで提案されている複数のプロジェクタを用いた裸眼3D映像表示では、両眼視差となめらかな運動視差を提示するために図2(a)のようにプロジェクタを両眼間隔よりも狭い間隔で設置するため、広視域化するほど大量のプロジェクタが必要になります。一方、リニアブレンディングでは、視差が融合限界内に収まる2つの視点映像を視点位置に応じた輝度比率で合成して提示することで、中間視点を知覚的に補間されるため中間視点分のプロジェクタが不要となります(図2(b))。

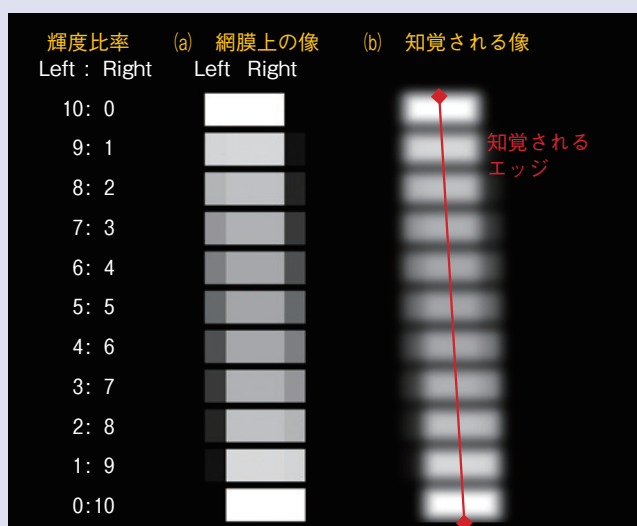


図1 リニアブレンディングにおけるエッジ知覚メカニズム

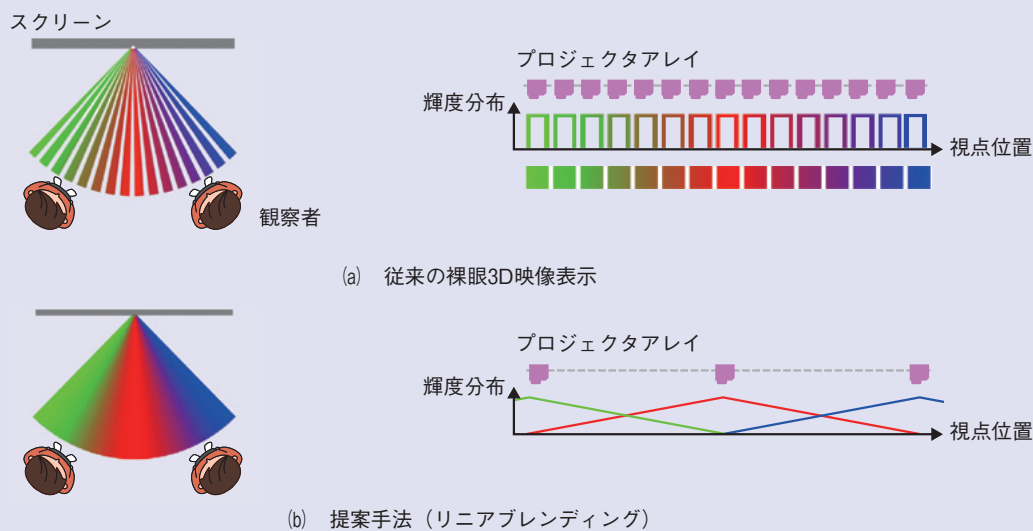


図2 従来の裸眼3D映像表示と提案手法（リニアブレンディング）との比較

これにより、両眼の間隔より広いプロジェクタ間隔でも両眼視差となめらかな運動視差を持つ3D映像を表示することができるようになりました。

テーブルトップ型に向けた光学構成最適化

リニアブレンディングを実現する空間結像アイリス面型スクリーン⁽²⁾は反射層、フレネルレンズ層、拡散層から構成され、プロジェクタから投影された光はスクリーン上で反射し、テーブルトップ型の水平配置ではスクリーンを挟んで対面に位置する空間上に集光します。これによりプロジェクタのアイリス面（投影光学系の絞り相当の部分）が空中に結像され、観察者はこの範囲内でのみ投影映像を視認できます。これまでに検討を進めてきたテ-

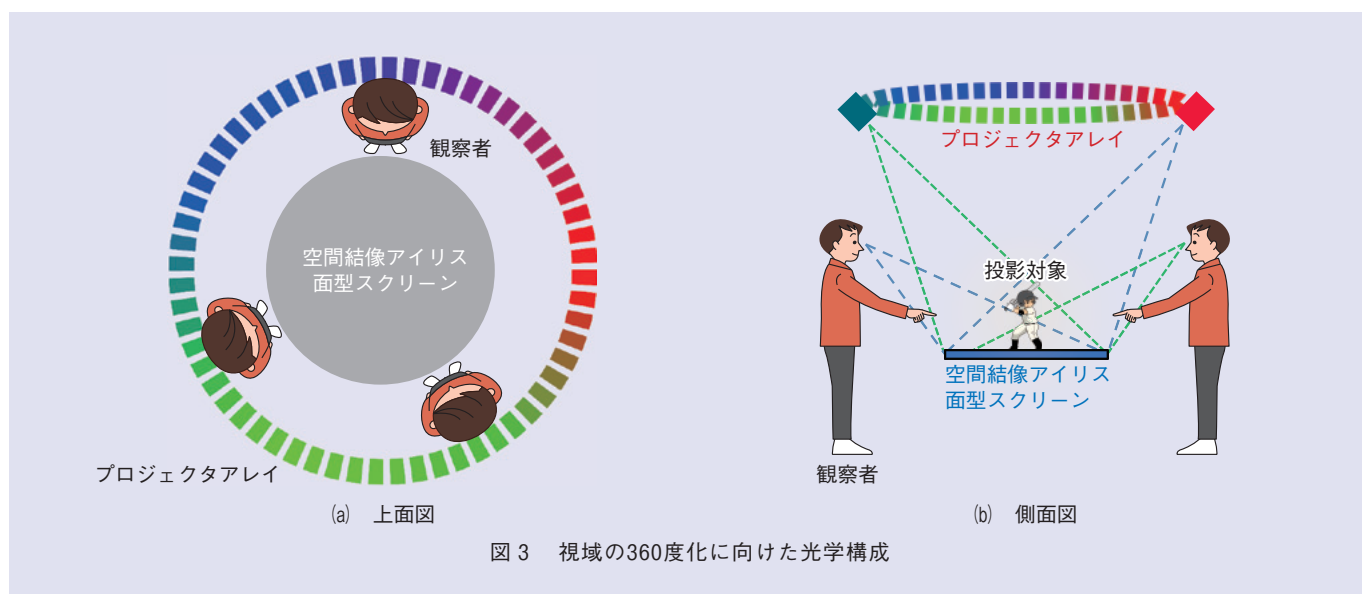
ブルトップ型の構成⁽⁴⁾では、プロジェクタを空間結像アイリス面型スクリーンに対し水平方向に直線に並べた直線状のプロジェクタアレイを用いていました。しかし、この直線状プロジェクタアレイでは視点がプロジェクタアレイの中心から水平方向に離れるほど投影する視点映像の歪みが大きくなり、全周囲化に向け直線状プロジェクタアレイを4方向に組み合わせて拡張するだけでは全視点に対して対象な3D映像を提示することができません。

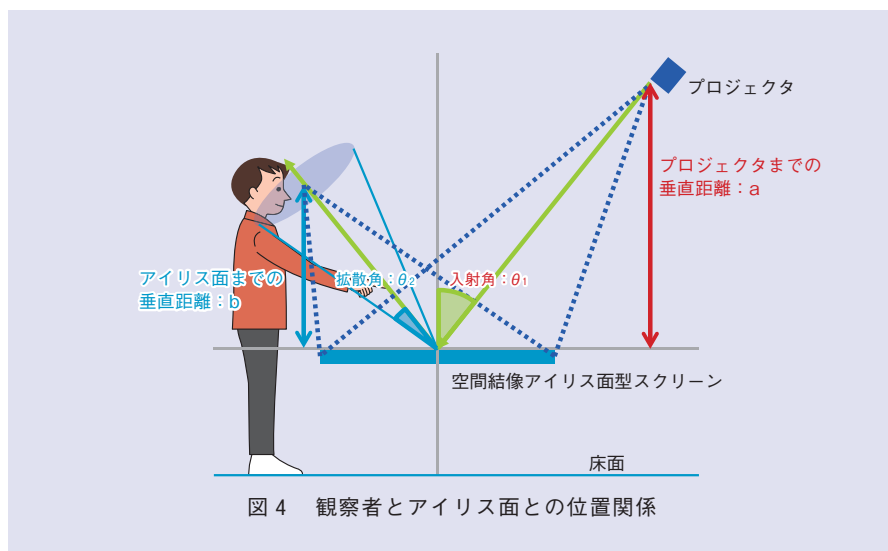
そこで今回、視域の全周囲化をめざし、図3のようにプロジェクタを円形に配置する円形プロジェクタアレイの光学系を設計しました。観察者とアイリス面との位置関係の側面図を図4に示します。アイリス面の輝度分布は拡散層の特性によって、中心を最大とし

中心からの距離が離れるにつれて減衰するように制御できます。隣り合う視点映像が視点位置に応じた輝度比率で合成されるように拡散層の拡散角 θ_2 とプロジェクタの水平方向の配置間隔を最適設計することで、リニアブレンディングの効果によって中間視点映像を補間できます。

360度テーブルトップ型裸眼3D映像表示システムのプロトタイプ実装

前述した円形プロジェクタアレイの光学系を用いた全周囲360度裸眼3D映像表示システムのプロトタイプを構築しました（図5）。空間結像アイリス面型スクリーンの直径は110 cm、スクリーンの床面からの高さは70 cmとしました。プロジェクタは解像度1280×800 px（輝度600 lm）を60台、6度





間隔で設置しています。各プロジェクタから投影する視点映像は、それぞれのプロジェクタに対応する60台のクライアントPC上でリアルタイムに時刻同期してレンダリングしました。各クライアントPCは共通のCG空間を有しており、対応するプロジェクタ位置に設置した仮想カメラの映像をレンダリングします。視点映像の時刻同期は3Dモデルのアニメーションのスタート情報や位置情報をサーバPCからUDP (User Datagram Protocol) パケットで送信することで行いました。





図6 周囲5方向から撮影した3D映像

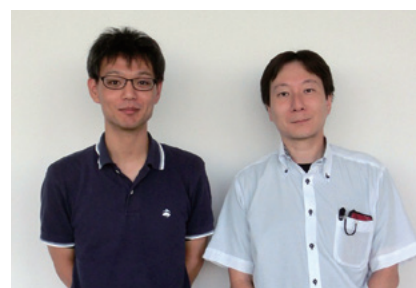
構築したプロトタイプの周囲5視点から撮影した写真を図6に示します。この写真から視点位置の変化による運動視差が再現されていることが分かります。

今後の展開

今回、全周囲へなめらかな視点移動を伴う自然な裸眼3D映像を提示する技術の実現性をプロトタイプにより実証しました。しかし今回のプロトタイプでは、リニアブレンドの原理上生じる隣り合うプロジェクタの映像が重なる微小な2重像に加え、隣接したプロジェクタ以外の映像が視認されることによる多重像が画質の劣化の原因となっています。原理上生じる2重像を視覚的な効果に影響のない範囲で打ち消す取り組み⁽⁵⁾も開始しており、今後、スクリーンの光学特性の見直しや最適化によるさらなる画質改善を進め、将来的にはスポーツバーのような場所でのテーブルを囲んだ超高臨場感スポーツ観戦などの実現につなげていく予定です。

参考文献

- (1) S. Yoshida: "fVisiOn: 360-degree viewable glasses-free tabletop 3D display composed of conical screen and modular projector arrays," Optics Express, Vol.24, No.12, pp.13194-13203, 2016.
- (2) M. Makiguchi, T. Kawakami, M. Sasai, and H. Takada: "Smooth Motion Parallax Glassless 3D Screen System Using Linear Blending of Viewing Zones and Spatially Imaged Iris Plane," SID 2017 Digest of Technical Papers, Vol.48, No.1, pp. 903-906, 2017.
- (3) S. Suyama, S. Ohtsuka, H. Takada, K. Uehira, and S. Sakai: "Apparent 3-D image perceived from luminance-modulated two 2-D images displayed at different depths," Vision Research, Vol.44, No.8, pp.785-793, 2004.
- (4) 巻口・高田: "光学リニアブレンドを用いたテーブル型裸眼3Dスクリーンシステムの提案と基礎検討," マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018) シンポジウム予稿集, pp. 509-513, 2018.
- (5) M. Makiguchi, H. Takada, T. Fukiage, and S. Nishida: "Reducing Image Quality Variation with Motion Parallax for Glassless 3D Screens using Linear Blending Technology," SID 2018 Digest of Technical Papers, Vol.49, No.1, pp.251-254, 2018.



(左から) 巻口 誉宗/ 高田 英明

超高臨場感を実現する自然な裸眼3D映像は人々の生活を変革するインタフェースの1つとなり得ると考えています。あたかもそこに実在するかのような体験をどこでも手軽に実現できるように研究開発を推進していきます。

◆問い合わせ先

NTTサービスエボリューション研究所
ナチュラルコミュニケーションプロジェクト
TEL 046-859-2539
E-mail 3dsc-mem-ml@hco.ntt.co.jp

「VR&ARを活用したスタジアム観戦」における競技フィールド再構成のための映像処理・提示技術

近年、VR (Virtual Reality)/AR (Augmented Reality) を活用したスポーツ観戦への期待が高まっています。NTTメディアインテリジェンス研究所では、VR/ARのそれぞれの利点を活かし、試合展開に応じて再構成された競技フィールドの映像を、観戦者が操作することなくVR/AR表示することで、より試合を応援したくなる「VR&ARを活用したスタジアム観戦」の実現をめざしています。本稿では、VRとARで共通的に利用できる映像コンテンツを作成する映像処理技術や、目の前に実在感のある映像を表示するための映像表示技術を紹介し

いそが いそが いそが いそが いそが いそが
磯貝 愛 /岡見 和樹 /松村 誠明
だ て むねかず か めだ あきお の と はじめ
伊達 宗和 /亀田 明男 /能登 肇
き ま た ひであき
木全 英明

NTTメディアインテリジェンス研究所

VR&ARがもたらす新たなスタジアム観戦の世界

近年、VR (Virtual Reality)/AR (Augmented Reality) を支えるセンサデバイス、コンテンツ制作および映像配信技術の発達に伴い、VR/ARを活用したスポーツ観戦のトライアルやサービス導入が開始されています。NTTドコモは、観戦者がARデバイスとして装着したスマートグラス上の試合を阻害しない位置に、選手情報や別視点のカメラ映像を重畳表示しながら、ラグビーを観戦するトライアルを実施しています⁽¹⁾。また、KDDIは、野球場に設置された5台のカメラを切り替えながらVR視聴するVRスポーツ観戦サービスを開始しています⁽²⁾。

しかし、スタジアム観戦では、目の前で繰り広げられる試合展開に応じてVR/ARに適したシーンが切り替わるため、VR/ARのいずれかだけではすべてのシーンを満たすことができません。試合観戦そのものを阻害しないよう、観戦者が意識して操作することなく、VR/ARが切り替えられる仕組みが必要になります。私たちは、VR/ARのそれぞれの利点を活かし、試合

展開に応じて再構成された競技フィールドの映像を、観戦者が操作することなくVR/AR表示することで、観戦者がより試合を応援したくなる「VR&ARを活用したスタジアム観戦」の実現をめざしています。このために、VRとARで共通的に利用できる映像コンテンツを作成する映像処理技術や、目の前に実在感のある映像を表示するための映像表示技術の研究開発を進めています。

本稿では、VR&ARを活用したスタジアム観戦を実現するためのシステム概要を説明した後、VR/AR表示用に競技フィールドを再構成する映像処理技術として、カメラを設置することができない競技フィールド内の映像を生成するための「3次元再構成技術」、注目選手にフォーカスさせるため注目選手以外を目立たなくした映像を生成する「隠消技術」について紹介します。また、観戦席以外の場所でもスポーツ観戦を盛り上げることを目的とした将来のARデバイスとして、テーブル上に競技フィールドを立体的に表示するための「視覚的に等価なライトフィールド映像生成技術」について紹介します。

VR&ARを活用したスタジアム観戦システムの概要

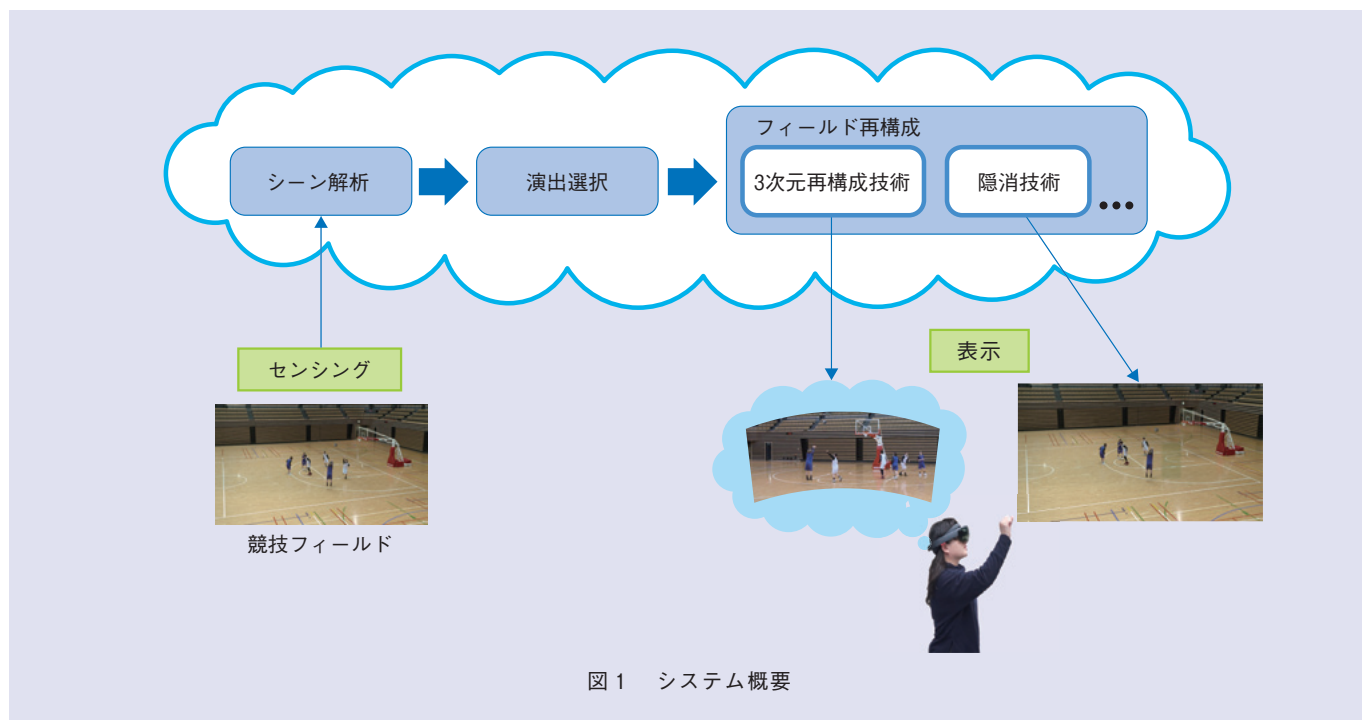
VR&ARを活用したスタジアム観戦を実現するためのシステム概要を図1に示します。

スタジアムを取り囲むように設置された複数カメラは、競技フィールド全体をセンシングし、カメラ映像をクラウドにアップロードします。クラウド上では、カメラ映像から競技フィールドで起こっている事象を解析し、その情報を基に観戦者にどのような映像を提示するか演出が選択されます。そして、演出に応じてカメラ映像から競技フィールドを再構成し、観戦者の視聴端末に映像が配信されます。

競技フィールド再構成のための3次元再構成技術

はじめに、競技フィールドを再構成する映像処理技術の1つである、カメラを設置することができない競技フィールド内の映像を生成する「3次元再構成技術」について紹介します。

スタジアムやアリーナなどでは観戦席が決まっているため、限定された方向からしか観戦できなかったり、競技



フィールドまで遠く選手が見えなかったり、観戦者が試合展開に応じて期待した視点から観戦することができません。自由な視点をつくる取り組みとして、これまで競技フィールドを取り囲むように配置したカメラから、カメラを配置できない競技フィールド内の視点の映像を生成する自由視点映像合成技術が提案されてきました。しかし、広域な競技フィールド全体をセンシングするためには、多数のカメラを会場に配置しなければならず、既施設への設営負荷が高いという問題があります。また、カメラ位置より前方の競技フィールド内の視点映像は、カメラ映像の空間分解能の限界や、隠蔽領域の不良設定問題のため、スポーツ観戦に耐え得る品質の映像を生成することができません。

この問題を解決するため私たちは、撮影した映像から選手の動きを推定し、その推定結果を事前に作成しておいた当該選手の高品質なCGモデルに割り当てることで、人物の擬似的な再

構成を行う手法を提案しています。近年の映画やゲームコンテンツなどで見られるように、CGの品質は非常に高い水準に達しているため、本手法でも現実と見紛うような品質の自由視点映像を生成することが可能となります。

本手法の実現のためには、映像から選手の動きを推定する技術が必要となります。近年、DeepLearningを用いてカラー画像から人物の動作を高精度に推定する技術⁽³⁾が提案されていますが、これらの技術は遮蔽物により被写体である人物が部分的に隠れてしまう場合に動作の推定精度が大きく低下するという問題があります。スポーツシーンでは、1つのシーンに多数の選手が入り乱れ、互いに遮蔽し合う状態は容易に発生するため、遮蔽物に対する頑健性を高めることは重要な課題です。そこで私たちは、カラー画像から直接被写体の動作を推定するのではなく、まず、遮蔽物に隠された被写体のシルエットをカラー画像から推定し、推定したシルエット画像とカラー画像

を利用して人物の動作を推定する手法を提案しました（図2）。シルエット画像を用いて人物の動作の候補範囲を限定することで、従来技術と比較してより高精度な動作推定が実現できます。

競技フィールド再構成のための隠消技術

次に、注目選手にフォーカスさせるため注目選手以外を目立たなくした映像を生成する「隠消技術」について紹介します。

映画や漫画では、注目させたい人物のみを残し、さらにスポットライトなどの効果を付与することで、そのシーンで特に注目させたい人物にフォーカスを当てる演出が行われています。私たちは、このような演出をスタジアムやアリーナなどで開催される試合において適用することで、勝敗を左右する決定的なシーンで得点にかかわる選手への注目が高まり、試合観戦をより盛り上げることができると考えています。

実空間に存在する物体を目立たなく

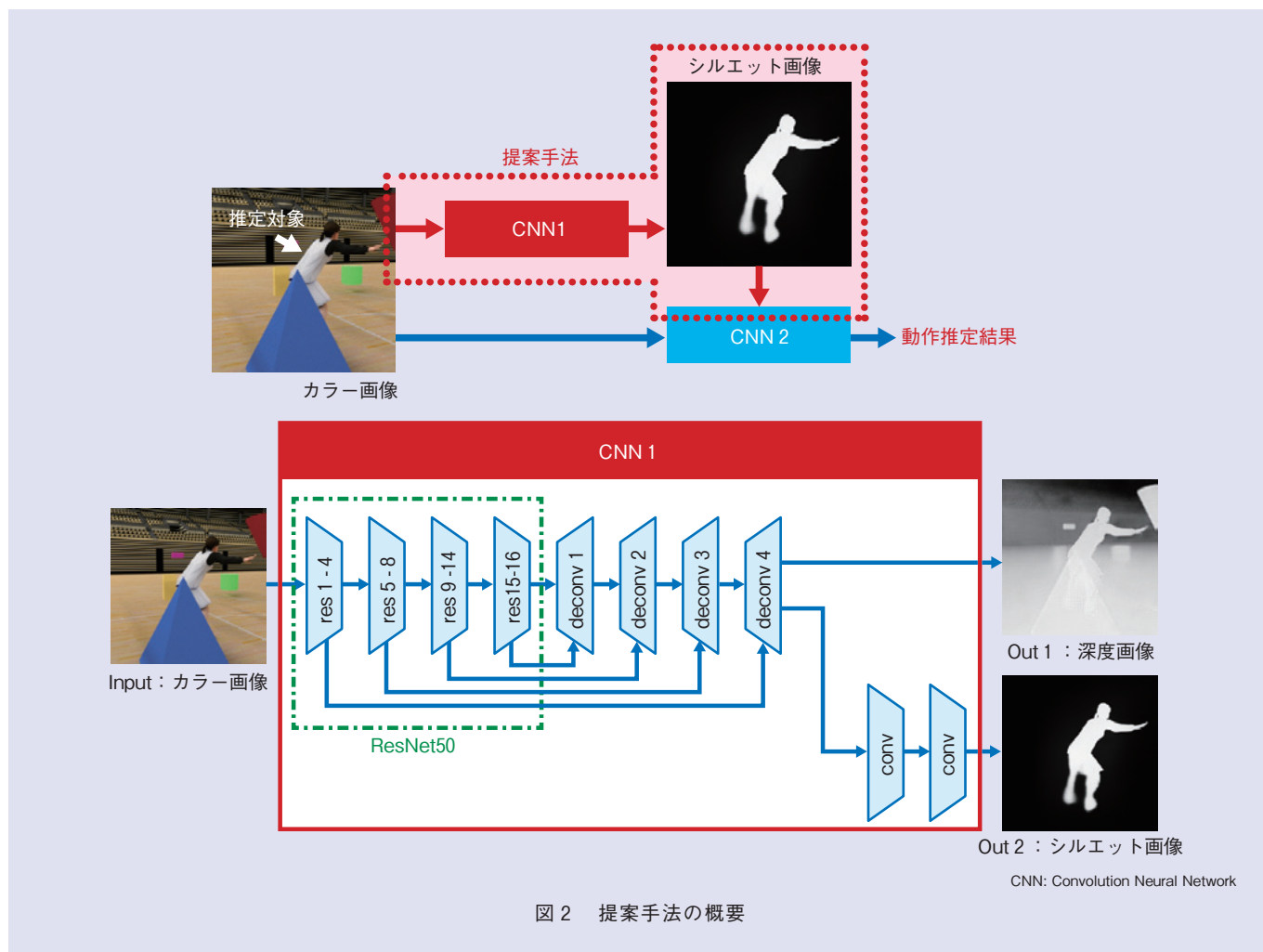


図2 提案手法の概要

する技術として、対象領域の背景映像を対象領域に重畳することで、対象領域を取り除いた映像を生成するDR (Diminished Reality) 技術が提案されています。スポーツ競技に適用するためには、重なり合うようにプレイしている複数の選手の前後関係（3次元情報）を考慮しながら、対象領域のみを目立たなくするDR技術が必要となります。また、観戦者はさまざまな位置姿勢でスポーツ競技を観戦しているため、観戦者の視点ごとに対象領域を目立たなくする処理を施した映像を提示しなければなりません。

このような課題に対して、私たちは、スタジアムやアリーナなどの競技会場を取り囲むように設置した複数カメラ

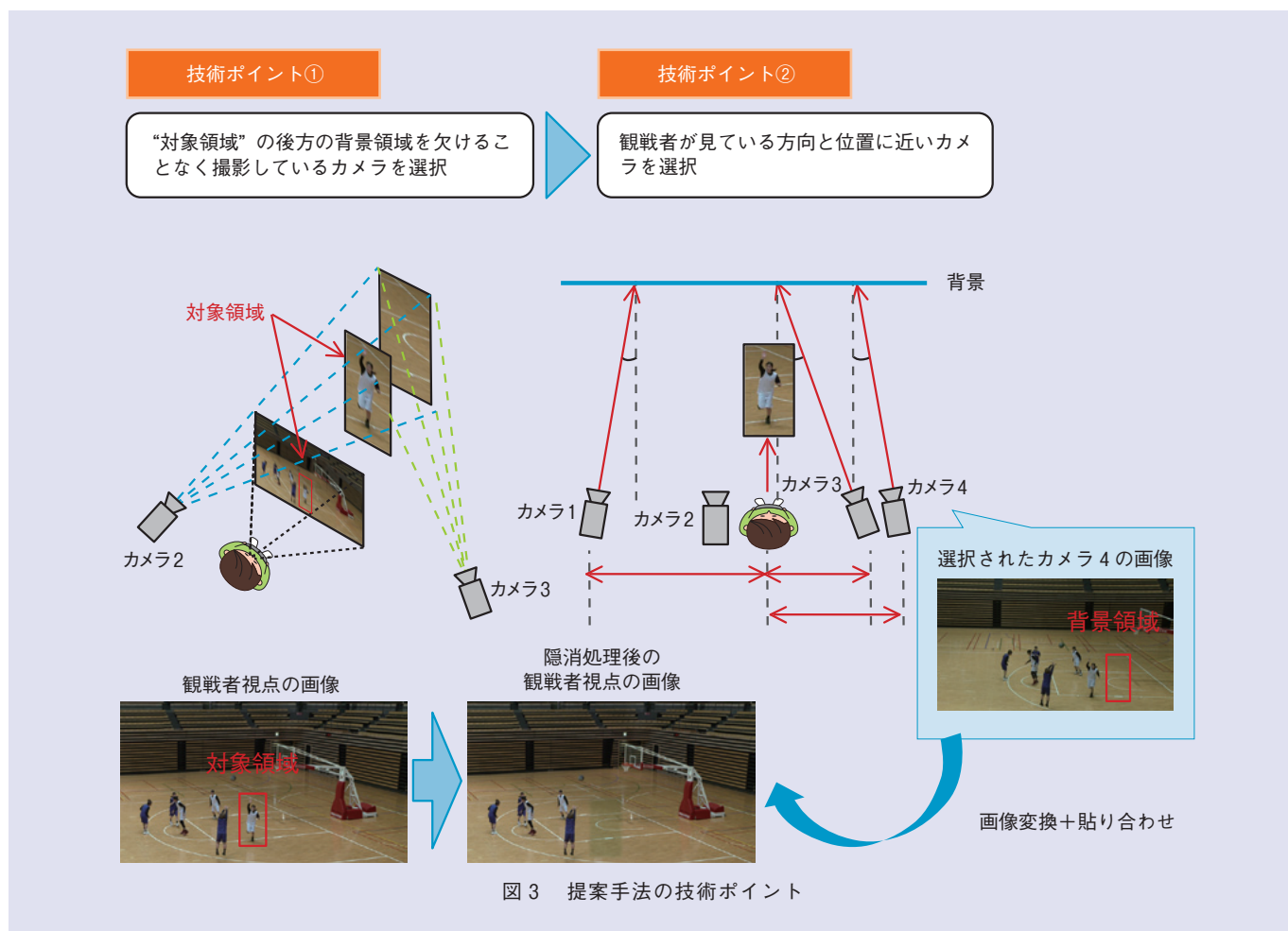
から、対象領域の背景を撮影しているカメラを選択し、観戦者から見て競技フィールドに一致するように画像変換した画像を貼り合わせることで、対象領域を目立たなくする手法を提案しています⁽⁴⁾。

提案手法の技術ポイントを図3に示します。第一の技術のポイントとしては、観戦者から競技フィールドまでの距離が遠く、競技フィールドを再構成するのに必要な奥行きが狭いことに着目し、競技フィールドを離散的な多層平面と仮定して3次元情報を推定しています。これにより、競技フィールド全体の3次元情報を推定する手法と比較して少ない計算量で、対象領域の前後関係（3次元情報）を考慮し

ながら、対象領域の背景を撮影しているカメラ群を抽出することができます。第二の技術ポイントは、対象領域の背景を撮影しているカメラ群から、観戦者が見ている方向と位置に近いカメラを選択していることです。これにより、背景画像に施す画像変換量が小さくなり、幾何歪みを抑えながら対象領域を目立たなくすることができます。

視覚的に等価なライトフィールド映像生成技術

最後にARデバイスとして、テーブル上に競技フィールドを立体的に表示するための「視覚的に等価なライトフィールド映像生成技術」について紹介します。



私たちはチケット売り場やロビーなど、スタジアムやアリーナの観戦席以外のスペースで試合のハイライトシーンを提示することで、選手やチームに興味を持ってもらい、リピーターを増やすことができると考えています。観戦体験をより魅力的に提供するには、その場に選手がいるかのような実在感を提示することが重要になります。

選手、コート、ボールなどの物体は周囲の照明などの光を反射したり、自身が発光したりすることで、方向により色や明るさが異なる光線を発しています。この多数の光線がつくる場はライトフィールドと呼ばれ、正確に提示することができれば、高い実在感でシーンを提示できます。しかし、方向によって異なる光線を表示するには、

方向の数だけ画素を割り当てることになります。例えば、100方向の光線を生成するには、同じ解像度の2次元ディスプレイの100倍の画素が必要になってしまいます。

人間の視覚は眼の瞳に入る光線から物体を知覚します。これは、カメラで写真を撮るような単純な画像の取得だけではなく、左右の眼という異なる視点で得られる光線情報の違いや、身体の揺れや眼球運動による繊細な視点位置の変化に対応した微小な光線の変化を利用しています。この知覚は一見すると高度ですが、人間は必要のない要素には鈍感です。実物からの光線とは異なっている、人間の知覚にとって等価と感ずるものを提示することができれば、人間は実物と同じように知覚

するというのが視覚的に等価なライトフィールドディスプレイの考え方です。本技術では、離散的な視点への光線の情報を基に、ディスプレイ内部で複数の光線を光学的に加重平均することで、中間の視点への光線を等価的に補間生成しています⁽⁵⁾。

装置の概要を図4に示します。左上に示したように、バックライト光源の前面にストライプ状の光学バリアを設置し、その前面に液晶パネルを設置します。例えば、バリアの隙間から視点Aに至る光線は液晶パネルの視点Aへの光線をつくる画素だけを照明するので、視点Aからはその画素群で構成された画像が見えます。視点Bでも同様です。視点AとBの中間から見ると、視点からの距離に応じて加重平均され

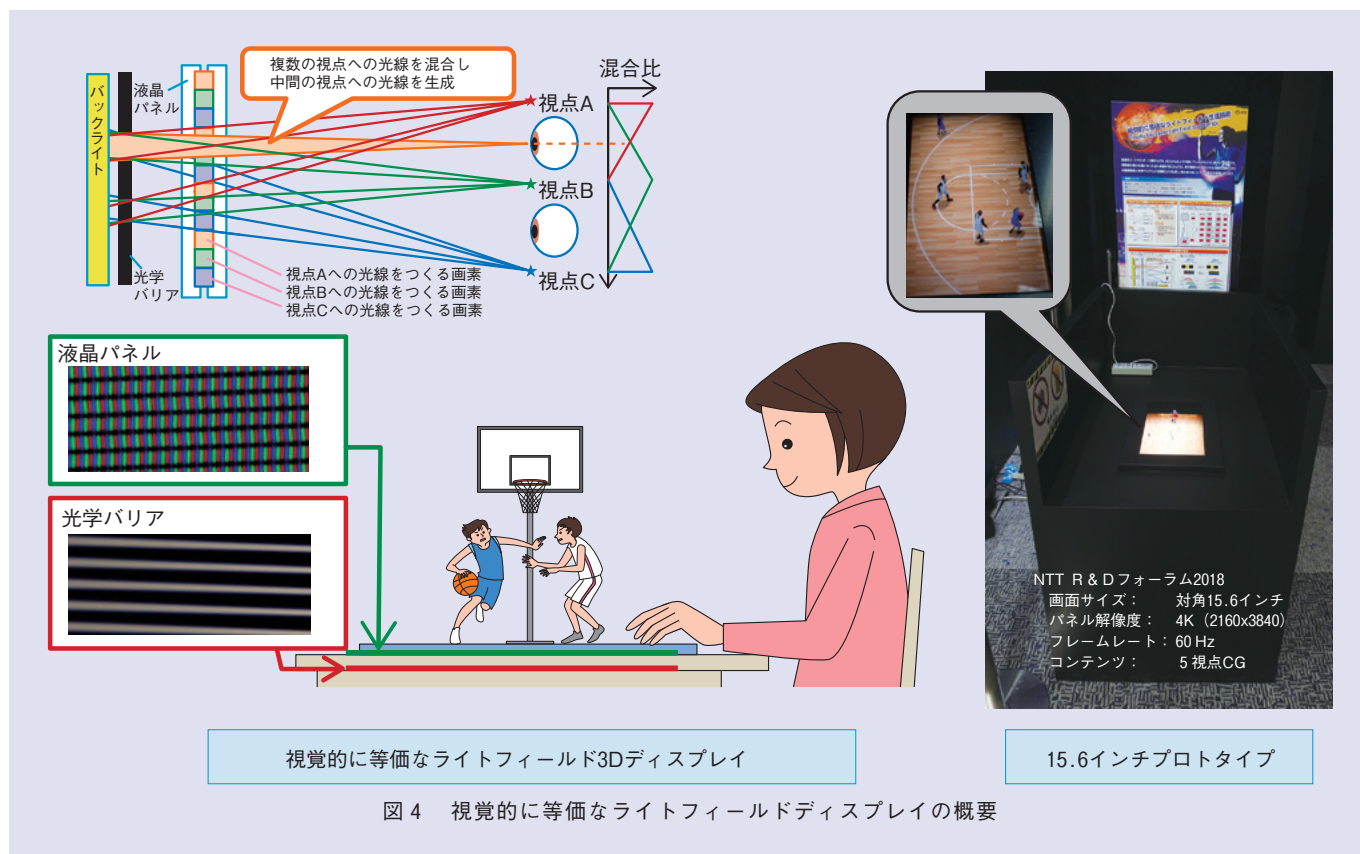


図4 視覚的に等価なライトフィールドディスプレイの概要

た光線が見えることになり、中間の視点と等価に知覚されます。今回はスポーツということで、左下の図のように平面のコートに対応して画面を水平に置き、コートの隅々まで高画質で表示可能としました。

ライトフィールドを再現しているため、大人と子どものように左右の眼の間隔が異なっても、正しい奥行きで知覚できます。また、補間の効果は画素数の節約だけではなく、そのアナログな滑らかさが実在感の向上に貢献していると考えています。

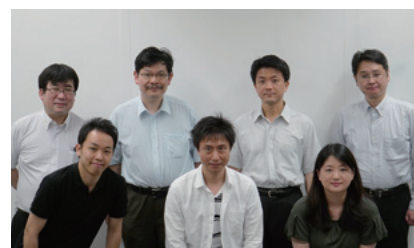
今後の展開

VR/AR関連技術の向上に加えて、2020年に向けてスポーツが注目されていることから、今後も、VR&AR技術を活用したスタジアム観戦への期待は高まっていくと予想されます。NTTメディアインテリジェンス研究

所では、試合展開に応じて演出およびVR/AR提示を選択するためのシーン解析技術、競技フィールドを再構成するための映像処理技術と視覚的に等価なライトフィールド映像生成技術の研究開発を推進し、新たなスポーツ観戦体験の創出に貢献していきます。

参考文献

- (1) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics/topics_171221_01.pdf
- (2) <http://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2018/07/25/3281.html>
- (3) Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei, and Y. Sheikh: "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields," CVPR 2017, pp.7291-7299, 2017.
- (4) M.Isogai, D.Ochi, and H.Kimata: "Diminished Reality Using Plane-based Reconstruction Method," IMID 2017, F38-4, 3DSA, Busan, Korea, Aug. 2017.
- (5) 伊達・越智・木全: "視覚的に等価なライトフィールドフラットパネル3Dディスプレイ," 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会講演予稿集, 1B4-04, 2017.



(後列左から) 能登 肇/ 伊達 宗和/
木全 英明/ 亀田 明男
(前列左から) 岡見 和樹/ 松村 誠明/
磯貝 愛

観戦者がより試合を応援したくなる「VR&ARを活用したスタジアム観戦」の実現をめざし、競技フィールドを再構成するための映像処理技術と視覚的に等価なライトフィールド映像生成技術の研究開発に取り組んでいます。

◆問い合わせ先

NTTメディアインテリジェンス研究所
画像メディアプロジェクト
TEL 046-859-2938
FAX 046-859-2829
E-mail megumi.isogai.ks@hco.ntt.co.jp

主役登場

Kirari!における被写体抽出技術の 今とこれから

柿沼 弘員

NTTサービスエボリューション研究所
研究員



近年、AR（Augmented Reality: 拡張現実）やMR（Mixed Reality: 複合現実）と呼ばれる、映像、音声などのデジタル情報を目の前の現実空間と融合させて提示するコンテンツの観せ方が広まりつつあります。

私たちの取り組んでいる超高臨場感通信技術Kirari!は、スポーツの試合、音楽や演劇のステージ、著名人の講演など、大勢で観戦・観賞・聴講するような空間一体型のコンテンツを、通信と映像、音声の技術を組み合わせて別の空間に伝送・再構築する技術であり、これまで現場でしか味わえなかった臨場感を、遠く離れた会場でも体感できるような世界を実現しようとしています。

私はKirari!の要素技術群の中でも、映像から被写体領域を抽出する研究に取り組んでいます。これは映像中の対象人物を背景から切り離し、あたかも別の空間に存在しているかのように表示するための技術です。具体的には、ニュース番組の天気予報や、ハリウッド映画のCG合成などで用いられるクロマキーと同じ効果をねらいながらも、スタジオやグリーンバックなどの環境を必要とせず、かつリアルタイムで被写体のみを抽出することを実現しようとしています。

私たちはこの技術を用いて、直近2年間で10以上の異なる会場で、一般のお客さま向けの実証実験やプロモーションイベントを一部事業会社の方々と協力しながら行ってきました。中でも多方面から好評いただいているニコニコ超会議の超歌舞伎では、毎年新しい技術を取り入れてお

り、3年目の今年は機械学習（ニューラルネットワーク）を利用した被写体抽出技術の一部のシーンに組み入れて、演出を盛り上げることができました。しかしその裏側では、本番と同じ条件での撮影が直前までできない舞台環境ということもあり、最終リハーサル時点でも精度の良い抽出結果が得られていませんでした。そのため、公演期間中も毎回本番映像を追加して学習を繰り返し、後半になってようやく最高精度に達するという綱渡り的な運用で成立させていたのが実際のところで、不確定要素の多い現場での利用にはまだまだ多くの課題が残っています。

また、臨機応変な調整や判断、検証とプロトタイピングのスピード感など、現場で求められるものは決して簡単なものではありませんが、本気で良いものを創り上げようという熱意のあるNTTグループ外の方々と協力して仕事ができたり、アウトプットに対してエンドユーザから生のフィードバックが得られたりと、研究所の中にいるだけでは得られない知見やモチベーションが得られることが多く、とてもやりがいのある環境だと感じています。

今後は、撮影や学習における制約条件を緩和し、被写体抽出の適用シーンを増やしていくことを研究の軸としながらも、そもそも臨場感とは何なのか、どうしたら人間は高い臨場感を感じるのか、その本質に迫れるよう研究開発を進め、今までにない臨場感のかたちを提供していきたいと考えています。

Technology Reports

需要予測

モバイル空間統計

ディープラーニング

社会・産業の発展に貢献するAI技術特集

AIタクシー —交通運行の最適化をめざした タクシーの乗車需要予測技術—

サービスイノベーション部

かわさき

川崎

さとし

仁嗣

いしぐろ

石黒

しん

慎

ふかざわ

深澤

ゆうすけ

佑介

IoTビジネス部

ふじた

藤田

まさのり

将成

すずき

鈴木

りょうへい

亮平

まさしま

槇島

あきひと

章人

タクシードライバーが収益を増加させるためには、不慣れな地域や時間帯などにおいても効率的にお客様を獲得し、乗客を乗せている実車時間を最大化することが重要となる。そこで、ドコモは過去のタクシー運行データや、人々の統計的な位置情報から、エリアごとにタクシーの乗車需要を予測する技術を開発し商用提供を開始した。これにより、タクシー運転手はリアルタイムに変化する乗車需要を確認し、効率的な運行による生産性向上が可能となるほか、タクシーの乗客にとっても待ち時間の短縮が期待できる。

1. まえがき

タクシーの運行において、空車状態の時間を減らし、実車（乗客を乗せている状態）の時間を最大化することは、収益向上の観点で非常に重要である。不慣れな地域や時間帯、また、新たな道路の開通や商業施設のオープンなどの日々変化する環境、電車遅延など突発的な状況下においても効率的に乗客を見つめることができれば、実車時間の割合を増やすことができタクシードライバーの収益向上が期待できる。さらに、効率が改善されることで生産性が向

上し、より働きやすい環境となることも期待される。

このような状況に対応するためドコモは、過去のタクシーの乗車実績データ、および、人々の統計的な位置情報を用いて、場所ごとにタクシーの乗車需要を予測する手法を考案した。また、その手法を組み込んだ需要予測システムを開発し、その有効性をタクシー事業者と共同で実施した実証実験にて検証し、全期間連続で収益向上と実車率向上の効果が確認できたことからAIタクシー^{®*1} [1] として提供を開始した。需要予測システムの予測結果をタクシードライバーに提示することで、図1に示すように需

©2018 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

※AIタクシーで使用する人口統計は、エリアごとや属性ごとの集団の人数を示す情報であり、お客様個人を特定できる情報を一切含みません。したがって、この人口統計によりお客様の行動が他人に知られることはありません。なお、AIタクシーで使用する人口統計は、以下のモバイル空間統計ガイドラインを遵守しております。

https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/guideline/index.html

要の高いエリアへ配車することができる。結果として図2①に示すように乗客がタクシーをつかまえるまでの時間が短くなるだけでなく、図2②～④に示すようにタクシー事業の収益向上に繋がることが期待できる。

2. タクシーの乗車需要予測技術

2.1 概要

本技術では、モバイル空間統計のリアルタイム版^{*2}、天気予報、過去のタクシー乗車実績などを入

力データとし、500mメッシュ^{*3}単位で30分先までのタクシー需要（当該メッシュにおける乗車の発生回数）を推定する。

一般的に、過去の実績から将来にわたる時系列のデータを予測するには、時系列予測モデルである自己回帰モデル（AR model：Auto Regressive model）^{*4}やそれを発展させた自己回帰和分移動平均モデル（ARIMA model：Auto Regressive and Moving Average model）^{*5}が用いられる。タクシーの乗車需要においても同様に時系列予測モデルを適用することが可能であるが、過去のタクシー乗車実績

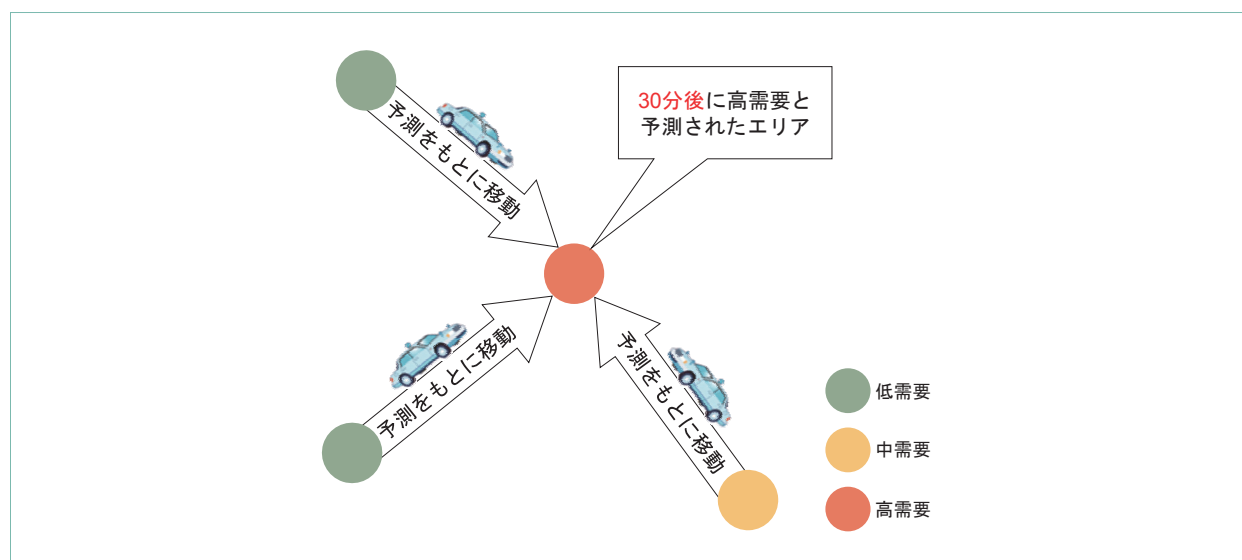


図1 需要予測とタクシー移動

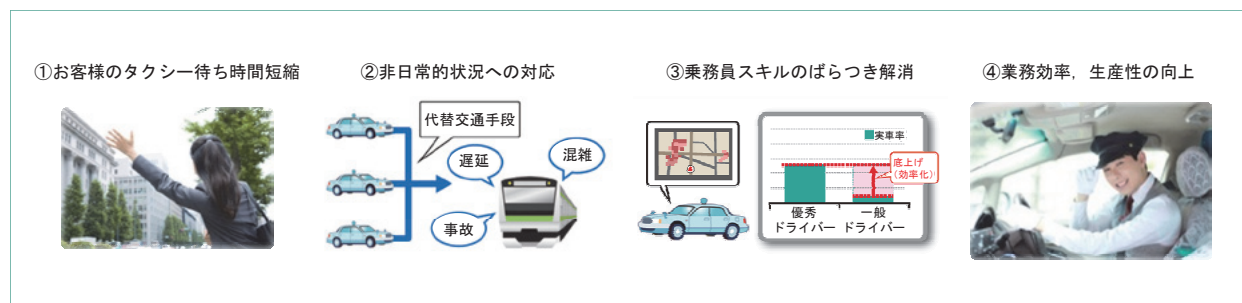


図2 AIタクシーによる期待効果

*1 AIタクシー：(株)NTTドコモの登録商標。

*2 モバイル空間統計のリアルタイム版：ドコモの携帯電話ネットワークの仕組みを使用して作成される人口の統計情報で、10分ごとに直近の日本全国の人口を500mグリッドで推定することが可能である。

*3 メッシュ：緯度・経度に基づき、国土を網の目状に分けた区画。

*4 自己回帰モデル（AR model）：回帰モデルでは、結果の値（目的変数）を、影響を与えた値（説明変数）で表す式としてモデル

化するが、その中でも説明変数の値として目的変数の過去の値を用いるモデル。

*5 自己回帰和分移動平均モデル（ARIMA model）：自己回帰モデル（Auto Regressive model）と移動平均モデル（Moving Average model）、和分モデル（Integrated model）とを組み合わせた回帰モデル。移動平均モデルは過去の予測値と実績値との誤差の和、和分モデルは階差を利用してモデル化する。

だけでなく、天気予報や周囲の人口変動も乗車需要に影響を与えていることから、より精度を向上させるためこれらのデータも組み合わせた自己回帰である、多変量自己回帰モデル^{*6}を利用している。しかし、多変量自己回帰モデルを含む自己回帰モデルでは、メッシュごとにモデル式内の重み値（パラメータ）として適切な値を人間が決めることが一般的である。サービスをより広範囲のエリアで展開していくにあたり、メッシュの数が増えることから機械的に重み値を決定できる手法が求められる。そこで、これらの異種混合データから精度向上に有用となるデータの組合せやパラメータを機械的に獲得するため、ディープラーニングと呼ばれる手法を用いることとした。商用サービスにおいては、図3に示すように多変量自己回帰モデルの予測結果とディープラーニングの予測結果とで精度の良い方を利用する構成となっている。

ディープラーニングは深層学習とも呼ばれる機械学習^{*7}手法の1つであり、学習処理などに高い計算能力が必要であるが、ここ最近のハードウェア性能の向上に伴い、これまでよりも低コストで実現可能と

なった事から注目を集めている。今日までにディープラーニングは画像認識、自然言語処理、音声認識など多様な分野で他の機械学習手法を圧倒する高い性能を示し成果を挙げている。ディープラーニングでは、多層（一般的には4層以上）のニューラルネットワーク^{*8}を用いて、高度な特徴量抽出や選定などの事前のモデル設計を行わずに、単純な特徴量のデータを入力として、データ間の構造・関係性を高レベルな特徴量で表現することで、データ中の重要な要素の抽出を実現する。

2.2 モバイル空間統計のリアルタイム版の活用

需要予測においてモバイル空間統計のリアルタイム版を用いていることは本技術の大きな特徴である。これまで、モバイル空間統計^{*9}として過去の人口統計データを活用している事例はあったが[2]、タクシーの需要予測においては直前の人口統計を利用することが精度向上の観点でも重要であり、今回新たに直近の人口統計データを作成することが可能な、モバイル空間統計のリアルタイム版を用いている。

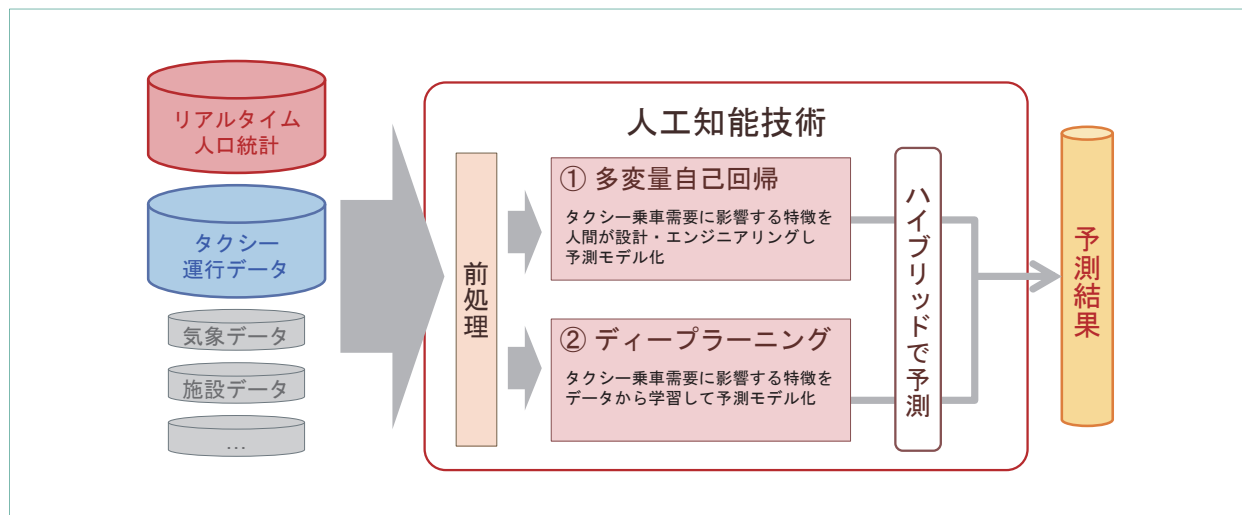


図3 タクシー乗車需要予測技術の構成

^{*6} 多変量自己回帰モデル：自己回帰モデルを多変量に拡張したモデル。ベクトル自己回帰モデルともいう。

^{*7} 機械学習：サンプルデータから統計処理により、有用な判断基準をコンピュータに学習させる枠組み。

^{*8} ニューラルネットワーク：人間の脳機能における特性を計算機で模倣したものであり、脳では神経同士の結合が学習を繰り返すことで結合強度を変化させ正解を導けるように自己学習していくのと同様に、学習データからノード間の結合度合いを変化

させ学習を行うことが可能な数式的なモデルである。これまでの機械学習では、入力データの特徴を人間が見つけて特徴量を設計していたが、ニューラルネットワークでは人間の脳と同様に学習データを与えることで機械的に特徴量を獲得していくことが大きな違いである。

^{*9} モバイル空間統計：(株)NTTドコモの登録商標。

図4に示すように、通常よりも人口が多く集まっている時間・場所では乗客獲得率が高いことが分かっており、人口データを利用することで潜在的な需要を発見できる可能性がある。

人口の変動とタクシーの乗車需要の変動には、図5に示すように相関関係が見られる。メッシュAは人口の増加に伴い、乗車需要も高まっていることが分かる。このメッシュは駅などの他の交通機関を含ん

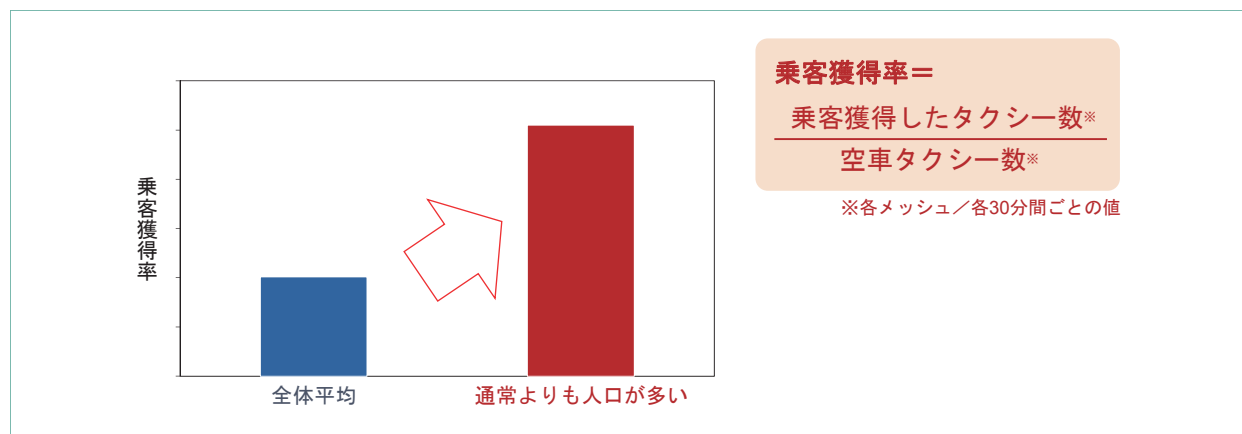


図4 タクシーの乗客獲得率

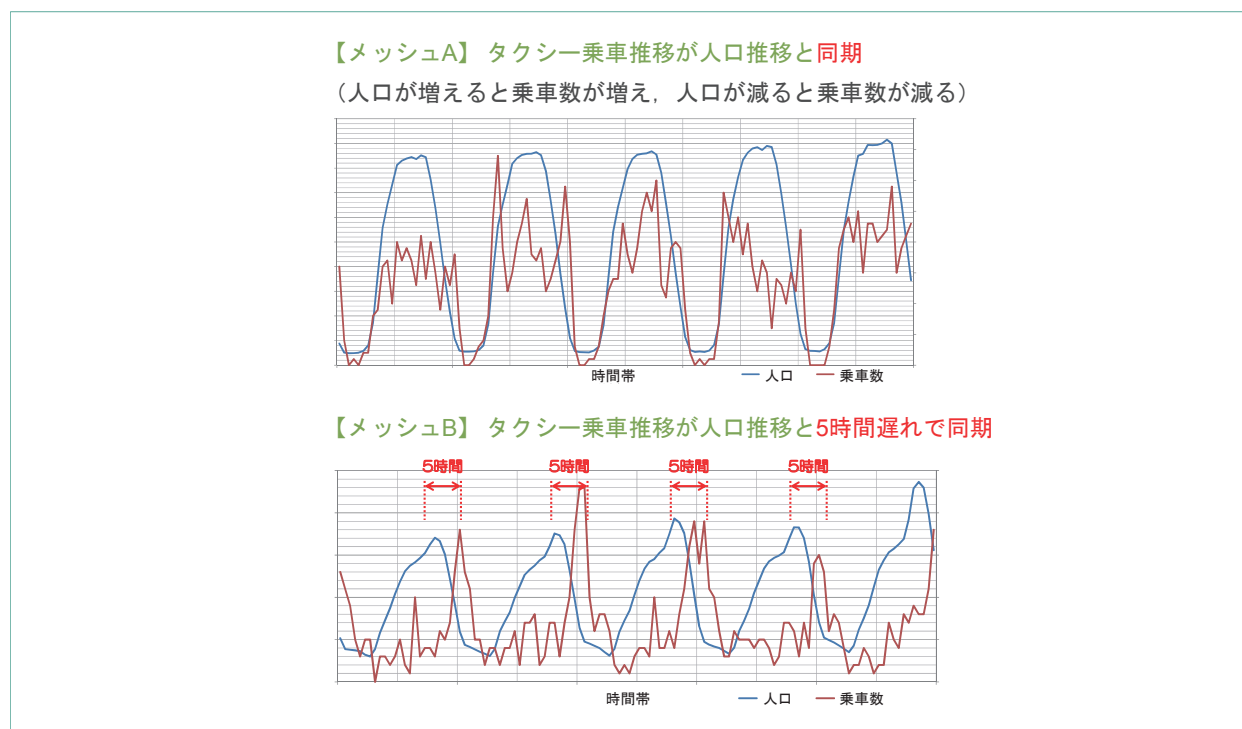


図5 タクシー乗車需要推移と人口推移の関係性

でいる可能性が高く、他のエリアから移動してきた人々の一部がタクシーに乗換えを行ったことで需要が高まっている（グラフ上で高い値になっている）と考えられる。一方で、メッシュBは人口の増加が見られてから5時間ほど経った後に乗車需要が高くなっている。このメッシュは商業施設やイベント施設などを含んでいる可能性が高く、施設に会場した人々がある程度の時間滞在した後にタクシーへ乗車して他のエリアへ移動していると考えられる。このように人口の推移を入力データとして用いることで、将来の乗車需要の推移を予測できることを示している。しかし、エリアの特性に応じて人口推移に対する乗車需要推移の遅延間隔がそれぞれ異なっており、何時間前の人口データを重視して予測を行うべきかをエリアごとに判断しなければならない。そこでこのような複雑な相関関係をもつデータを扱うために、機械的に特徴を抽出することが可能なディープラーニングも用いることとした。

2.3 ディープラーニングによる需要予測手法

ディープラーニングとしてさまざまなネットワーク構造が研究されてきているが、本手法ではAuto-encoder [3] を発展させたSdA (Stacked denoising Autoencoders) モデル [4] を用いている。Auto-encoderとは、入力されたデータを、それよりも少ない数の中間データに圧縮し、そこから再び入力データと同じデータを復元させるネットワーク構造であり、入力データを表す入力層、中間データを表す隠れ層、復元データを表す出力層の3層から成る。隠れ層では、入力データの数よりも少ない中間データに圧縮されるため、データを復元する際に重要ではないデータの重みは小さくなり、入力データを表現する上で特に重要な要素が抽出されることが期待できる。

本手法で用いているネットワーク構造では、図6の右側に示すように複数のAutoencoderを積層 (Stack) させることで、より潜在的な特徴量を効果

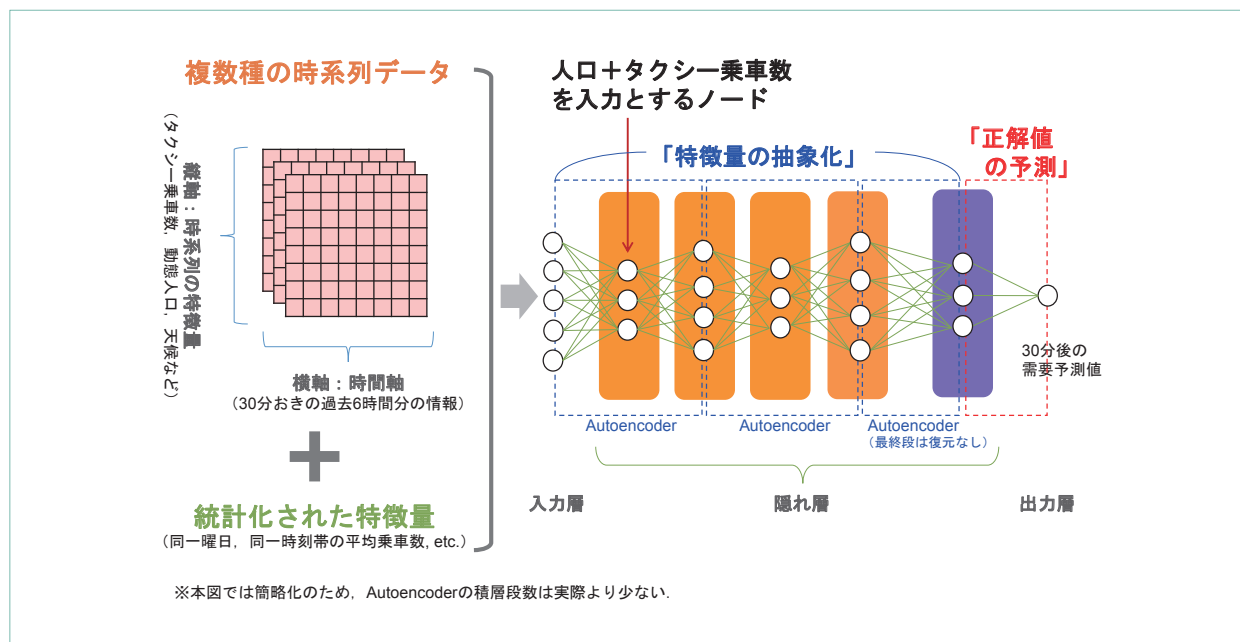


図6 タクシー乗車需要予測におけるネットワーク構造

的に抽出することができ、これにより精度向上を実現している。また、需要予測を回帰問題^{*10}として扱うために、最も重要な特徴量が抽出されている最終段のAutoencoderの隠れ層に回帰の予測器^{*11}を入れることで、最終的には需要予測結果の数値を出力する。図6の左側に示すように、過去のタクシー乗車実績データや人口などの時系列データに加え、同一曜日同一時刻帯の平均乗車数のような統計値も入力データとして入力層に与えており、複数の隠れ層を経由することで重要な特徴が抽出される。最後の隠れ層では各データに対し学習した重み値が掛け合わされ、その結果が足し合わされることから出力層には回帰での需要予測結果が出力される。なお、SdAモデルを利用した学習処理では、大量の学習用データから時間情報と空間情報の関係性が各ノード間のリンクにおける重み値として機械的に学習される。

また、Autoencoderの入力にノイズを加えて学習させることでノイズを除去する（denoising）特性も持たせている。Autoencoderでは入力データを復元しようとするが、欠損（またはノイズ）が加わったデータを入力データとして与え、欠損（またはノイズ）を加える前の元データを復元するよう学習を行うことで、入力データがもともと持つノイズや欠損の影響を受けづらくなることや、元データの復元におい

て重要な情報を優先的に抽出することを期待できる。

3. 実証実験

本技術を用いて、東京でのタクシー需要を予測する実験を実施した。各500mメッシュに関して、ある対象の時刻から30分間に同エリアで何台のタクシーが乗客を乗せることができたかを計算する。2015年4月1日～2016年8月31日を学習用データとして用い、2016年9月1日～2016年9月14日を評価用データとして利用した。その他のデータの詳細は表1のとおりである。運転席脇に設置したタブレット上に図7のような画面表示を行い、地図上の赤破線で区切られたエリア内での乗車需要回数の予測結果が数値で示されており、ドライバーは提示された需要の予測値が高いエリアを走行した。

実証実験期間における本技術の予測精度を検証したところ、エリアによって多少の上下はあるが93～95%となっており、高精度に需要を予測できていることが確認できた。実際の乗車実績と予測結果との比較を図8に示す。実証実験前の月と比較した実証実験対象月の売上上昇幅が、実証実験のすべての期間において、全ドライバーでの上昇幅平均値よりも需要予測システムを利用したドライバーの上昇幅平

表1 実証実験で用いたデータ

データソース		東京都
期 間		2015年4月1日～2016年9月14日
タクシーデータ	台 数	4,400台
	取得頻度	5～10秒ごと
人口データ	解像度	500m
	取得頻度	10分ごと
雨量データ	解像度	250m
	取得頻度	10分ごと

*10 回帰問題：目的となる変数を導出するにあたり、影響を与える変数で表される式で回帰として扱うことが可能な問題。

*11 予測器：与えられた入力をもとに、次に出現するものを推測する装置。

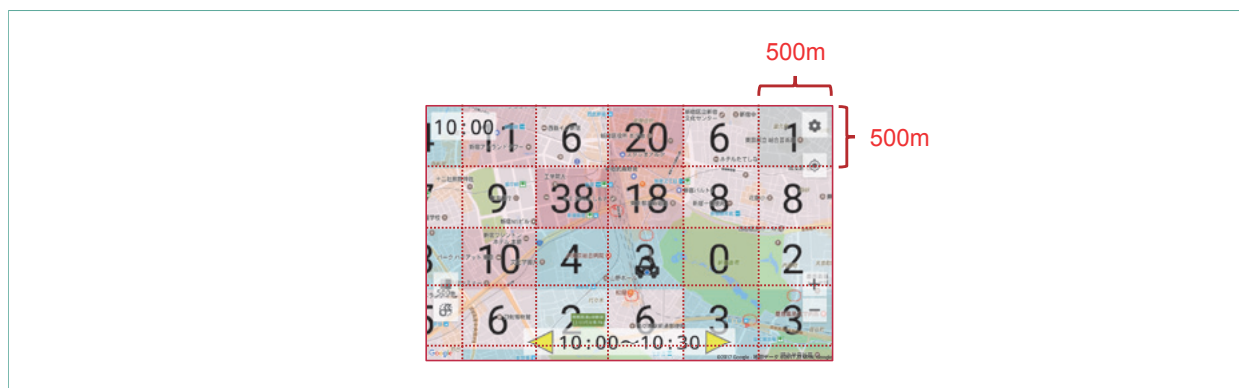


図7 需要予測結果の表示画面例

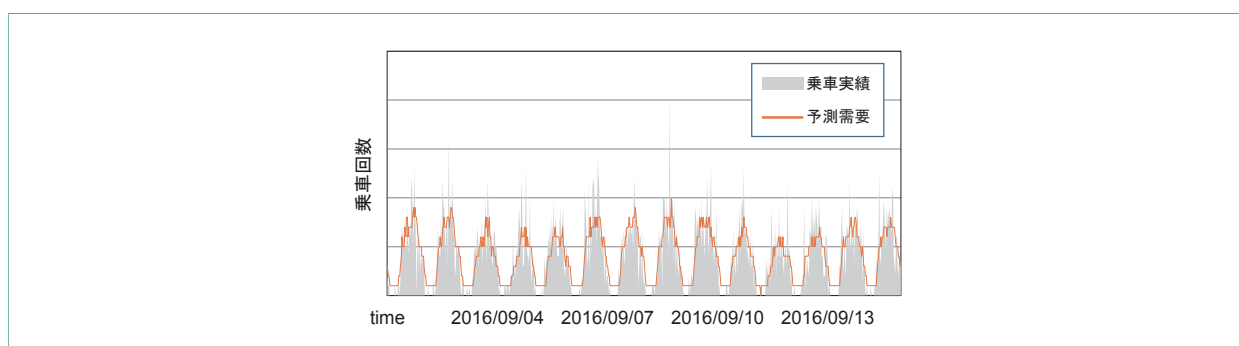


図8 需要予測結果と乗車実績の比較

均値が上回っており、1日あたり1人平均で約1,400円の売上が確認できた。また、乗客獲得の効率性を示す指標である実車率の向上も見られた。

4. あとがき

本稿では、AIタクシーサービスで用いている、タクシーの将来の乗車需要を予測する技術について、その詳細を解説した。運行の効率化を実現するためには、需要と供給のマッチングが重要となる。本技術により、あらかじめ需要が予測できていれば、それにあわせて空車タクシーの供給を最適化することが可能となる。今後は、全体最適を考慮した配車制御の仕組みについても検討を行っていきたい。

文 献

- [1] AIタクシーサービスWebサイト。
<https://www.nttdocomo.co.jp/biz/service/aitaxi/>
- [2] 岡島，ほか：“特集：社会・産業の発展を支える「モバイル空間統計」—モバイルネットワークの統計情報に基づく人口推計技術とその活用—”，本誌，Vol.20，No.3，pp.6-44，Oct. 2012.
- [3] G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov: “Reducing the dimensionality of data with neural networks,” Science, Vol.313, Issue 5786, pp.504-507, 2006.
- [4] P. Vincent, H. Larochelle, I. Lajoie, Y. Bengio and P. A. Manzagol: “Stacked Denoising Autoencoders: Learning Useful Representations in a Deep Network with a Local Denoising Criterion,” Journal of Machine Learning Research, pp.3371-3408, Dec 2010.

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/

IoT事業拡大のためのLoRaWAN™の事業化

今後の市場拡大が見込まれるIoT（Internet of Things）分野において、今までネットワークに接続していないモノをつなげるため、乾電池等で長期間駆動可能となるよう低消費電力な通信へのニーズが高まっています。NTT西日本グループではセンサデバイス向けの新たな通信方式であるLPWA（Low Power Wide Area）分野において、LoRaWAN™と呼ばれる規格に着目し、NTTネオメイトの事業として提供を行っています。ここでは2016年度より実施してきたNTT西日本グループのLoRaWAN™に関する取り組みについて紹介します。

LPWA, LoRaWAN™

今後の市場拡大が見込まれているIoT（Internet of Things）分野において、今後多くのセンサデバイスをつなげるために従来の通信方式ではコストと電力消費が大きな課題となっており、つながる社会を実現するためにはIoTに特化した新たな通信が求められています。

従来の通信方式と比べ広範囲をカバーでき、低消費電力で通信可能な新たな方式であるLPWA（Low Power Wide Area）の分野（図1）において、免許不要帯を用いるLoRaWAN™やSigfox、免許帯を用いたLTE-M（Long Term Evolution for Machines）やNB-IoT（Narrow Band-IoT）というさまざまな規格が生まれています。NTT西日本グループが取り組んでいるLoRaWAN™は、Semtech社やIBM社などの企業が中心となって仕様化した規格であり、免許不要のサブギガ帯域である920 MHz帯を利用し、低速ながら低消費電力で、長距離伝送できることが特徴です。LoRaWAN™は、世界500社以上の会社が参加するLoRa Alliance™により仕様策定され、パブリックに公開されているオープンな通信方式です。すでに北欧をはじめ

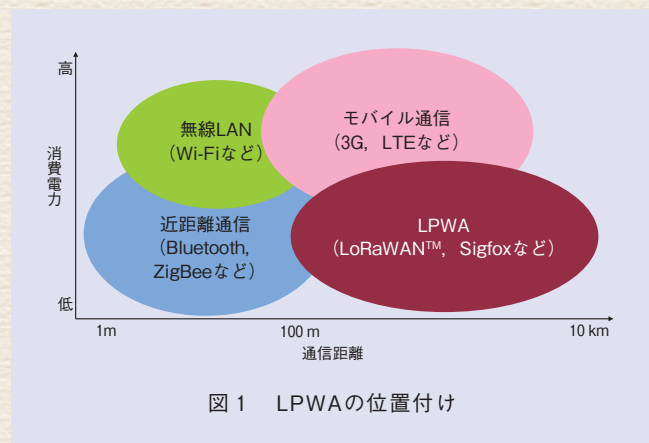
世界100カ国以上の国で利用されています。LoRaWAN™の規格に対応した機器を組み合わせ、自営網や公衆網としてネットワークを構築可能であるとともに、LoRaWAN™に対応したさまざまなセンサデバイスの接続が可能となります。

フィールドトライアル

NTT西日本では2016年6月から日本国内におけるLoRaWAN™の有効性の確認や、事例創出のためフィールドトライアルを実施しました（図2）。

トライアルではNTT西日本がネットワークを準備し、センサやアプリケーションサーバ、フィールドについてはパートナーが準備し、さまざまなユースケース、フィールドでの実証を行いました。積水化学工業株式会社とともに滋賀県彦根市の水田にてLoRaWAN™の給水栓装置の遠隔制御のトライアルを行い、電波伝搬試験や季節、稲穂などの周辺環境の電波への影響を確認しました。従来の無線規格では天候の影響や、稲穂が伸びることにより電波環境が悪化するなど課題がありましたが、LoRaWAN™を用いたフィールドトライアルにおいては夏から秋までの季節を通じ、問題なく通信可能であることを確認しました。

大阪ガス株式会社とは関西をフィールドに将来的なスマートメータを想定したテスト用ガスメータの遠隔制御、検針データの収集を行う実証実験を行い、実用化できるレベルであることを確認しました。メータの自動検針や保安を実施している業界では、遠隔からの検針や、地震等災害時における各メータの開閉状態の確認など、センタ側から端末に遠隔かつ省電力で指示したいという要望があります。その実現のために、本実証実験ではLoRaWAN™のクラスB通信と呼ばれる下り通信の応答性が高い方式を用いました。NTT西日本は本実証実験のため、日本で初めてクラスBに対応したLoRaWAN™環境を構築し、システム





遅延や通信成功率を検証し、実用化できるレベルであることを確認しました。

日本初のクラスB通信の実現

LoRaWAN™の規格では、消費電力や下り通信の応答性が違う3つの通信クラス（クラスA/クラスB/クラスC）が用意されています（図3）。

■クラスA

クラスAはLoRaWAN™の3つの通信クラスの中でもっとも低消費電力ですが、下り通信の応答性が低い通信方式です。デバイスは基本的にスリープ状態で、その間は下り通信を受け付けません。デバイスが上り通信を送信するタイミングでアクティブ状態になり、その後一定時間のみ下り通信を受け付けることができます。下り通信のパケットはデバイス側から上り通信が行われるタイミングでのみ受信可能となるため、下り通信の応答性が低くなりますが、可能な限りスリープ状態を保持するため、消費電力を大きく抑制することが可能です。

■クラスB

クラスBは消費電力を抑えながら、下り通信の応答性を向上した方式です。デバイスは定期的にアクティブ状態に

なり、下り通信を受け取るタイミングをつくるため、ネットワークサーバはそのタイミングに合わせて、下り通信を送信します。このとき、デバイスとネットワークサーバで同期が必要となるため、基地局からGPS信号を基準とした同期信号をブロードキャストします。デバイスはその同期信号を基準にしながら、定期的にアクティブ状態になります。アクティブ状態になる時間を定期的にすることで、消費電力を抑制し、下り通信の応答性を向上した通信を実現します。

■クラスC

クラスCは、デバイスが常時アクティブ状態であり、消費電力は高いものの、いつでも下り通信を受け取ることができます。もっとも下り通信の応答性が高い方式となっています。他の通信クラスに比べ、消費電力が大きいため、電池駆動のデバイスには不向きで、電源駆動が可能な環境での利用が推奨されます。

■日本初のクラスB通信の実証実験

NTT西日本では、消費電力を抑えることが可能で、応答性も高いクラスB通信に注目しました。LoRaWAN™において無線帯域は免許が不要な周波数帯を利用しますが、電波規制は国ごとに異なります。日本の電波規制は、送信周波数が他の通信に利用されていないかを事前に確認してから通信を行うListen Before Talk (LBT) や送信時間に関す

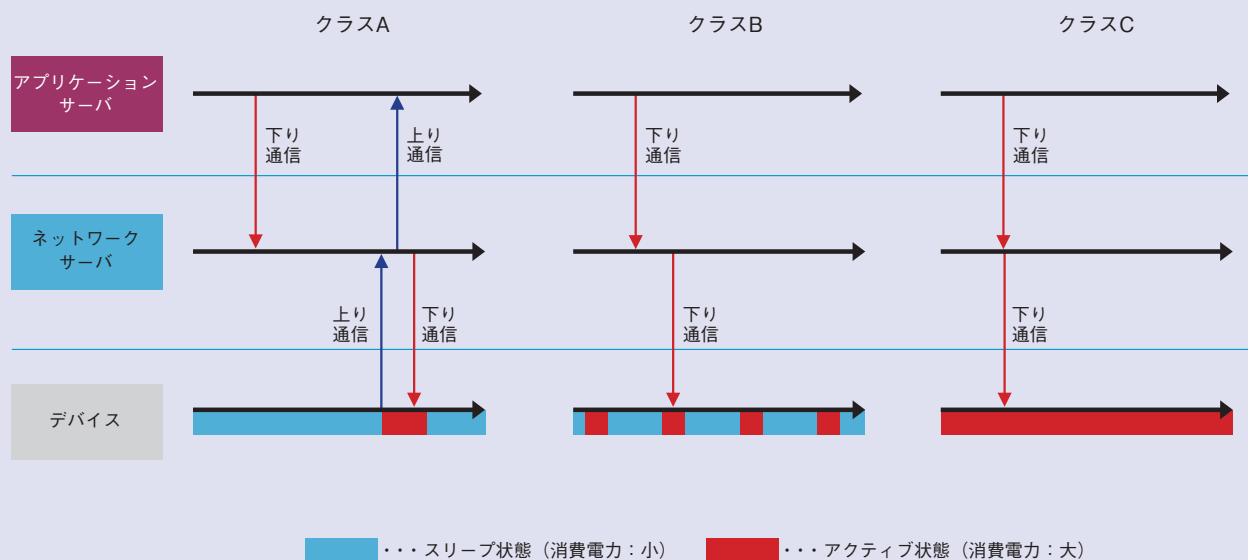


図3 LoRaWAN™の3つの通信タイプ

る制限などにおいて、欧州の電波規制との差分も多いことから、以前はLoRaWAN™規格に盛り込まれていませんでした。日本における電波規制を考慮した規格を私たちが検討し、LoRa Alliance™参加企業に提案しながら議論を重ねていくことで、LoRaWAN™規格に盛り込むことに成功しました。合わせて、これらに準拠した機能を持つデバイス、基地局、ネットワークサーバを用意し、さまざまなフィールドでの電波調査などを繰り返し、日本で初めてクラスB通信を含めた方式での実証実験を実現することに成功しました。

事業展開

NTT西日本グループではNTTネオメイトの事業としてLoRaWAN™の提供を開始しています。2017年7月より、政令指定都市における広域整備事例として日本最大規模となるLoRaWAN™実証環境「Fukuoka City LoRaWAN™」を福岡市へ提供しています。「Fukuoka City LoRaWAN™」は福岡市内を広域にカバーし（図4）、各種IoTデバイスやセンサ、アプリケーションと組み合わせることにより新たなイノベーション創出の実証実験に活用いただくことが可能です。実証目的であれば、無償でご利用いただけ、福岡市内に事業所がなくてもご利用いただけます。

2018年6月時点で50社を超える事業者から「Fukuoka City LoRaWAN™」を用いた実証実験の相談・申込みをい

ただいています。NTT西日本は実証実験参加者のサポートを行うとともに、LoRaWAN™活用事例の創出に取り組んでいます。児童見守りトライアル*1として、児童のカバン等にセンサを取り付け、定期的にセンサから送信される位置情報を基に、保護者や塾の講師がスマートフォンやPC等で児童の位置情報を確認し、児童を見守る仕組みづくり、効果検証を行いました。

また、保育園等が抱える現場の課題をIoTで解決する、IoT保育園の実証トライアル*2も実施しています。温湿度、CO₂、PM2.5を計測できるセンサを設置し、計測データを基に保育士が空調機器の制御や換気を行い快適な環境の実現や、乳幼児の衣服に寝返り検知センサ等を取り付け、うつぶせ寝や呼吸の停止といった異常をセンサで自動検知することにより保育士の業務負担の軽減が期待できます。

ほかにも福岡市内において集合住宅における水道メータ自動検針実証*3など「Fukuoka City LoRaWAN™」を活用した事例創出に取り組んでいます。

*1 児童見守りトライアル：株式会社LiveRidgeおよびmanaweb塾と共同で実施。

*2 IoT保育園の実証トライアル：学校法人やなぎ学園きりん幼稚園・社会福祉法人きりん会きりん保育園、株式会社SKT、国立大学法人九州工業大学と共同で実施。

*3 集合住宅における水道メータ自動検針実証：株式会社三好不動産、アズビル金門株式会社と共同で実施。

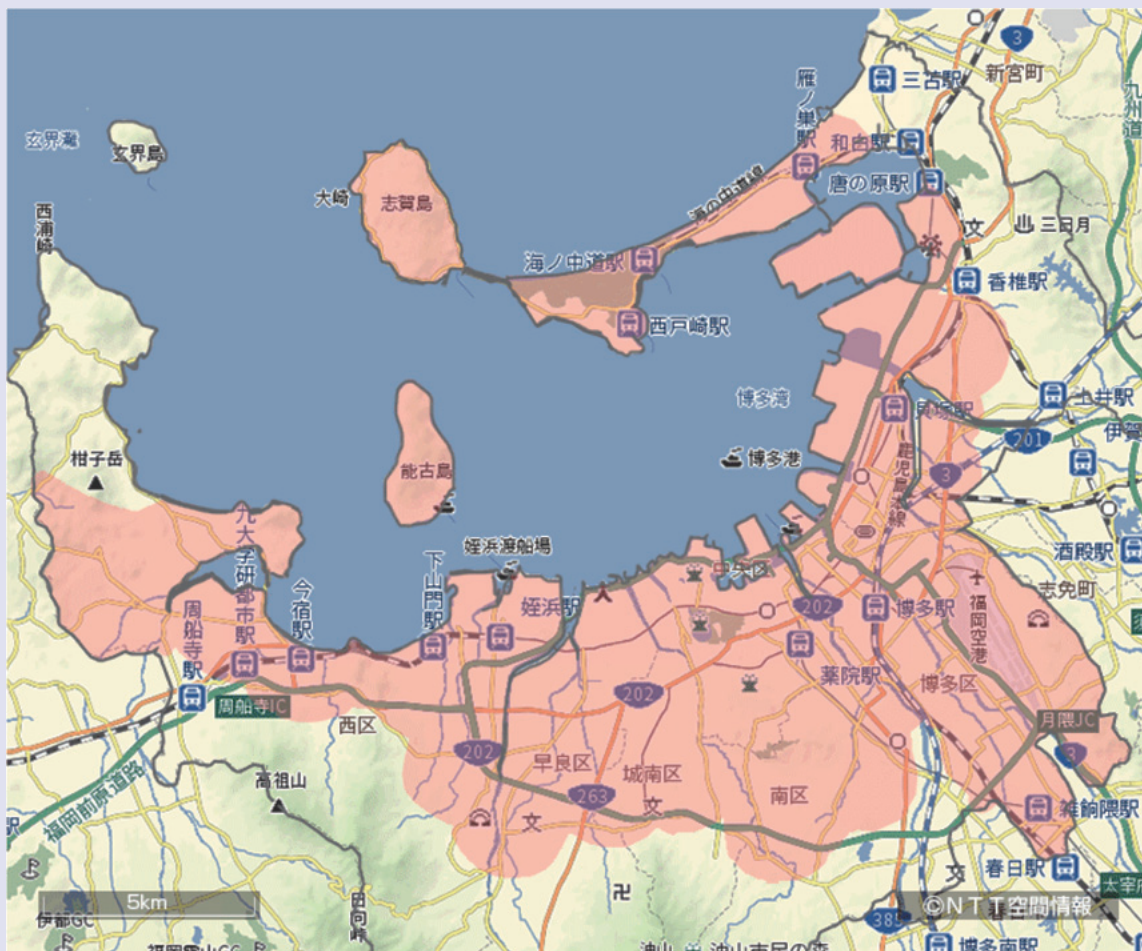


図4 Fukuoka City LoRaWAN™の提供中エリア

NTTネオメイトが提供するLoRaWAN™はクラスB通信をすでに実装しており、LPガス事業者へ遠隔検針環境を提供するアズビル金門株式会社へ商用提供を行っています。クラスB通信の商用提供は世界において初の事例となります。

NTT西日本グループでは、実証実験等で得られたノウハウを基に、LoRaWAN™を活用したソリューションを多くの業界に幅広く提案・提供し、事例を創出するとともにさまざまな社会課題の解決に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTT西日本

アライアンス営業本部 ビジネスデザイン部

IoTビジネス部門 ビジネス開発担当

TEL 06-4793-5775

E-mail iotnw-bd-hq@west.ntt.co.jp



TTC技術調査アドバイザリーグループにおけるフォーラム調査活動

いわた ひでゆき

岩田 秀行

NTT研究企画部門

TTC (The Telecommunication Technology Committee) 技術調査アドバイザリーグループ (AG) では、毎年、情報通信分野の国内外のフォーラム標準化活動動向を調査・分析し、TTCの標準化活動の方向性策定への支援を行っています。調査分析結果はTTCのホームページで入手でき、各企業にとって最新標準化の潮流の把握やフォーラムへ加入する際に有益な情報になっています。ここでは、特に新たに調査したフォーラムと最新の技術トピックに関するフォーラムの活動情報を報告します。

技術調査AGの概要

TTC (The Telecommunication Technology Committee) 技術調査アドバイザリーグループ (AG) におけるフォーラム調査⁽¹⁾は、1994年から調査を開始し、2018年度で第25版となります。調査対象となるフォーラムは、ITU (International Telecommunication Union), IEC (International Electrotechnical Commission), ISO (International Organization for Standardization), ISO/IEC JTC1 (Joint Technical Committee 1) 等のデジュール標準化団体以外で、標準化の推進または標準化の普及を目的とした組織、任意団体、グループを対象としており、フォーラム、コンソーシアム、アライアンス、プロジェクトの名称が付くものです。調査員はTTC会員であるオ

ペレータ、ベンダの8社からのメンバーで構成されており、活動の内容は、①情報通信分野の最新動向の把握、調査対象のフォーラムの絞込み、②選定フォーラムについてWeb公開ベースでの会費、分野、メンバー情報等を情報収集、③調査データより、数年のメンバー推移や活動状況について考察を行っています。

2017年度の調査対象フォーラム

2016年度第23版で対象とした58のフォーラムの見直しを行い、活動が終了、他団体と合併、活動情報が得られない4団体について調査終了し、新たに13の団体を追記しました。

2017年度新たに調査対象として追加した13フォーラムについて簡単に紹介します。

■5G Automotive Association (5GAA)

第5世代移動通信 (5G) 技術を利用したコネクティッドカーサービス開発を協力して行うために、2016年9月に発足しました。創設メンバーは欧州企業を中心でしたが、現在は米国、日本、中国、韓国などからも参加し、通信機器ベンダ、通信事業者、自動車メーカー、部品メーカー等48社が名を連ねています。通信ソリューションの開発、テスト、推進に共同で取り組み、標準化をサポートして商用化や世界での普及促進も図っています。

■OpenStack Foundation (OpenStack)

2012年9月に設立された非営利団体です。ベンダに依存しないオープンなIaaS (Infrastructure as a Service) クラウドコンピューティング環境を提供し、オープンソースソフトウェア (OSS) 群を開発、普及することを目的としたプロジェクトです。会員は個人会員と企業会員で構成され、主な企業会員は通信機器ベンダ、通信事業者です。

■Open API Initiative (OAI)

Linux Foundation Projectの1つであり、RESTful API (Application Programming Interface) のインタフェースを記述するための標準フォーマットを推進するコンソーシアムとして、2015年11月5日にSmartBear社の主導で設立されました。会員数は2017年8月現在28社です。OAIがAPIの記述のために採用したのが、SmartBear社が開発したオープンソースAPI開発ツールの「Swagger」であり、すでに広く用いられてきました。このSwaggerをベースとしてOpen API Version3.0 Implementer's Draft初版が2017年3月1日に発表されました。OAIではIaaS基盤としてOpenStackを採用しています。

■FIWARE Foundation (FIWARE)

欧州FP7 (7th Framework Programme) プロジェクトの1つであるFI-PPP (The Future Internet Public-Private Partnership) で開発されたスマートアプリケーション基盤の



FIWAREの普及を民間主導で推進するために設立された、ドイツを拠点とする非営利団体です。FIWAREはデータをコンテキスト情報として取り扱うことが特徴で、異業種間のデータを共通的に扱えることから、データ利活用を可能にするオープンAPIとして注目されており、スマートシティの共通基盤として欧州では定着しつつあります。会員数は欧州を中心に2017年9月現在28社であり、日本企業も1社参加しています。

■Hypercat Alliance (Hypercat)

InnovateUK [ビジネス・イノベーション・技能省 (BIS) 配下の組織] のIoT Demonstrator Phase I Clustersの資金を活用して英国企業・自治体等42社が2014年9月に設立した団体です。Hypercatとは、IoT (Internet of Things) デバイス設計のために必要な仕様をメタデータでタグ付けされたオンラインカタログとして公開し、デバイス間の相互接続を自動的に行えることを可能にする技術です。IoTデバイスは必要なオブジェクトと機能のカタログを組み合わせて生成し、共有することでIoTデバイスの高機能化、高速化、相互運用性を図ることをめざしています。2017年9月現在の会員数は70社であり、日本企業からも1社参加しています。

■OpenID Foundation (OpenID)

米国オレゴン州で2007年6月に設立された非営利団体です。デジタルID関連の標準化を行っており、OpenID ConnectをはじめとしたID連携技術で、サイト間のID連携、スマホアプリからWebサービスへのアクセス、API連携など、およびOpenID技術の普及促進、保護、育成を行っています。主要メンバはOTT (Over

The Top)、通信事業者等で、2017年9月現在の会員数は40社です。

■Spring Framework Project (Spring Framework)

Javaプラットフォームを対象とするオープンソースアプリケーションフレームワークです。従来のWebアプリケーションフレームワークが共通して抱えていた「仕様変更が弱い」「プログラム単体でのテストが困難」「メンテナンスや再利用が困難」などの諸問題に対応可能なフレームワークであり、HTTP、SOAP (Simple Object Access Protocol)、Enterprise JavaBeansなどの従来のプロトコル、製品とも連携ができます。主要開発者は6人ですが開発はオープンであり、誰でも参加できます。日本Springユーザ会というSNS上のコミュニティがあります。

■Trusted Computing Group (TCG)

2003年4月に設立されたオレゴン州に本部を置く業界団体です。コンピュータの信頼性と安全性を向上させるための標準技術を策定しています。ハードウェアによる暗号機能を備えたセキュリティチップTPM (Trusted Platform Module) の仕様を策定しており、2014年にリリースされたVer.2.0が最新版です。個人の認証情報・暗号キーを安全に格納・管理するため、現在製造されているほとんどのPCに搭載されています。近年では、端末セキュリティの観点からIoTデバイスへの適用も視野に入れています。

■Zero Outage Industry Standard Association (Zero Outage)

安全、高信頼、高可用なITサービスやソリューションを提供するためのベストプラクティスや標準のフレームワークを提供することにより、顧客満

足度や価値の最大化を図ることを目的として2016年11月に設立されました。2017年9月現在、メンバは12社です。

■Wi-Fi Alliance (Wi-Fi)

無線LAN製品の普及促進を図ることを目的として2000年に設立された業界団体です。相互接続性試験方法の策定、製品の認証、およびWi-Fiブランドの普及に向けたプロモーション活動を実施しています。会員企業数は2017年8月現在で790社です。現在は802.11acがメインですが、今後はad, ax, ahなどの新規規格のほか、最適な無線環境に瞬時にアクセスできる「アジャイルマルチバンド」の機能も提供する予定です。

■Z-Wave Alliance (Z-Wave)

スマートホーム向けの無線通信プロトコルZ-Waveを実装するデバイスや装置間のインタオペラビリティを確保するために設置された組織です。会員数は2017年8月現在で365社です。Z-Waveはデンマークの企業であるZensys (2009年に米国Sigma Designsが買収) が中心となって開発したスマートホームに適した低消費電力無線技術で、サブギガヘルツ帯を利用します。Z-Waveを搭載したデバイスは欧州をはじめとする海外では広く普及しています。

■EnOcean Alliance (EnOcean)

EnOcean技術の普及促進と製品間の相互運用性を確保するために、EnOceanなどの企業グループが2008年4月に設立しました。EnOceanはドイツのEnOcean GmbHが開発したエネルギーハーベスト技術であり、光や温度、振動などから微弱なエネルギーを電力に変換し、小電力無線通信を行うものです。EnOceanのスイッチやセンサモジュールは世界中のオフィ



スや工場、産業機器に利用されています。無線仕様はISO/IEC 14543-3-10で規定されている下位3レイヤを採用し、EEP (EnOcean Equipment Profiles) と呼ばれるアプリケーションプロトコルが規定されています。2017年8月現在で430社が参加しており、1200種類以上の製品が出ています。

■Digital Stationary Consortium (DSC)

デジタルインクの相互互換性の確保と利用推進のため、2016年10月に米国デラウェア州で設立されました。ペンタブレットなどのデジタル筆記用具をクラウド環境で共有し、相互互換性を確保するための技術としてWILL (Wacom Ink Layer Language) を提唱してパートナー各社にSDK (Software Development Kit) を提供してきましたが、さらに緊密な連携を図るため本コンソーシアムを設立しました。参加メンバーは文具メーカーのモンブランをはじめ、機器ベンダ、通信事業者など日本、韓国、中国、欧州などから9社です。



注目される分野であるSDN (Software Defined Networking) /NFV (Network Functions Virtualization)、ビッグデータ/IoT/M2M (Machine to Machine)、スマートシティ、5G、ITS (Intelligent Transportation System) /コネクティッドカーに関する最近のトピックスを示します。

■SDN/NFV

- ・ONF (Open Network Foundation) (2011年設立) : 2016年2月にSDN software distributionのAtrium第2版がリリースされました。第1版のONOS版の改良

とともに、OpenDaylight Platformへの拡張がなされています。

2017年10月にはON.Lab (ONOS/CORD) と統合し、ユースケースの議論の場が追加されました。

- ・BBF (Broad Band Forum) (1994年設立) : 2017年12月時点で、SDNアクセスノードのアーキテクチャ、PON (Passive Optical Network) 向けYANG (Yet Another Next Generation) モデル、アクセスノード向けYANGモデル等の仮想化関連の課題に取り組んでいます。
- ・OpenDaylight (Open Daylight Project) (2013年設立) : SDN/NFVを実現するSDNコントローラのソフトウェアを開発し、OSSとして提供しています。2017年6月にはSDNプラットフォームの6番目のバージョンとなる「Carbon」をリリースしました。IoTへの展開も可能となるよう、拡張されています。
- ・OPNFV (Open Platform for NFV) (2014年設立) : 2017年4月には4番目のOSSとなるDanube 1.0がリリースされました。同年5月にはDanube 2.0、7月にはDanube 3.0をリリースしています。また、同年6月にはOPNFV Summit 2017が開催されました。
- ・TMForum (1988年設立) : ZOOM (Zero-touch Orchestration, Operations and Management) というチームで、ETSI (European Telecommunications Standards Institute) のNFV ISG (Industry Specification Group) と連携しつつNFV管理実装モデルの開発を行っています。

■ビッグデータ/IoT/M2M

- ・OMG (Object Management Group) (1989年設立) : Work in Oil and Gasイベントでエネルギー分野に適用するためIIoT (Industrial Internet of Things) 標準IICF (The Industrial Internet Connectivity Framework) の補足規定を2017年9月に発表しました。ほかにWebinar (Webセミナー) を2回開催しています。
- ・IIC (Industrial Internet Consortium) (2014年設立) : 活動は非常に活発で、テストベッドは2017年9月現在で25に増えています。イベントも数多く開催されており、ホワイトペーパー等数多くのドキュメントが作成されています。
- ・OCF (Open Connectivity Foundation) (2016年設立) : UPnP (Universal Plug and Play) を併合したOIC (Open Interconnect Consortium) を母体としています。2016年10月にOCFとAllSeenはOCFの名の下に合体し、IoTivityとAlljoynは相互互換を図っていくこととなりました。2017年6月、6件のIoT仕様がJTC1の投票手続きにかけられたことが発表されました。
- ・THREAD (THREAD Group) (2014年設立) : 2016年夏にThread Wireless Networking Protocol 1.1版をリリースして以来、機器認証、相互接続検証を行っています。CES2017で17社がシームレス接続を展示、1.1版の製品を初めて認証しました。
- ・OpenFog (Open Fog Consortium) (2015年設立) : 日本のIoT



推進コンソーシアムと技術やテストベッドの開発および標準化において連携しています。2017年9月25日にはETSIとMOUを締結してfogとedgeアプリの開発について協調していくことを発表しました。

- ・Hypercat (Hypercat Alliance) (2014年設立)：スマートビルディング、スマートエネルギーなど14分野のユースケースを発表、2016年8月に英国規格のPAS212: 2016 Automatic resource discovery for the Internet of Things-Specificationをリリースしました。

■スマートシティ

- ・JSCA (2010年設立)：2017年6月にスマートコミュニティサミットを開催しました。太陽光発電普及への対応、新興市場エネルギー市場への参入の課題と対応についての議論がなされました。
- ・SGIP (Smart Grid interoperability Panel) (2009年設立)：スマートグリッドの標準開発でNIST (National Institute of Standards and Technology) を支援する団体です。2017年4月にSEPA (The Smart Electric Power Alliance) に吸収合併されました。
- ・ECHONET (ECHONET Consortium) (1997年設立)：認証機器数は2018年1月現在でECHONET Lite 規格530, AIF 仕様296, ECHONET規格19となっています。同年7月に第1回Plug-fest開催しました。
- ・OpenADR Alliance (2010年設立)：2016年2月にスマートグ

リッドの標準規格OpenADR 2.0 Program Guideをリリースし、2017年5月現在で120の機器を認証しています。

- ・FIWARE Foundation (2011年設立)：スマートシティの共通基盤としてOSSおよびAPIが公開されました。このほか、使用分野ごとのセットもDSEs (Domain-Specific Enablers) として公開されました。

■5G

- ・NGMN Alliance (2006年設立)：2006年設立当初はSuper 3GやLTEを検討していましたが、現在は5Gに焦点を絞っています。2015年3月には5G White Paperを発刊し、現在までに12の技術文書を発刊しています。
- ・5GAA (5G Automotive Association) (2016年設立)：2017年12月に“Edge computing for advanced automotive communications”, “An assessment of LTE-V2X (PC5) and 802.11p direct communications technologies for improved road safety in the EU”などのWhite Paperを発刊しています。

■ITS/コネクティッドカー

- ・ITS Forum (1991年設立)：2017年10月に「700 MHz帯高度道路交通システム実験用路路間通信ガイドライン1.1版」「700 MHz帯高度道路交通システム実験用車車間通信メッセージガイドライン1.1版」「700 MHz帯高度道路交通システム陸上移動局の相互接続性確認試験ガイドライン1.2版」などを多数発行しています。
- ・ITS America (1991年設立)：2016年10月に“The Impact of

a Vehicle-to-Vehicle Communications Rulemaking on Growth in the DSRC Automotive Aftermarket”というWhite Paperを発刊しています。

参加メンバー数の増減

2016年度から2017年度にメンバー数を増やしたフォーラムは12ありますが、その中でもLoRaは設立されて3年未満にもかかわらず、メンバー数がすでに400社を超え、前年比で70%以上増加、今後も増加する傾向にあります。また、ブロックチェーン関連の標準化を推進するHyperledgerも前年比で70%以上のメンバー増がみられました。中期的傾向をみると、2015年から2年連続してメンバー数が増加しているフォーラムは10あります。その中でも3年以上継続してメンバーが増え続けているフォーラムは、OPEN Alliance SIG, Wi-SUN, TOG, IIC, OpenADR, ECHONETの6フォーラムでした。これを分野でみるとスマートシティ, IoT, クラウドコンピューティング, コネクティッドカー等になり、注目されているさまが伺えます。

今後の予定

第25版のフォーラム調査は2018年度末に報告予定です。

■参考文献

- (1) <http://www.ttc.or.jp/j/std/ag/tag/forum/>

アクセス系設備の生物被害対策 ——忌避テープの展開

通信サービスを支えているアクセス系設備は、全国各地に広く張り巡らされており、そのほとんどが屋外環境下に置かれています。そのため、自然の中で暮らす生物によって引き起こされる故障が毎年発生しています。今回は、NTT東日本技術協力センタに全国各地から問合せが多数寄せられているアリ等の昆虫による被害の特徴と対策を紹介します。

アクセス系設備の生物被害

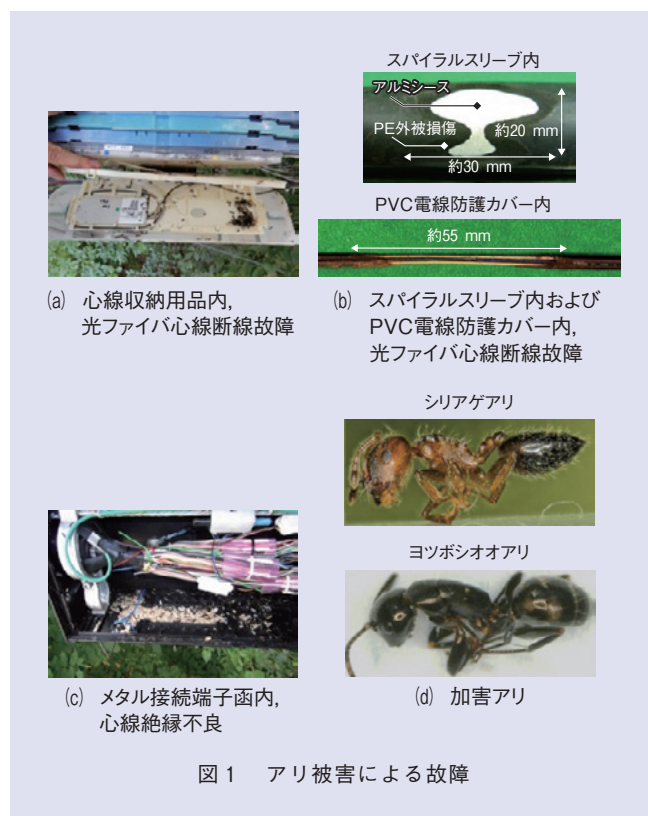
アクセス系の設備は昆虫類（アリ・クマゼミ・コウモリガの幼虫等）、げっ歯類（リス・ムササビ・ネズミ等）、鳥類（カラス・キツツキ等）などの生物により故障が発生しています。例えば、今回取り上げるアリ被害に対しては、侵入経路となる樹木・ツタ等の伐採が有効な対策となります。しかし、それらの植物の成長に合わせて継続的に伐採することは、非常に多くの稼働がかかるため、新たな対策が求められていました。そこで、NTT東日本技術協力センタでは薬品会社と連携した検討により、昆虫に対しての忌避効果が得られるピレスロイド系の薬剤を主成分とした「忌避テープ」による対策を推進してきました。

アリ被害の特徴とこれまでの対策

アクセス系架空設備でのアリ被害は、主に光クロージャ内の心線収納用品に収納されている光ファイバ心線をかじることにより発生する断線故障でした（図1(a)）。そのほかにも、スパイラルスリーブ内やPVC電線防護カバー内でも、光ケーブル・光ドロップの外被から心線部までかじり、断線故障を引き起こしています（図1(b)）。また、メタル接続端子函内では心線の外被をかじり、蟻酸（アリが仲間を誘導する際のマーキングおよび敵を攻撃する際に分泌する強酸性の成分）の影響により、心線どうしが接触し、絶縁不良を起こします（図1(c)）。これまでの調査結果から、これらのアリ被害は、身体的特徴から「シリアゲアリ」「ヨツボシオオアリ」（図1(d)）によるものであると推定されました。これらのアリは樹上営巣性で、自然界ではシイ、カシなど照葉樹

林（常緑広葉樹林）の樹皮下や樹木腐朽部に営巣し、暗いところを好む性質があります⁽¹⁾。被害を受けた設備の環境は、常に暗所であり、人の触れることが少ない場所です。そのため、クロージャ内はアリが営巣するのに都合が良い環境と考えられます。

これまでアリ被害対策として、技術協力センタでは、メタル接続端子函の隙間から内部への侵入を防ぐ隙間充填工法を考案、導入してきました。しかし、工事・保守の際におけるメタル接続端子函開閉のたびに、接続端子



函カバーかん合部にシール材の充填を繰り返すことになり、稼働がかかってしまいます。

「忌避テープ」による新たな対策

技術協力センタでは、薬品会社と連携し、昆虫に対する忌避効果が見込まれる薬剤を使用した新たな対策を検討しました。光クロージャやメタル接続端子函に設置することを考慮すると、形状の加工がしやすく、短時間で施工が可能であることが必要です。そこで、薬品会社ではすでに製品として販売している「忌避テープ」のうち、片面が接着面となっているものが、対策品として最適であると判断しました。

「忌避テープ」の概要

「忌避テープ」は、シートの半面に接触型忌避剤が施されたテープです（図2(a)）。忌避剤の主成分はピレスロイド系の薬剤で、昆虫の皮膚や口から入ることで神経に作用し不快感を与えるため、昆虫はシートの忌避面に

避けようとし、ピレスロイド系の薬剤は、哺乳類、鳥類など恒温動物の体に入っても速やかに分解され、短時間で体外へ排出されるため、影響はありません。また、湿気・水滴などの影響を受けないため、水に濡れても薬剤の効力に変化はなく、忌避効果期間は暗所で約10年です。ただし、紫外線によって忌避効果が減少するため、直射日光を避ける必要があります。本忌避テープは剥離紙・粘着テープ・薬剤の三層構造で、形状はポリエステルテープ（半透明）、粘着素材はアクリル系です。

実際の施工では、光クロージャの場合、スリーブかん合部の隙間などから昆虫が侵入するため、「忌避テープ」をスリーブの内側縁の両側および内側上板部に貼付して侵入を防ぎます（図2(b)）。スパイラルスリーブではピッチ間の隙間から、PVC電線防護カバーではPVC保護テープで抑え巻きした個所のクセ隙間などから侵入して営巣します。そこで、スパイラル状にした「忌避テープ」をケーブルに巻き付け、その上からスパイラルスリーブおよびPVC電線防護カバーを取り付けます（図2(c)）。メタル接続端子函では、カバーの隙間や側壁などから侵入し、底板に営巣するため底板や側壁などに貼付します（図2(d)）。

最近の「忌避テープ」対策事例

次に、技術協力センタに最近調査依頼があった生物被害のうち、昆虫に対して「忌避テープ」で対策した事例をいくつか紹介します。

■RSBM-F（屋外設置型）のアリ被害対策

RSBM-Fの定期点検で蓄電池収納部にアリの侵入と営巣が確認されました（図3(a)）。営巣により、極度な温度変化による蓄電池の寿命劣化を防ぐ（断熱）ための発泡スチロール製の蓄電池保温ケースが損傷しました。調査の結果、基礎台と蓄電池収納部裏の隙間からアリが侵入していることを確認しました。対策として、侵入経路およびアリが営巣する蓄電池保温ケースの側面等に「忌避テープ」を設置しました（図3(b)）。現在経過観察中



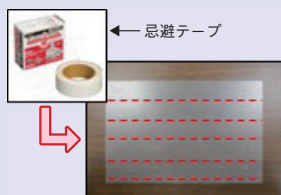
図2 「忌避テープ」の設置状況



(a) RSBM-F (屋外設置型)の被害状況



(b) RSBM-F (屋外設置型)「忌避テープ」設置状況



(c) 電話機への「忌避テープ」対策

図3 「忌避テープ」の対策事例

ですが、現在のところアリの営巣は確認されていません(設置後約3カ月)。

■その他昆虫対策

「忌避テープ」はアリ以外の昆虫にも効果があることが分かっています。ここではゴキブリ被害の事例と対策を紹介します。

飲食店内に設置されている電話機内部にゴキブリが侵入し、故障が発生しました。保守部門にて機器の取替えを行いました。同じお客さま宅にて、定期的(3カ月に1回程度)に同様の故障が発生しており、その都度、機器の取替えを行っていました。侵入したゴキブリの体長は4mm程度であり、体色は全体的に焦げ茶色で、背中部の色が薄くなっている特徴からチャバネゴキブリであると推定されます⁽²⁾。調査の結果、ゴキブリは電話機裏側底面部の隙間から内部に侵入したと推測しました。電話機内部へのゴキブリの侵入を防ぐため、「忌避テープ」をプラスチック製の薄い板に貼付し、シート状に加工した対策品を作製し、電話機の下に敷くことにしまし

た(図3(c))。これにより、ゴキブリを電話機周辺で遮断することができ、電話機への侵入を防ぐことができると考えています。

今後の展開

ここでは、アクセス系設備に対する生物被害のうち、アリ等の昆虫による被害への対策方法、最近の被害事例について紹介しました。今回の事例を参考に、現場での被害削減に役立てていただければと考えています。技術協力センタは、前身組織である技術協力部を含めると50年以上技術協力活動を行ってきました。これまでに蓄積された知識と経験を基に、引き続きアクセス設備の信頼性向上、故障低減に向けた取り組みを進めていきます。

■参考文献

- (1) “日本産アリ類の検索と解説,” 日本蟻類研究会, 1989.
- (2) “決定版 生物大図鑑 昆虫I,” 世界文化社, 1985.

◆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 アクセス技術担当
TEL 03-5480-3701
FAX 03-5713-9125
E-mail gikyo-ml@east.ntt.co.jp

300 GHz帯で每秒100ギガビットの無線伝送が可能な超高速ICを開発 ——未踏のテラヘルツ波周波数の活用を拓く技術として期待

NTTと国立大学法人東京工業大学は、共同で、テラヘルツ波の周波数帯で動作する無線フロントエンド向け超高速ICを開発し、300 GHz帯における世界最高データレートである每秒100ギガビットの無線伝送に成功しました。

未利用のテラヘルツ波は、周波数帯域を広く確保できることから高速無線への適用が期待されています。今回、独自の高アイソレーション設計技術を適用したミキサ回路を、インジウム燐高電子移動度トランジスタ(InP-HEMT)で実現し、従来の300 GHz帯無線フロントエンドで課題となっていた伝送帯域幅の拡大と信号対雑音比(SNR)の向上とを両立させる技術を創出しました。また、これを用いた300 GHz帯無線フロントエンドモジュールを実現し、每秒100ギガビットの無線伝送に成功しました。

今回、1波(1キャリア)で每秒100ギガビットのメートル級無線伝送を実現しましたので、将来的に、300 GHz帯の広い周波数帯域を活かして複数キャリアに拡張したり、MIMO(Multiple-Input and Multiple-Output)やOAM(Orbital Angular Momentum)等の空間多重技術を併用することにより、每秒400ギガビットの大容量の無線伝送を可能とする超高速IC技術として期待されます。これは、現在のLTEやWi-Fiのおよそ400倍、次世代の移動体通信技術である5Gの40倍に相当する伝送容量です。また、未利用のテラヘルツ波周波数帯の通信分野および非通信分野への活用を切り拓く技術として期待されます。

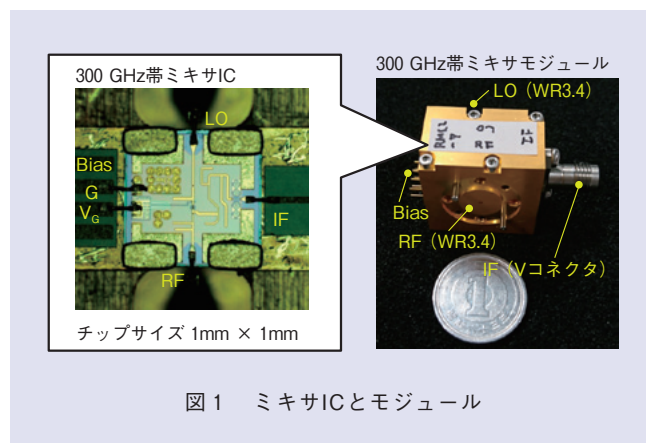
■研究の背景

ブロードバンドネットワークの普及拡大に伴い、每秒100ギガビット級の大容量無線伝送技術が世界で注目を集めています。無線伝送のさらなる大容量化のためには、伝送帯域幅の拡大、変調多値数の増加、空間多重数の増加の3つの方向性があり、将来の每秒400ギガビット級～每秒1テラビット級の大容量無線伝送技術を実現するためには、1波(1キャリア)で伝送帯域幅と変調多値数を両立して拡大すること、およびこれらを複数重ねて伝送する空間多重数の増加が必要になります。

現在研究開発が進んでいるキャリア周波数28～110 GHzでは、伝送帯域幅に限界がありますので、より伝送帯域を拡大しやすい300 GHz帯をはじめとするテラヘルツ波の周波数帯の利用が検討されています。300 GHz帯は、次世代の移動体通信技術である5Gで検討されている28 GHz帯と比較して10倍以上の高い周波数であることから、広い伝送帯域幅を確保しやすい特長を持ちます。一方で、高い周波数であることから、IC内部や実装における各ポート間の不要信号の漏れなどが生じやすく、これまで十分に高いSNR特性を得ることができませんでした。このため、300 GHz帯を利用したとしても、広い伝送帯域幅と高い変調多値数とを両立して得ることができず、これまで毎秒数10ギガビット級の無線伝送にとどまっていた。

■研究の成果

今回、独自の高アイソレーション設計技術を考案し、この技術を300 GHz帯無線フロントエンドにおいて周波数変換を担うキー部品であるミキサ回路に適用し、InP-HEMTでICを実現しました。高アイソレーション設計技術の適用により、IC内部や実装における各ポート間の不要信号の漏れを抑圧することに成功し、従来の300 GHz帯無線フロントエンドで課題となっていた伝送帯域幅の拡大とSNRの向上とを両立させることに成功しました。また、これを用いた300 GHz帯無線フロントエンドモジュールを実現し(図1)、Back-to-backでの良好な



16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 信号の受信を確認するとともに、300 GHz帯において毎秒100ギガビットの無線伝送に世界で初めて成功しました(図2)。

◆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 <http://www.ntt.co.jp/news2018/1806/180611a.html>

ミリ波無線通信による豊かな社会をめざして

岡田 健一

東京工業大学 工学院 電気電子系

研究者 紹介

現代の社会生活において、無線通信は必要不可欠なインフラ技術になっています。スマートフォンでの利用に加え、今後、自動車やIoT機器への幅広い利用が計画されており、単に情報の伝送のために用いられるのではなく、自動運転・ドローン配送、スマートシティなどの社会インフラシステムの一部として組み込まれることで、その価値の向上が期待されています。そのような無線通信には、高速性、低遅延性、同時接続性、堅牢性、セキュリティ等のより一層の改善が求められています。特に、移動体通信の総トラフィック量は年率1.3~1.4倍で増加しており、そのような通信インフラを支えるための光通信網の大容量化に合わせ、無線通信にも高速・大容量化が求められています。

これまでの無線通信では、主として低マイクロ波帯(300 MHz~6 GHz)が用いられてきましたが、広帯域利用が可能なミリ波帯(30~300 GHz)による無線通信が期待されています。例えば、100 Gbit/s以上の通信速度を達成するためには、16QAMの多値変調を用いても25 GHz以上の周波数帯域が必要であり、そのような帯域幅を30 GHz以下の周波数帯で確保することは不可能です。そのような背景から、広い帯域幅の利用が可能な275~325 GHz帯の利用が期待されています。本執筆者はこれまでに60 GHz、100 GHz、28 GHz、39 GHz帯等のミリ波無線機をCMOS集積回路として実現する方法について研究開発を行ってきましたが、CMOS集積回路では300 GHz以上の周波数で十分なSNDRを確保できる増幅器の実現は難しく、将来の数100 Gbit/sの実現のために、2014年よりNTT先端集積デバイス研究所との共同研究を進めさせていただいています。その成果として、世界で初めて300 GHz帯で100 Gbit/sを超える速度の無線通信をInP回路により実現しています。短距離の無線通信であれば、CMOSでも120 Gbit/sが達成できていますので、今後は、NTTのInP技術と東京工業大学のCMOS技術の強みを組み合わせ、500 Gbit/s以上の通信速度を無線で達成することを目指して研究を進めています。ミリ波無線通信としては、コンシューマ向けとして初めて準ミリ波帯の28 GHzが第5世代移動通信(5G)で利用されようとしています。まだまだミリ波やテラヘルツ波による無線通信は商用利用が始まったばかりで、今後、無線通信の高速・大容量化を実現するため、一層の研究開発が期待されています。昨今、民間企業では、長期的な視点で技術価値を評価できる企業風土が失われつつありますが、その観点からも、NTTグループでの研究開発活動には大いに期待しています。



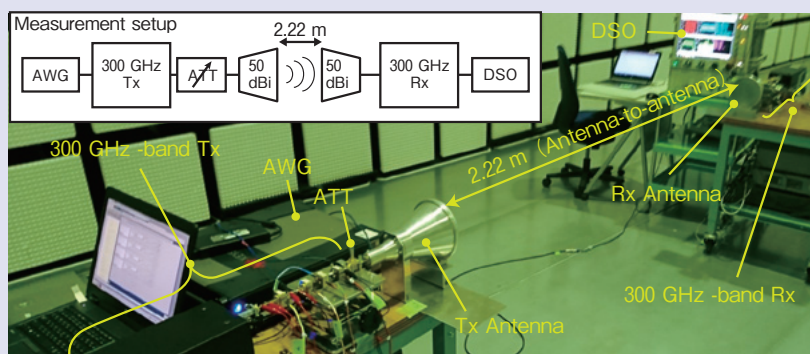


図2 伝送実験の様子

テラヘルツ波を用いた超高速無線通信の実現をめざして

濱田 裕史

NTT先端集積デバイス研究所
光電子融合研究部

研究者
紹介

テラヘルツ波（300 GHz～3 THz）は、その周波数が、現在のスマートフォンやWi-Fiなどの無線通信で用いられている電磁波よりもずっと高く、電波の割当が完了していないため、広い帯域を利用した高速無線通信への応用が期待されています。特に、300 GHz付近の周波数帯は、電磁波の大気減衰も小さく、無線通信に好適であるため、現在世界中で盛んに研究開発が行われています。

NTTではこれまで、テラヘルツ帯で動作可能な高速電子デバイスである内製のInP系トランジスタを用いて300 GHz帯のモノリシックマイクロ波集積回路（MMIC: Monolithic Microwave Integrated Circuit）およびそれらを用いた無線トランシーバの研究を進めてきました。今回、さらなる高データレートを達成するために、多値変調信号を利用する構成のトランシーバを検討し、そのために必要となる高変換利得・高線形ミキサ回路を実現し、300 GHz帯では世界最高となる100 Gbit/sの無線トランシーバを実現することができました。

今回の成果は、CMOSを用いたミリ波回路・システム設計に大きな強みを持つ東京工業大学岡田健一研究室と、InP系トランジスタのデバイス作製・回路設計を得意とするNTT先端集積デバイス研究所との共同研究によるものです。今後は、さらなる高データレート化に向けて、MIMO等の空間多重技術の活用や、そのためのCMOS、InPチップのハイブリッド実装技術確立など、より一層のCMOS、InPの機能集積を進め、1 Tbit/sを超えるような超高速無線通信の実現をめざして研究開発を進めていこうと考えています。

