

FEATURE

## 5Gとその先へ、新しいサービスを 支えるワイヤレス通信技術

Interview

ヒトからモノに。ひろがるワイヤレス通信



## FEATURE

# 5Gとその先へ、新しいサービスを支える ワイヤレス通信技術



## Interview

- 1 **ヒトからモノに。ひろがるワイヤレス通信**  
浜口 清／児島 史秀
- 4 **未来の「見る・考える」道路へ**  
スマート電子カーブミラー  
表 昌佑
- 6 **届け! 現場の声**  
製造現場で安心して無線を使うために  
板谷 聡子／大堀 文子
- 8 **無人航空機システムの安全運用を支える  
ワイヤレスシステム**  
より高く、より広く、さらに幅広い無人航空機の利活用のために  
小野 文枝／単 麟／加川 敏規
- 10 **新領域を開拓する電波を利用した海中ワイヤレス技術**  
松田 隆志

## TOPICS

- 12 **NICTのチャレンジャー File 6 加川 敏規**  
ロボット社会を支えるワイヤレスネットワークをつくる
- 13 **Awards**

## INFORMATION

- 14 **2019 各地のNICTオープンハウス開催のお知らせ**  
耐災害ICT研究センター  
ユニバーサルコミュニケーション研究所

### 表紙写真：

フィールド実験用基地局アンテナを横須賀リサーチパーク（YRP）1番館屋上に設置している様子。ワイヤレスシステム研究室では、将来、遠隔制御されるロボットやドローンの普及に備えて、多数接続と低遅延の双方を実現する無線アクセス技術「STABLE(ステイブル)」の研究開発に取り組んでいます。

### 左上写真：

YRP 1番館内実験室の様子。最先端の計測装置や解析装置を使って、新しい無線アクセス技術の研究開発に取り組んでいます。



Interview

# ヒトからモノに。 ひろがるワイヤレス通信

## ワイヤレスネットワーク総合研究センター

無線通信には長い歴史があるが、現在はデジタル化・ネットワーク化の進展とともに、無線を利用したワイヤレスネットワークがより一層進化しようとしている。

この流れは、携帯電話などの移動体通信の普及、5GやIoTの登場によって更に加速している。このような状況の中で、ワイヤレスネットワーク総合研究センターは何を考え、どのような研究開発を行い、どこを目指しているのか。YRP（横須賀リサーチパーク）にあるワイヤレスネットワーク総合研究センターの総合研究センター長 浜口清とワイヤレスシステム研究室室長 児島史秀に話を聞いた。

### ■ワイヤレスをめぐる状況

——ワイヤレスネットワーク総合研究センターとは、どのような組織なのでしょう。

**浜口** ワイヤレスネットワーク総合研究センターは、人々が安心して豊かなコミュニケーションを行うための無線通信に関する最先端技術を研究しているセンターです。この中に、ワイヤレスシステム研究室と宇宙通信研究室があり、前者は主に地上、後者は宇宙におけるワイヤレス通信技術を研究しています。

YRPにあるのは、ワイヤレスシステム研究室で、宇宙通信研究室はNICT本部（東京都小金井市）と鹿島宇宙技術センター（茨城県鹿嶋市）を拠点としています。

——NICTの長い無線通信技術研究の中で、なぜ今、ワイヤレスが注目されているのでしょうか。

**浜口** 現在、周囲を見回してみても電波を使わないシステムはないと言っていいくらいです。携帯電話の加入数ベースで見ると普及率は130%を超えており、Wi-FiやRFID\*1、キーレスエントリーなど、様々な無線通信技術が日常生活の中で広く使われています。今後、爆発的な利用が予測される5GやIoT、コネクテッドカーなどでも電波の需要は更に高まります。

ところで1995年の阪神・淡路大震災の時は、携帯電話・PHSの普及率は10%に満たなかったのですが、2011年の東日本大震災時には95%を超える程度まで普及が進みました。くしくもこの大規模災害を契機として、一般には携帯

浜口 清（はまぐちきよし）〈左〉

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
総合研究センター長

大学院修了後、民間会社勤務を経て、1993年、郵政省通信総合研究所（現NICT）入所。2017年から現職。これまで、通信やレーダーに関する研究開発やITU-R標準化活動などに従事。博士（工学）。

児島 史秀（こじま ふみひで）〈右〉

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室 室長

1999年、郵政省通信総合研究所（現NICT）入所。以来、ITS、防災アドホック、SUN等の研究開発・標準化に従事。2016年から現職。5G/B5Gを含む次世代無線通信の研究開発と社会展開に従事。博士（工学）。

電話が重要なライフラインとして、我々研究者には、無線通信が生活を豊かにするだけではなく安心安全に欠かせない技術として、より強く認識されるようになったと思います。

しかし、ユーザが増えるに従って新たな問題が出てきました。電波資源の不足です。そこで、限られた電波資源を使って、より大容量・高速の通信を行えるように技術開発を進める必要が出てきました。ひとつのアプローチは、ミリ波帯（30-300 GHz）やテラヘルツ帯（0.3-3 THz）などの伝送レートを大きくできる非常に高い周波数の電波を使うことです。また、無線機器が多くなると相互の電波による干渉も問題となりますので、干渉を排除または軽減し、トラフィックの多い環境でも確実な通信ができる技術が求められます。この流れは、

## ヒトからモノに。ひろがるワイヤレス通信

5GやIoTの導入によって更に加速されていこうとしています。

## ■5Gへの対応

——5Gの開発にはどのように関わっているのですか。

**児島** 通信システムは、国際的な標準化が行われ、それを基に安定した製品が出てくるとい流れになっています。その機関として、IEEE 802<sup>\*2</sup> や3GPP<sup>\*3</sup> などの標準化団体がありますが、我々はそこに積極的に参加して、NICTで開発した技術を標準化しています。

5Gは超高速・低遅延・同時多数接続といった優れた特長がありますが、すべての特長が同時に実現されるのではなく、それぞれの特長を有するサービスが段階的に実現されていくと考えられています。例えば同時多数接続では、1平方km当たり100万台の端末接続数が1つの目安ですが、5G導入期には、その性能は他の特長に比べそれほど積極的にサービスインされないと考えられています。5Gの特長があまねく有効活用され、円滑にサービス展開されることを想定し、我々の5G研究では、同時多数接続を可能にする技術に積極的に取り組んでいます。昨年は、1つの基地局に2万台の端末を同時接続する実証実験に成功し報道発表を行っています。加えて、当室で開発した、同時多数接続を低遅延と同時に実現しようとするSTABLEという技術では、周波数利用効率を2.5倍に増やせることも確認しました。

——ミリ波など高い周波数の実用化については。

**児島** 5Gはミリ波帯に近い28 GHz帯や、

国によってはそれよりも更に高い周波数帯も使います。高い周波数の電波は、光に近い性質を持ち直進性が強いので、障害物があっても回り込みにくく減衰も大きいのです。5Gの機能を生かすには、高い周波数を安定的に扱う技術が重要で、また遠くまで飛びませんから、移動する端末に向けてビームを絞って電波を送るビームフォーミング及びそれを実現する超多素子アンテナMassive MIMO<sup>\*4</sup>の検討もNICTで行っています。

## ■キャリアとの連携は

——移動体通信キャリアとNICTの役割分担は。

**児島** ミリ波帯のような高い周波数の電波では、到達距離が数百メートル程度以下になる場合があり、1つの基地局のサービスエリアはとて狭くなります。そのため、サービスを全国に展開する場合、たくさんの基地局が必要ということになります。しかし、それはコスト面から無理がある。そこで、必要とされる場所に重点的に設置することになります。

そうしたときに、小さいエリアと大きいエリアの連携が必要になります。これを実現するための技術も我々の重要な研究テーマのひとつです。5Gでは既存の大手オペレーターだけではなく、小さいセルだけでサービスをする新しいオペレーターが出てくるかもしれません。彼らにとっては、従来のLTE (4G) のユーザにも使ってもらうことでユーザ数が増えるでしょう。一方、従来の大手オペレーターは、自分たちがこまめに小エリアの基地局を張り巡らさなくても、小エリアのサービスを行えます。

また、当初は5Gと4Gが混在する時代が続くと思われませんが、このような基地

局間の連携技術についても研究しています。

## ■極限状況での通信とは

——ワイヤレスネットワーク総合研究センターにはどのようなプロジェクトがあるのですか。

**児島** 大きく分けて3つのプロジェクトがあります。基地局インフラを進化させる「ワイヤレスネットワーク制御・管理技術」、無線端末同士の連携を進化させる「ワイヤレスネットワーク適応化技術」、無線システムの適用分野を拡張し、信頼性を向上させる「ワイヤレスネットワーク高信頼化技術」です。

**浜口** 「制御・管理技術」としては、基地局のセル間の調整や5Gの低遅延・多数同時接続を実現する技術があります。「適応化技術」には、機械同士・モノ同士が通信するときのワイヤレスグリッド技術、工場での無線通信環境構築技術などがあります。「高信頼化技術」には無線中継器を搭載したドローンが被災地などで活動するインフラレスワイヤレス技術、これまで電波の適用が難しいと考えられていた環境での無線システム実現を目指す極限環境ワイヤレス技術などについて、研究開発を行っています。

——これまで電波の適用が難しかった分野とは？

**児島** 例えば、体内・体外無線通信技術という研究があります。患者さんに錠剤くらいの大きさの小さなカプセルを飲み込んでもらい、それが体内のどこにあるのかを体外から高精度に推定する技術です。

薬をピンポイントで患部に届けるため





5Gシステム協調制御の性能評価のために試作した実験用ミリ波帯自営マイクロセル（小さいエリア）基地局

に、カプセルが体内のどこにあるのかを正確に知りたいという医療分野におけるニーズがあるのです。この技術では、カプセルにRFIDのような仕組みを持たせて、体外から複数のアンテナで位置を推定します。人間の体は、皮膚・臓器・骨など、部所によって誘電率（電波の伝わりやすさ）が変わります。そのため、かなり難易度が高いのですが、チャレンジしがいのある技術です。

**浜口** 海中ワイヤレス通信の研究も行っています。海水中では電波はほとんど伝わらないと思われていますが、ごく短い距離なら届くのです。我々は、JAMSTEC（海洋研究開発機構）と連携して、数MHz帯の電波を使って、アンテナ構造を工夫することで近距離の通信に成功しています。この技術によって、無人海底探査ロボットなど水中作業をする機械のラスト数メートルをケーブルから解放し、自由度を大きくアップさせることができます。

## ■ YRPのメリットと6G時代に向けた展望

—— YRPならではの研究環境とはどのようなものでしょうか。

**浜口** YRPは、無線通信の研究開発拠点

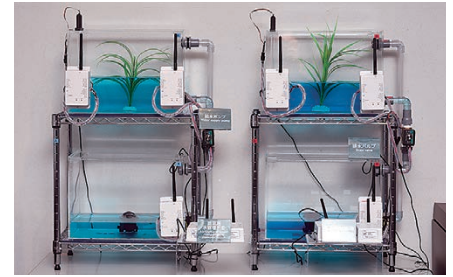
として1997年10月に開設されました。NICTは開設当初からここに拠点を構えています。ここには、国内外の企業の研究所や大学の研究室が多数集結しており、基礎から最先端まで幅広い分野の研究が行われています。

NICTは、これらの企業や大学と連携して共同研究を行っているほか、YRP研究開発推進協会やYRPアカデミア交流ネットワークと共同で、毎年5月頃にワイヤレス・テクノロジー・パーク（WTP）という無線通信技術に関する国内最大級の専門家向けイベントを主催しています。

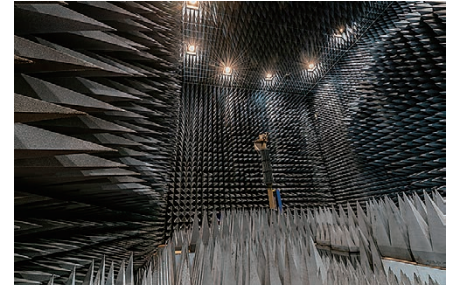
この他、YRP研究開発推進協会と連携して、WPMC（The International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications）という国際シンポジウムを年1回、世界各地で開催するなど、無線通信技術の国際的な発展にも貢献しています。

——ワイヤレス研究の今後の展望は。

**児島** 我々は5年単位の中長期計画で進んでおり、次期中長期計画は2021年からの5年間です。これまでの10年ごとに世代交代が行われた流れに即して2030年には6Gサービスが開始されるとすると、次期中長期計画の期間中に5Gの課題を抽出し、6Gに何が求められているかを



IoTに役立つ省電力SUN無線機の農業応用(水位コントロール)デモ



YRP1番館内の電波暗室。外部からの電波の影響を受けず、かつ外部に電波を漏らさず電波発射実験が可能

研究機関として問いかけていきたいと考えています。

我々は、国立の研究機関ですので、成果は社会及び民間企業にお返ししなければなりませんから、国民の皆様役に立ち喜ばれるようなものを作り出していきたいと思えます。

**浜口** ユーザの多様なニーズに応じて、消費電力やセキュリティ、電波の干渉を意識することなく、いつでもどこでも何に対しても有線と同じ品質でつながることで、社会に新たな価値をもたらす究極の無線通信システムを実現したいです。

YRPは、日本の無線通信研究の最前線と言えます。10年先には、次の世代のワイヤレス通信を担う6Gが登場しているでしょう。そういった時代に向けて、世界をリードできる革新的な無線通信技術の実現を目指して努力していきたいと考えています。

- \*1 RFID (Radio Frequency Identifier) : ID情報を埋め込んだ無線タグから電波を介して情報のやり取りを行う仕組み。RFタグや非接触ICカードで実用化されている。
- \*2 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802委員会
- \*3 3GPP (3rd Generation Partnership Project) : 携帯電話等の移動通信システムの標準規格の仕様の検討や策定を行う国際標準化プロジェクト。
- \*4 Massive MIMO (Massive Multiple Input Multiple Output)

# 未来の「見る・考える」道路へ

## スマート電子カーブミラー

### 表 昌佑

(びょう ちゃんろう)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
主任研究員

大学院修了後、2005年NICT入所。  
Wireless Communications and Networks, Millimeter Wave Communications, Cognitive Wireless Communications, and Broadband Wireless Communications in TV Whitespaceなどのメディアアクセス制御に関する研究に従事。博士（工学）。

**信** 号機のない交差点などは、交通事故が発生しやすく、特に塀や建物、駐車中の車の陰などには、事故につながる危険が潜んでいます。我々は安心・安全な運転を実現するために「スマート電子カーブミラー」を開発しました。スマート電子カーブミラーは、路側センサで集めた道路状況を、無線通信で高度地図データベースに送り、近くにある車両や人がどう動いているかを地図上に表示します。車の運転手や歩行者に道路状況を教えることで危険を避けることができるので、事故の防止につながると期待できます。さらに、近い将来普及が期待される自動運転車を支える未来の交通イ

ンフラとしての活用も期待できます。

### ■スマートモビリティに向けた取組

少子高齢化が進む我が国では、移動に不安を抱える高齢者の社会参画と自立を促す自動運転車両や労働力不足を補う遠隔支援車両等の「スマートモビリティ」の実用化が強く求められています。様々なセンサ情報及び車自身が検知した情報等を活用し、情報通信基盤技術（ICT: Information Communication Technology）と連携して、高信頼・高精度なスマートモビリティの実現に向けた研究開発が進められています。

図1 スマート電子カーブミラーの仕組みと構成

A: 4つのレイヤーから成るダイナミックマップ（総務省「Connected Car社会の実現に向けた研究会検討結果取りまとめ」の公表（平成29年8月4日）から抜粋） B: 信号機が無く、見通しの悪い交差点の構成 C: スマート電子カーブミラー D: 受信された交差点周辺の交通情報マップ

スマートモビリティの実現に不可欠な、道路状況の収集・分析した情報を高度地図データベース（ダイナミックマップ）に更新し、効率的に配信する技術の開発が求められています。ダイナミックマップとは、道路に関する情報をまとめた地図データベースのことで、情報更新の時間軸によって4つのレイヤーに分かれます（図1-A）。路面情報、車線情報、構造物のような月単位で動く静的情報レイヤー、交通規制情報、道路工事情報のような時間単位で動く準静的情報レイヤー、事故情報、渋滞情報のような分単位で動く準動的情報レイヤー、最後に周辺車・歩行者・信号情報のような秒単位で動く動的情報レイヤーの4階層に区分されます。

ダイナミックマップの更新手法として、主に車自身による情報更新手法が検討されています。道路を走行する車自身が、車載のセンサを活用して道路の情報（事故、渋滞、道路規制など）を収集し、無線通信を活用してダイナミックマップに更新する方法です。しかし、事故の発生が多い見通しの悪いカーブや交差点、見通せない先に道路交通規制や障害物などがあった場合には、車載のセンサによる検知が困難となり、ダイナミックマップに十分に反映されないおそれがあります。この問題の解決には、路側センサ（例えば、カメラ、レーダーなど）による情報更新手法が有効と考えられます。本稿

では、複数の路側センサを用いた道路情報の認識装置である「スマート電子カーブミラー」を紹介します。

### ■スマート電子カーブミラーによる見通せない先の見える化

図1-Bの交差点のように見通しの悪い（見通せない）場所の路側に設置したスマート電子カーブミラーは、道路の変化、例えば車両や歩行者の有無、移動、道路工事などを検出し、検出情報をダイナミックマップに更新するとともに、車両に適時通知配信することで、見通せない先が見える化でき、安心・安全な交通社会の実現を可能とする交通インフラシステムです。

図1-Cは、スマート電子カーブミラーの外観と構成を示しています。スマート電子カーブミラーは、

- ・道路上の状況を収集するカメラ
- ・カメラから収集した画像情報から機械学習により物体を検出する物体検出装置
- ・検出情報を無線転送する無線通信装置

で構成されます。無線伝送される検出情報はエッジサーバ（Edge Server）に集められ、検出物体情報の融合処理や道路状況などを判断する処理を行い、最終的にはダイナミックマップに更新されます。図1-Dは、交差点を模擬したYRPテ

ストベットの3か所に、スマート電子カーブミラーを距離40 mのT字路をカバーするよう設置し、スマート電子カーブミラーから検出した移動車両を実時間で追跡し、移動車両の画像、位置などが確認されていることを表します。

図2は、スマート電子カーブミラーから収集された道路情報が車に無線転送されてモニターに確認できる様子を示しています。実証試験を用いてスマート電子カーブミラーの有効活用を検証しました。図2-Aは、車内の運転手の視線からは車の存在が確認できませんが、スマート電子カーブミラーから転送された道路情報では右壁の向こう側に進行している車の存在が確認できます。さらに、図2-Bは、車の進行をモニターと目視で確認できることを示しています。

### ■今後の展望

スマート電子カーブミラーの活用により、車の運転手や歩行者に道路状況を知らせることで危険を避けることが可能となり、事故の防止につながると期待できます。さらに、5G移動通信システムの利用シナリオとして重要度が高い自動運転車の普及を見据え、5G移動通信システムと連携により、高信頼・高精度な自動運転を支える未来の交通インフラとしての活用も期待できます。

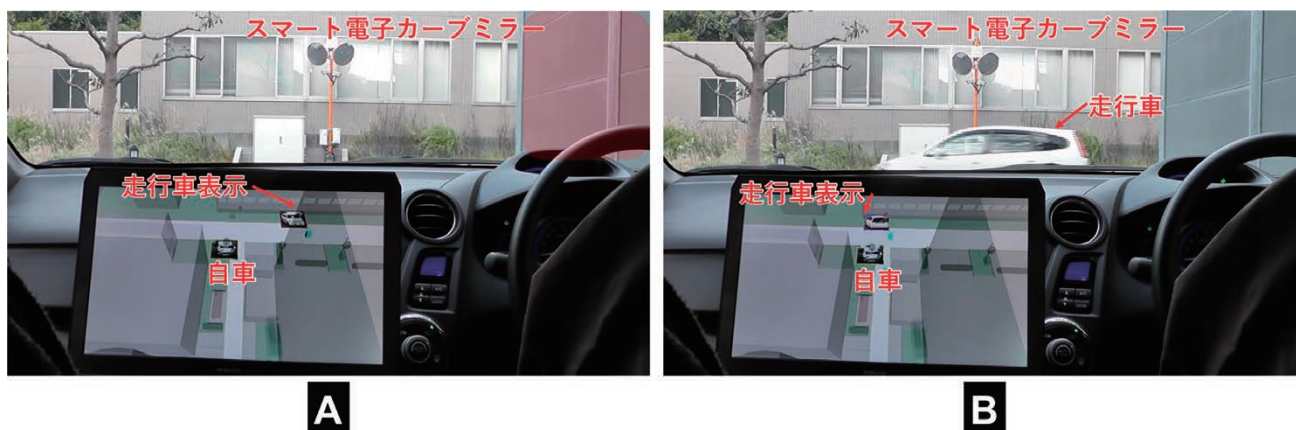


図2 スマート電子カーブミラーからのリアルタイム道路情報



## 届け! 現場の声

製造現場で安心して無線を使うために



## 板谷 聡子

(いたや さとこ)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
主任研究員

2002年に博士号取得後、株式会社国際電気通信基礎技術研究所、日本電気株式会社を経て、2014年にNICT入所。製造現場における異種無線通信技術の協調制御及び安定化に関する研究開発に従事。博士（理学）。



## 大堀 文子

(おおほり ふみこ)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
研究員

大学院修了後、2010年株式会社構造計画研究所に入社。2017年の10月からNICTワイヤレスネットワーク総合研究センターワイヤレスシステム研究室にて、製造現場における異種無線通信技術の協調制御及び安定化に関する研究開発に従事。研究員。修士（工学）。

**近**年、製品の開発サイクルの高速化に伴い、製造現場への無線通信導入が期待されています。国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）では、これらの課題にアプローチするため2015年にFlexible Factoryプロジェクト（工場内での多種多様な無線システムの共存と安全な運用）を立ち上げ、業界の垣根を越えて多くのメーカーと共同で、稼働中の工場における無線環境の調査を実施しています。ここでは、本プロジェクトによる調査結果を基に開発した、生産性と無線通信品質の関係を示すためのシミュレータについて紹介します。

## ■背景

生産性を維持しながら製造現場のライン変更を頻繁に行うためには柔軟なライン設計を実現する必要があるため、無線通信が重要な要素です。しかし、例えば、Automated Guided Vehicle（AGV：無人

搬送車）、昇降装置、スタッカークレーンをはじめとした製造現場における移動体に無線通信を利用する場合、無線通信の品質低下が生産性の低下に結びつく場合があります。導入及び運用に際して注意が必要ですが、無線は目に見えないため、可視化技術やシミュレータなどを用いた予測技術に対する期待が高まっています。

## ■製造現場における無線通信利用のシナリオ

Flexible Factoryプロジェクトでは、無線環境の調査のみでなく、製造現場におけるヒアリングや文献調査に基づき、製造現場における無線通信のユースケースに関するホワイトペーパーを公開しており、無線通信の利活用が期待される4つの典型的な利用シナリオを示しています\*1。

## (1) 金属加工現場

施設内に工作機械が並べられ材料や製

図1 物流倉庫の無線通信利用イメージ



品は特定のエリアで管理されており、稼働監視や予防保全が着目されていますが、工作機械は20～30年程度運用されるような古い機器が多く、センサは後付けされるため、各センサから情報を収集するためには無線通信の利活用が望まれています。

### (2) 機械組立工場

工程ごとに品質向上を目的とした品質データの収集・分析・フィードバック可能な仕組みが構築されており、工程ごとに部品搬送する際のAGVの稼働管理については無線通信の活用が期待されています。

### (3) 高所・高温作業現場

化学プラント工場や製鉄工場などの製造現場では、高温多湿の過酷な環境、衝突や落下等の危険が潜んでいる場合があるため、作業員の状況をバイタルセンサや映像などからモニタリングすることが重要になります。また、作業員は移動するため、無線通信を利用したデータ収集が必須です。

### (4) 物流倉庫

空間利用効率を高めるためにスタックークレーン等の立体自動倉庫機器が利

用されており、大型の倉庫になると、高さ30 m、横幅100 m以上のサイズのラックが数m間隔で並行して複数配置されています。スタックークレーンの稼働範囲が大きく、これに適したケーブルの選定や配線が必要であり、これらのケーブルの導入及びメンテナンスコストを下げるために、ケーブルの無線化が期待されています(図1)。

## ■現場で使えるシミュレータ開発に向けて

無線通信の利用が期待される立体倉庫のような垂直方向、水平方向の製造機器の動きを模擬し、動きに合わせた細かな通信品質を把握するためには、3次元の環境を表現するシミュレータが必要になります。しかし、既存の無線シミュレータは電波伝搬のシミュレーションを実施するためのものが多いので、無線の専門知識がない製造現場の方々が使うことが難しく、3次元でのシミュレーションを実行しようとすると膨大な計算時間がかかってしまいます。そのため製造現場における無線システム運用への利用は困難でした。また、通常の無線シミュレータでは、生産性と無線通信品質の関係が分かりづらいため、何がどのように生産性に影響を与えているのか、どのように環境を改善すればよいのかが分かりにくいという課題がありました。そこで、NICTでは、製造現場を無線通信と生産性評価のための5層モデルとして表現し(図2)、無線環境を確率モデルと

して表すことで計算速度を製造現場での実用に耐え得るようにしました。現在はFlexible Factoryプロジェクトにより実施した実測データをシミュレータにマッピングし、三次元座標での計算と可視化を行うための研究開発を実施しており、製造現場の方々の声を聴きながら研究開発を進めています(図3)。

## ■今後の展望

Flexible Factoryプロジェクトに参加する企業の中で、NICTが提唱している「多種多様なシステムの協調と共存」という新しい概念を取り入れたSRF無線プラットフォーム<sup>\*2</sup>に高い関心を持つ企業が2017年7月に設立した非営利の任意団体であるフレキシブルファクトリパートナーアライアンス(FFPA)は、6月3日に令和元年度「情報通信月間」総務大臣表彰(団体)を受賞しました(図4)。プロジェクトやアライアンスの皆様、現場の方々と一緒に推進してきた地道な活動が認めただけの今回の受賞を励みに、今後も製造現場で安心して無線を使っていただくために、一步一步着実に進んでいきたいと思ひます。

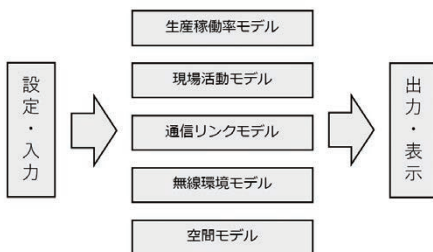
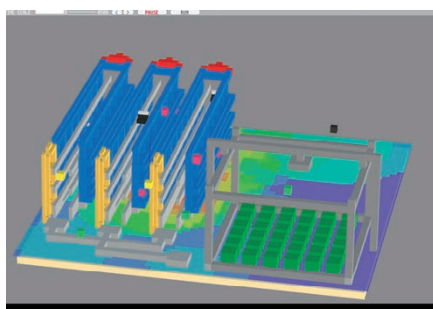
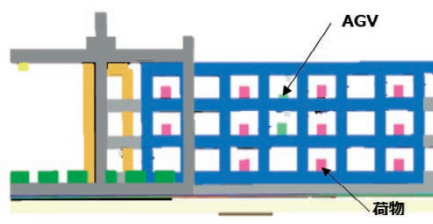


図2 無線通信と生産性評価のための5層モデル



(a) 立体倉庫全体概観



(b) 立体倉庫側面

図3 NICTで研究開発している3次元シミュレータのスクリーンショット



図4 左から、雨海明博FFPA幹事(サンリツオートメーション株式会社)、生雲公啓FFPA幹事(オムロン株式会社)、板谷聡子FFPA副会長(NICT)、厚東肇FFPA事務局長(NICT)

\*1 <https://www2.nict.go.jp/wireless/ffpj-wp.html>

\*2 SRF無線プラットフォーム  
多種多様な無線機器や設備をつなぎ、安定に動作させるためのシステム構成。SRF「Smart Resource Flow」は、製造に関わる資源(人、設備、機器、材料、エネルギー、通信など)をスムーズに流れているように最適に管理するコンセプト。

# 無人航空機システムの安全運用を支えるワイヤレスシステム より高く、より広く、さらに幅広い無人航空機の利活用のために



左から、単麟、小野文枝、加川敏規

## 小野 文枝

(おの ふみえ)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
主任研究員

2012年NICT入所。無人航空機を用いた無線通信システムや遠隔制御用無線通信システムなどに関する研究に従事。博士（工学）。

## 単 麟

(たんに りん)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
研究員

2013年NICT入所。IoTデバイスの端末間通信技術や無人航空機を用いた無線通信システムなどに関する研究開発に従事。博士（情報学）。

## 加川 敏規

(かがわ としのり)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
研究員

2013年NICT入所。IR-UWBを用いた屋内測位技術や無人航空機を用いた無線通信システムなどに関する研究開発に従事。博士（工学）。

より高く、より広く、より頻繁に、そして、さらに幅広い用途のために、ドローン等の無人航空機の運用範囲の拡大が望まれています。この要望をかなえるために、NICTでは、無人航空機が利用する、または、必要とする無線通信システムの研究開発を進めています。これらの成果は、実際に利用される機器として、デファクトスタンダード（標準規格）の地位獲得も期待されます。

### ■ドローン等が利用する無線システムの現状

最近では、家電量販店でもテレビや冷蔵庫と同じようにドローンが並び、販売され、誰でも比較的手軽に空を飛行させたり、上空からの映像を撮影したりすることができるようになりました。その一方で、空港以外の場所で離着陸するような小型ヘリ（ドクターヘリ等）とのニアミス報告やドローンの墜落事故も増加しており、安全運用に対する対策として新たな技術の開発や環境整備が必要となっています。

一般に、無人航空機は管理者（操縦者）からの遠隔制御によって飛行するため、操縦者と無人航空機間は双方向の無線通信により行われます。機体から操縦者に対しては、テレメトリ（遠隔計測装置による計測）情報や画像等が伝送され、操縦者から機体に対しては制御指令（コマンド）が伝送されます。無人航空機の遠隔制御は、手動操作が基本ですが、最近では、フライトモードを選択することで自動（自律）飛行も可能となっています。

ホビー用途におけるドローンの飛行範囲は、数百メートル程度の目視できる範囲内がほとんどですが、産業用途では、山やビルを超えた数キロから数十キロの目視外・見通し外での飛行が想定されています。こういったところを飛行するドローンを安全に飛行させるためには、木や電線、ビルなどの構造物、鳥やその他有人ヘリ等の飛翔体との衝突回避は必須で、そのためにはドローンの操縦だけでなく、自律飛行できるドローンでも、現在の飛行位置や飛行状況の把握、飛行時や離着陸時の周辺環境の把握が、遠隔にいる操縦者からできることが望まれます。

### マルチホップ経路の高速切り替え実験 (2016年11月@東北大学)



図1 産業技術総合研究所と共同で実施したコマンドホッパーによるマルチホップ伝送実験の様子



これまでに、NICTでは、空の安全利用の実現を目指し、目視外・見通し外でドローンを操る技術、飛翔体同士が互いの位置を知る技術、電波の使用状況と干渉リスクを可視化する技術を研究開発しています。

## ■目視外・見通し外でドローンを操る技術

ドローン等の無人航空機の利用範囲がより広範囲になるにつれて、操縦者や地上制御局から目視外・見通し外となる環境が増加します。そこで、NICTでは、地上制御局と無人航空機間を直接通信するだけでなく、中継無線器を介しても制御通信が可能な中継伝送（マルチホップ伝送）システム「コマンドホッパー」を研究開発しています。これまでに、いくつかの実証実験を実施し、1ホップ（無線器-無線器間）で最大4 km程度まで制御通信可能であることを明らかにしています（図1）。したがって、複数の中継無線器を活用することで、より柔軟に運用範囲を広範囲に拡大することが可能となります。

また、コマンドホッパーは、遠隔操縦可能なドローンや地上の無人ロボット等

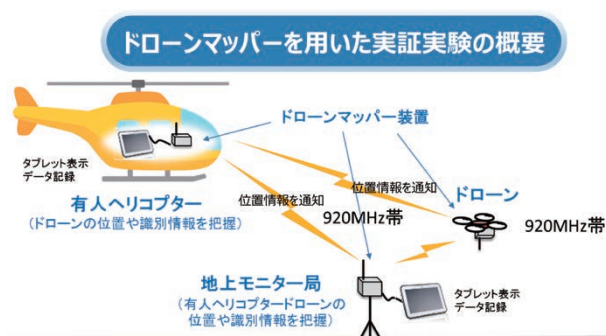


図2 ドローンマッパーを用いた実証実験の概要（小型有人ヘリとドローンによる位置情報共有）

に中継無線器を搭載し、それらを経由して制御対象となるドローン等と通信することも可能であり、自律的な制御通信ネットワーク構築への応用も期待されます。

## ■飛翔体同士が互いの位置を知る技術

NICTでは、操縦者から目視外・見通し外でもドローンの位置を把握し、他の操縦者が同一空域を飛ばしているドローン等と、安全な離隔距離を保ちながら運用するために、ドローン同士がお互いの位置を知り、それぞれが確認しながら飛行できる無線通信システム「ドローンマッパー」も研究しています。現状のドローンマッパーは、920 MHz帯の特定小電力無線を利用しており、無線従事者免許等は不要で、誰でも安価で簡易に利用できるものとなっています。有人ヘリや航空機でも、位置を把握するためのシステムは存在していますが、比較的高価なものが多く、ドローンのような小型の無人航空機に搭載可能で、無人航空機同士が



図3 自律飛行制御の実証実験結果（2台のドローンのニアミス回避）

直接通信できるシステムはこれまでに存在していませんでした。本研究では、NICTが開発したドローンマッパーを小型の有人ヘリとドローンに搭載することで、最大9 km程度離れた距離でも互いの位置を把握することが可能であることを確認しています（図2）。また、ドローンマッパーを搭載したドローン同士が直接通信することを活用し、互いに把握できた位置に基づく自律飛行制御システムも研究開発を進めており、これまでに、お互いの位置を確認しながら自動でニアミスを防ぐ自律飛行制御実験に、世界で初めて成功しています（図3）。

## ■電波の使用状況と干渉リスクを可視化する技術

ドローンの利用範囲が拡大し、例えば、人口密度が高い都市部でドローンを飛行させる場合、既に電波を利用する機器が地上に多く存在することとなります。現在のドローンの多くは、2.4 GHzや5 GHzなどのISM帯を利用するものが多く、地上に同じ周波数を利用する無線機器が存在する場合、地上のコントロール局にドローンの位置情報を伝えたり、安全を確認したりするための映像を伝送することが困難になる状況があります。

そこで、NICTでは、電波環境の危険を予測して安全に飛行できるように、ドローンに搭載した測定器が観測した値から、飛行中のドローンの周りの電波環境を推定する技術を研究しています（図4）。

## ■今後の展望

これまでに陸上でのみ利用されてきた無線機器をドローンに活用し、より安心・安全な多数のドローンの同一空域での運用を実現する検討が進められています。今後は、陸上利用の無線機器がますます無人航空機と融合され、上空での利用が拡大することが予想されます。NICTでは、今後も上空でのスマートな電波利用の実現に向けて、研究開発を進めていきます。

図4 電波環境を推定する技術の概要



## 新領域を開拓する電波を利用した 海中ワイヤレス技術



### 松田 隆志

(まつだ たかし)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
主任研究員

大学院博士課程修了後、2010年NICT  
入所。2017年より現職。エバネッセン  
ト波を用いたシート媒体通信及び給  
電、海中の電波を用いたワイヤレス技  
術の研究に従事。博士（工学）。

**地** 球の表面のおよそ7割を占める海は、陸上に比べ調査や利用が進んでいない領域です。これは地上に比べて、人間の活動が極めて困難なこともあります。海中の通信やセンシング手段に乏しいことも原因のひとつと考えられます。海中での電波の利用を実現することで、今後、海底資源の探査や発掘・海洋生物の生態系や海洋地質などの調査及び解明の促進・漁業のIoT化等、海に関する様々な分野の発展につながると期待できます。

### ■海水は電波が大きく減衰する 極限環境

これまで海中では通信やセンサとして主に音波が用いられていますが、低周波であるため通信速度を上げることが難しく、また伝搬遅延も大きいという課題があります。そこで近年、音波以外の通信手段が求められており、電波はそのひとつの手段と考えられます。海中での電波利用の大きな壁は海水の特性にあります。海水は、比誘電率が約81、

導電率も約  $4 \text{ S/m}^*$  と空気中（導電率は約  $0 \text{ S/m}$ 、比誘電率は約1）とは大きく異なった電気特性を持ち、電波にとって減衰が非常に大きい環境です。電波は海中では周波数が低いほど通りやすく、高いほど通りにくくなる性質があります。一部、海の色が青く見える可視光の領域では減衰が小さいため、海中での可視光通信の研究も進められています。可視光通信は非常に高速な通信を実現できますが、指向性が強く位置合わせが必要であったり、濁った水等で光が散乱し受信側に届かなかつたりする場合があります。電波を用いた海中ワイヤレス技術は、こういった音波や可視光の使用が困難なケースでの補完的な利用が期待されます。

### ■海中で使えるアンテナ試作

陸上に用いられているアンテナをそのまま海中で使用することは適切ではありません。前述のように海水の電気特性は空気とは大きく異なっており、電波の波長は大きく短縮されます。そこで、アン

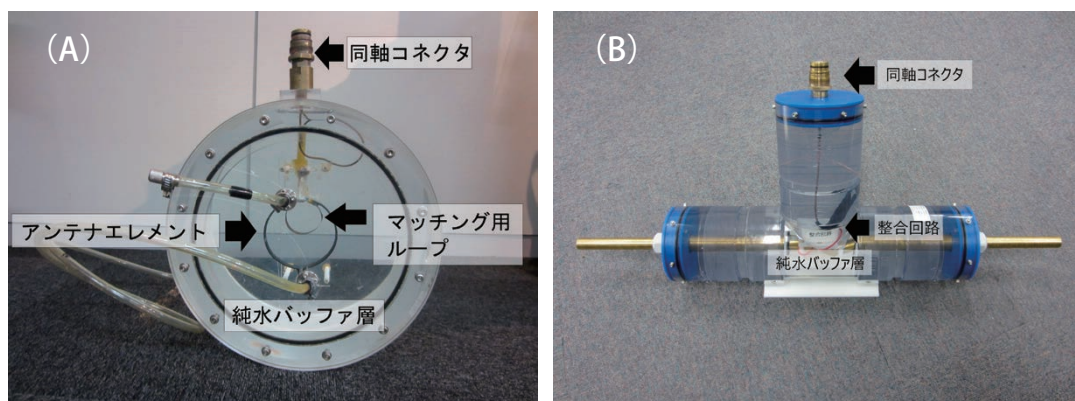


図1 試作した純水バッファ付き海中アンテナ (A) 微小ループ型：直径310 mm、高さ200 mm、重量約50 kg (B) 微小ダイポール型：直径100 mm、長さ800 mm、重量約20 kg

テナ素子の周囲に導電率0 S/mの純水のバッファ層をつけたアンテナを試作しました(図1(A))。この純水のバッファ層により、周囲の環境の変化に影響されにくくなります。このバッファ層は空気等の別の媒体も利用できますが、海中での使用を考慮した場合に、純水で満たすことで容器に均等に圧力がかかり、水圧に強い構造となります。試作した海中アンテナは微小ループ型のアンテナ構造となっています。研究開始当初は海中での電波の伝搬特性を正確に測定するために、同じ測定系の中で十分に減衰する距離にアンテナを設置する目的で、中心周波数を10 MHzとしました。

また、周波数の違いによる特性の評価を行うために、微小ダイポール型の海中アンテナの試作も行っています(図1(B))。この微小ダイポール海中アンテナは複数アンテナを用いた評価を行うにあたり、アンテナの製作のしやすさや、軽量化を考慮しています。微小ダイポール型は放射効率では微小ループ型に劣りますが、使用できる帯域は広めで、整合回路によるインピーダンスマッチングが容易です。

## ■海中での電波測定のためのシステムの開発

本研究では、10 kHz から10 MHz までの電気的特性を計測可能な携帯型ベクトルネットワークアナライザや海中ケーブル等を用いて浅海域で利用可能な電磁場応答測定系を構築しました。本測定系は、測定環境条件を定量的に記録するための各種センサ(カメラ、CTD計、傾斜計、高度計等)を搭載可能なインターフェースを備えています。これらの測定装置やセンサを海中で固定して測定を実施できるよう、海中に吊下可能な実験用フレームを製作しました。図2は製作した海中チャンネルサウンダ

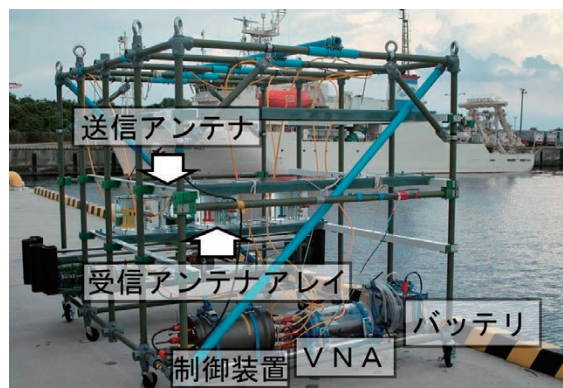


図2 海中で送信アンテナの位置を動作可能な海中チャンネルサウンダの概観

(Underwater Channel Sounder: UCS)の外観です。UCSの一番奥に送信用アンテナ1台、手前に受信アンテナが3台設置されています。送信用アンテナは可動ステージ上に配置し、受信アンテナアレイと並行に中央から±900 mm移動可能です。受信アンテナを載せている台も、フレーム内で移動可能で、送受信間の距離を変えることができます。また、アンテナ切替えやネットワークアナライザとの通信、各種センサ等の制御を行う制御装置は、UCSの左下手前に設置しています。制御装置と船上の制御用の端末は光ケーブルで接続され、制御コマンドの送信や測定データの受信ができます。また、その隣にネットワークアナライザ及びバッテリーをそれぞれ設置しています。これらの装置は耐圧容器に収納されるように設計されています。本測定系により、60 cmから140 cmの間距離を変えながら10 MHzの電波伝搬特性を評価することができました。

さらに、海中ワイヤレスの利用シーンのひとつとして、海底下センシング技術についての測定システムも開発しています(図3)。これは電波を使って、これまで音波等のセンシングでは検知できなかった埋設物を見つける技術です。海底下に向けて取り付けられた海中アンテナアレイ間の電波伝搬特性(振幅及び位相)を測定することにより、海底下の埋設物を検知するシステムで、金属や誘電体、またはその複合物といった様々な埋設物

に対して測定を行っています(図4)。得られたデータから埋設物の大きさや形を推定する方式も検討しています。

## ■今後の展望

海は大きな可能性を秘めています。現在の技術ではまだそれを生かしていかないのが現状です。海中における電波を用いたワイヤレス技術の開発は、海中における産業や資源開発能力の向上のための技術として、海中無人ロボットとのワイヤレス通信や海底下センシング等、日本の海洋大国への発展に貢献が期待できます(本研究の一部は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度の支援を受けたものです)。

\* S/m (ジーメンス毎メートル)：導電率の単位。抵抗率の単位であるオームメートル( $\Omega$ m)の逆数。



図3 送信アンテナ1台と受信アンテナアレイ4台を搭載したセンシング用測定フレーム

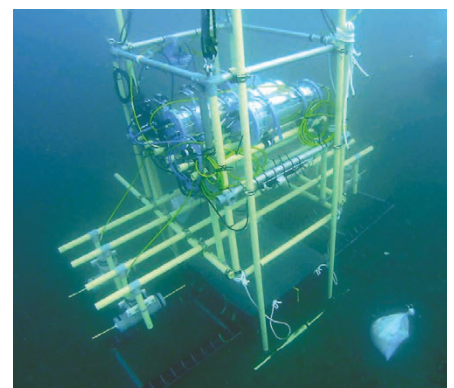


図4 静岡県沼津市三津浜の海底30メートルで行った海中センシング測定の様子



# ロボット社会を支える ワイヤレスネットワークをつくる



## 加川 敏規

(かがわ としのり)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
研究員  
博士(工学)

### ●経歴

1985年 石川県にて誕生  
2008年 中部大学工学部情報工学科  
卒業  
2013年 電気通信大学大学院博士後  
期課程修了後、NICT入所  
2019年 現職

### ●受賞歴等

第13回電気通信大学エレクトロニク  
スコンテスト 最優秀賞  
電気通信大学ヒューマンメディア工  
房コンテスト2011 最優秀賞

### 一問一答

#### Q 休日の過ごし方は？

A ホームセンターや100円ショップで材料を買ってきてDIYしています。工具棚やラックをよく作りますが、見た目が無骨でクールではないので妻には不評です。



自宅の壁に設置した工具棚

#### Q 研究者志望の学生さんにひとこと

A 考えることが好きな人は研究者に向いていると思います。日常生活でも「ここがこうなっている理由は何だろう」など、いろいろなことに興味を持って考えるクセをつけるといいと思います。

#### Q 最近ハマっていること

A スーパー銭湯通いにはハマっています。サウナと水風呂を往復して交感神経系を刺激すると、頭がスッキリして考え事がものすごくはかどります。サウナ好きの間ではこの状態のことを『整う』と言います。

**近**い将来、ロボットが私たちの暮らしを今以上に支える時代がやってきます。ロボットは人間が簡単には立ち入れないような場所（大規模災害現場、深海、山奥など）でも活躍します。ですが、このような場所では通信インフラが必要な3G/LTEや、インターネットアクセス用に設計されたWi-Fiだけでは十分な通信ができません。そこで、ロボットとの通信用に設計されたワイヤレスシステムが必要になります。

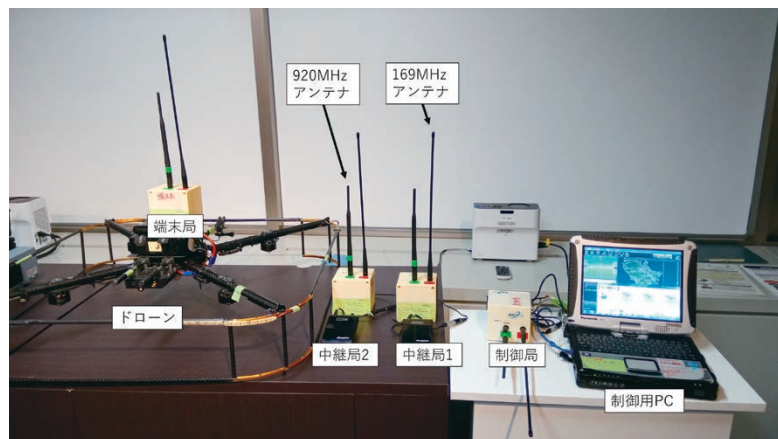
私たちの研究チームでは、災害現場や山奥で活躍するロボットやドローンとの通信に特化したワイヤレスシステムを研究しています。ロボットとの通信は「なるべく切れないこと」「伝送遅延時間（人が命令を送って、ロボットが命令を受け取るまでの時間）を一定値以内に収めること」が重要です。そのために169MHz帯と920MHz帯の2つの周波数を組み合わせ、時間分割による多重化を採用し、さらに中継（マルチホップ）に対

応した通信システムにしています。このシステムは伝送遅延時間と通信速度をトレードオフの関係にしておき、ロボットのミッションが要求する条件に合わせてカスタマイズできます。

ワイヤレス技術は既に私たちの生活に溶け込んで当たり前になっているため、その存在や仕組みは普段あまり意識されないかもしれませんが、この「当たりの技術」をいかにして当たりのものに

するかが私たちの使命です。

江戸時代の哲学者である三浦梅園が残した「枯れ木に花咲くを驚くより、生木に花咲くを驚け」という言葉があります。誰もが驚くようなことよりも、誰もが当たり前だと思っていることにこそ驚きを感じようという意味です。皆さんの生活の当たり前となっているワイヤレス技術に、ぜひ驚いてみてください。



ドローン制御用マルチホップ通信システム（試作品）



文部科学大臣表彰は、科学技術に関する研究開発、理解増進等において顕著な成果を取めた者に授与されます。

※所属・役職名は受賞者決定時点のものです。

■文部科学大臣

平成31年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰

FY2019 The Commendation for Science and Technology by the Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology Prizes for Science and Technology

井上 真杉 (いのうえ ますぎ)

グローバル推進部門 国際研究連携展開室 室長

大和田 泰伯 (おおわだ やすのり)

総合テストベッド研究開発推進センター テストベッド連携企画室 主任研究員

浜口 清 (はまぐち きよし)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター 総合研究センター長

概要 ●受賞内容：科学技術賞 開発部門【耐災害性に優れた自律分散協調通信システムの開発】

●受賞日：2019年4月17日

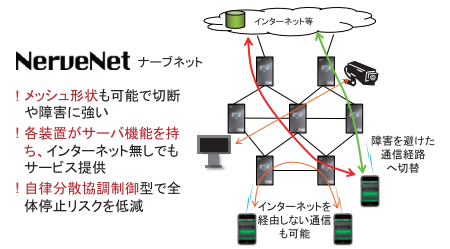
受賞の言葉 新世代アクセス系ネットワー

クとして、今でいう地域IoTに適したアーキテクチャを10年以上前に着想し、その後耐災害性に重点をおいて研究開発して通称NerveNetを実用化しました。震災被災地の宮城県女川町や南海トラフ地震に備え



左から、浜口、大和田、井上

る和歌山県白浜町などで運用を継続し、民間へも技術移転しました。実際に利活用されている画期的な研究開発を行い、我が国の発展に顕著な貢献をしたと認められたことを大変光栄に思います。



NerveNetの概略

大竹 清敬 (おおたけ きよのり)

ユニバーサルコミュニケーション研究所 データ駆動知能システム研究センター 上席研究員

水野 淳太 (みずの じゅんた)

ユニバーサルコミュニケーション研究所 データ駆動知能システム研究センター 主任研究員

鳥澤 健太郎 (とりさわ けんたろう)

ユニバーサルコミュニケーション研究所 データ駆動知能システム研究センター センター長

概要 ●受賞内容：科学技術賞 研究部門【SNS情報の深い意味的分析に基づく被災状況把握技術の研究】

●受賞日：2019年4月17日

受賞の言葉 東日本大震災の大きな被害

を受けて開発を開始した、対災害SNS情報分析システムDISAANA（ディサーナ）、災害状況要約システムD-SUMM（ディーサム）の研究開発に関して表彰いただきました。総務省をはじめとする数多くの政府機関、自治体、民間企業のご指導、ご協力のもと研究開発を進めることができ、自治体等において実活用されるレベルに至りました。関係者の皆様には厚く御礼を申し上げます。



左から、鳥澤、大竹、水野

DISAANA/D-SUMMの概略

埜 千尋 (たお ちひろ)

電磁波研究所 宇宙環境研究室 テニユアトラック研究員

概要 ●受賞内容：若手科学者賞【外惑星オーロラの発電-発光-変動過程の研究】

●受賞日：2019年4月17日

受賞の言葉 多様な惑星環境は、地球を対象としてきた研究知見の普遍性を試し

拡張する絶好の対象であるとともに、巨大太陽嵐など極端な宇宙天気現象の地球への影響を知る手がかりとしても期待されます。外惑星オーロラの発電から発光、そしてその変動過程に関する一連の研究活動が評価されたことを、大変嬉しく思います。ご支援頂きました共著者ならびに関係者の方々に深く感謝いたします。



# 2019



## 各地のNICT オープンハウス

けいはんな情報通信フェア2019  
ユニバーサルコミュニケーション研究所

●NICT拠点・施設

オープンハウス2019 in 仙台



耐災害ICT研究センター



NICT NEWS 2019 No.5 通巻 477  
編集発行：国立研究開発法人情報通信研究機構 広報部  
発行日：令和元年（2019年）9月（隔月刊）

〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1  
TEL: 042-327-5392 FAX: 042-327-7587  
E-mail: publicity@nict.go.jp

URL: <https://www.nict.go.jp/>  
@NICT\_Publicity  
#NICT

定期購読のお申込みはQRコード、WebまたはE-mailにて承っております。  
ISSN 1349-3531 (Print)  
ISSN 2187-4042 (Online)



（併用紙を使用）  
R70

オープンハウス2019 in 仙台 **入場無料**

## 耐災害ICT研究センター

<https://www.nict.go.jp/resil/>

**会場** 〒980-0812 宮城県仙台市青葉区片平2-1-3 東北大学 片平南キャンパス内

### 内容

#### ●主な展示

- ・災害によって切断された光ネットワークを応急復旧する最新技術
- ・いざというときにも、つながる・つかえるネットワーク
- ・被災状況をリアルタイムに把握するためのAIシステム DISAANA & D-SUMM

#### ●親子電子工作教室

#### ●南極ゆうびん



平成30年度開催時の様子▶

開催日 10/  
12(土)・13(日)  
10:00~16:00



▲平成30年度開催時の様子

けいはんな情報通信フェア2019 **入場無料** **申し込み不要**

## ユニバーサルコミュニケーション研究所

<https://khn-fair.nict.go.jp/>

**会場** けいはんなプラザ 〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台1-7  
ATR 〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台2-2

### 内容

#### ●基調講演 [10/31 (木)]

藤原 英則氏

（富士通株式会社スポーツ・文化イベントビジネス推進本部統括部長・東京オリンピック・パラリンピック推進本部シニアディレクター）

体操や新体操などの競技のリアルタイムな採点支援を目指した  
「3Dセンシング／AIによる体操プロジェクト」

#### ●NICTの主な展示

- ・インタビューの翻訳字幕をその場で表示
- ・最新のニューラルネットワークを駆使したほぼ肉声の高品質音声合成技術
- ・東南アジアの文字を簡単に入力します
- ・Twitter等の投稿写真から災害対応に役立つ情報を引き出す要素技術
- ・ヒトはコウモリになれるか～超音波で世界を感じ取る能力～
- ・端末間通信を用いたライブログ収集システム

開催日 10/31(木)  
13:00~17:00  
11/1(金)  
10:00~17:00  
2(土)  
10:00~16:30



▲「けいはんな情報通信フェア2018」の様子（サイエンストーク）



▲「けいはんな情報通信フェア2018」の様子（展示会）