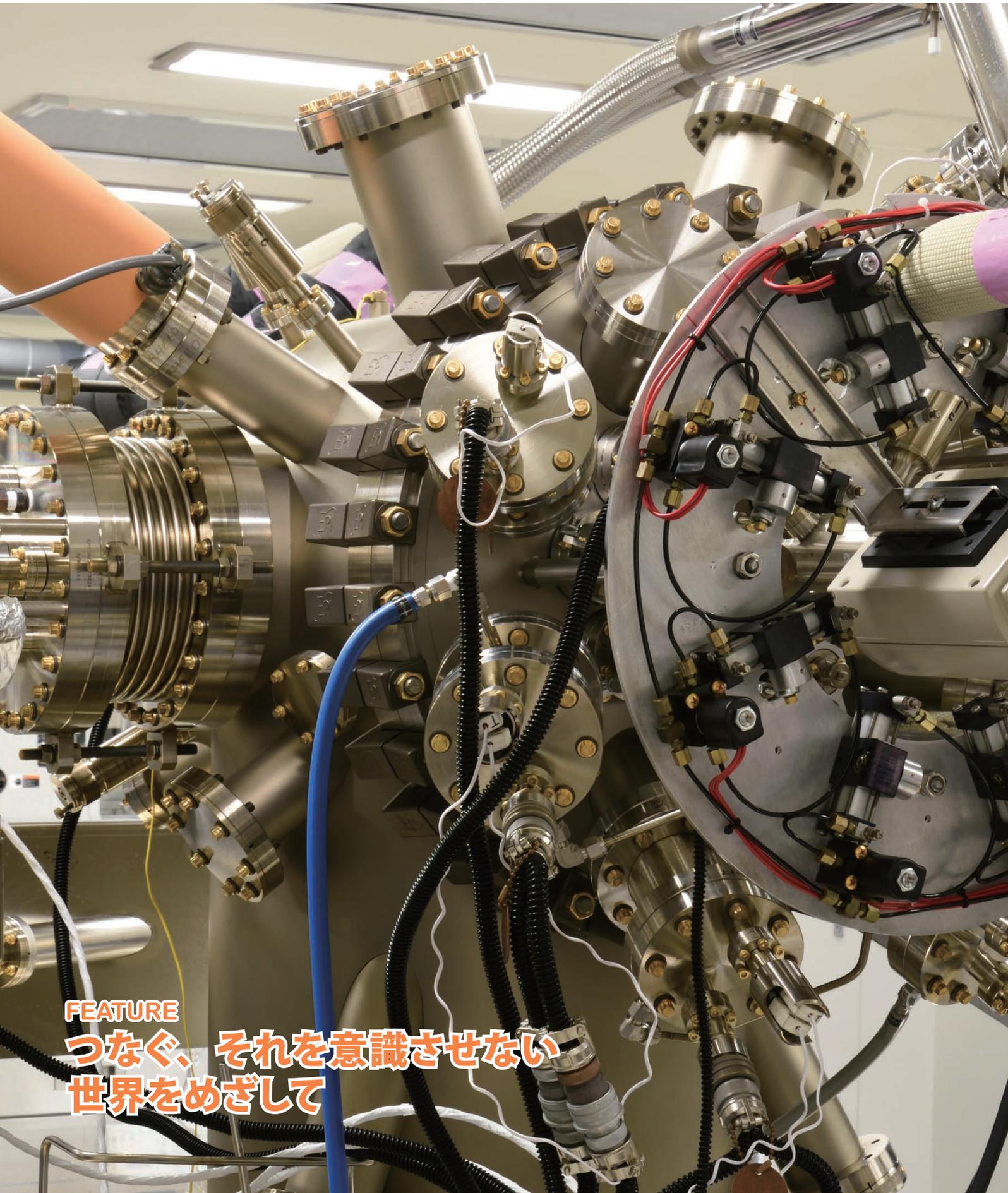


# NICT NEWS



FEATURE

つなぐ、それを意識させない  
世界をめざして

## CONTENTS

## FEATURE

## つなぐ、それを意識させない世界をめざして

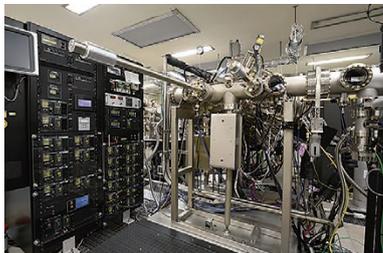
- 1 Interview  
光アクセス基盤技術で形作る「身近な情報通信」の未来  
山本 直克
- 4 パラレルフォトニクスに向けた  
光電子融合プラットフォーム技術  
ナノテクノロジーを駆使した高機能・超小型光電子融合デバイス技術の確立に向けて  
赤羽 浩一
- 6 光アクセス系通信に向けた高速光デバイスの研究開発  
梅沢 俊匡
- 8 信号波形のトランスパレント伝送技術  
有線と無線をシームレスにつなぐ光アクセス基盤技術をめざして  
菅野 敦史
- 10 光ファイバー無線に関する標準化活動  
無線通信システムと有線通信システムの架け橋の実現に向けて  
久利 敏明／川西 哲也

## TOPICS

- 12 微小管-タンパク質モーター相互作用による  
ネットワーク構築とその数理モデル化に成功  
未来ICT研究所施設一般公開  
鹿島宇宙技術センター施設一般公開
- 13 Awards

## INFORMATION

- 14 NICTオープンハウス2016 in けいはんな 開催のお知らせ  
NICTオープンハウス2016 in 沖縄 開催のお知らせ



## 表紙写真「分子線エピタキシー装置」

原子サイズで構造が制御された結晶を形成する装置。ナノレベルの半導体結晶を駆使し、光や電気の特性を極限までコントロールすることで、情報通信に不可欠な光電子デバイス技術の高度化をめざします。

INTERVIEW

光アクセス基盤技術で形作る「身近な情報通信」の未来



山本 直克 (やまもと なおかつ)

ネットワークシステム研究所  
ネットワーク基盤研究室  
研究マネージャー／  
先端ICTデバイスラボ ラボ長

大学院博士課程修了後、大学助手を経て、2001年独立行政法人通信総合研究所（現NICT）に入所。量子ドット等の半導体ナノ構造や、異種材料利用（ヘテロジニアス）による広帯域・光電子融合デバイス技術、大波長空間光伝送システム技術など、光アクセス基盤技術全般の研究開発に従事。東京電機大学客員教授。博士（工学）。

人々の生活の隅々までも、情報ネットワークが張り巡らされるようになった今日の世界。それが担う役割が大きくなればなるほど、信頼性や容量に対する要望も大きくなり、その達成は更にネットワークの重要性を高めていく。そんなネットワークの今後を支える重要な技術のひとつが、光アクセス基盤技術である。その現在と今後の展望、研究体制について、ネットワークシステム研究所ネットワーク基盤研究室研究マネージャーで先端ICTデバイスラボ ラボ長の山本直克氏にお話を伺った。

■「光アクセス基盤」とは何か

—現在のICT技術の中で「光」は大きな役割を担っていると思うのですが、そうした中で、「光アクセス基盤」というのはどのような技術なのでしょう。

山本 ネットワークの全体像を考えた時、いわば幹線にあたるのが「コアネットワー

ク」です。そこから枝分かれする形で、もっと我々にとって身近で、中短距離で直接情報のやりとりをするアクセス網（アクセスネットワーク）と呼ばれる部分があります。

コアネットワークは先述のように幹線部分ですから、大容量を処理できることが重要で、情報通信の光化が積極的に進められてきました。しかし今日では、コンテンツそのものの大容量化にともなって、身近なアクセスネットワークもより高速・大容量化が求められてきており、それを支えるための基盤技術の研究開発が必要になってきています。それが、我々が行っている光アクセス基盤の研究開発ということになります。

—光通信といえば「高速で大容量」というイメージがあります。かつてはネットワークのコアを支える技術であったのが、我々が普段やり取りする情報量の増大にともなって、身近なアクセスネットワークまでカバーしなくては行けない、というところ

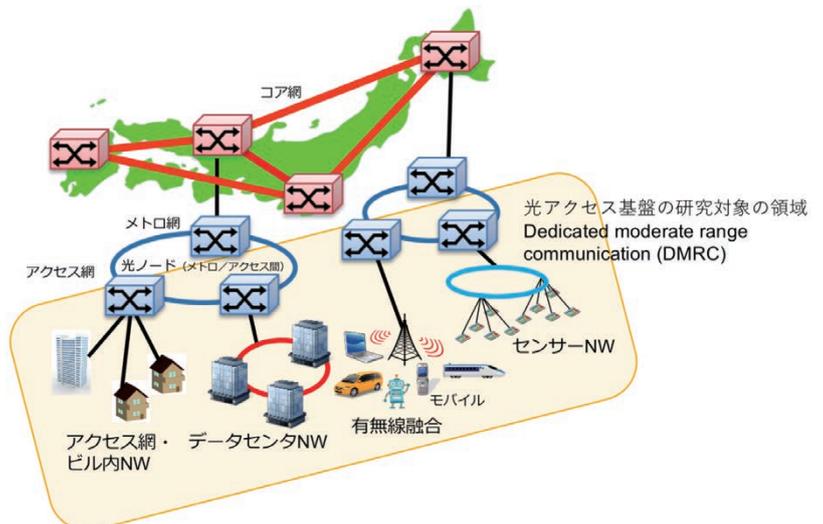


図1 光アクセス基盤の研究対象の領域

INTERVIEW

光アクセス基盤技術で形作る「身近な情報通信」の未来

え方でいいのでしょうか。

**山本** そのとおりです。ですがアクセスネットワークのような身近な情報通信では、皆さんが利用しているような携帯端末もそうですが、光以外に無線技術も重要な役割を果たしています。そのため「光アクセス基盤」とうたっていても、光だけではなく、光と無線を高度に融合していく技術の研究開発が欠かせません。

大容量の情報を高速に伝えるには光が適していますが、フレキシビリティや使用の自由さでは無線が使いやすいこともあります。アクセスネットワークの中では「光も無線も一緒に使っていく」、「有線と無線を融合しよう」というのが、ひとつのキーワードになります。我々の研究開発もそのようなコンセプトで推進しています。

■研究テーマの2本の柱

——具体的に、「光アクセス基盤」の研究グループにおける現在のテーマとはどういうものなのでしょうか。

**山本** プロジェクトの目標としては、大きく2本の柱があります。1本は「パラレルフォトニクス技術」、そしてもう1本は「100 Gアクセス技術」です。

パラレルフォトニクス技術とは、デバイス機能の高速化や高精度化と同時に、多数のデバイス機能の並列化（パラレル化）を極限まで進めることで、全体として大容量な送受信を達成するための技術です。このような送受信技術のためには光回路と高周波電気回路を高度にミックスする必要があります。個々のデバイスや回路で担えることには限りがありますが、そのような光と高周波をデバイスレベルで高精度にパラレル化することで、送受信機の性能を大幅に向上させる、それがこのパラレルフォトニクス技術です。

もちろんパラレル化しつつも、同時に小型化も追及することになります。アクセスネットワークに関わる技術は、携帯端末や家電のように身の回りで自由に使えることが重要になってきますから、デバイスを小さくすることは必要不可欠です。しかし、小さなデバイスの中に複数の回路を詰め込

み、さらにその小さな空間で光と高周波を同時に利用しようとする、どうしても電磁的なクロストーク（混線、干渉）の問題が発生します。クロストークの抑圧は、パラレルフォトニクス技術のなかでも大きな課題です。また一方で、小さな空間に非常に多種の材料を集約することで光と高周波を高度に制御する必要がありますので、機能材料の適材適所という発想と、それに沿った優れた材料技術や加工技術、実装技術も重要です。

デバイス基盤に関わるパラレルフォトニクス技術に対し、システム展開を見据えたテーマと言えるのが100 Gアクセス技術です。今まで、無線通信を行うには無線機を、そして光通信を行うには光の送受信機を、シチュエーションによりそれらを個別に用いてきました。将来、有線と無線のそれらをシームレスに融合させ、光や電波などの通信メディアを意識すること無く通信できる世界が重要になると考えています。このため、無線通信の大容量化のために、ミリ波やテラヘルツ波などの高周波を利用する技術や、光と高周波をシステムレベルで融合していく技術、高速波形転送のようなデジタルとアナログの両用などが必要になります。それによって1エンドユーザーあたり、現在の一般的な容量からすれば100～1,000倍に相当する100 Gbpsを超えるデータ伝送を実現することが目標です。

先ほど述べたパラレルフォトニクス技術を基に作り上げたデバイス基盤技術も、この100 Gアクセスのシステム技術の中に組み込んでいこうと考えています。

■基盤技術から実利用、社会への展開も

——特に現在の研究開発のなかで、実際の産業や社会への応用が間近なものはありますか？

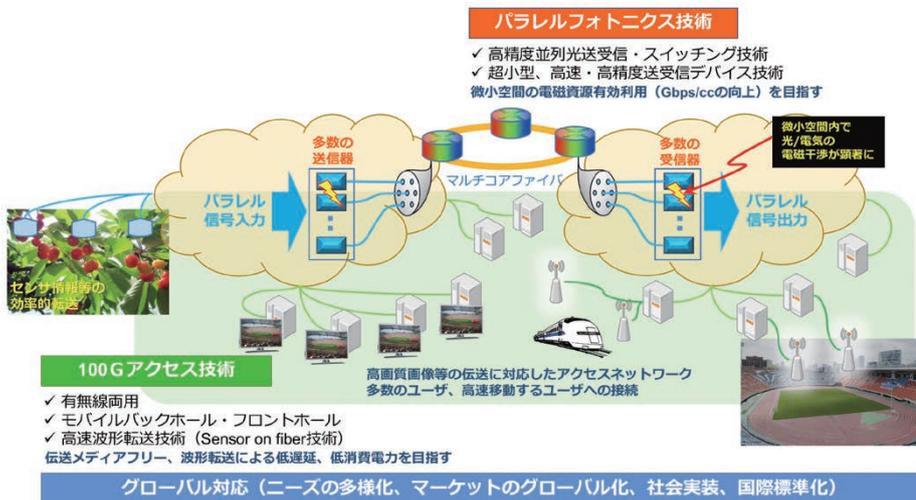


図2 光アクセス基盤の研究開発の2本の柱

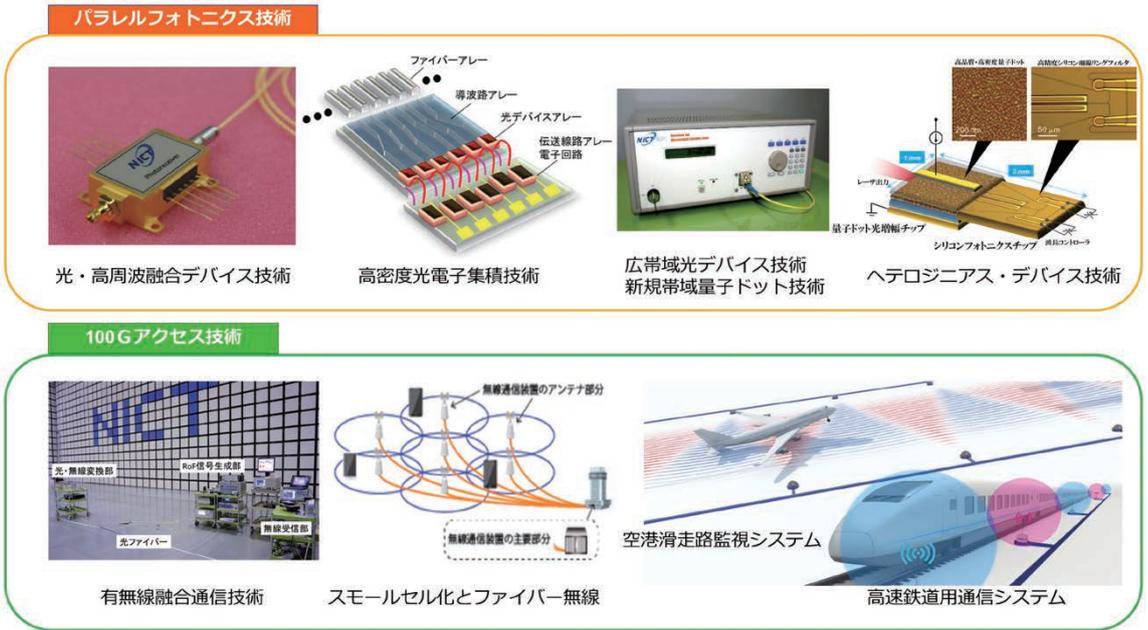


図3 光と高周波を融合するデバイス・システム技術と期待されるアウトカム

**山本** 1つは、情報通信のために培ってきたデバイス・システム基盤技術をレーダーに応用したものがああります。現在、国内の主要空港でフィールド実験を行っているのですが、「リニアセルレーダー」と呼ばれる高分解能センシングシステム技術です。

これは、滑走路の小さな異物を検出するためのレーダーなのですが、実験では滑走路脇にレーダーを設置し、滑走路に落下した数cm程度の大きさの金属片を識別することができます。各レーダーヘッドは光ファイバーで結ばれていて、そこに我々の開発した光信号を高周波信号へ変換する超高速な光電子融合デバイス技術が組み込まれています。

もう1つは、まだ要素技術の研究段階ですが高速鉄道における高速アクセス技術の開発です。これは線路沿いに張られた光ファイバーの末端で、光とミリ波信号を相互に変換する技術を用いることで、高速で移動する列車に対してミリ波帯無線通信を途切れることなくつなぐためのシステムです。これにもまた、先ほどのレーダーシステムと同じように、光と高周波を融合して活用するデバイス・システム技術が重要になります。

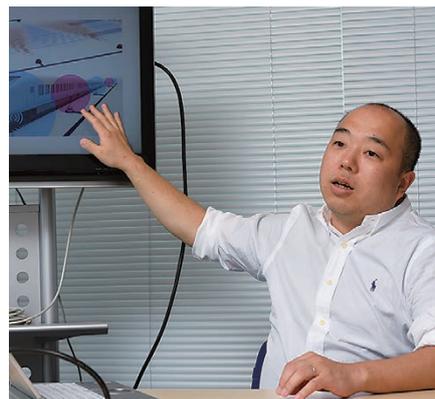
これらは総務省のプロジェクトとして行われているもので、NICTはデバイスやシステム構成の基礎的・要素的研究を担い、さらに産官連携の下、様々な組織・機関が集まって新たなインフラ技術として開発を進めています。

そのほか、我々のところでは非常に小型、広帯域かつ新しい光通信波長帯域(波長1.0~1.3 $\mu$ 帯)で動作する半導体量子ドット波長可変レーザーというデバイス技術を開発しています。これに関しては、もともとは非常にコンパクトで大波長空間を活用した通信機器への利用を想定しているものですが、同時にバイオセンシングや医療検査機器への応用なども考えられています。

### ■材料、デバイス、システムの三位一体で研究を推進

—お話を伺っていると、研究開発も様々な技術の融合、それが拓く未来も単純に通信にはとどまらず、という感じですね。

**山本** そうですね。我々のグループには材料分野の研究者もいれば、デバイス屋も、システム屋もいます。それが特色であり、

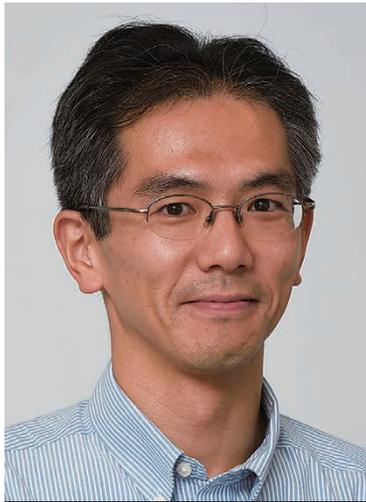


大きな魅力、強みであると思います。

多くの場合、専門を同じとする者だけがひとつに集まると、その分野の中のことしか気にしなくなります。例えばデバイス側の人間はシステムのことを考えずにデバイスの機能のみ追求し、システム側では既存のデバイスしか想定せずにシステム設計してしまう、などです。これでは、デバイスもシステムもコモディティ化が進み、新たな産業の創出や大きなパラダイム・シフトは期待できないと思っています。しかし、このグループでは、カルチャーを異とする研究者が集まって研究をし、適宜、「これがあれば、こんなものができるね」「こういうモノは実現できない？」など、コミュニケーションが取れるので、異なる分野の技術の融合が期待されます。今後、こうした研究体制は、ますます重要になっていくと思います。それは、我々光アクセス基盤の研究テーマを一言で括れば「光と電波の融合」ですが、そこでは、当然ながら人の知識の融合がなければならぬからです。さらに、産学官や国際的連携による知識の融合が図れば、情報通信以外にもレーダーやイメージング、センシング、医療応用など、光アクセス基盤で培った技術が広い分野に展開できると期待しています。

こうしたグループの強みの下、それぞれの分野で技術の先端の研究を進めつつ、それらの技術を楽しみながら融合を図ることで、社会に貢献できる新展開を生み出すことができる、と私は考えています。

## パラレルフォトニクスに向けた光電子融合プラットフォーム技術 ナノテクノロジーを駆使した高機能・超小型光電子融合デバイス技術の確立に向けて



### 赤羽 浩一 (あかはね こういち)

ネットワークシステム研究所  
ネットワーク基盤研究室  
主任研究員

2002年大学院博士課程工学研究科修了。  
在学中の1999年～2002年に、日本学術振  
興会特別研究員に従事。2002年4月独立行  
政法人通信総合研究所（現 NICT）入所。  
現在は半導体結晶成長、ナノ構造形成技  
術、半導体レーザ、半導体光増幅器など  
に関する研究に従事。博士（工学）。

**大**容量の情報通信技術をもっと簡便に、もっと気軽に使えるように—これを研究目標として、材料・デバイス技術の視点から、特に、中短距離に相当するアクセス系情報通信で重要となる基盤技術について研究開発を行っています。光ファイバー通信には高性能な光源、変調器、伝送路、検出器などの各種要素技術が必要で、さらに、光通信（有線）のみならず無線通信との融合を図り、その境界を意識せずに利用できるネットワークの構築が求められています。

このような背景の中で、複数の機能を微小空間に高密度に集積させ、小型で高機能・高性能、かつ光と高周波を融合して活用できるような、夢のデバイス基盤技術の実現が急務となってきています。ネットワーク基盤研究室では、これを達成するために、小型で極限まで機能を集積したデバイスを実現し、それをを用いたネットワーク構築のためのプラットフォーム技術をパラレルフォトニクスと称して研究開発を進めています。ここでは、その成果の一部を紹介します。

### ■ ナノテクノロジーによる 光デバイス性能の飛躍的な向上

微小空間に非常に多くの光電子デバイス

を集積することで、より大容量な情報通信に適応し、より複雑で高度な機能を実現できるようになります。しかし、個々の素子が協調的かつ同時に動作することで、発熱による機能低下が問題となってきます。例えば、半導体レーザなどは高温下で出力が低下してしまう現象が顕著になります。

本研究室では、このような機能の高集積化に伴い将来顕在化するであろう課題に対し、そのソリューションのひとつとしてナノテクノロジーを駆使した材料改質と特性の高度化に関する研究を行っています。半導体量子ドット（図1）は数ナノメートルの非常に小さな微粒子構造で、その大きさや歪、形状などを原子レベルで制御することで発光波長や電子準位などの光・電子物性を任意にコントロールできます。

我々は先端ICTデバイスラボに整備されている分子線エピタキシー装置を用い、世界にも類を見ないNICT独自の高密度量子ドットの形成技術を開発しています。この技術による量子ドットを用いた半導体レーザは、レーザ発振閾値や効率が温度に対してほとんどぶれない性質を持っています（図2右）。材料の性能を根本的に引き上げる量子ドット技術を用いることで、光電子デバイスの飛躍的な高性能化が期待されます。

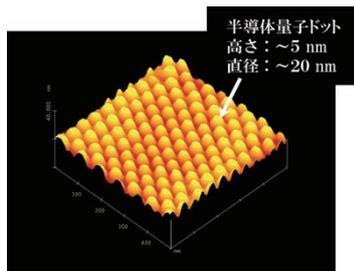


図1 半導体量子ドットの俯瞰図。500 × 500 nm<sup>2</sup>の領域に多数の量子ドット構造が配列して形成されている様子。個々の量子ドットが発光する。

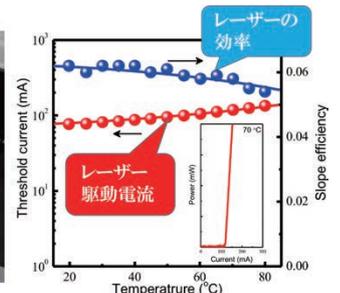


図2 量子ドット光増幅チップを内蔵した波長可変光源の実験システム構成例（左）と、レーザ駆動電流と効率が温度に対して影響を受けにくい特性を示した図（右）。挿入は高温下70℃でのレーザ駆動の様子。

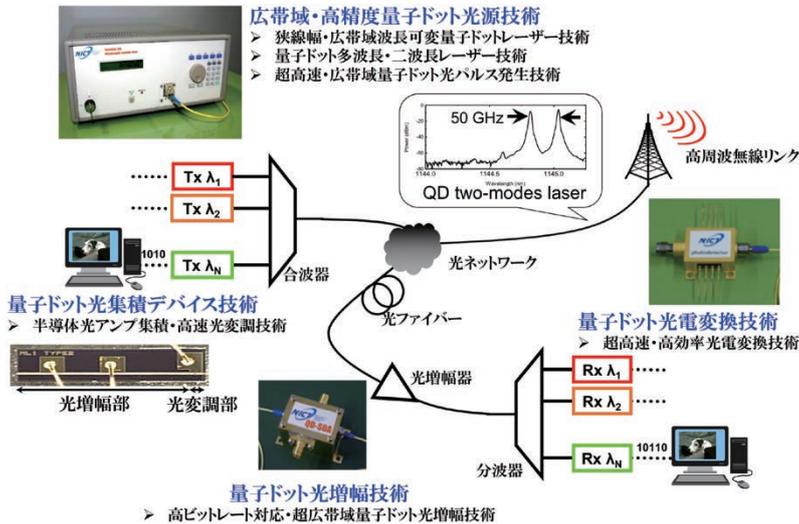


図3 半導体量子ドットをコア材料技術とした情報通信分野への様々なデバイス基盤技術。中短距離光ネットワークや光と高周波を融合する領域への展開。

### ■光と高周波を融合するアクセス網に向けた半導体量子ドット技術の展開

ナノテクノロジーにより創出された半導体量子ドット技術は、光電子デバイスの高温耐性の向上のほかにも、超広帯域での光増幅特性や、高速なデータ信号に対応可能な高速応答性などの情報通信には欠かせない特徴を發揮します。図3は波長多重光通信伝送路の模式的なイメージですが、その中で、当研究室で開発している各種デバイス群を紹介し、量子ドットの広帯域性は、波長多重光通信や、柔軟なネットワーク構成には重要な特徴になります。広い波長帯域で動作し、更にコヒーレント光通信にも対応した、狭線幅で高精度な波長可変光源は重要なコンポーネントです。さらに、量子ドットは個々のドットがほぼ独立に振る舞うため、複数の波長を同時に発生させる光源を1つの量子ドットチップで実現できるようになります。

このような複数波長を同時かつ安定に発生することは従来の技術では困難でした。この特徴を活かすと二波長を同時に発生する光源が開発できますが、この量子ドット二波長光源を用い、その差周波を～100 GHz程度のミリ波帯やTHz帯に設定することで、光ファイバーを通してミリ波帯やTHz帯の高周波信号を伝送することができるようになります(図2)。これによって光ファイバー無線における高周波信号の光ファイバー網配信を、この二波長光源で実現できるようになります。あわせて、量子ドットをコア材料とし、数百Gbps級の信号にも応答するような超高速半導体光アンプや、広帯域光変調器と光増幅器をモノ

リシック集積した小型変調デバイス、高速応答・高感度な量子ドット光電変換技術なども研究開発しています。

本研究室では、通信波長1.55 μm帯域のほかに、波長1 μm帯(Thousand band)や波長1.3 μm帯(Original band)の量子ドット光デバイス技術も開発していますが、光ファイバーの伝搬ロスの影響の小さい中短距離の情報通信では、これらT+Oバンドのような新規波長帯域の活用も期待されます。また、当研究室は産学官連携による研究開発に積極的に取り組んでおり、図3に示すような各種量子ドット光デバイス技術は、その多くを技術移転することで、産業の発展に貢献し社会実装を念頭に入れた研究開発を展開しています。

### ■適材適所:ヘテロジニアス技術による多機能集結

光と高周波を融合し、更に小型で高機能な光電子デバイス基盤技術を研究することは、本研究室の重要なミッションです。今までは、レーザーや光増幅器などの個々のデバイスを単独でモジュール化する手法が一般的でした。しかし、これからは非常に小さな空間に複数のデバイスを集約し、それらを平行に配置・駆動することで高い機能性と大容量通信を実現するパラレルフォトリソが主流になると考えています。その端緒を達成するために、今まで両手のひらサイズであった量子ドット波長可変光源を、米粒大の大きさにまで縮小する技術を学官連携の下に開発しました。ここで重要となるのは、加工精度の高いシリコンフォトリソ技術を波長選択機構に

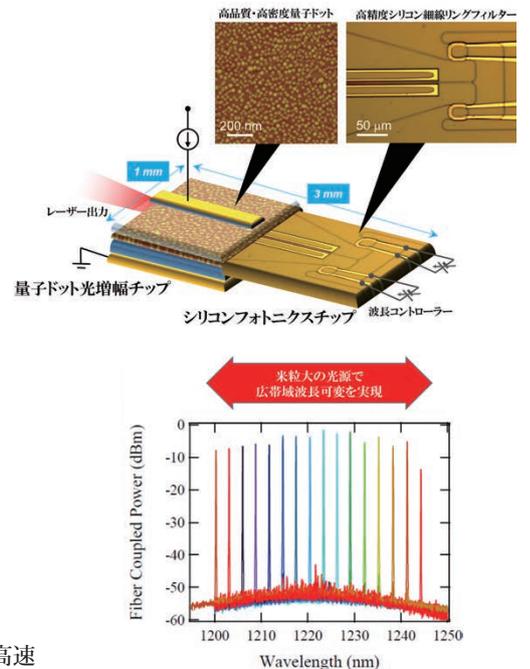


図4 わずか数mmの波長可変量子ドット光源(上)とその波長可変特性(下)。異種材料の特徴を最大限に活かすヘテロジニアス技術や、複数機能を微小空間に集結するパラレルフォトリソ技術への展開に期待。

用い、光の増幅部分には広帯域特性を有する量子ドット技術を用いたところにあります。つまり適材適所、その材料・構造の特徴を最大限に引き出すために異種材料を融合する技術(ヘテロジニアス技術)をここでは確立し、広帯域な波長可変光源の開発に用いています。わずか数mmの大きさで、非常に広い帯域の波長を任意に可変できることが確認され、今後の各種最適化実験により更なる広帯域化、高出力化が達成されると期待できます。

### ■パラレルフォトリソのための光電子融合プラットフォーム

複数の機能を小さな空間に集結し、それを用いて効率的なネットワークを構築するためのパラレルフォトリソ技術は、将来の小型送受信器の実現に繋がる基盤技術となります。このパラレルフォトリソでは、光と高周波は共に融合してデバイス内で活用していくことが重要になり、さらに、異種材料の光学的・電気的な特徴を最大限、積極的に活用するヘテロジニアス技術を組み込んでいくことが必要となります(図4)。パラレルフォトリソという概念が光電子融合デバイス技術のプラットフォームとなり、今後の大容量情報通信はもちろん、センシングや医療などの多くの技術分野の基盤となることが期待されます。

## 光アクセス系通信に向けた高速光デバイスの研究開発



### 梅沢 俊匡 (うめざわ としまさ)

ネットワークシステム研究所  
ネットワーク基盤研究室  
主任研究員

大学院修了後、1987-2011年横河電機にて光デバイス研究に従事。1992-1993年米スタンフォード大に客員研究員として留学。2011年NICT入所。光ファイバー無線を中心とした高速光-電気変換デバイス、高速光電子融合・光集積化の研究開発に従事。博士(工学)。

**N**ICTネットワークシステム研究所では光技術を中心にフィジカル層から上位層まで幅広い研究を行っています。このうち本稿では、ネットワーク基盤研究室で行っている光ファイバー有無線通信のための高速光デバイスとして、光電子融合デバイス、パラレルフォトニクスへの研究取組をご紹介しますとともに、ミリ波帯による高速移動用バックホール技術に向けた光デバイス研究開発についてご紹介します。

### ■光電子融合デバイスへの研究の取組

光アクセス系における光ファイバー無線(RoF)技術は今後重要な役割を果たすと考えられ、光固定通信ではすでにファイバー1本あたり100 Gbpsを超えるデータ伝送が可能になってきています。このためエンドユーザーポイントの近くまで高速光ケーブルで信号を配信し、それ以後はシンプルで低コストな、リモートアンテナ装置からワイヤレスで信号配信する方式が望ましいと考えられます。このRoF技術の中でも光送受信デバイスが担う役割は大きく、NICTでは光アクセス系への展開をターゲットにミリ波帯超高速光電子融合デバイスの研究を行っています。

これまで光通信をベースとした高速送受信器の報告は多数なされてきましたが、

100 GHzを超えるような高い周波数帯域での高変換効率・高出力を両立するようなデバイスの開発はほとんど行われてきませんでした。我々は、電子移動度が速いInP系材料を用いて100 GHz以上で動作する高速受光デバイスの開発を行ってきました。デバイスとしては、光吸収過程と電子ドリフト過程を個別に分けた構造を採用し、光吸収後ホールが生じない構造としました。さらに、半導体薄膜層を特殊な条件とすることで、無バイアス条件下でも周波数帯域で100 GHz以上を得られることに成功しました。また、光入力から無線信号出力への光電気変換効率や高出力化のために、高速電子デバイスとの光電子融合を進めてきました。高電子移動度トランジスタを用いた回路との集積により、100 GHz帯で光電気変換効率が高く、高出力な光電子デバイスを研究開発してきました(図1、2)。これらの技術は通信应用のみならず空港滑走路監視用レーダーへの適用も期待でき、今後は更なる高出力化、変換効率の改善に取り組んでいく予定です。

### ■パラレルフォトニクス(並列光電子回路集積)への研究の取組

モバイル通信、光通信におけるトラフィック量は年々増大の一途をたどっており、

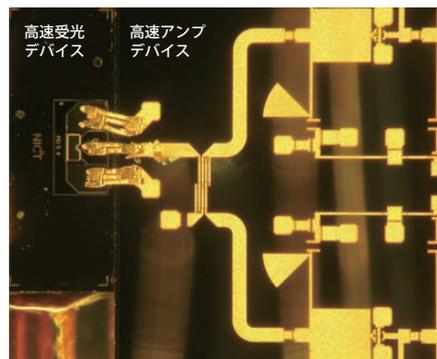


図1 超高速光電子融合集積化

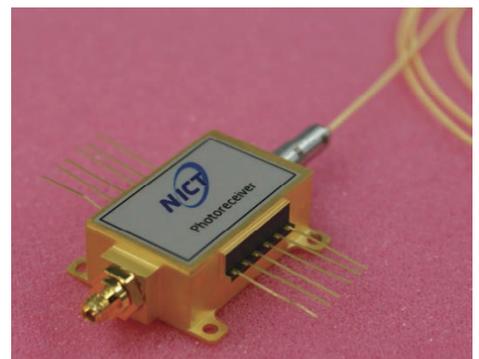


図2 光電子融合集積モジュール(フォトレシーバ)

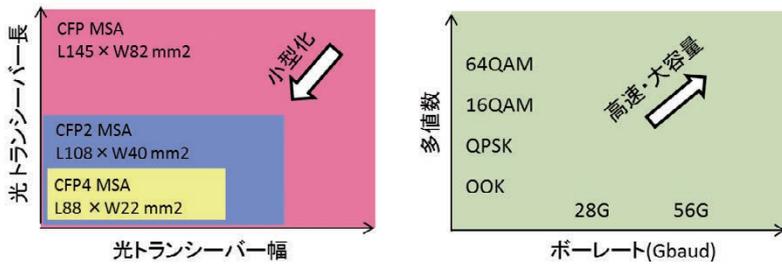


図3 光トランシーバサイズトレンド (左)、光通信における高速化トレンド (右)

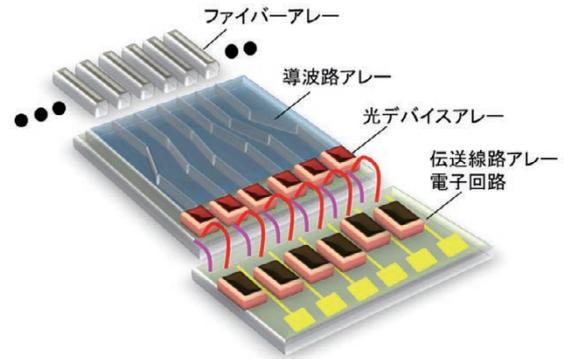


図4 高密度光電子集積の模式図

その解決策として波長多重技術、PAMやQAMに代表される多値変調技術、マルチコア、数モードファイバーを用いた空間多重技術の研究が行われています。その結果、近年では、光ファイバー1本あたり6 bit/s/Hzを超える高い周波数利用効率も報告されてきており、空間多重技術を併用することでペタビット級光伝送の研究が行われてきています。一方、ハード面からは今後更なる小型化・低消費電力化が求められ、トランシーバサイズは現行品に比べ約80%の縮小化が必要になると考えられています (図3)。これに伴い、光・電気回路についても小型高集積化が必要になってきます。

光電子回路の高集積化を考えた場合、たとえば超多値QAMなどの周波数利用効率が高い多値変調においてエラー率を低く抑えるためには電磁干渉を考慮したデバイス設計が必要になってくると考えられ、シンボルレートの上昇とともに光配線間干渉や電気配線間の電磁干渉を考慮する必要があります。近年では光デバイス集積化研究において、化合物半導体やSi-CMOS技術をベースとした光回路と電気回路の集積化技術の研究が行われてきていますが、今後は多値度を高めた回路においても上記電磁干渉の影響を受けにくいデバイス設計が必要になってくると考えられます (図4、5)。

我々はこれまでに上記課題を明確化するとともに、光導波路近傍に空気層を設けるなど電磁干渉の低減策について国際会議等で報告を行ってきました。今後は小規模レベルの光電子回路を設計・試作し、実験的に並列光電子回路の課題確認を行っていく予定です。

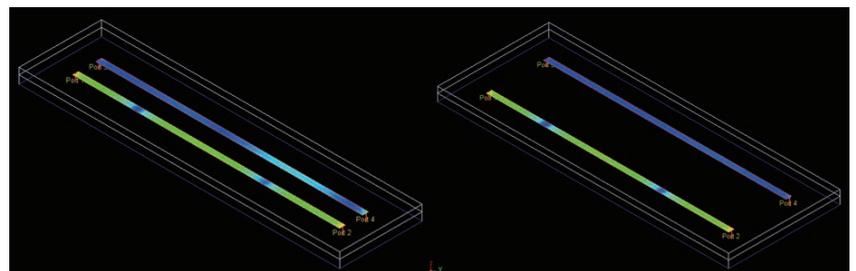


図5 シミュレーションによる高周波伝送線路間の電磁干渉の様子 (左：高密度配線時、右：低密度配線時。高密度配線時に電磁干渉が強く現れる)

### ■ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発への研究取組

高速鉄道では移動速度が大きく1,000人程度の乗客が1列車に集中することから、公衆網を利用した既存の移動体通信システムでは、乗客が満足する回線速度を実現する事は困難な状態にあります。今後は高速鉄道の中でも安定したブロードバンド環境の必要性が増してくると想定され、軌道に沿って敷設した既存の光ファイバー網と、指向性・広帯域性に優れた90 GHz ミリ波帯の電波資源を組み合わせる事による、高速移動体に向けたブロードバンド接続を実

現するための基盤技術の研究を行っています (図6)。

具体的には、移動速度200 km以上の列車内における高速通信環境の実現に向けたRoF技術の研究、光-高周波相互変換技術の開発、大容量多値変復調技術、光信号配信ネットワーク技術の研究などですが、特に高性能光変復調技術においては高速電子素子との光電子集積、光増幅素子や受光素子などによる光・光集積技術、Si光回路との集積化の研究に取り組んでいます (本研究の一部は総務省委託研究により実施されています)。

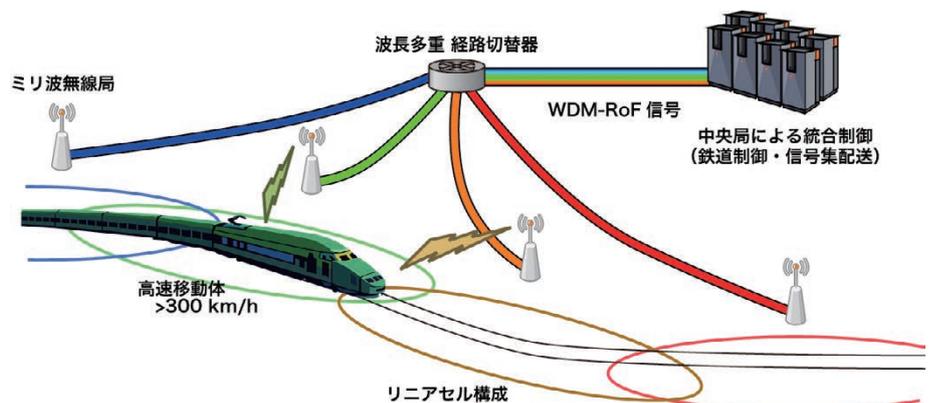
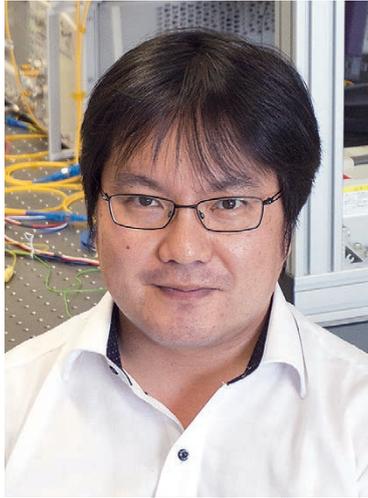


図6 ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の概要図

## 信号波形のトランスパレント伝送技術

有線と無線をシームレスにつなぐ光アクセス基盤技術をめざして



**菅野 敦史** (かんのあつし)

ネットワークシステム研究所  
ネットワーク基盤研究室  
主任研究員

大学院修了後、2007年NICTに入所。超高速光変調、ミリ波帯・テラヘルツ帯ファイバー無線などに関する研究に従事。博士(理学)。

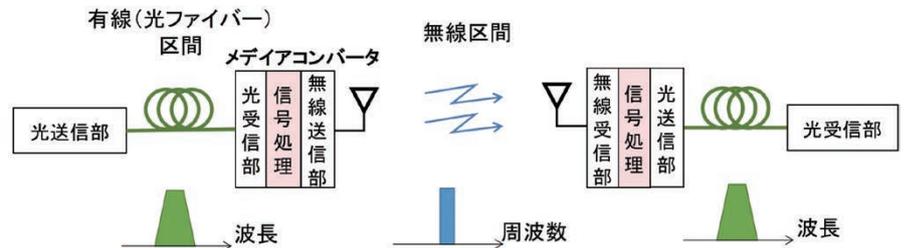
インターネットへの接続手段として、各家庭への光ファイバー接続だけでなく、4Gなどモバイル通信が普及し、有線・無線を問わず100 Mbpsを超えるブロードバンド接続が実現されつつあります。更に使いやすく、かつ、災害等に強いネットワークの実現には、有線と無線を融合した新しい通信技術が必要になります。そこで、NICTでは、光ファイバー通信技術を発展させたファイバー無線 (RoF: Radio over Fiber) 技術を活用することで、有線(光ファイバー)と無線をシームレスにつなぐ技術の研究開発を行っています。

### ■有線・無線波形のシームレスな伝送

一般的に、光ファイバー通信の信号形式と無線通信の信号形式は、全く異なります。無線通信では、公共の空間に電波を放射するため、他の無線システムへの干渉を低減させる必要があります。また、利用できる周波数帯域幅も最大で数GHz程度でした。一方、光ファイバー通信では、光ファイ

バーの中に光信号を閉じ込めるため、他への干渉を気にする必要がないことに加えて、10 GHzを超える帯域幅が利用可能です。そのため、光ファイバー通信では、高速ではあるものの、周波数利用効率の低い単純な変復調方式(オンオフ変調など)が用いられてきました。昨今、伝送容量を更に拡大する必要に迫られており、光ファイバー通信においても周波数利用効率の向上が求められています。つまり、光ファイバー通信の信号形式が無線通信の形式に近づいてきています。最先端の光ファイバー通信技術では無線通信にも用いられている多値変復調方式が実装されており、無線品質の信号を光技術を用いて直接生成できるようになりつつあります。また、従来から利用されている光電変換技術により、光から無線への直接変換が可能です。つまり、光技術による無線信号の生成・伝送・変換・受信技術—RoF技術—により、信号の波形を有線・無線の伝送メディアによらずに送り届ける波形伝送が実現できます(図1)。光信号がもつ原理的な広帯域性により、こ

### 従来の有線・無線複合伝送



### RoFによる波形伝送方式

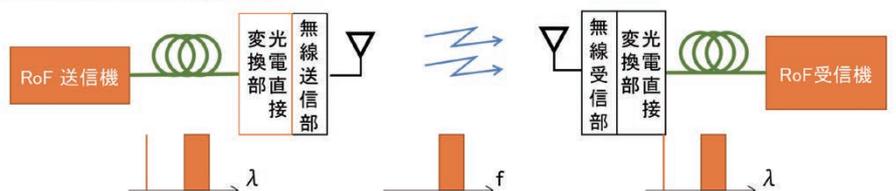


図1 従来の有線(光ファイバー)・無線相互変換信号伝送と、波形伝送方式の違い。メディアコンバータの信号処理を廃することで波形そのものをエンド・ツー・エンドで伝送

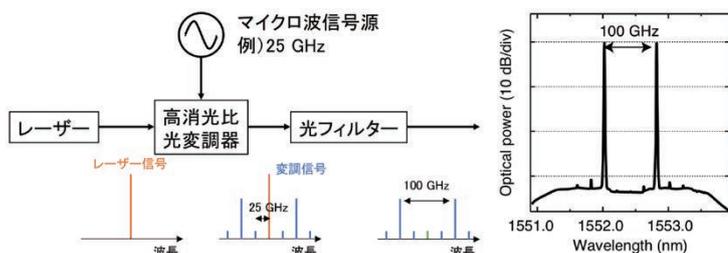


図2 高精度光変調器による100 GHz離調光2トーン発生の様子

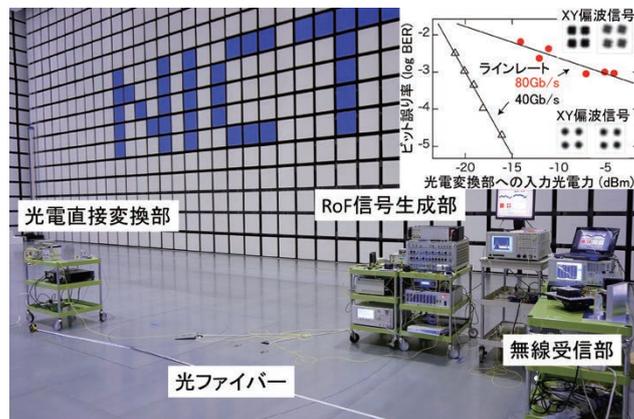


図3 最先端光技術と無線技術の融合によるRoF超高速信号伝送の実験風景及び得られたビット誤り率の例

れまで難しかった高周波・広帯域信号の伝送も可能になります。

### ■波形伝送による有・無線融合通信

波形伝送技術を利用することで、光送信機で生成したRoF信号を無線通信にも利用することが可能です。NICTでは、光ファイバー通信の高速性を最大限活用するため、ミリ波帯電波を利用した光・無線融合システムの研究開発を行っています。光信号からミリ波帯搬送波信号を生成するための光2トーン発生技術、光信号にデータを載せる多値光変調技術、光信号からミリ波信号へ変換する光電変換技術、有線（光ファイバー）・無線を問わずに受信し復調するための統合受信アルゴリズムがキー技術となります。光2トーン信号発生技術は高精度光変調技術で実現されており、周波数のふらつきが少ない点が特徴です（図2）。そのため、基準信号源として電波天文分野などでも利用されています。統合受信アルゴリズムは、最先端光ファイバー通信技術であるコヒーレント受信技術を援用することで、光信号だけでなくミリ波帯無線信号の復調も実現しています。波形伝送によるミリ波帯MIMO技術によりミリ波無線区間においても50 Gbpsを超える信号伝送を達成しています（図3）。この波形伝送技術により、光ファイバー通信で実現されている100 Gbpsを超える無線通信の実現が期待されます。

### ■波形伝送とRoFネットワークを利用したミリ波センシング

RoF信号は光ファイバーネットワークを通じて信号配送することができます。例え

ば、レーダー信号のような高精度な信号を、光ファイバーを用いて遠隔地に送り届ける応用も考えられます。従来のレーダーでは、精度の高い計測を行うためには、送受信機それぞれに高精度な信号源を配置する必要がありました。そのため、コストや設置面積の面で問題が発生しがちで、例えば、大規模な分散型高精度レーダーシステムの実現は困難でした。また、小さい物体をレーダーで見るためにはレーダー電波の波長を短く（周波数を高く）する必要があり、その点でミリ波帯電波の利用が適しています。しかし、ミリ波帯電波は大気による減衰が大きく、携帯電話などに利用されているマイクロ波帯電波に比べて大気中を伝搬できる距離が短くなるため、ミリ波帯の分散型レーダーシステムでは、遠隔送信機の数を増やす必要があります。その点で、ミリ波帯レーダー信号の波形伝送技術が有用です。信号源からの信号をRoFネットワークを通して遠隔地に配置されている多数の送受信機に送り届けることで、送受信機のコストを大幅に低減することが可能になる

だけでなく、超高精度な据え置き型レーダー信号発生装置の採用—超高精度なレーダーの実現—も可能となります。NICT発の超高精度光変調技術を用いたRoFネットワーク接続型94 GHz帯ミリ波レーダーシステムの検証を、共同研究機関とともに進めており、滑走路に落下した小異物を検知する空港滑走路上異物監視システムの実現性検証を行っています。

### ■メディアを意識させない通信のために

1 Gbpsを超える通信速度が日常となる世界では、ユーザーに有線・無線を意識させない通信技術の実現が欠かせません。物理層においてシームレスな融合を実現する波形伝送技術は、次世代の超高速通信のみならず、安全・安心を実現するセキュリティ・イメージング技術や電波天文学やビッグサイエンスのインフラにも適用可能な技術です（図4）。国内外の様々な研究機関・企業とともに積極的に連携し、研究開発を進めています。

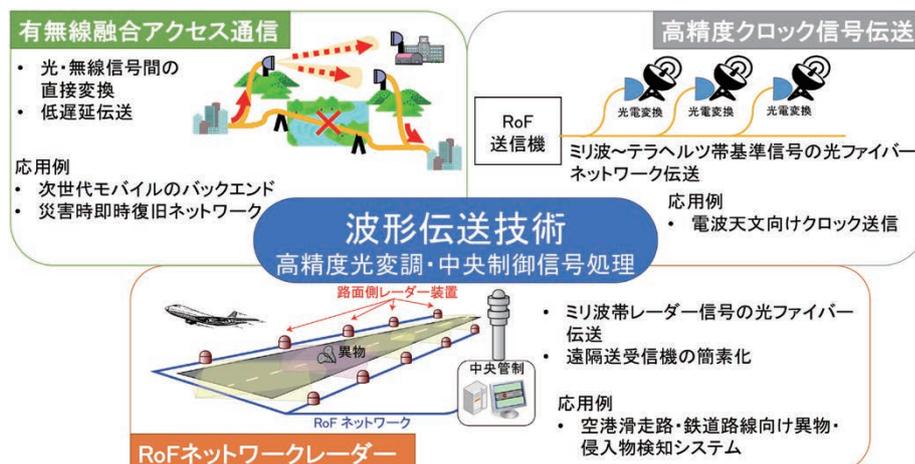


図4 波形伝送技術が適用できる応用分野

## 光ファイバー無線に関する標準化活動

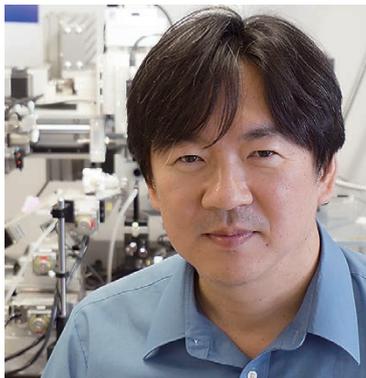
無線通信システムと有線通信システムの架け橋の実現に向けて



### 久利 敏明 (くりにとしあき)

経営企画部 企画戦略室  
総括プランニングマネージャー /  
ネットワークシステム研究所  
ネットワーク基盤研究室  
研究マネージャー

大学院博士課程修了後、1996年郵政省通信総合研究所(現NICT)に入所。光ファイバ無線システム、光通信システムなどの研究に従事。博士(工学)。



### 川西 哲也 (かわにし てつや)

ネットワークシステム研究所  
研究統括

大学院博士課程修了後、京都大学ベンチャービジネスラボラトリー特別研究員を経て、1998年郵政省通信総合研究所(現NICT)に入所。光変調デバイス、ミリ波・マイクロ波フォトニクス、高速光伝送技術などの研究に従事。2004年カリフォルニア大学サンディエゴ校客員研究員。2015年より早稲田大学理工学術院教授(ネットワークシステム研究所研究統括兼務)、博士(工学)。IEEE フェロー。

**光** ファイバー無線は、無線通信システムと有線通信システムの架け橋として、国際的にも重要性が高まりつつあり、第5世代無線通信やIoT/M2Mなどで活かされることが期待されています。この光ファイバー無線の実現に向けて、これまでネットワーク基盤研究室が行ってきた、ITU-TやIEC、ASTAPなどでの国際標準化活動についてご紹介します。

### ■光ファイバー無線とは

今日、スマートフォンやタブレットなど電波を用いた無線通信端末の普及により、外出中でもインターネットサービスを受けることができるようになってきました。こうした無線通信で用いられる電波は、三次元的に拡がりながら空間を伝わっていきませんが、その強さは伝わる距離とともに弱くなります。また、電波を用いて正確に情報を伝達させるためには、通信している周り

の状況に応じ、電波を一定以上の強さで受け取る必要があります。電気通信では一般に、情報は電氣的なエネルギーの伝達によって行われているので、無線通信のサービスの向上のため、同じ時間でより多くの情報を伝えるには、より強い電波をアンテナから送出させるか、もしくは、通信事業者が設置する無線通信装置と利用者の無線通信端末との間の距離(サービスエリア)を縮める必要があります。無線通信端末のバッテリー電力も限られているため、サービスエリアを縮めることが有力な候補となりますが、その代わりに、通信事業者は多くの無線通信装置を設置しなければなりません。そこで、電波を作り出す無線通信装置の主要部分は1箇所に集約し、電波を空間に送出する無線通信装置のアンテナ部分のみを利用者に近いところに分散して設置する方式が考えられています(図1)。このときに用いられるのが「光ファイバー無線」という技術で、電気・光変換器で電波

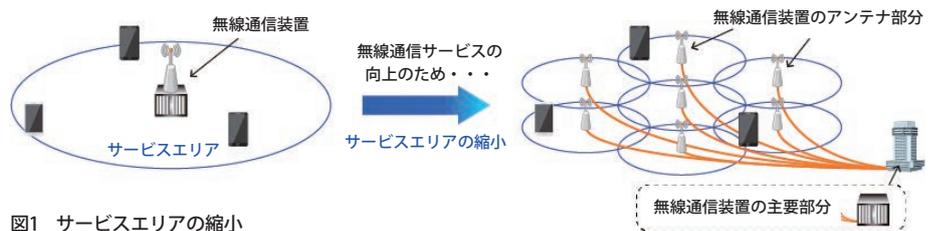


図1 サービスエリアの縮小

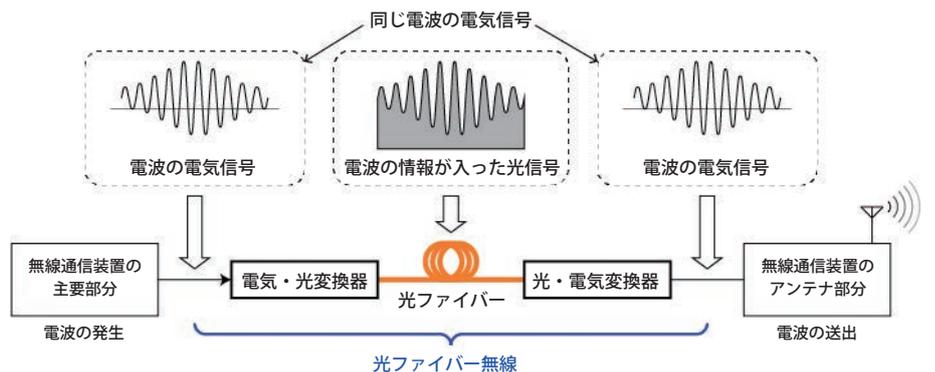


図2 光ファイバー無線の概要図

の情報が入った光信号を作り、極めて減衰の小さい光ファイバーを用いてその光信号を送り、送り届けた先の光・電気変換器で元の電波に戻すことにより、無線通信装置の主要部分とアンテナ部分をつなげます(図2)。この技術は既に、携帯電話や地上デジタル放送において、トンネルや地下街、山間部、高層ビル上層階など、電波が「入りづらい」場所の解消にも利用されています(NICT NEWS 2013年9月号 5~6頁参照)。

### ■ ITU-Tにおける光ファイバー無線に関する標準化活動

将来の無線通信サービスの向上に向け、国際電気通信連合の電気通信標準化部門(ITU-T)において、光ファイバー無線に関する標準化活動に取り組んでいます。活動を始めるにあたり、光ファイバー無線の適用先としてふさわしいと考えられる、アクセス網における光システムを扱う課題グループ(以降、Q2/15)に的を絞り、2013年2月に、アナログ的な技術を含む光ファイバー無線に関する標準化案を初めて提案しました。しかしながら、当時、デジタル伝送を前提とする光アクセス網の議論が中心であったため、光ファイバー無線の概念の理解が十分に得られず、提案の合意を得ることができませんでした。そこで、まずは光ファイバー無線についての理解を得るため、2013年5月のQ2/15中間会合において、光ファイバー無線技術の概念と技術的分類、要素技術を整理して、Q2/15内での認識共有を図ることを目的に、光ファイバー無線に関する補助文書の作成作業開始を提案しました。この提案は同会合で合意され、2013年7月に行われたITU-T全体会合で正式に合意されることとなりました。その後は提案と合意が順調に行われ、約2年間の作業期間を経た2015年7月に、ITU-T Gシリーズ補助文書G Suppl. 55

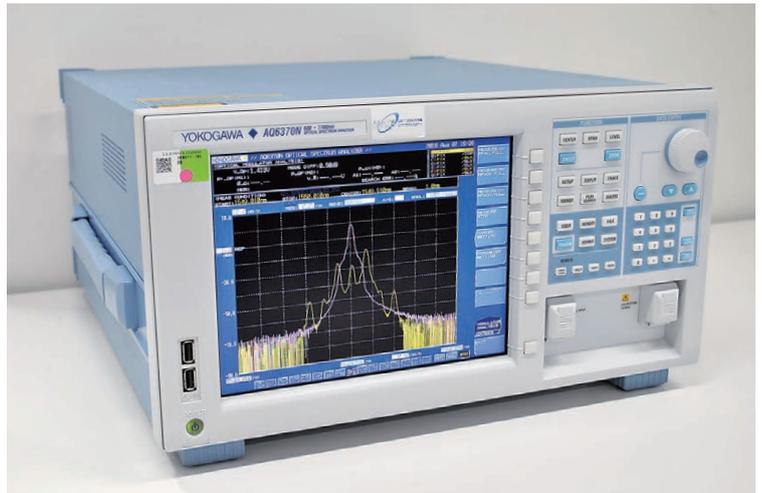


図3 光変調器特性評価用計測器

(「光ファイバー無線技術とその応用」として、ITU-T全体会合で正式に合意されました。このG Suppl. 55の合意を受け、同会合において、新たな光ファイバー無線システムに関する標準化文書の作成作業開始も同時に合意され、引き続き光ファイバー無線に関する標準化の議論が進められています。

ITU-Tは有線通信、国際電気通信連合の無線通信部門(ITU-R)は無線通信、と役割を明確に分けて活動がなされてきましたが、上記のとおり、ITU-Tで無線に関連の深い標準化活動が立ち上ったことで、無線と有線を融合する分野を拓く新たな方向性につながったものと考えています。

### ■ IEC、ASTAPにおける光ファイバー無線に関する標準化活動

ITU-Tでの活動に先立ち、国際電気標準会議(IEC)やアジア・太平洋電気通信共同体(APT)のアジア・太平洋電気通信標準化機関(ASTAP)においても光ファイバー無線に関する標準化活動を継続的に行っています。IECでは、光ファイバー無線を応用したシステムに用いられるデバイスを適正に評価する上で必要となる計測技術の標準化活動を行っています。例えば、電気信号、光信号を互に変換するための光変調器及び光検出器の特性評価技術に関する国際標準策定の作業を進めています。NICTの知的財産をベースとする、光基準信号を用いた光検出器測定器評価技術に関する国際標準が2016年7月に発行され

ました。これらの国際標準にのっとった測定装置の技術移転を行っており(図3参照)、社会実装する上での制度と技術の両面で精力的な取組も行っているところです。ASTAPでは、システムの視点が必要となるシステム構成技術の標準化活動を行っています。IoT/M2Mが通信の主役となる今後のアクセスネットワークでは、市街地、主要道路付近のみならず、様々な場所、環境での大容量通信の確保が必要となります。日本国内においても国土の面的なカバーという点では、既存の通信網では不十分であることは通信事業者各社が公表しているサービスエリアから明らかであると思います。さらに、世界的なマーケットの視点から、国内ニーズに特化するのではなく、基礎研究の段階から、アジア各国の事情を前提とした取組を行うというスキームが有効であると考えています。NICTが推進する研究支援スキームASEAN IVO( ICT Virtual Organization of ASEAN Institutes and NICT)において、アクセスネットワーク基盤技術に関する共同研究を実施しています。様々な自然環境、社会環境を考慮に入れた技術開発について議論を進めており、共同で標準化活動も行っております。これまでに、有無線融合システムに関する技術文書の成立に大きく貢献してきており、これら技術文書は、上記のITU-Tで成立したG Suppl. 55にも反映されています。

こうした活動の流れからも、将来の無線通信ネットワークを支える要素技術として、今後も国際的にますます、光ファイバー無線の重要性が高まるものと考えています。

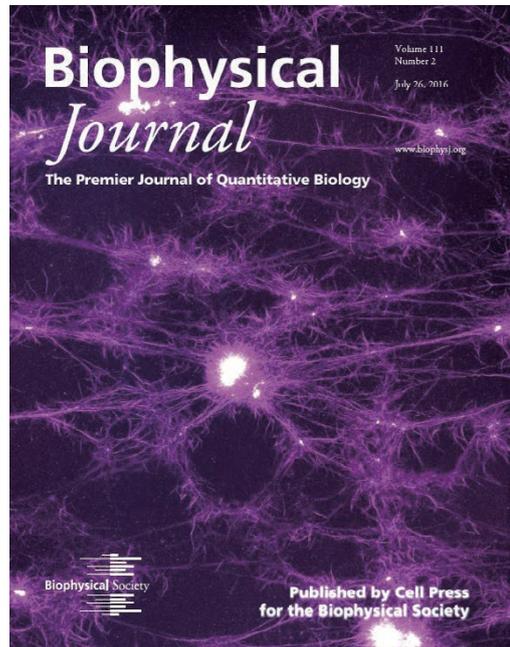


## 微小管-タンパク質モーター相互作用による ネットワーク構築とその数理モデル化に成功

NICT 未来ICT研究所の大岩 和弘主管研究員、鳥澤 嵩征研究員及び明治大学理工学部の石原 秀至准教授、谷口 大相研究員の研究グループは、微小管とタンパク質モーター・キネシンが自己組織的に形成するネットワークの振る舞いを定量的に明らかにして、その数理モデル化に成功しました。この成果は、「Biophysical Journal」2016年7月26日号（電子版：米国東部時間7月26日（火）正午）に発表され、その表紙を飾りました。

微小管とキネシンは、細胞の形態形成、細胞分裂や細胞内物質輸送などの重要な生命機能の基盤を担う細胞骨格の主要要素です。このネットワークの動態観察システムの構築と理論モデルの確立は、生命現象の様々な場面で現れる細胞内秩序構造の形成メカニズムの解明とその秩序構造の操作技術につながる事が期待されます。

※本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 チーム型研究（CREST）「生命動態の理解と制御のための基盤技術の創出」研究領域における研究課題「細胞間接着・骨格の秩序形成メカニズムの解明と上皮バリア操作技術の開発」（研究代表者：月田 早智子）として実施したものです。



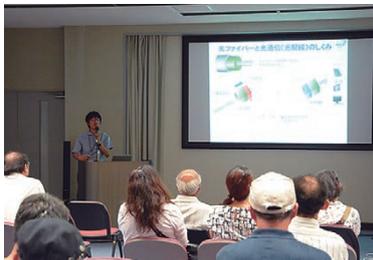
「Biophysical Journal」2016年7月26日号表紙写真。  
微小管とキネシンが創出したネットワーク構造。星状体の中心にキネシンが集積している。



### 未来ICT研究所施設一般公開 情報通信の未来を体感しよう!!

未来ICT研究所（神戸市）では7月23日（土）に施設一般公開を開催し、524名の来場者がありました。来場者は例年人気のクイズラリーに参加し、各展示ブースを見学しながら、研究者の工夫による体験型の展示や研究者達との交流を楽しんだ様子でした。

また、9回目となる一般向けの講演会では、身近な事例から最先端の研究までを解説し、会場はほぼ満席となり盛況でした。



講演会の様子



キラキラ万華鏡を作って偏光を体感



### 鹿島宇宙技術センター施設一般公開 地球と宇宙をつなぐ電波と人工衛星!

NICT は、2016年7月30日に鹿島宇宙技術センター（茨城県鹿嶋市）において、施設一般公開を開催し、806名の来場者がありました。

会場では、電波や光を使用した衛星通信や、VLBI の研究などをわかりやすく紹介しました。特に、FMラジオの工作教室や、人工衛星（WINDS）を用いたテレビ電話、光学望遠鏡、衛星放送アンテナなどを用いた各種体験ができるものが来場者の興味をひいていました。



光学望遠鏡を的（光通信衛星）に向けて体験コーナー



BS捕捉競争（衛星放送アンテナを手で持って衛星に向けて受信）

## Awards

日本ITU協会賞特別賞は、世界の情報通信及び放送分野並びに国際協力分野の発展に向けた広範な社会貢献を通じて、特にその功績が著しい方に贈られる賞です。日本工学会フェローは、工学・工業の分野において顕著な業績を挙げ、工学に関する幅広い経験と見識をもつ個人に対して授与される称号です。「独創性を拓く 先端技術大賞」は理工系学生の独創性と創造性をはぐくみ、研究への意欲を高めることを目的に1986年にフジサンケイビジネスアイにより創設された賞です。

一般財団法人 日本ITU協会

## 平成28年度 日本ITU協会賞 特別賞 —— Special Achievement Award

公益社団法人 日本工学会

## 平成28年度 日本工学会フェロー —— JFES Fellow

## 土井 美和子

(どいみわこ)

監事



## 受賞の言葉【日本ITU協会賞・特別賞】

日本ITU協会賞特別賞という大変重みのある賞を受賞でき大変光栄です。前受賞者が滝川クリステルさんであることで家族が少し見直してくれました(笑)。

使いやすいコンピュータを研究するヒューマンインタフェースの領域で、携帯電話での道案内サービスekita.comなど多くの世界初の製品開発やITU-Tでのネットワークロボットの標準化活動に参加する機会も得ました。特別賞を頂くことができたのは、受賞者を励まし支えてくださった多くの皆様のおかげです。本当にありがとうございます。

## data

- 受賞日：2016年5月17日
- 受賞内容：女性技術者のリーダーとして前例のない『初』の仕事を手がけ、後進を牽引した実績は特筆に値するものである（一部抜粋）。

## 受賞の言葉【日本工学会フェロー】

永年にわたりヒューマンインタフェース分野の研究に携わり、数多くの優れた業績をあげたということで、このたび自情報処理学会から推薦いただきました。情報処理分野で先駆的な女性技術者として、産学官にわたり、日本学術会議会員、総務省情報通信審議会委員、総務省独立行政法人評価委員会委員、文部科学省大学設置・学校法人審議会大学設置分科会委員、文部科学省科学技術・学術審議会委員などを務めたことも認められたということで、ありがたく思っております。

## data

- 受賞日：2016年6月3日
- 受賞内容：工学・工業の分野において極めて顕著な業績をあげた功績を称えられ、フェローの称号を認定。

## フジサンケイビジネスアイ

## 第30回 独創性を拓く先端技術大賞 企業・産学部門 特別賞

—The Special Award at the 30th Ceremony for "Advanced Technology" in the Business and Industry Category

Ben PUTTNAM (ベンパットナム)\*

Ruben SOARES LUIS (ルーベンソアレスルイス)\*

Werner KLAUS (ヴェルナークラウス)\*

坂口 淳 (さかぐちじゅん)\*

Jose Manuel DELGADO MENDINUETA

(ホセ・マヌエルデルガド・メンディヌエタ)\*

淡路 祥成 (あわじよしなり)\*\*

ネットワークシステム研究所 フォトニックネットワークシステム研究室

\*主任研究員 \*\*研究マネージャー



↑受賞者の集合写真  
(後列右がパットナム)  
【写真提供/産経新聞社】

レセプションでの様子(右からパットナム、高円宮妃久子殿下、デルガド・メンディヌエタ、淡路)  
【写真提供/産経新聞社】↓



## 和田 尚也

(わだなおや)

ネットワークシステム研究所 所長

## 受賞の言葉

この度は、名誉ある賞を頂き光栄です。国際色豊かなチームから世界に向けて希望を発信し、明るい未来へつなげたいと思います。研究の完成には道半ばですが、これからも皆様の暖かいご支援をお願いいたします。

## data

- 受賞日：平成28年7月28日
- 受賞内容：「マルチコアファイバと光周波数コムを用いた超大容量伝送システムの研究開発～未来の光通信のために～」

NICTオープンハウス2016

in **けいはんな**

日時 2016年 **11月10日** (木) 13:00 ~ 17:00  
**11月11日** (金) 10:00 ~ 17:00  
**11月12日** (土) 10:00 ~ 16:30

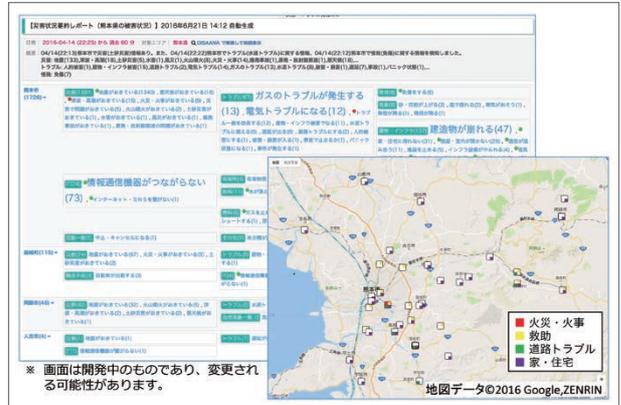
会場 **けいはんなプラザ** (京都府相楽郡精華町光台1-7)

NICTの講演

- 熊谷 博 (耐災害ICT研究センター長)  
「災害に強い情報通信技術の研究開発」
- 村山 泰啓 (統合ビッグデータ研究センター 研究統括)  
「オーロラから探る地球環境」

NICTの主な展示

- 大規模災害時の被災状況把握システム「DISAANA & D-SUMM」
- 情報分析システム「WISDOM X」
- 言葉の壁をなくす多言語音声翻訳アプリ「VoiceTra」
- 聴覚障害者との円滑なコミュニケーション支援アプリ「Speech Canvas」
- 音声対話クラウド「ロボティクス基盤」
- みんなの自動翻訳「@TexTra」
- fVisiOn: カードで召喚!  
テーブルから浮かび上がるメガネなし立体映像
- ウェアラブル脳波計の開発
- 脳の可塑性を探る ~音で世界を見る脳力~
- 920 MHzを利用した端末間通信システム
- NICT総合テストベッド
- 災害に強いICTの構築 (地域における取り組み)



D-SUMMの画面



CiNet ウェアラブル脳波計



けいはんなプラザでの展示の様子 (2015年)

沖縄電磁波技術センター施設一般公開

NICTオープンハウス2016

in **沖縄**

日時 2016年 **11月23日** (水・祝)  
 10:00 ~ 16:30  
 (受付は16:00まで)

会場 **沖縄県国頭郡恩納村字恩納4484**

主な内容

- 電波・光に関する実験・体験コーナー
- 施設見学ツアー、展示室公開
- 総務省沖縄総合通信事務所の紹介
- 電波監視車の展示、ラジオ教室電波教室



沖縄電磁波技術センター入口



屋外での模擬実験



フェーズドアレイ気象レーダー