

I-1 ネットワーク進化の最先端をリードし、 新世代ネットワークの実現を目指す



宮崎 哲弥 (みやざき てつや)

光ネットワーク研究所
研究所長

2002年より独立行政法人通信総合研究所(現 NICT)超高速フォトニックネットワークグループ勤務。超高速光通信・全光信号処理、多値光通信方式の研究に従事。博士(工学)。自ら実験をしなくなつて久しくなります。レーザー光を様々な光学機器を通してシングルモード光ファイバに結合させる実験をまたいつかしたいと思いつつ日々が過ぎていきます。

「光ネットワーク研究所では要素基盤技術からシステム化技術、さらにネットワークアーキテクチャまでの研究成果を統合し、革新的情報通信技術の開発を進めていきます。」

日常生活を支える光ネットワーク

光ファイバ通信ネットワークは、全世界的に急増しているインターネットトラフィックを支える情報社会のインフラとして、地球を1つに結ぶ光海底ケーブルなどの基幹系から各家庭への光ファイバ接続サービスや携帯電話の基地局網を支える末端のアクセス系に至るまで導入されています。現状の光ファイバ通信ネットワークではインターネットトラフィックの交差点となるノードに電子回路処理技術によるルータが設置され、パケットの宛先検索や経路切り替えが行われています。一方、ノード間を結ぶリンクは、光ファイバ1本あたりに異なる情報を複数の光波長に載せて一括伝送する波長多重伝送技術が用いられています。

しかし、伸び続ける情報伝送のニーズに既存のネットワーク技術だけで対応しようとすると、ノードにおいてはルータ内の処理が追いつかずトラフィックが滞ってしまうボトルネックが顕著となり、リンクにおいては波長数増大に伴う中継増幅器や光ファイバの伝送波長帯域不足、さらにネットワーク全体で設備規模や電力消費が膨大となるなどの問題が顕在化しつつあります。これらの問題は先進国だけに限らず、人口が急増し情報インフラ整備が進みつつある新興国においても社会の持続的発展のため解決すべき課題となるでしょう。一方で金融ビジネス、医療応用など低遅延性や確実性が重視される場合とメールやTwitterなど低価格性が重視される場合もあり、通信サービスに対する要求は多岐にわたっています。

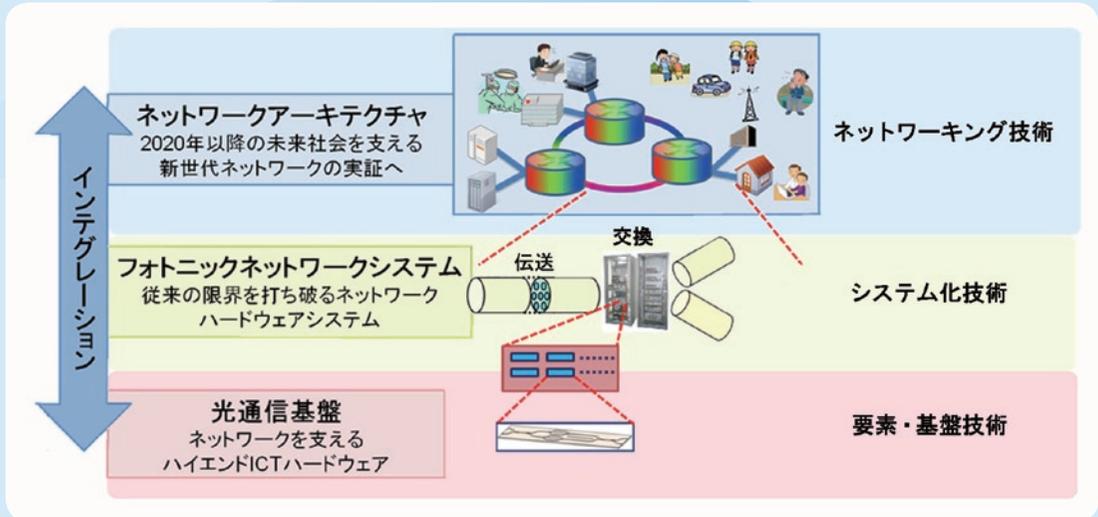


図1 光ネットワーク研究所の研究内容

● 明るい未来社会の実現を目指して

そこで、光ネットワーク研究所では様々なサービス要求に柔軟に適応し、通信量の飛躍的増加に伴う電力消費エネルギーの増大を抑えるとともに高信頼性も確保する、将来に向けて持続発展可能な新世代ネットワークの実現に向けて以下の研究課題について重点的に取り組んでいます。

まず、光パケットと光パスを統合的に扱うことのできるネットワークのアーキテクチャを確立します。この技術は、インターネットのデータ通信も混雑なく交通整理をしつつ、これまで困難であった通信の医療応用や超高精細動画通信などを、高品質かつ低消費電力でサービスして、生活の質の向上や低エネルギー社会など未来社会の実現に貢献するものです。また、切れにくいネットワークの実現を目指して、自律制御によるネットワークの高信頼化技術も開発します。

そして、この光パケット・光パス統合ネットワークを支えるハードウェアとして、光ネット

ワークの物理層における限界を打ち破る究極の光ノード技術や、マルチコアファイバ等を用いて飛躍的な通信容量の増大を可能とする光伝送技術と交換システム技術の研究を進めています。

さらに、1波長あたりの伝送速度の高速化技術、波長多重のための未開拓光波長帯域における光通信技術の開発や、あらゆる環境でブロードバンド接続を実現しつつ環境への影響も小さいICTハードウェア技術の研究開発にも取り組んでいます。

以上の研究課題に対して国内外の民間企業、大学などの研究機関とも連携し、光パケット・光パス統合ネットワークを中核とした新世代ネットワークの基盤となる革新的情報通信技術の研究開発を進めていきます。

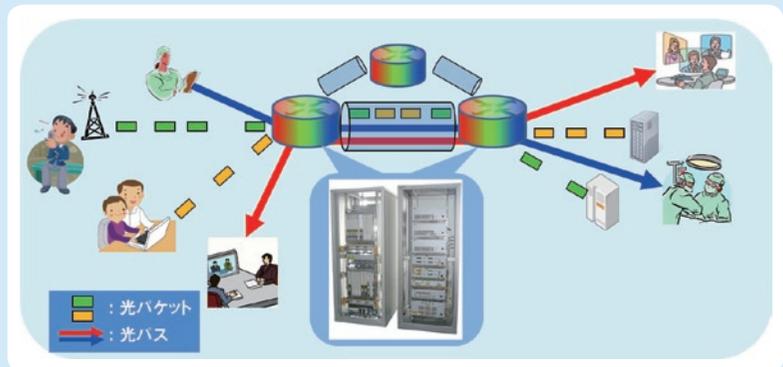


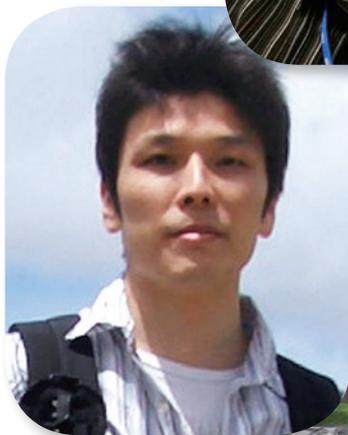
図2 光パケット・光パスの概念図

光パケット・光パス 統合ネットワーク

—多様なサービスの実現、運用の簡易化、省エネに貢献—



「多様なサービスを高速かつ省電力で提供可能な光パケット・光パス統合ネットワークの基本原則を説明し、NICTの最新の光技術を駆使して開発した光統合ノードを紹介します。」



和田 尚也 (わだ なおや)

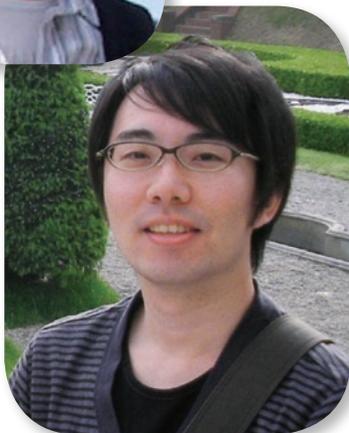
光ネットワーク研究所
フォトニックネットワークシステム研究室 室長

大学院博士後期課程修了後、1996年、CRL(現NICT)に入所。以来、フォトニックネットワークや光伝送システムに関わる研究に従事。博士(工学)。

古川 英昭 (ふるかわ ひであき)

光ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 主任研究員

大学院博士後期課程修了後、2005年、NICTに入所。以来、フォトニックネットワークに関わる研究、AKARIアーキテクチャ設計プロジェクトなどに従事。博士(工学)。趣味は旅行。



宮澤 高也 (みやざわ たかや)

光ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 研究員

大学院博士後期課程修了後、2007年、NICTに入所。以来、光ネットワークに関わる研究、AKARIアーキテクチャ設計プロジェクトなどに従事。博士(工学)。趣味は、ゴルフ、ミュージアム巡りなど。

はじめに

近年、通信トラフィックは増大し続けており、それに伴い、通信機器の消費電力も増加の一途をたどっていることから、低消費電力で大容量通信が可能な技術の開発が求められています。また、多様なコンテンツがネットワーク上で流通することが想定され、Web 閲覧やメール交換、センサ情報収集といったベストエフォート型サービス(通信のサービス品質(Quality of Services: QoS)は保証されないが、低コストかつ効率的なデータ通信)から、デジタルシネマ配信や遠隔医療といった QoS 保証型サービス(ネットワーク資源の排他的利用でコスト高だが、QoS が保証されるデータ通信)まで、多様な形態のデータ通信を提供できる仕組みが求められています。

これらの課題に対して、私たちは、通信機器に光技術を導入することで消費電力の抑制を図り、パケット交換・パス交換の両方式を採用することで多様な通信サービスの提供を可能とする、「光パケット・光パス統合ネットワーク」の研究開発を行っています。

光パケット・光パス統合ネットワークとは

現在のインターネットで使用されているパケット交換方式は、通信回線を多数のユーザで共有するため、回線利用効率を高めることができません。一方で、従来型の電話網などに取り入れられているパス(回線)交換方式は、ユーザが通信回線を一時占有するため、QoS を確保できます。光パケット・光パス統合ネットワークは、これら両交換方式を1つのネットワークで提供するものであり、ユーザは利用シーンに合わせて、ベストエフォート型サービスと QoS 保証型サービスを選択することができます(図1)。

また、現在のネットワークの中継装置であるルータでは、光信号を一旦電気信号に変換してデータ転送処理を行っており、処理量の増大に伴って大規模化する中継装置の消費電力が問題となります。そこで、データを光信号のままパケット交換処理が可能な光パケットスイッチと、データを光信号のままパス交換処理が可能な光パススイッチの研究開発が行われています。本統合ネットワークでは、光パケット交換機能と光パス交換機能を両方具備した光パケット・光パ

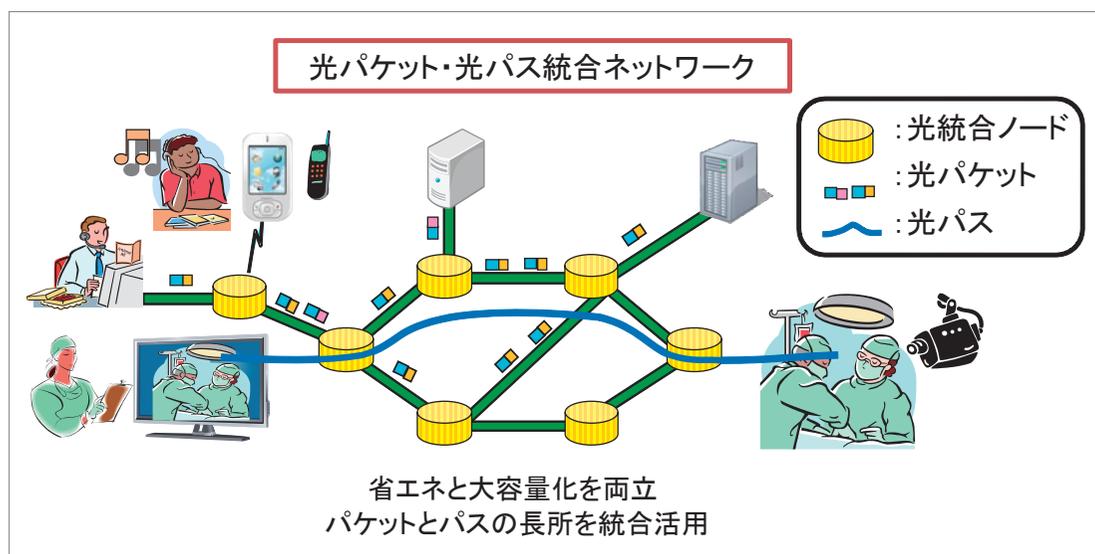


図1 光パケット・光パス統合ネットワークの概念図

ス統合ノードを用い、データ伝送速度に依存しない低消費電力かつ大容量の転送処理を可能にします。

本統合ネットワークでは、光パケット交換用と光パス交換用にそれぞれ別のネットワーク資源(波長)を割り当てており、複数の波長を並列で伝送および処理可能な波長分割多重技術を用いて、両交換方式を共存させています。両交換方式に割り当てている資源量を、トラフィックの状況やユーザの要求に応じて動的に変えることで、資源の効率的な利用ができます。例えば、災害時に通信が繋がりにくい場合、光パケットの資源量を増やすことで、多数のユーザが回線を使用することができます。一方、重要な通信の品質を確保する要求が増えた時に、光パスの資源量を増やすこともできます。また、光パケット交換用資源では、通信相手に届ける実際のデータだけでなく、光パス資源の予約/解放のための制御信号も光パケットで送受信することで、余分な制御用インターフェースを減らし、ネットワークの制御部および管理運用を簡易化することができます。

開発した光パケット・光パス統合ノード

我々は、2011年に、NICTの最新の光技術(光スイッチ、光増幅器、等)の研究成果を結集し、安定性と操作性に優れた光パケット・光パス統合ノードを開発しました(図2)。この光統合ノードは、光ファイバを環状に接続したリングネットワーク用に開発されており、100Gbpsの光パケット信号と、1チャンネルあたり10Gbpsの光パス信号(計7チャンネル)を、同時に転送できます。本光統合ノードには、光パケットスイッチ機能、光パススイッチ機能、光信号をクライアント側ネットワークから光統合ネットワークに挿入するAdd機能、光統合ネットワークからクライアント側ネットワークへ分岐するDrop機能、前述の動的な資源割り当て機能などがあります。ここでは、Add機能を有する光挿入装置及びDrop機能を有する光分岐装置の中に、光パススイッチが搭載されています。

これまで、光統合ノード2台を光ファイバ50kmで接続したリングネットワークを構築し、遠隔地からNICTのテストベッドネットワーク

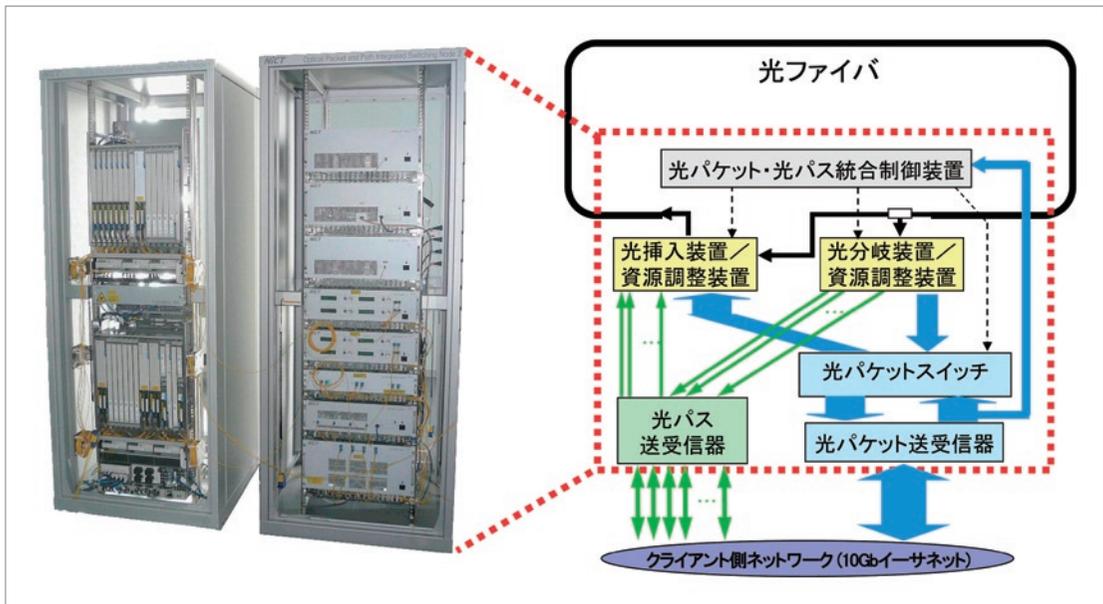


図2 開発した光パケット・光パス統合ノード

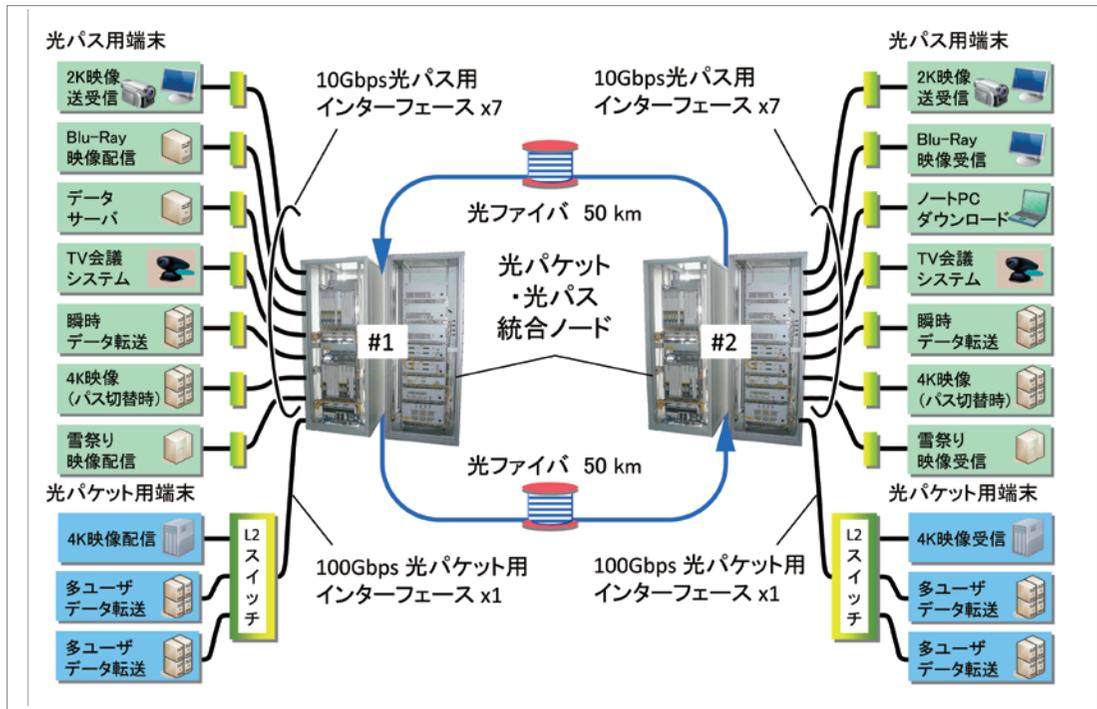


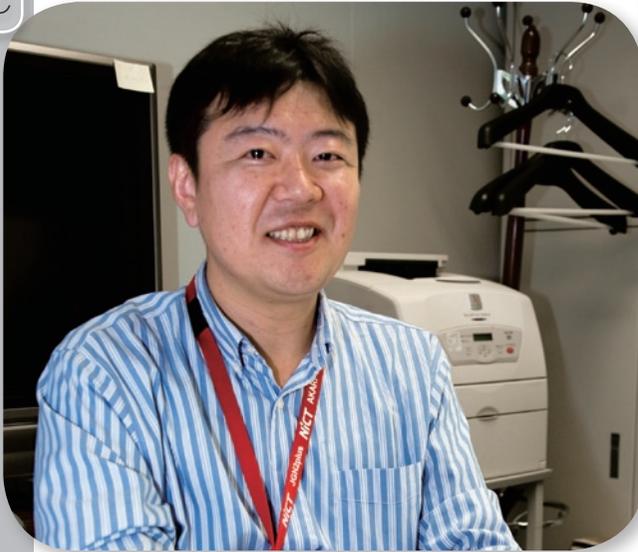
図3 実証ネットワークの構成図

JGN-Xの通信回線を経由して送られてきた4K映像(ハイビジョンの4倍の解像度)などの高精細映像の転送、双方向テレビ会議、高速データ転送などの動態展示を行い、安定動作を実証してきました(図3)。

● 今後の展望

今後は、光統合ノードの機能をさらに強化するため、光バッファ機能の導入、統合制御装置の高機能化や自動化等の研究開発を進め、JGN-Xのインフラとして利用するとともに、多くのユーザや管理者が容易に利用できる、信頼性の高い光パケット・光パス統合ネットワークの実用化を目指していきます。

ID・ロケータ分離による 新世代ネットワークアーキテクチャ



「我々が提案するHIMALISというID・ロケータ分離方式を紹介します。これは、異種間ネットワーク通信、移動通信、マルチホーム、セキュリティ対応等に適した方式です。」

原井 洋明 (はらい ひろあき)

光ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 室長

入所当時の光ネットワーク分野を含めて、現在はより幅広く新世代ネットワークの研究開発に従事。2007年IEEE ComSoc Asia-Pacific Young Researcher AwardにおいてOutstanding Young Researcher表彰。2009年文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞。趣味はプロ野球のナイトゲームを見ることだが実践できていない。たまた、野球観戦、ゴルフ・スキー。

Ved P. Kafle (ベド カフレ)

光ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 主任研究員

現在、新世代ネットワークの設計、実装、評価、アルゴリズム最適化、プロトコル及びアーキテクチャの研究開発に従事しています。現在の関心事は、新しいネーミング及びアドレス方式、ID・ロケータ分離アーキテクチャ、名前またはIDの解決メカニズム、異機種ネットワーク層プロトコルの統合、ユビキタスセンシングとコンピューティングのためのインターネットへのリソースに制約のあるセンサーネットワークの統合、分散移動管理機能、通信ネットワークのプライバシー、セキュリティ及び信頼性にあります。2009年に新世代ネットワークアーキテクチャの標準化への貢献に対し、日本ITU協会賞を受賞しました。同じ年に、国際会議ITU-T Kaleidoscopeにおいて論文賞を受賞しました。休みには2人の娘と遊んだり、日本のネパール人のコミュニティでボランティア活動をしたり、バドミントンやジョギングを楽しんでいます。

はじめに ーなぜ新世代ネットワークなのかー

今やインターネットは、私たちの日常生活になくてはならないものになっています。近い将来には、インターネットには、家電製品、乗り物、健康・環境監視センサーなどの多種多様なデバイスが相互接続される日が来るでしょう。しかし、40年前に設計されたインターネットは、当時遠方の知人のコンピューターとの通信をするためのもので、携帯・微小デバイスの無線接続、セキュリティとサービス品質の提供、低消費電力での大容量のデータの効率的な転送などは考慮されていませんでした。アプリケーションがこのような要求をするようになって、様々な機能がオリジナルのインターネットアーキテクチャに、全体の最適化を考慮することなく、ランダムに追加されてきました。その結果、現在のインターネットには負荷がかかり過ぎ、本来あった拡張性という特徴が次第に失われてきました。それゆえ、前述した要求を、さらに将来に生じる要求も満たすようにするために、私たちは白紙から新世代ネットワークを設計してきました。

新世代ネットワークは、海外では、“Future Internet” とか “Future Network” などと呼ばれていますが、現在のインターネットでの制約条件は継承しません。新世代ネットワークは、膨大

な数の多種多様な移動デバイスを想定し、様々なネットワークプロトコルをサポートします。この記事では、このような目標を達成するために必要な ID・ロケータ分離という概念について、現在のインターネットのアーキテクチャと比較しながら説明します。

ID・ロケータ分離の概念

図 1(a) は、現在のインターネットのプロトコルの階層構造を示します。IP アドレスは、アプリケーション層とトランスポート層で、端末やセッションやサービスの識別子 (ID) として利用され、同じ IP アドレスが、ネットワーク層ではネットワーク内での端末の接続位置 (ロケータ) として利用されます。1 つの IP アドレスを ID とロケータの両方に使用することは、異種のプロトコル、移動通信、マルチホーム接続、セキュリティ、経路制御の拡張などに適していません。端末が、ネットワークを移動した場合、端末の IP アドレス (ID とロケータの両方) が変更され、元の IP を識別子として用いた現在進行中のセッションが切れます。また、マルチホーム接続は、接続しているネットワークが混雑・切断した場合に、別のインターフェースに切り替えるためのものですが、それぞれのインターフェースは独自の IP アドレスを持っている

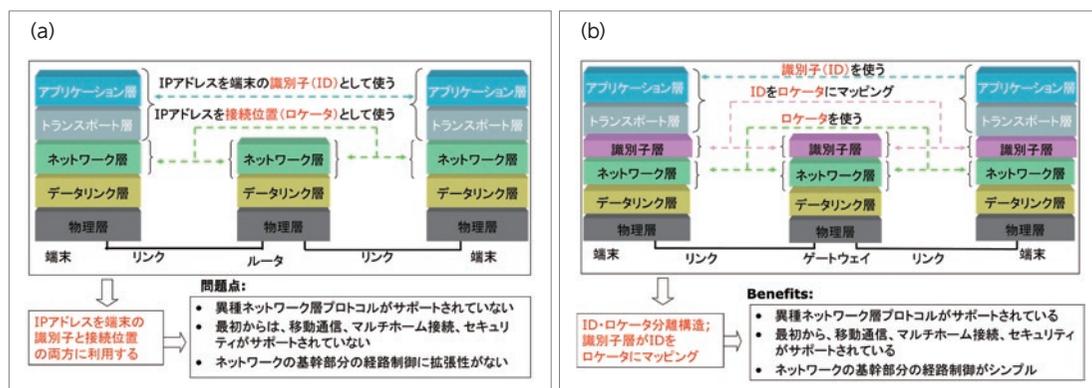


図1 プロトコル階層図 (a) 現在のインターネットの場合 (b) ID・ロケータを分離した新世代ネットワークの場合

ため、接続切り替え時にセッション ID が変更になり、通信セッションの滑らかな継続は困難です。同様に、IP アドレスに紐付いたセキュリティ情報は、端末の IP アドレスの変更で無効になります。さらに、コアネットワークは、それぞれのエッジネットワークまたはアクセスネットワークごとの経路表を作成しますが、エッジネットワークのサイズが小さく、数が非常に多くなった場合には、基幹の経路表のサイズは非常に大きくなり、エッジネットワークの IP アドレスの設定が頻繁に変更になると、基幹の経路表を更新する処理負荷が高くなり、最終的には、基幹の経路制御の機能に支障が出るでしょう。

従って、新世代ネットワークの protocols 階層は、図 1(b) に示すように ID とロケータを切り離す (ID・ロケータ分離) 必要があります。トランスポート層とネットワーク層の間に挿入された識別子層は、ID をロケータにダイナミックにマッピングし、端末の移動やマルチホーミングによってネットワーク層がロケータを変更した場合にも、アプリケーション層やトランスポート層は、端末や通信セッションの識別用に同じ ID を使い続けることができます。この特徴は、ネットワーク層で別の種類の protocols を使うことを可能とします。データのパケットのヘッダには、送信元と宛先の両方の ID とロケータが含まれています。ゲートウェイは、パケットがエッジネットワークとコアネットワークを横断する際に、ID をヘッダの中のネットワーク protocols やロケータの値を変換するための参照値として使います。これにより、新世代ネットワークでは、エッジネットワークやコアネットワークで異なるタイプのネットワーク層 protocols の利用が可能となります。

● HIMALIS アーキテクチャ

ID・ロケータ分離の概念に基づき、NICT は HIMALIS (Heterogeneity Inclusion and

Mobility Adaptation through Locator ID Separation: ロケータと ID を分離することによる異質性の許容と移動への適応) アーキテクチャを提案してきました。図 2 は HIMALIS アーキテクチャの主要な構成要素であるエッジネットワーク、コアネットワーク、論理制御ネットワークを示しています。コアネットワークはエッジネットワーク同士を接続するために高速なルータとリンクで構成されています。

● ネットワークアクセス機能

端末 (図 2 の端末 1) がエッジネットワークに接続するとき、DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) 等の初期設定 protocols の実行や AA、LNS、GW の ID やロケータ等のエッジルータのパラメータを入手します。端末は次に、認証と登録のために AA にコンタクトします。認証が済むと、端末には新しいロケータが割り当てられます。端末の端末名、端末 ID、ロケータ、公開鍵は LNS のホストテーブルに保存され、端末 ID とロケータは GW の ID テーブルに保存されます。端末にはアクセスキーも割り当てられ、信頼性の証明や AA、LNS、GW との暗号化メッセージのやりとりに使われます。端末は新しいロケータを HNR に、ロケータ更新メッセージを送ることによって登録します。こうしてこの端末は他の端末と通信する準備ができました。

● セッション初期化機能

端末 1 が端末 2 と通信したいとき、端末 1 は端末 2 の端末名しか知らないため、端末 1 は端末 2 の ID、ロケータ、公開鍵を LNS に問い合わせます。LNS は DNR、HNR から情報を入手して端末 2 の ID、ロケータ、公開鍵を受け取り端末 1 に送ります。こうして端末 1 は端末 2 に対して制御パケットを交換し始め、セキュリティコンテキスト (セッションキーなど)

を確立し、両方の GW の ID テーブルに ID・ロケータのマッピングを保存します。GW は ID テーブルから ID・ロケータのマッピングを使うことによってパケットのヘッダの中のネットワークプロトコルやロケータの変換を行います。

● 移動通信機能

(a) 移動端末(たとえば端末 1)は 移動して新エッジネットワークにアクセスして新しいロケータを得て、(b) 旧 GW にある端末 1 のロケータ情報を新しいロケータに更新し、移行中にも旧 GW が新しい GW にパケットが転送されるようにし、(c) 端末 2 とその GW の情報を更新し、新しい位置にいる端末 1 にパケットを転送できるようにする、(d) 端末 1 の HNR レコードを更新し、(e) 旧エッジネットワークから切断する、という手順で信号をやりとりします。HIMALIS アーキテクチャでは、ネットワー

クアクセスやセッション初期化のプロセスで確立されたセキュリティコンテキストを移動管理機能の安全確保にも使用できます。

● 実装の様子

HIMALIS アーキテクチャに基づく ID・ロケータ分離の技術は NICT における新世代ネットワークの研究の重要な要素です。私たちは HIMALIS アーキテクチャを、ローカルなテストベッドネットワーク上で実装してきました。DNR と HNR の機能は PlanetLab(約 1,000 ノードから成る地球規模のオーバーレイテストベッドネットワーク)のノードにも実装し、実験しています。最近では、HIMALIS を Linux のカーネルに実装し、それを JGN-X に接続して実験・検証できるようになっています。このように HIMALIS アーキテクチャを継続的に改良し、広範な検証を通じて、HIMALIS が普及するよう研究開発をしていきます。

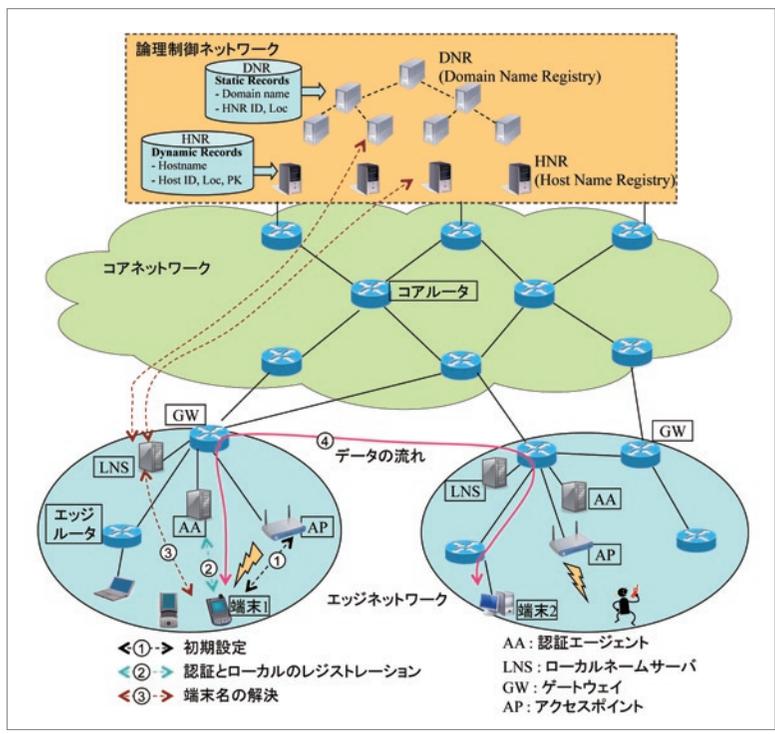


図2 HIMALISアーキテクチャの構成要素

地域の神経網を担うネットワーク NerveNetの研究

「人や街の状況をセンサが捉え、データが処理・判断されて様々なサービスや情報が提供されるスマートな街への期待が高まっています。その神経系を担うネットワークの研究を紹介します。」



井上 真杉 (いのうえ ますぎ)

経営企画部
企画戦略室 プランニングマネージャー

大学院博士課程修了後に郵政省通信総合研究所(現NICT)に入り、超高速無線LANやモバイル通信の研究に取り組む。人々にとって必要な情報通信は？という利用者視点で将来の情報通信を考えている。

大和田 泰伯 (おおわだ やすのり)

光ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 研究員

中学時代に中古で買ったMacintosh IIcxと草の根BBSを通じて通信に興味を持つ。大学院博士課程修了後、大学の特任助教やベンチャー企業立ち上げなどを経験し、現職にて無線分散アクセス網の研究に従事。趣味は写真やアウトドア、アーチェリーなど。



● 未来の地域社会の通信

私たちはアクセスネットワーク(人が最初に接続されるネットワーク)の研究を2006年から行っています。そのコンセプトは、人が五感で感じるように、センサが感知する気象、交通、災害、防犯などの地域事象データをネットワークを通じて収集・処理し、また人が反射的に行動を起こすように、センサデータに基づいた情報やサービスを適切なタイミングで地域社会や住民、その地域を訪れた人に提供するものです。そして、非常時にも頼れる強いものです。いわば地域の神経網の役割を果たす意味でそのネットワークをNerveNet(ナーヴネット)と名付けました。

● NerveNetに必要な3つの機能

NerveNetに必要な機能の1つは「自律・自

動的にネットワークを構成する」機能です。地域の情報通信サービス企業、自治体、NPO(非営利団体)などが地域の要求に基づいて適宜ネットワークを構築するためには、簡易に設置できることが大切です。災害時も通信を継続させるために、一部が故障したり切断されたりしても自律的にネットワーク構成を変更して機能を維持する必要もあります。

2つ目は、「ネットワーク単体で情報サービスを提供する」機能です。例えば「私と同じ興味を持ち、この近くを通る人へこの情報を3日間提供したい」という要求があるとします。現在は、地域ネットワークの外のインターネット上にあるサーバがその要求を受けてサービスを提供します。これに対し、ネットワーク単体で情報サービスが提供できれば、災害等で外部への接続が途切れても提供を継続できます。インターネットと接続して連携しながらもネットワーク単体での

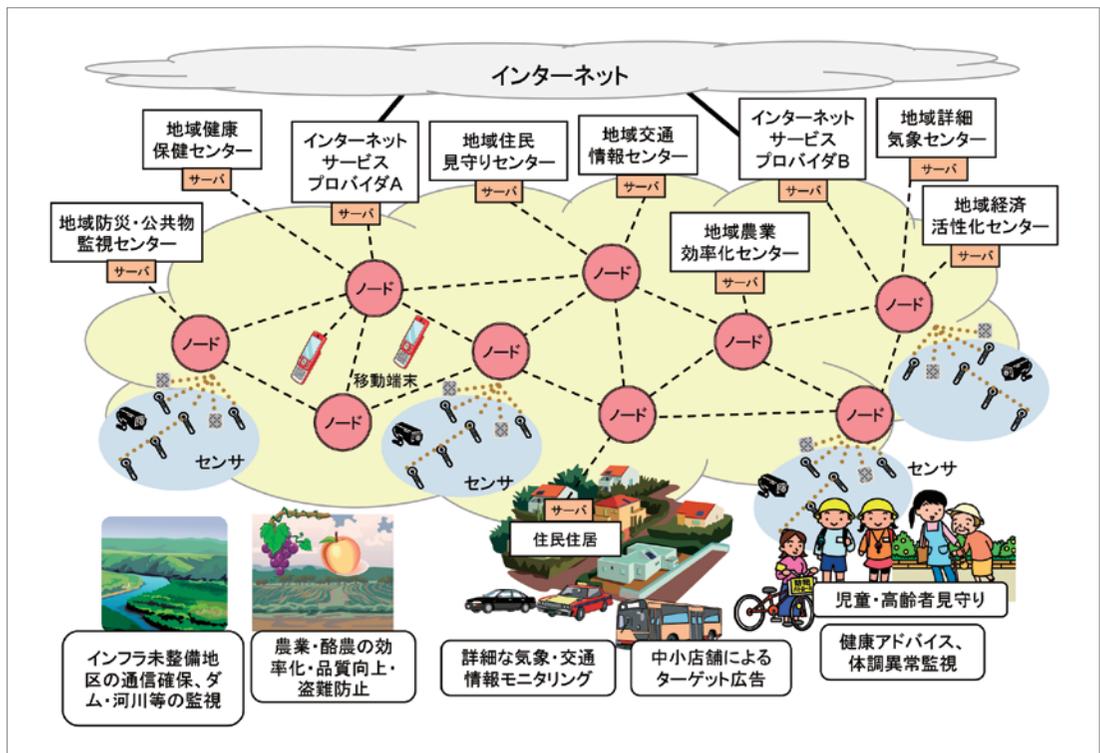


図1 地域分散ネットワークNerveNetの構成と活用イメージ

情報提供機能を活用することで、コスト低減と、地域企業や住民等による自営的情報通信による地域活性、地域産業振興が期待できます。

3つ目は、「プラットフォーム」機能です。現在は、児童見守りや気象観測などサービスごとにネットワークシステムを構築するのが一般的です。要望はあっても規模が小さいサービスは実現されにくい状況です。サービス種別に依存しない共通基盤を築ければコストを低減でき、多様なサービスを生みやすくなります。

● 通信制御と情報処理を分散実行する NerveNet の構成

NerveNet は、複数のノード(通信装置)同士が無線(有線も可)で自動的につながることでネットワークを構成できるシステムです(図 1)。各ノードが設置されると、電波が届く周辺のノードを探して自動的に無線接続します。電波が直接届かない遠くのノードに至るルートを自動探索し、複数ルートを記憶します。そのため、あるルートの途上で通信障害が発生しても、直ちに別ルートに切り替えられるという災害に強い特長があります。各ノードにはユーザ端末、サーバ、センサなどを接続でき、インターネットなど外部ネットワークを介さずにそれら同士の通信を行えます。例えば、自分の子どもの居場所情報を自宅のサーバで収集管理することも可能です。また、複数のノードで外部ネットワークに接続できるので、インターネット上の通常サービスも利用できます。

ノード自身はデータベースを搭載し、ノード間でデータを同期する機能があります。これに

より、ユーザの必要とする情報をネットワーク上で分散して保持することができます。通信障害が発生しても、接続可能なノードから必要な情報を取得できます。

NerveNet は、平時では既存の携帯電話システム等と併用して重層的ネットワークを構成し、社会の耐災害性向上やスマートフォンの大量データ通信の分散化に寄与できます。また、災害発生後の被災地において停止した既存通信システムを代替する臨時通信システムとしても威力を発揮します。

デモ実験の実施のため、2011年10月には、都立小金井公園で実施された東京都・小平市・西東京市・武蔵野市・小金井市合同総合防災訓練の場で、臨時ネットワークとしてノード9台で NerveNet を構築し、安否確認とメッセージ配信を訓練参加者に体験してもらいました(図 2、3)。避難所に見立てた場所に配置した災害情報端末(無線でノードに接続)に IC カードをタッチすると、自分がその避難所にいることを登録できます。その情報がネットワークを通じて瞬時に他の避難所の災害情報端末に表示されます。また、

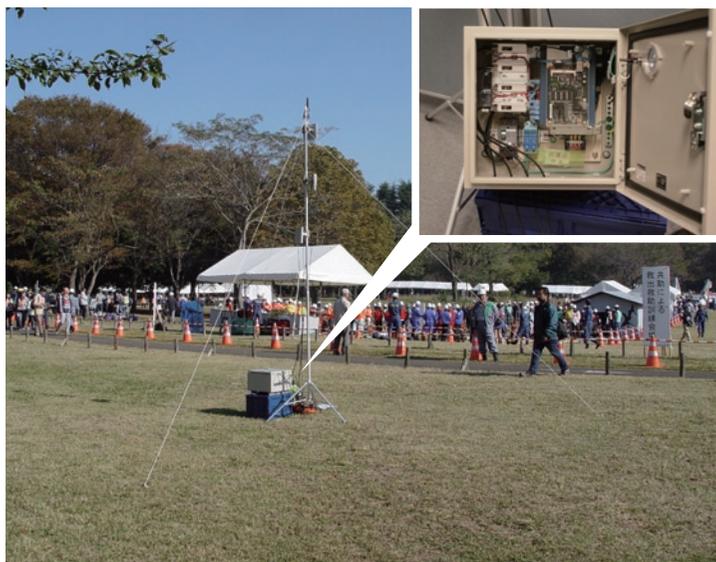


図2 ノード実証機と平成23年度東京都・小平市・西東京市・武蔵野市・小金井市合同総合防災訓練(都立小金井公園)での臨時ネットワーク構築の様子

合同総合災害訓練

発信者	発信内容
大和田泰伯	災害対策本部からの物資配給情報です。本日の物資配給時刻をお知らせします。A避難所の配給時刻は午前9時B避難所の配給時刻は午前9時30分を予定しております。
発信場所	
避難所2	

氏名	氏名
小泉 綾女	中村H
塩田 優	原井洋明
奥真 翔	勝田しんじろう
恩田 怜奈	大谷 誠一
柳原 健	沢田 里奈
浦野 そら	
小越 俊一	

1 現在の避難者数 33人
2 現在の避難者数 27人
3 現在の避難者数 24人
4 現在の避難者数 26人

100 m
200 フィート

©2011 Google - 地図データ ©2011 ZENRIN - 利用規約

広報発信 広報履歴一覧 安否確認(検索)

NICT 独立行政法人 情報通信研究機構
National Institute of Information and Communications Technology

図3 (上) 災害情報端末の画面(各避難所の避難者名や配信したメッセージを表示)
(右下) 災害情報端末を操作する防災訓練参加者



災害情報や支援物資情報など任意の情報を入力すると、他の災害情報端末に配信され音声発信されます。これらの情報は、外部サーバにも携帯電話網を通じて伝達し、インターネットから閲覧できるようにしました。

● 今後の展望

今後、災害対策技術の研究開発の実証として、東北地域内に構築する実験設備を用いた検証を行っていきます。耐災害性を高める通信技術の性能検証に加えて、それらを包含した通信システムの実現に向けた取り組みも予定しています。例えば、今後の社会基盤となる電気自動車(EV)用充電ステーション、LED 街灯、電子掲示板(デジタルサイネージ)等と通信を一体化した装置の技術検証や実用化検討を自治体や企業と共同で行っていく予定です。これらの取組みは、人と人、人と物との通信だけでなく、様々なセンサやデータ処理装置などの機器同士が人を介さずに通信する M2M(Machine to Machine) 通信、ある

いはモノのインターネット(Internet of Things: IoT)と呼ばれる新しい通信の実現につながり、これからの街づくりを支える情報通信基盤の一役を担うことになると考えています。私たちは、安心・安全で多彩な情報サービスが享受できる未来に向けて取り組んでいきます。

光通信インフラの革新を 目指して

—空間/モード分割多重光ファイバ通信時代の幕開け—

「情報通信の根幹を支える光ファイバ通信は容量枯渇の危機に直面しています。次世代の光ファイバ通信インフラを構築する空間/モード分割多重方式などの取組みを紹介します。」

淡路 祥成 (あわじ よしなり)

光ネットワーク研究所

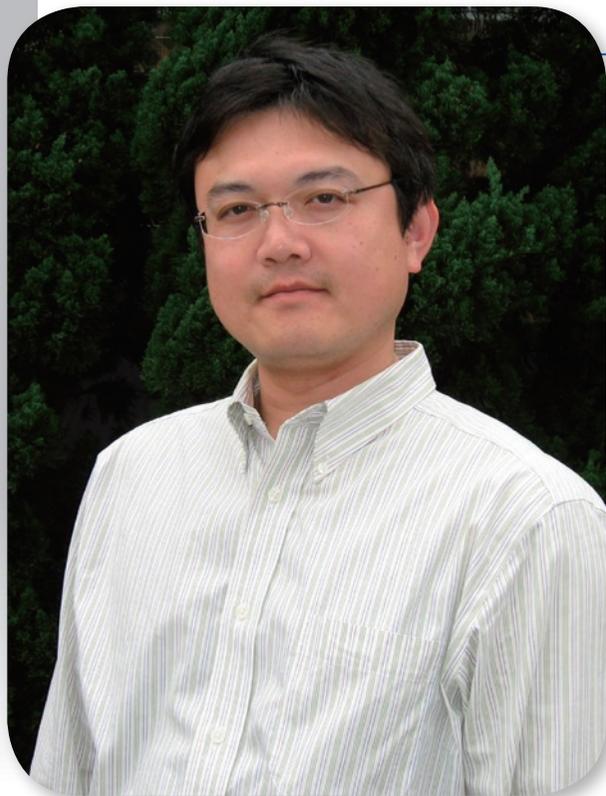
フォトニックネットワークシステム研究室 研究マネージャー

大学院修了後、1996年、郵政省通信総合研究所(現NICT)に入所。光信号処理、光増幅器、光パケットスイッチングなどに関する研究に従事。2004～2006年、内閣官房にて情報セキュリティ政策に従事。博士(工学)。

光ファイバ通信容量危機

インターネット人口の爆発的な増加をはじめ、スマートフォン/タブレットのめざましい普及やインターネットでのリッチコンテンツサービスの一般化を根幹で支えているのは、他の通信媒体に比べて圧倒的に大容量・低損失な光ファイバ通信であることはよく知られています。しかしながら、光ファイバの持つ伝送帯域といえども無限ではありません。これまで表面化していなかったのですが、光ファイバ通信研究の最先端では容量枯渇に関する危機感がにわかに増大しています。

通信用のシリカ^{*1}系光ファイバは、波長1.55ミクロン付近に極低損失を実現できる透明な領域を持っており、この波長帯で実用的な光増幅器が発明されたことで、一気に通信容量の拡大が行われ



たのが1990年代の終わりでした(図1)。つまり、光ファイバ通信の大容量という特徴は伝送媒体の低損失領域と光増幅器の増幅領域が広い波長帯で重なり合ったから生じたものに他なりません。従って、波長分割多重(WDM)通信の初めの頃は波長チャンネル数の増設のために未利用の発振波長のレーザ光源と光増幅器の開発を行う周波数開拓が盛んに行われました。ひと通り1.55ミクロン近傍の周波数開拓が進むと、無線通信と同様に周波数利用効率を上げる取り組みに研究の中心が移っていき、差動4値位相変調(DQPSK)や直角位相振幅変調(QAM)、直交周波数分割多重(OFDM)といった高度な変調フォーマットが光技術によって実装可能になってきています。

周波数利用効率は理論的にはシャノン限界^{*2}に沿って、信号品質(OSNR)の向上とともに高くなっていきますが、ここで光ファイバ特有の問題が発生しました。OSNRを向上させるためには、信号光のパワーを増加させる必要があり、波長多重

されたそれらの信号チャンネルの合計パワーは直径わずか9ミクロン程度の光ファイバのコアに集中します。このような非常に高いパワー密度においては、光ファイバを構成するシリカ材料といえども顕著な三次の非線形性(光の強度に依存して光信号自身に変化する現象。材料によって、二次、三次…と効果の大きさが変化する。)を示し、信号光の波形歪みやスペクトル変化などを引き起こすためOSNRには実質的に極大値が表れます。また、さらにパワー密度が高くなると光ファイバのコアがプラズマ^{*3}化して焼損するファイバフューズ現象を引き起こし、通信機器の破損や火災の危険性にもつながってきます。

● NICT発 –世界に向けてのEXATイニシアチブ–

このようなパワー挿入限界、増幅器の帯域限界と、トラヒック需要予測を鑑みて、当時仏アルカテルのE. Desurvireが2006年の論文で容

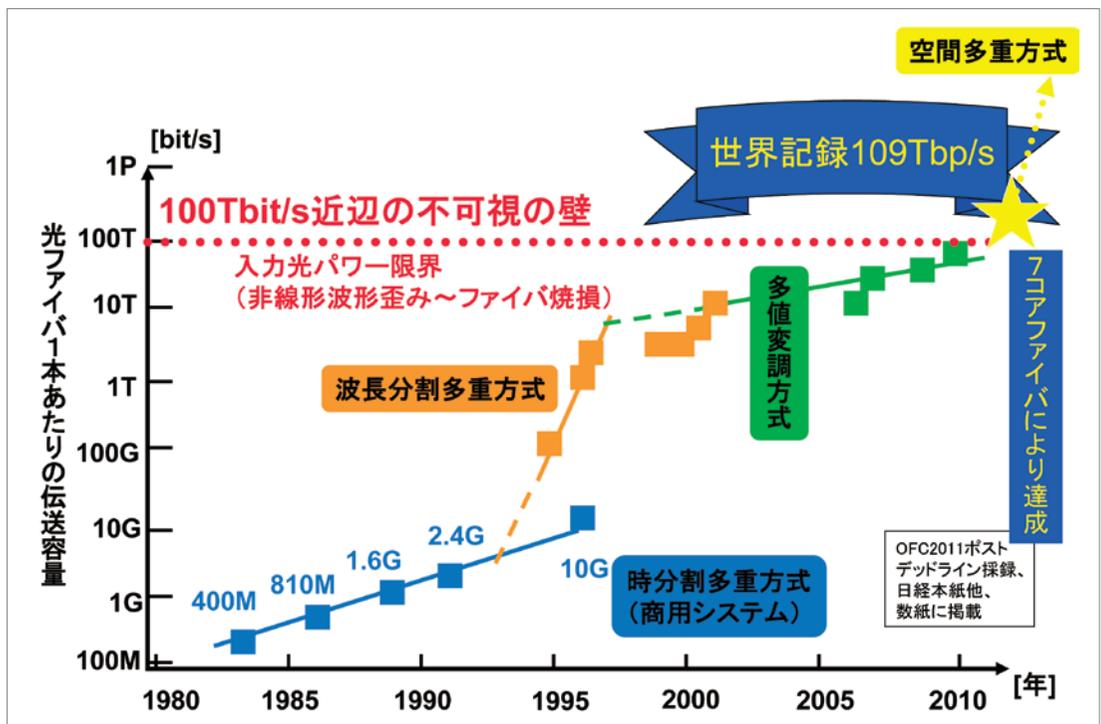
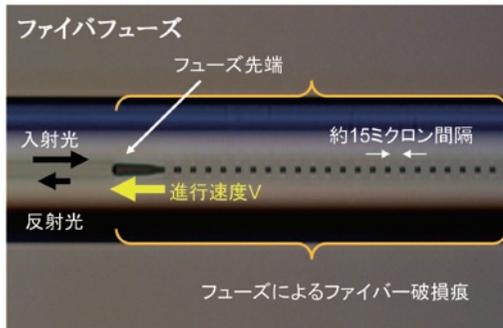


図1 容量枯渇とブレークスルー

- EXAT : EXtremely Advanced Transmission
- 光通信インフラの飛躍的な高度化に関する研究
 - NICTは2008年1月に第一期研究会を設置・開始
 - 飛躍的な高度化とは、現在の技術を3桁～5桁超えるリンク伝送容量・ノード処理容量の高度化をめざす

30年前に実用化された
SSMFの限界を打破



Multi-level
modulation

Multi-core fiber

Multi-mode
controlling

Triple "Multi-" Techs

図2 EXATイニシアチブと3M技術

量枯渇(Capacity Exhaustion) について問題提起しています。実際に、光ファイバ1本あたりの伝送容量の伸びは2001年を境に100テラビット毎秒に漸近して飽和しつつあるようにも見えます(図1)。しかしながら、このような危機的問題に対しての反応は芳しくなく、事実上放置されていたのですが、2008年1月にNICTの呼びかけにより、産学官の研究者が結集して誕生したEXAT研究会(光通信インフラの飛躍的な高度化に関する研究会)が本格的に取り組みを始めました。議論の結果、容量枯渇を打破し、来たる20年後に3～5桁(千～10万倍)の容量増加を実現するためには、多値変調(Multi-level modulation)、マルチコアファイバ(Multi-core fiber)、マルチモード制御(Multi-mode controlling)の3つの技術領域(3M技術: Triple Multi- Techs)を発展させることが重要であるとの結論を得て(図2)、同年11月に国際シンポジウムを開催して日本発のEXATイニシアチブとして世界に発信を始めました。その後も

関連の深い研究機関から矢継ぎ早に論文発表を行った結果、海外でも当該分野の急速な展開が始まっています。特に、マルチコアファイバやマルチモード(数モード)ファイバを積極的に利用した空間/モード分割多重伝送方式は、先述の光挿入パワー限界を大幅に押し上げることが可能な技術です。

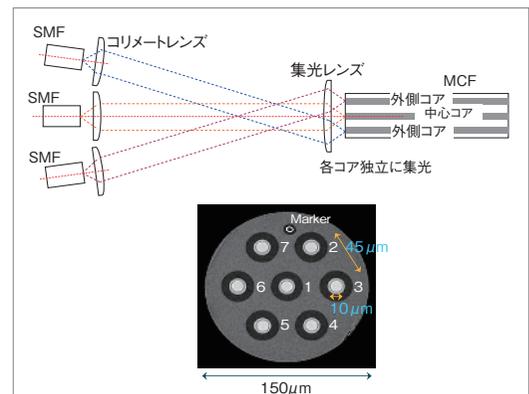


図3 レンズ結合型マルチコアファンイン/ファンアウトとトレンチアシスト型7コアファイバ

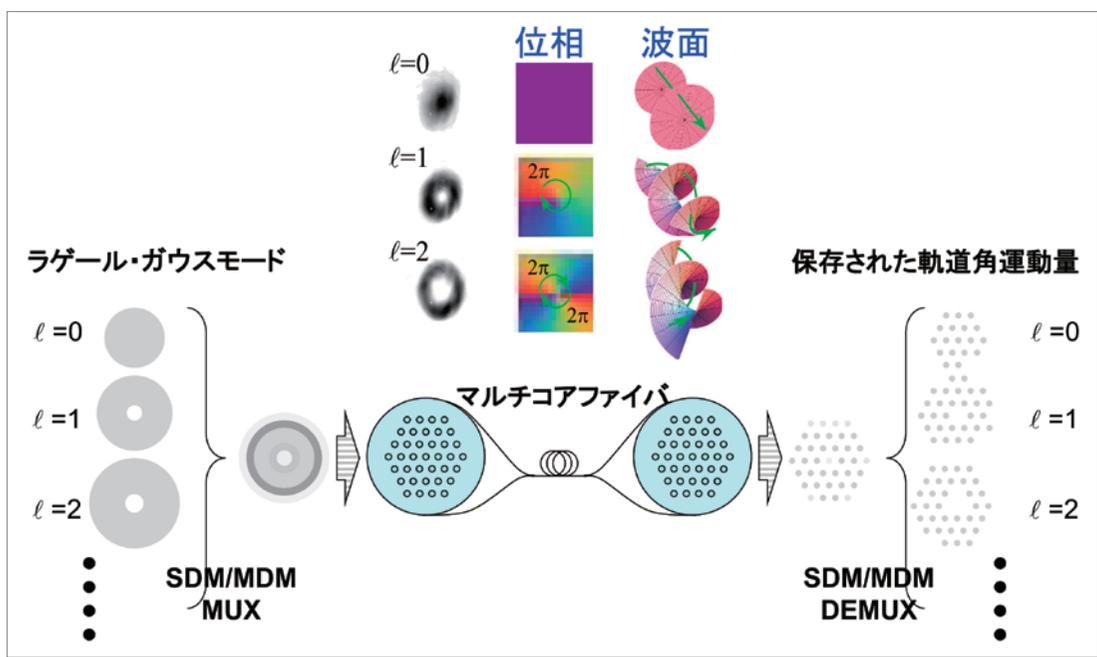


図4 マルチコアファイバによるラゲール・ガウスモード分割多重信号伝送

● 多角的な研究体制から生み出された世界記録

NICT においては、「革新的光ファイバ技術の研究開発」と「革新的光通信インフラの研究開発」の委託研究を実施して、国内の研究機関の力を結集し当該分野の研究開発の加速を図ると共に、自らも率先して先鋭的かつハイリスクな研究に取り組んでいます。

一例を紹介すると、空間光学の常識からは実現不可能とされていたレンズ結合型マルチコアファンイン/ファンアウト結合装置の開発に成功し、トレンチアシスト型7コアファイバを用いて、2011年に、当時、伝送容量の世界記録である109テラビット毎秒を達成しました(図3)。100テラビット毎秒は容量枯渇問題で実質的な壁と考えられていたので、これを新しい空間分割多重方式で突破したのは歴史的にも意義深いことと言えます。

また、NICTでは学会等で多数派を占める、高次LPモードを用いたモード分割多重方式と一線を画し、光通信業界ではほとんど知られて

いなかったラゲール・ガウスモードを用いたモード分割多重方式と光ファイバ伝送の実証実験を世界で初めて行いました(図4)。

● 今後の展望

今後は、引き続き我が国が当該分野で重要な役割を果たしていくために、国際協力・連携等を積極的に進め、関連技術の標準化、実用化の加速に貢献していきたいと思えます。

用語解説

- *1 シリカ
二酸化ケイ素(SiO₂)、いわゆるガラス。
- *2 シャノン限界
通信チャンネルが持つ信号対雑音比と周波数帯域幅によって決まる、伝送容量の限界のこと。1948年にC. E. Shannonが定式化した。
- *3 プラズマ
気体の温度が上昇すると気体の分子は解離して原子になり、さらに原子核のまわりをまわっていた電子が原子から離れ、陽イオンと電子に分かれる(電離)。電離によって生じた荷電粒子を含む気体をプラズマという。

「ひかり」を自由にあやつる

— 高速高精度光変調技術で拓く大容量通信と宇宙をみる極限技術 —

「高速で高精度な光変調技術の研究は、将来の大容量光通信を実現するだけにとどまらず、宇宙をみるための究極の精度を持つ光信号源の研究につながっています。」



川西 哲也 (かわにし てつや)

光ネットワーク研究所
光通信基盤研究室 室長

学生ベンチャー、大手メーカー、大学といろんな環境を経て 1998 年に CRL (現 NICT) のメンバーになりました。国内外の様々な機関の研究者、大学からの研修生の皆さんと力を合わせて光通信技術やマイクロ波フォトリソグラフィーの研究をしています。

菅野 敦史 (かんの あつし)

光ネットワーク研究所
光通信基盤研究室 主任研究員

2005 年筑波大学大学院卒。筑波大学大学院 VBL 特別研究員を経て 2007 年 NICT 入所。大学時代のテーマである半導体光物性研究から一貫して光技術の研究に従事。高じて写真が趣味となり日夜研鑽中。



● 光変調技術で「ひかり」をあやつる

今や「ひかり」といえば新幹線というよりも先にインターネットが思い浮かぶのではないのでしょうか。誰もが携帯電話やインターネットを使ったときに、どこかで「ひかり」を使った通信、すなわち、光通信のお世話になっているはずで。光ファイバを使えば、遠くまで光にのせた情報を伝えることができます。人間同士が会話をするときには音の高さや強さ、長さを変化させて情報を伝えるように、光通信では光を変化させます。このことを光変調と呼びます。最も簡単な光変調として光が「ある」、「ない」の2通りでデジタル信号を送るオンオフキーイング(OOK)と呼ばれる方法がこれまで使われてきました。最近では、メールを消さずにどんどんため込む、デジタルカメラでどんどん撮影するといった、とにかくデータを保存しておいて必要なときに選んで取り出すというライフスタイルが広がりつつあり、大量のデータをス

ムーズにやりとりする技術が求められています。私たちは、このようなニーズに応えるため、高速光通信を支える光変調技術の研究開発を進めており、光変調の高速性の追求に加えて正確に光をあやつる技術で世界トップクラスの成果を上げています。この技術は様々な分野での利用が期待できる中で、私たちは、極限性能を追求する電波天文への応用を目指した研究を行っています。ここでは大容量通信を実現するための最新の高速高精度光変調技術と巨大な電波望遠鏡を支える基準信号発生技術を紹介します。

● 高速高精度光変調で大容量の光通信を

光は光波とも呼ばれ、電波と同じ電磁波の一種です。電磁波を特徴付けるのは、大きさ(振幅)、振動の速さ(周波数)、波動のタイミング(位相)の3つの要素です。これらを変化させることで、情報を伝えます。先にご紹介した OOK は、振幅

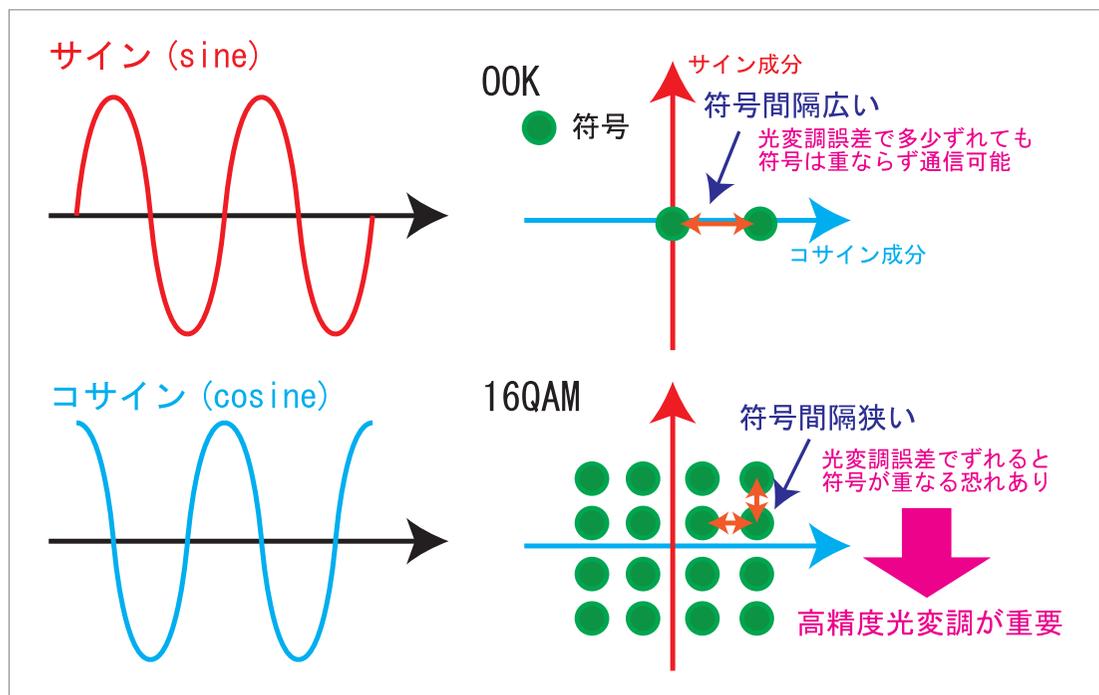


図1 (左) 光の波形: サインとコサイン (右) OOKと16QAMのコンステレーション

が“1(オン)”か“0(オフ)”の2通りの光波の状態(シンボルまたは符号と呼ぶ)を使うもので、1回の光変調でデジタル信号を1つ(1ビット)伝えることができます。より多くの情報を送るためには、①光変調をより速くする、②1回の光変調でより多くのビットを送る、という2つのアプローチがあります。①は高速に、②は高精度に光を変調する技術に相当します。長年にわたり①の高速化が研究のトレンドでしたが、NICTでは世界に先駆けて①と②の両立に取り組んできました。

ここで、②の高精度光変調について説明します。位相、振幅をそれぞれ、2通りずつ、組み合わせを考えると全部で4つの符号を使えば1回の変調で2ビットを送ることができます。nビット送るためには 2^n 個の符号が必要です。符号を増やすには正確な光変調が重要になります。日本語の発音に例えてみましょう。五十音に加えて、同じ「あいうえお…」でも振幅の小さいものを別の音とすると決めたとします。そうすると、短い言葉でたくさんの情報を伝えることはできるかもしれませんが、音の大きさを正確に言い分ける、聞き分ける能力が必要になります。光変調でも同

じことがいえます。光の状態をより正確に制御できないと符号の区別ができなくなります。波動の一種である光波は図1(左)に示すようなサイン、コサインの2成分で表されます。周波数を一定とすると、光波の状態、つまり、光変調の形式はこれらの2成分を縦軸・横軸とした平面上の点で表すことができます。一度にたくさんの情報を送るときには多数の符号が必要になります。符号を2次元平面上に表した図のことをコンステレーション(星座図)と呼びます。複雑なコンステレーションをもつ信号を高速で発生させることが大容量伝送実現の鍵です。図1(右)は16個の符号を使って一度に4ビットの信号を送る16値直交振幅変調(16QAM)と従来のOOKのコンステレーションです。16QAMでは符号間の距離が小さく、高精度光変調が重要であることがわかります。NICTは一度に2ビット送ることができる4値位相変調(QPSK)と高速な変調速度を両立する技術を世界で初めて2004年に発表し、それ以降、1つの光で100Gbpsの通信を実現することは特別なことではなくなりました。さらに世界初の50Gbps 16QAMを可能とする集積

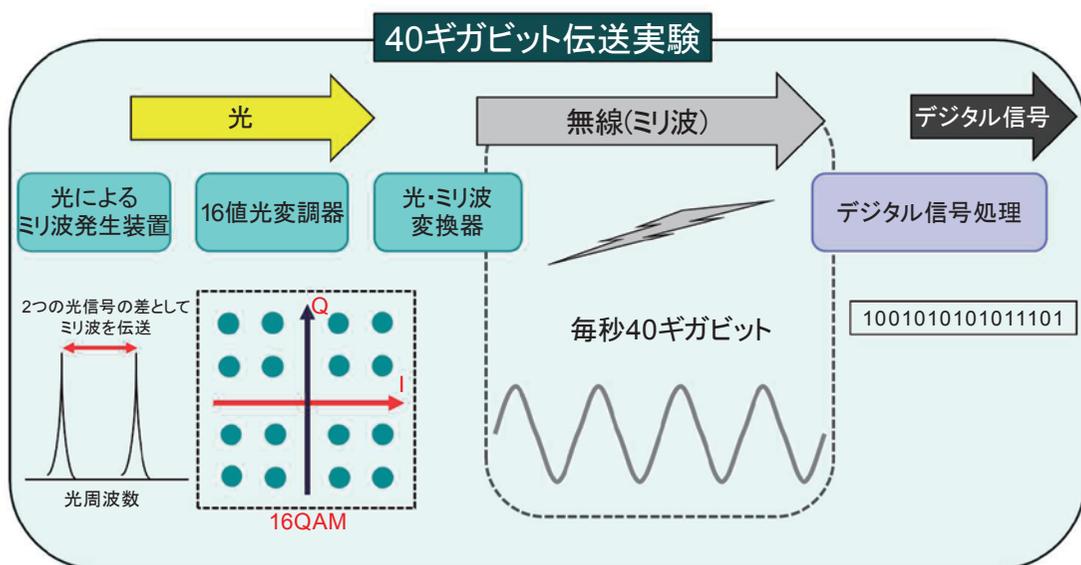


図2 光ファイバ無線技術による超高速無線伝送の概念図

光変調デバイスを実現しました。無線分野では従来から様々で複雑な変調方式が利用されていましたが、光の周波数は携帯電話の使用周波数と比べて10万倍高く、複雑な変調方式は困難であるというのが常識でした。しかし、ここで紹介した高速高精度光変調技術や、高速信号処理技術などによりこの課題は克服されつつあります。一方、光変調技術で、高度な無線変調信号を発生させることも可能となり、世界最高速度(2011年9月当時)の40Gbps無線伝送を実現しています(図2)。

● 究極の高精度光変調で宇宙をみる

また、極限技術へのチャレンジとして、国立天文台と共同で世界最大の電波望遠鏡ALMA(アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計)向けの基準信号発生技術の研究を行っています。ALMAはチリの高山地域で国際プロジェクトとして開発が進められている世界最高の感度と分解能を備えた電波望遠鏡です。最長18.5km離れた66台以上のパラボラアンテナで構成されます。これらのアンテナを連動させるためには基準光信号が必要となります。光変調の精度を表す重要

な指標である消光比(光をオフしたときに消え残る光の大きさを表す)がありますが、従来技術と比べて1万倍を達成しました(図3)。ALMAで必要となる高い安定度、広い周波数範囲での信号発生などの条件を満たす信号源を高い消光比の光変調技術で実現しました。高い消光比の変調はALMA向けの信号源だけではなく、より高度な変調方式実現に重要であることが明らかになってきています。基礎研究から応用研究までを一貫して確実に進めていくことの重要性を示す成果であるといえるでしょう。

大容量通信のために光ファイバの中でコンステレーションを描きながら、本当の宇宙をみるための技術にもつながるなんて、夢があると思いませんか？

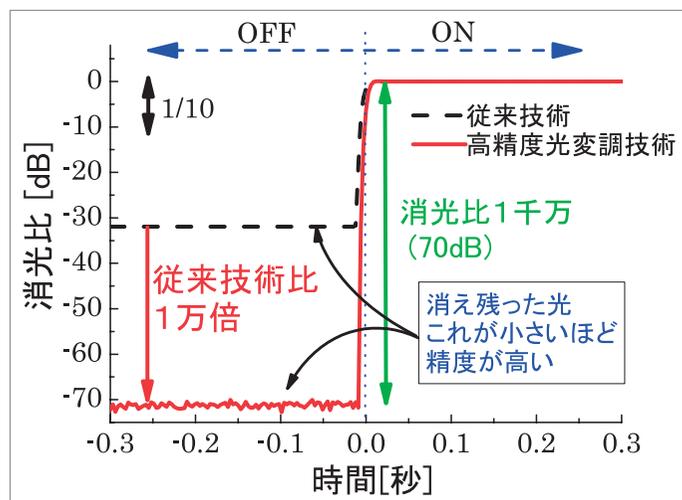


図3 高消光比変調による光のオン/オフ