



光ネットワークシステムの研究開発と展望

国立研究開発法人情報通信研究機構 ネットワークシステム研究所
ネットワーク基盤研究室 室長

はらい ひろあき
原井 洋明

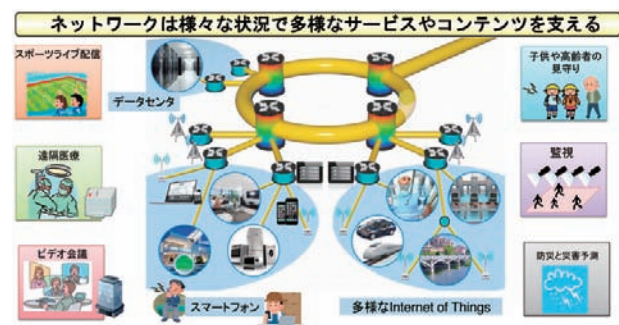


本稿では、2020年代に必要なネットワークシステムの要件を挙げ、筆者が所属する情報通信研究機構（NICT）におけるグローバルに先進的なネットワークシステムの構成要素である、革新的ネットワーク技術、フォトニックネットワークシステム基盤技術、光アクセス基盤技術の研究開発の取り組みを紹介する。

1. ICTネットワークの進展と変革

インターネットと移動通信網の高度化、スマートフォン等のスマートデバイスや様々なアプリケーションの普及により、人々がインターネット等のネットワークを利用する環境は大きく変化している。2015年から2020年に向けても、インターネットを流通するトラフィックは1か月あたり88.7エクサバイトから194.0エクサバイトと5年で2倍の伸びを示し、インターネットの利用者は30億人から41億人へ増え、ネットワークへ接続されるデバイス数は163億個から263億個へ増加するという予測がある^[1]。同じく2019年のビデオコンテンツはインターネットトラフィックの82%以上を占めると予測されている。このような環境では、スポーツライブ配信、遠隔医療、双方向のビデオ会議などの映像サービス、及び、子供や高齢者の見守り、街中の監視、防災と災害予測など、センサを用いたサービスが本格的に普及し、人々の生活が便利に豊かになると期待される（図1）。

NICTネットワークシステム研究所では、世界最先端のICTにより、新たな価値創造や社会システムの変革をもたらすべく、社会をつなぐ能力として、通信量の爆発的増加や通信品質・利用環境の多様化などに対応するため、以下の3つの領域の基礎的・基盤的技術の研究開発を行っている。



■図1. ネットワークが支えるサービスの広がり

・革新的ネットワーク技術

IoTサービスや多様化するクラウドにも柔軟に対応できる革新的ネットワークの実現に不可欠な基盤技術として、ネットワーク制御自動化の基礎技術、及び、ネットワークインフラ上を流通する情報に着目した新たなネットワークアーキテクチャの研究。

・フォトニックネットワーク基盤技術

2020年代に予想されるトラフィック量に対応するための超大容量マルチコア光ファイバネットワークシステムと、急激なトラフィック変動や通信サービスの多様化に柔軟に対応可能な光統合ネットワーク技術、災害発生時にネットワークの弾力的運用・復旧を可能とする災害に強い光ネットワークの技術の研究開発。

・光アクセス基盤技術

5G以降の大量通信トラフィックを収容可能な光アクセスから光コアまでをシームレスにつなぐ光アクセス・光コア融合ネットワーク技術と、エンドユーザへの大容量通信等を支えるアクセス系に係る光通基盤技術の研究開発。

2. 2020年から2030年までのネットワークインフラへの要求

総務省が、2020年から2030年頃までを想定して、ICTを最大限に活用する社会を支えるネットワークインフラを実現するための技術課題、推進方策等を2017年7月に「将来のネットワークインフラに関する研究会報告書」として公表している^[2]。それによると、2020年から2030年頃までのネットワークインフラには、「ミッションクリティカルな様々なサービスを支える社会基盤としての機能」「多様化・高度化するユーザーニーズへの対応」「ネットワークインフラの安全・信頼性の確保」「効率的なネットワークの実現」が必要とされ、「ネットワークリソースの相互共有」「ネットワークスライシング」「エッジコンピューティング」「自動オペレーション」などの技術、及び、トラフィックの伸びに対し、光伝送技術の高度化によるネットワーク資源拡大の重要性が述べられている。さらに、将来のネットワークインフラに求められる主な要求条件として、大容量、省電力化、超低遅延、柔軟性・高弾力性・高効率データ流通、安全・信頼性、という6つが挙げられている。



我々は、それらの要求に応えるべく先進的な研究開発を実施している。具体例を次章に述べる。

3. NICTにおけるネットワークシステムの研究開発

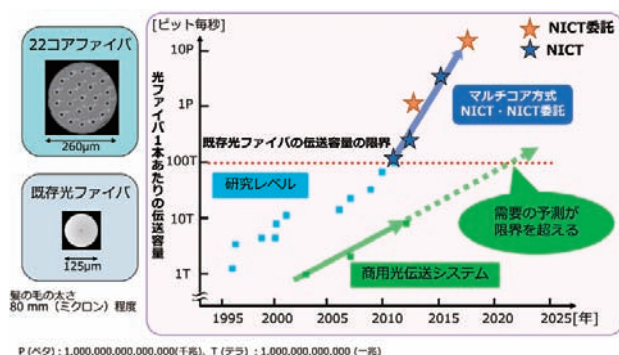
本章では冒頭に述べた、NICTが実施する3つのネットワークシステム領域の研究開発を紹介する。

3.1 革新的ネットワーク技術

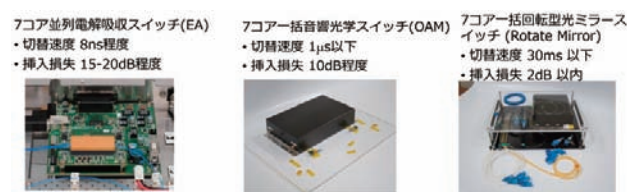
ネットワークを利用するアプリケーションやサービスからの要求を満たすネットワークを提供する技術の研究開発を行っている^[3]。具体的にはネットワーク制御の完全自動化を目指した「ネットワーク構築制御自動化技術」として、各サービスへの仮想ネットワーク資源（リンクの通信速度やサーバの計算能力）の適切な分配、サービス間の資源調停、論理ネットワークの構築等を自動化する技術、ネットワークインフラの構造や通信トラフィック等が変化してもサービスの品質を保証する技術を研究している。また、ネットワークを流通する大容量コンテンツや、ヒトとモノ及びモノとモノの情報伝達等をインターネットプロトコルより効率良くかつ高品質に行うため、データやコンテンツに応じてネットワークの最適な品質制御や経路制御などを行う「新たな識別子を用いた情報・コンテンツ指向型ネットワーク技術」に関する研究を実施している。

3.2 フォトニックネットワーク基盤技術

トラフィックの伸びに対応するため、光伝送技術の高度化によるネットワーク資源拡大の重要性を先に述べた。しかし、伝送技術の進展により、年ごとに増え続けた光ファイバの伝送速度は、2001年を境に増加率が鈍り、毎秒100テラビット近辺が限界と考えられていた^[4]。現在の光通信は、細い糸のような光ファイバ中の1本の光の通路（コア）に、様々



■ 図2. マルチコア光ファイバと伝送能力の伸び

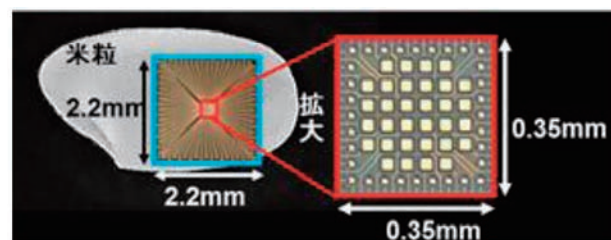


■ 図3. 3種類のコア一括光スイッチ

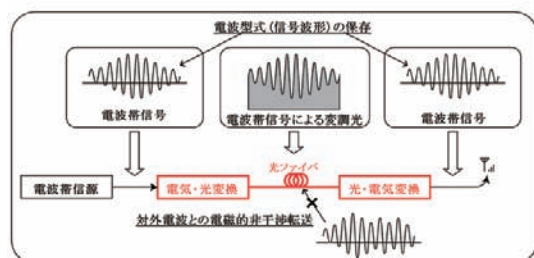
な光信号を送信しているため、コアのエネルギー密度は太陽の表面並みに非常に高く、注入できる信号パワーに限界があり、光信号が歪むことでエラーが生じたり、光ファイバが熱破壊を起こしたりする恐れがあるからである。

我々は、産学との連携により、従来の光ファイバの通信限界を超える、1本の光ファイバに複数コアをもつマルチコアファイバ通信の研究開発を推進し、これまで1本の光ファイバに7から36の光通信路（コア）を収めたマルチコア光ファイバを開発し、2011年に100Tbps超え、2015年に2Pbps超えの伝送実験に成功している（図2）。

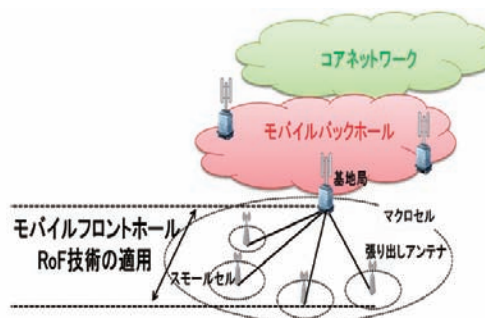
さらに、現在、マルチコア光ファイバで構成された網状の通信路を伝わる情報の経路を自在に設定し、瞬時に変更する交換機能を実現するため、光スイッチシステムの研究開発を進めている。NICTでは、光ファイバで伝送されたパケット信号の経路を切り替える光交換技術において、従来の世界記録を4倍以上更新し、毎秒53.3Tbpsの光パケット信号のスイッチング実験に成功した^{[5][6]}。本実験では、マルチコア光ファイバに接続可能な高速並列光スイッチシステムを開発し、各コア（実験では7コアファイバ）の光信号の一括切替えに成功した。1回の経路切替えに要する時間は80ナノ秒と高速で、1秒間に390万回以上のスイッチングを達成した^[5]。コア一括スイッチにより一括してデータを転送することで、少ない部品点数での大量データ転送や、将来的な小型化・エネルギー効率化への寄与が期待できる。現在、3種類の、切替速度や挿入損失が異なるコア一括光スイッチを開発し（図3）^{[6][7]}、各スイッチの性能特性を活かした新しい光ネットワークシステムの確立を目指している。



■ 図4. 高速集積型受光素子



■ 図5. 光ファイバ無線とモバイルネットワークへの適用



3.3 光アクセス基盤技術

マルチコア光ファイバを流れる大容量の信号は、複数のサービスの情報が多重されたものである。そこに載せられている情報をユーザに届けるためには、いずれ電気信号に変換する必要がある。これまでは光ファイバのコアや波長ごとに別々の光受光素子で受信してきたが、コア数の増加につれ受信器の占有体積が大きくなるため、通信システムの省スペース化のための小型化が望まれている。NICTでは、マルチコア光ファイバ等による光空間多重通信を活かす技術であり、多数の光受信器を集約し、大容量光通信装置の大幅な小型化と低消費電力化が可能となる要素技術として、複数チャネルの光信号を一括受信できる高速集積型受光素子を開発した(図4)。本素子は、32個の受光部を集積した2次元集積型受光素子であり、高密度空間多重通信においてマルチコアファイバやマルチモードファイバとの直結が可能となる。チャネル別に高速に電気信号への変換が可能となり、NRZ (Non-Return to Zero) 変調で25Gbpsの信号をビット誤り率10⁻¹²未満で動作できることを確認した^{[8][9]}。

アクセスネットワークでは、無線通信部の大容量化・高周波化に加えて、いかに効率のかつ素早く無線信号を光ファイバ通信ネットワークに収容するかが課題となっており、光ファイバ無線 (RoF: Radio over Fiber) 技術はその有望な解決技術として期待されている。RoFは、電波帯信号波形そのままに光波に重畳して光ファイバ伝送し、再生する光伝送技術であり、これまで、電波不感地への電波再放射のための中継光伝送技術として実用化されている。移動通信トラフィックの急速な需要成長を背景に、NICTでは、5G以降のモバイルネットワークを支えるために、利用者から見てネットワークの入口であるモバイルフロントホールへの適用を目指して、RoF技術の研究開発を実施している(図5)。我々は、これまで、光信号と75-100GHz、300GHz、1THzという高周波無線信号の相互変換の動作実証に成功している^[3]。

4. おわりに

本稿では、2020年代に必要な課題解決に向かい、爆発的な通信トラフィックの増大、及び、ユーザが求めるサービスの体感品質や環境の多様化に対処するための、NICTにおけるネットワークシステムの研究開発を述べた。将来のネットワークは、様々かつ極端な要求を支えることが求められている。例えば、映像データを送信するサービスに着目しても、8K高精細映像を1000万人ユーザに配信する同報性や信頼性、遠隔医療やビジネス会議の場で用いるインタラクティブ性、監視データを集めるための安全性(秘匿性)など、異なる性質の性能を求められる。

我々は、将来のネットワークのための技術開発を推進し、人々の安全で創造的な生活を支えたい。そのため、現在我々が実施している研究開発技術(革新的ネットワーク技術、フォトニックネットワーク基盤技術、光アクセス基盤技術など)の確立とその普及が必須であると確信している。

参考文献

- [1] Cisco VNI Global IP Traffic Forecast, 2015-2020.
- [2] 総務省「将来のネットワークインフラに関する研究会 報告書」2017年7月18日.
- [3] 平成28年度 情報通信研究機構年報 (online), 2017年9月.
- [4] NICT報道発表「光ファイバ1本の伝送容量109テラビットの世界記録を樹立」2011年3月10日.
- [5] NICT報道発表「光交換の世界記録、毎秒53.3テラビット光信号の高速スイッチング実験に成功」2017年10月2日.
- [6] J. M. Delgado Mendinueta et al., ECOC 2017 (Th.PDP.B.3), 2017年9月.
- [7] R. S. Luis et al., ECOC 2017 (Tu.2.F.5), 2017年9月.
- [8] NICT報道発表「世界初、多数の光信号を同時に電気信号に変換する高速集積型受光素子を開発」2017年9月14日.
- [9] T. Umezawa et al., ECOC 2017 (P1.SC2.29), 2017年9月.