

# 2 世界におけるフォトニックネットワーク 研究開発の現状

## 2 R&D Activities of Photonic Networks in the World

北山研一

KITAYAMA Ken-ichi

### 要旨

ブロードバンドサービスの急速な普及に伴い、トラフィックの急増に対する備えが万全かと言えば、その答えは否であろう。Future-proof な 21 世紀の通信インフラを構築するためには、フォトニックネットワークの研究開発に対して、今後より一層の充実が求められている。本稿では、国家の支援の下に実施されているフォトニックネットワークに関する中長期的スパンの研究開発プログラムに焦点を当て、国内、米国、欧州のプロジェクトを幾つかピックアップして紹介する。

With full-scale deployment of broadband services, a future-proof 21st-century network, which is based upon innovative photonic network technologies, has to be built to cope with the rapid growth of IP traffic. In this paper, R&D programs supported by national institutes in Japan, United States, and European Union are introduced.

### [キーワード]

フォトニックネットワーク, 研究開発, 日米欧  
Photonic network, R&D, Japan, US, EU

## 1 まえがき

我が国では FTTH のユーザ数が 500 万を超え、2010 年には 3,000 万の加入が見込まれている。最近、トリプルプレイと呼ばれる IP 電話、インターネット、それに動画配信を加えたブロードバンドサービスが急速に普及しつつある。特に IP 電話やインターネットに比べてはるかに大きい帯域を要する動画は、ストリーミングと peer-to-peer アプリケーションの普及によって、今後トラフィックの爆発的な増加をもたらす可能性がある。既に我が国では、中継系の光ファイバの伝送容量の未利用率が従来の 65 % から減少傾向が続き、ルーターの処理能力にも不足の懸念が指摘されており<sup>[1]</sup>、トラフィックの急増に対する備えが万全かと言えばその答えは否であろう。

今やフォトニックネットワークが 21 世紀の通信インフラを支えるコア技術であることに疑いを挟む余地はないであろう。『光』の研究開発は、90

年代後半には終わったのではないかという声すら聞かれたが、その後のインターネットの普及により、トラフィックがムーアの法則 (約 10 倍/5 年) を上回るペースで増大し続ける中で様相が一変した。WDM 技術の進展によって、光ファイバ 1 本当たりの伝送容量は約 4 倍/年 (ギルダールの法則とも呼ばれている。)<sup>[2]</sup> の伸びを保証できるようになり、伝送容量だけを取って見れば問題はなさそうであるが、問題はルーターにある。電気ルーターの処理能力の伸びはムーアの法則に従うので、設置スペースと消費電力が限られている現実的な環境下では、やがてはルーターがネットワーク全体のボトルネックとなることが懸念される。このボトルネックを解消することはネットワークレイヤだけでは不可能であり、いわゆる革新的な光レイヤの技術を融合することによってソリューションを得なければならない。欧米に目を転じて見ればブロードバンドサービスの普及が日本ほど進んでいないため、フォトニックネットワークの研究開

発に対する姿勢にはやや温度差はあるものの、重要な課題という認識には変わりがない。本論文では、国家の支援の下に実施されているフォトニックネットワークに関する中長期的スパンの R & D プログラムに焦点を当て、国内、米国、欧州のプロジェクトを幾つかピックアップして紹介する。

余談になるが、旧 CRL でフォトニックネットワークの研究の取組が始まったのは 90 年代半ばからであり、当時としては後発の感は否めなかった。しかしながら、他との差別化を意識し国研ならではのユニークでチャレンジングな研究テーマを追求し、それらが 10 年後の現在の NICT で見事に実を結びつつある。中でも本特集号にある光 CDM や光パケットスイッチングなどは、当初から取り組まれてきたテーマであり、先導性を示す証左として高く評価されるべきであろう。その意味では、NICT のフォトニックネットワークの研究は、国研のロールモデルとしてその役割を十分に果たしていると言っても過言ではないであろう。

## 2 国内の研究開発の動向

我が国では総務省が、e-Japan 重点計画 2003 において以下の三つのフォトニックネットワークに関する基盤技術を 2005 年までに確立し、2010 年ごろを目途にこれらの実用化を図ることとした。

- ・光ファイバ 1 芯当たり 1000 波の多重化が可能な高度な WDM
- ・10 Tbps の光ルーターを実現する光ノード技術
- ・テラビット級の光ネットワークの実現に必要な制御・管理技術

これらの目標を達成するために、情報通信研究機構(NICT) (開始時は通信・放送機構(TAO))が、主立った通信キャリア、ベンダー、大学の参画を得て、下記の四つの委託研究を推進し 2005 年 3 月をもってすべて終了した。

- ・トータル光通信技術の研究開発(1996~2005 年)
- ・フォトニックネットワークに関する光アクセス網高速広帯域通信技術の研究開発(2000~2005 年)
- ・光パーストスイッチングを用いたフォトニッ

クネットワーク技術の研究開発(2001~2005 年)

- ・テラビット級スーパーネットワーク(2002~2005 年)

一方、経済産業省でも新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO 技術開発機構)を通じて、以下の二つの委託研究を推進してきた。

- ・フォトニックネットワークのためのデバイス(2002~2006)
- ・フェムト秒テクノロジー(1995~2004)

これらの国家プロジェクトによって、フォトニックネットワークの要素技術である、リンクの伝送技術及びノードのクロスコネクストスイッチ技術の目標はほぼ達成されたと言える。しかしながら、フォトニックネットワークを実使用に耐え得るものにするためには、研究開発のパラダイムをシフトさせ、ネットワーキングの視点からこれまでの成果をインテグレートするという総仕上げの研究開発課題が残されている。今後の研究開発では、e コマース、e サイエンス、ネットワークストレージ、e 教育、e 医療・看護、ネットワークエンタテインメントなどの様々なネットワークアプリケーションを普及するための利用技術と開発環境となるフォトニックプラットフォームを提供するという視点が重要である。一方、最近発表された次世代 IP インフラ研究会の第 1 次報告書[1]では、我が国の IP インフラについて以下のような問題点が指摘されている。フォトニック技術はこのような直面する問題に対するソリューションも提供するという視点も重要である。

- ・ネットワーク全体の利用効率を考えたトラヒック制御が不十分
- ・複数事業者のネットワーク間の品質保証は欠如
- ・経路情報の信ぴょう性が不十分
- ・トラヒック交換の東京一極集中

このような状況をかんがみ、超高速フォトニックネットワーク開発推進協議会では 2003 年 8 月から約半年をかけ、2006 年以降の次世代フォトニックネットワークに関する研究開発の課題について提言を報告書『フォトニックフェーズ II』[3]にまとめた。これらの提言はその後、総務省『21 世紀ネットワーク基盤技術研究推進会議』の報告書[4]に盛り込まれ、平成 18 年度概算要求として

施策に反映されている。図1には報告書に盛り込まれている以下の主要な四つの研究開発課題を示している。

- ・ λユーティリティ
- ・ λアクセス
- ・ 多粒度データに対するスイッチングが可能なフォトニックノード
- ・ 極限フォトニックネットワーク

### 3 欧米の研究開発の動向

#### 3.1 米国

米国では DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) の MTO ( Microsystems Technology Office) の支援の下に、“Data in the Optical Domain Networks (DOD-N)”等のハイリクス・ハイリタンの研究課題への挑戦を進行している。その中で、カリフォルニア大学サンタバーバラ校を中心とする LASER (Label Switched Optical Router) とルーセント・ベル研究所を中心とする IRIS (Integrated Router Interconnected Spectrally) という二つの光パケットルーターのプログラムが競い合っている [5]。2004 年に開始された 4 年間のプログラムで、スループット 100 Tb/s、40 Gb/s のインターフェスを備えたパケットルーターを目指している。いずれも波長変換と波長空間分離デバイスによってパケットの衝突を

回避するという転送プロトコルを採用しているためアーキテクチャや転送プロトコルに目新しさはないが、むしろ高アジリティ波長可変レーザと波長変換器及び駆動回路を高密度に集積したプロセスチップの実現に軸足を置いていると言える。現在のところ入出力ポート数 2×2 ではあるが、モノ作りは着実に進展しているようだ。

OptIPuter (Optical networking, Internet Protocol, computer storage, processing and visualization technologies) は LambdaGrid によってグローバル規模で分散するコンピューティングパワーを有効利用できるインフラを構築しようという壮大な試みであり、2003 年以降米国 NSF (National Science Foundation) の援助の下に、カリフォルニア大学サンディエゴ校、イリノイ大学シカゴ校が中心となり進められている [6]。目標とするのは、世界中の気象観測や計算物理などのテラバイト、ペタバイト級のデータを光ネットワークを通して相互に交換し可視化したり、分散されたデータベースと照合したりできる環境を提供することにある。ネットワークの帯域は制限なく利用できるという前提に立った斬新なコンピュータアーキテクチャであると言えよう。National LambdaRail は研究教育のために、参加する研究機関が自ら所有し運用する全米規模の光ネットワークテストベッドである 32 波 DWDM で総延長 24,000 km のダークファイバを東西に 2 ルート張

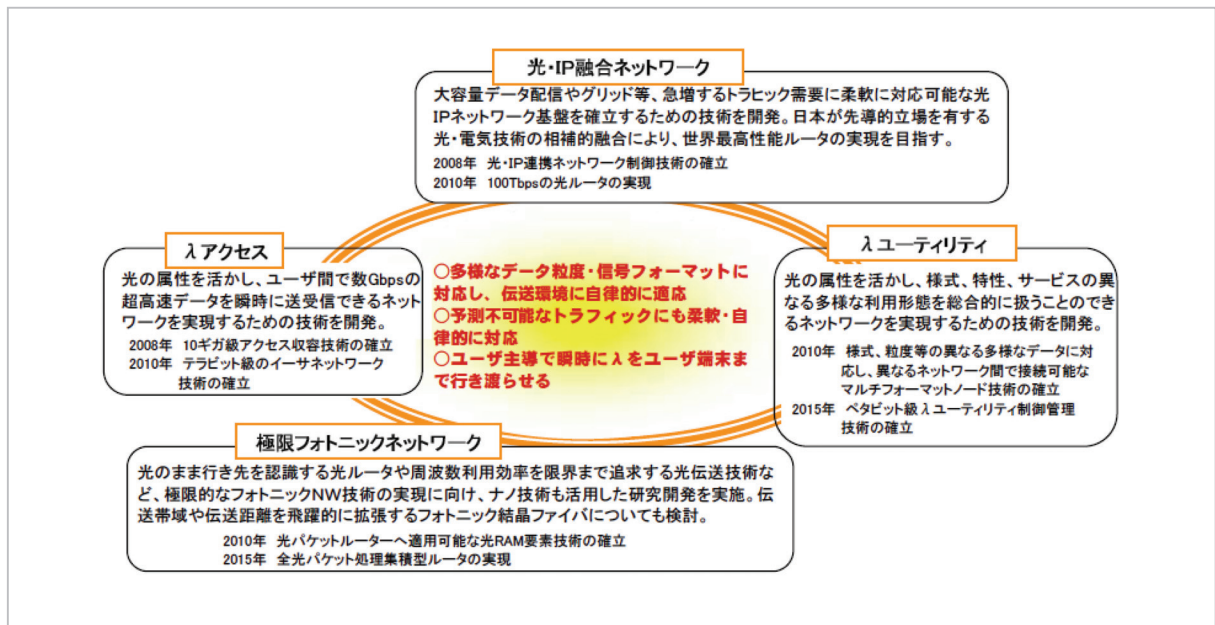


図1 主要な研究開発課題

り巡らせ、デューク大学など全米の主な大学やピッツバーグスパコンセンターを結び、ノード間に 10 Gbps の波長パスや 10-gabit イーサネット LAN PHY サービスを提供している[7]。

一方では、将来のインターネットのパラダイムを探求するイニシアティブ NSF (National Science Foundation) の GENI (Global Environmental for Networking Investigations, <http://www.geni.net/index.php>) が動き出している[8]。インターネットが抱えるセキュリティが脆弱、リソースの可用性の保証が困難、ネットワーク管理が困難、モビリティに対応が困難といった幾つかの問題点を克服するため、現在のインターネットのアーキテクチャをいったん清算し、新たなチャレンジを目指すと言っている。GENI では光デバイスの集積化技術や光ネットワークのブレイクスルー技術を積極的に取り込むとうたっている。

### 3.2 欧州

EU (European Union) では e-Europe 2005 行動計画において Broadband for All という目標を掲げ、ブロードバンド普及のための研究開発に力を注いでいる。国によってそれぞれ事情が異なるた

め、光ファイバ以外の固定無線アクセス、CATV、衛星、xDSL、電力線まで幅広いアクセス技術を選択肢とし、装置の規格の標準化や通信規制の統一によって欧州全域に低廉な価格のブロードバンドサービスの実現を目指しているのが特徴といえる。フォトニックネットワーク関連の研究開発は IST (Information Society Technologies) の第 6 次 Framework Program (FP6) で多種多様なテーマを掲げて多くのプログラムが遂行されている。それらの主なプログラムを表 1 に掲げる。NOBEL はコア、メトロネットワークに関するアーキテクチャから伝送、スイッチング、部品・デバイスを包括する総合的なプログラムであり、33 機関が参画し 2004-2005 年の 2 年間のプログラムである。このほかに、全光ラベル処理ノード技術に関する LASAGNE や、ワイヤレス融合アクセス技術に関する GANDALF など、ユニークなテーマに関するプログラムまでバラエティーに富んでいる。

また、研究教育用ネットワークテラビットの整備にも力を入れており、GEANT2 は欧州大陸の 34 か国、30 の国立研究教育機関を結ぶネットワークテストベッドであり、主にダークファイバを用い、2.4-10 Gbps の WDM ネットワークが構築されつつある。欧州の研究開発の一般的な特徴と

表1 主なプログラム

名称	タイプ	期間	予算	備考
NOBEL	総合プロジェクト (IP: Integrated proj.)	04.1~05.12 (24months)	13.7M €	Next generation optical networks for broadband European leadership
e-Photon/One	NoEプロジェクト (Network of excellence)	04.2~06.1 (24months)	2.9M €	Optical Networks: Towards Bandwidth manageability and cost efficiency
GANDALF	特定目的プロジェクト (STREP: Specific targeted research proj.)	04.1~05.12 (24months)	1.9M €	Gigabit access network using remote delivery optical feeder for heterogeneous broadband wireless and wireline nodes
LASAGNE	特定目的プロジェクト (STREP: Specific targeted research proj.)	04.1~06.12	2.7M €	All-optical label swapping employing optical logic gates in network nodes
BREAD	連携プロジェクト (Coordination proj.)	04.1~06.06 (30months)	1.7M €	Broadband in Europe for all: A multi-disciplinary approach



して、技術のオルターナティブに対するポートフォリオが確実である、基礎研究の重視とテーマの持続性、欧州全域にポストクなどの人材の流動化策が整っていることなどが挙げられよう。

## 4 むすび

本稿では、国家の支援の下に実施されているフ

ォトニックネットワークに関する中長期的スパンの研究開発プログラムに焦点を当て、国内、米国、欧州のプロジェクトを幾つかピックアップして紹介した。一方では、将来のインターネットのパラダイムを探求する GENI のようなイニシアティブも動き出しており、我が国のフォトニックネットワークの研究開発もこのような新たな潮流にも目を向けながら、他より一歩先んじる布石を打つことも忘れてはならない。

### 参考文献

- 1 総務省, 次世代IPインフラ研究会 第一次報告書 ([http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040608\\_3.htm](http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040608_3.htm)).
- 2 G.Gilder, "Telecosm: How Infinite Bandwidth Will Revolutionize Our World", The Free Press, New York, 2000.
- 3 超高速フォトニックネットワーク開発推進協議会より近々に公開予定. (<http://www.scat.or.jp/photonic/index.html>)
- 4 総務省, 21世紀ネットワーク基盤技術研究推進会議報告書 ([http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/050728\\_8.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/050728_8.html)).
- 5 International Workshop on the Future of Optical Networking (FON), OFC2007 (Anaheim, March, 2007) ではアジア, 欧米諸国のフォトニックネットワークの研究開発の動向が紹介された。講演資料は下記の URL よりダウンロード可能である. (<http://www.cse.buffalo.edu/~qiao/workshop/FON/programs.html>).
- 6 T.DeFanti, M.Brown, J.Leigh, O.Yu, E. He, J.Mambretti, D.Lillethun, and J.Weinberger, "Optical Switching Middleware for the OptIPuter", Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE) Transactions on Communications (special issue on Photonic IP Network Technologies for Next Generation Broadband Access), Japan, Vol.E86-B, No.8, pp.2263-2272, Aug. 2003.
- 7 National LambdaRail (<http://www.nlr.net/about.html>).
- 8 GENI (<http://www.geni.net/index.php>).



きたやまけんいち  
北山研一

大阪大学大学院工学研究科教授 工学  
博士  
フォトニックネットワーク