

持続的発展可能な情報通信ネットワークと光ネットワーク技術の役割

Role of Optical Network Technologies that Allow Sustainable Evolution of Information and Communication Networks

佐藤健一

Abstract

情報通信による社会の省エネ化には大きな期待が寄せられている。その一方、将来的なトラフィックの増加とともにネットワークで消費される電力が急増することが予測されている。現在のネットワークにおける消費電力の大半は加入者系に起因するが、将来的に最も大きな伸びが予測されるのはコア/メトロにおけるルータ機器の消費電力である。しかしながら、シリコンテクノロジーの進展は既に飽和傾向にあり、年率40%のトラフィック増に対応する低消費電力化は困難である。将来的に持続的発展が可能な通信ネットワークを構築するためには、パラダイムの変革が必要である。光ネットワーク技術並びに光デバイス技術は、通信の大容量化のみならず低消費電力化においても必須の技術であり、今後ますますの発展が期待される。

キーワード：低消費電力化、ネットワーク、光技術、フォトニックネットワーク

1. はじめに

2020年までに温室効果ガスの25%削減(1990年比)という目標が発表され、今後、関連分野における研究開発が加速される状況にある。情報通信技術の発展は、将来的に温室効果ガスの削減に大きな役割を果たすことが期待される一方、現状のインターネット技術を前提とすると、トラフィックの増大により、ルータ・サーバ等の消費電力がボトルネックになることが予測されている。情報通信社会の今後の継続的な発展を可能とするためには広範囲な技術開発が必要となり、世界各国の通信キャリア、サービスプロバイダ、ベンダもグリーンICTの実現に向けて様々な技術開発を行っている。本稿では、省エネ化の観点で大きな役割が期待されている情報通信ネットワーク技術の位置付け、課題、低消費電力化の施策を述べるとともに、それ自身の低消費電力化において、将来キーとなる光ネットワーク技術の役割を述べる。

2. エネルギー消費におけるICTのインパクト

グリーンICTに関しては多くの異なる視点があるが、ここではICTが消費する電力に焦点を当てる。ICTの使用フェーズにおけるフットプリントについては各種の試算があるが先進国では5~8%程度と見積もられている。日本においては2012年のICTの電力消費は570億kW・hと予測され⁽¹⁾、その中で通信ネットワーク関連は約50%程度、全消費電力の約3%を占めると見積もられている⁽¹⁾。一方、ICTによる全エネルギー消費量削減効果は日本では2012年度に5%程度⁽¹⁾、2025年で約10%程度⁽²⁾との試算もある。すなわちICT技術の進展が社会全体のエネルギー消費量の削減に大きく貢献することが認識されている。一方、世界的に年率50%程度の継続的なトラフィックの増大が今後も続くとは仮定すると、ネットワークが消費するエネルギーも将来的に指数関数的に増加することが予想される。図1にドイツテレコムが試算した通信ネットワークの消費電力の推移⁽³⁾を示す(年率40%のトラフィック増を仮定)。現状ではネットワークの消費電力の大半はアクセス系で消費されており、アクセス系では今後のブロードバンド加入者数の増加により消費電力の増加が考えられるが、実際は現行の

佐藤健一 正員：フェロー 名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻
E-mail sato@nuee.nagoya-u.ac.jp
Ken-ichi SATO, Fellow (Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya-shi, 464-8603 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.93 No.8 pp.654-658 2010年8月
©電子情報通信学会 2010

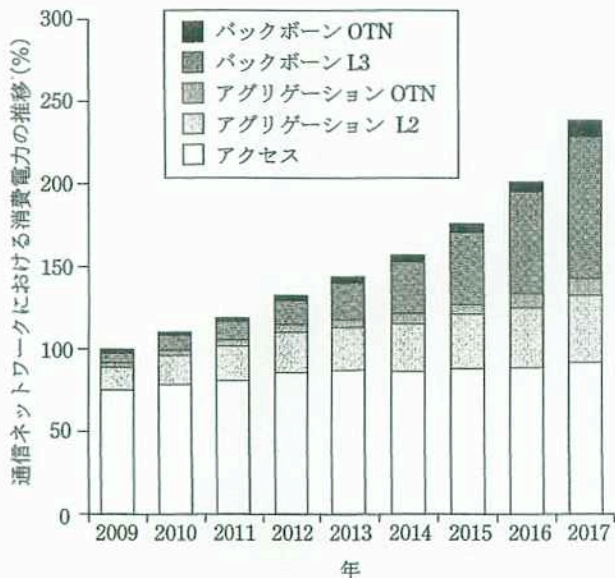


図1 通信ネットワークにおける消費電力の推移⁽³⁾

xDSL から FTTx へ徐々に移行することによる大幅な消費電力の削減効果に相殺され、加入者系全体での消費電力はほぼ一定と見積もられている。FTTH の普及率が高い日本においても現状のアクセス系での電力消費はネットワーク全体の消費電力の 60~80% を占めると見積もられている⁽⁴⁾。図1におけるもう一つの重要なポイントは、アクセス系に比べて将来はバックボーンとアグリゲーション(トラフィック集約)におけるレイヤ3/レイヤ2の転送機器(IP ルータ/イーサネットスイッチ)による消費電力が大幅に増大することである。同様な検討は各機関で行われており、メルボルン大学の J. Baliga らの試算によると、現状の技術を用いた場合にアクセス速度 10 Mbit/s で世界の人口の 1/3 がインターネットを利用するとその消費電力(大半がルータ部分)は現在の世界の総発電量の約 6 割に達すると見積もられている⁽⁵⁾。日本においてもこのままトラフィックが増加し続けた場合、2020 年まで LSI の駆動電圧の低下が継続し、その時点での駆動電圧を 0.8 V、それ以降の低下を困難と仮定した場合、2035 年にはルータの総消費電力が、2007 年の日本の総発電量に達するという試算が示されている⁽⁶⁾。すなわち、今後も世界的に普及が拡大すると考えられるブロードバンドインターネットによる通信トラフィックの増加は、人口の増加、交通量の増加、その他の社会的な各種の拡大要因の中でも増加率が抜きんでおり、現状では通信ネットワークが消費する電力は数%であるものの、将来的には極めて大きな割合となり、言い換えれば抜本的な低消費電力化技術を導入しない限り、インターネットの規模拡大は将来的に限界に達すると考えられる。

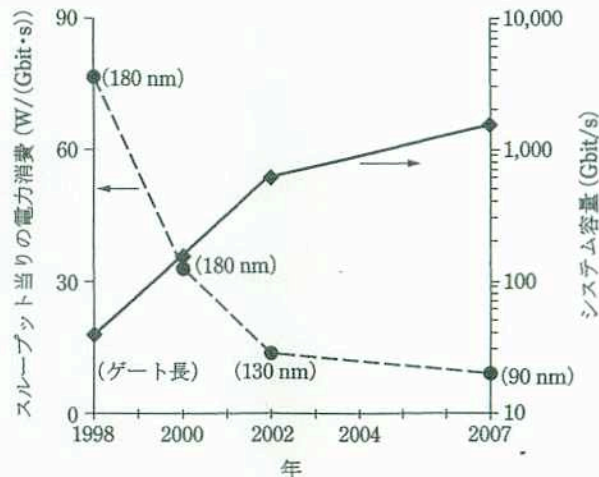


図2 コアルータのスループットとスループット当りの消費電力の例

3. グリーン化に向けた通信機器の省エネ化の推進

前述のように ICT に関しては ICT 自体の省エネ化の課題 (Green of ICT と呼ばれる) とともに、ICT の進展が社会の省エネ化に解決策の一つを与える (Green by ICT と呼ばれる) 側面がある。ITU-T (International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector) においても、ICT サービスによるエネルギー消費削減効果を重視し、それを推進するために ICT による省エネ化のインパクトを計測する、国際的に合意された共通の手法を明らかにするための Focus Group (FG) を 2008 年 7 月に設立し、積極的な活動を開始した^{(7), (8)}。ICT 自体の省エネ化に関しても、世界各国でグリーン化に向けた通信機器の省エネ化施策が推進されている。日本では 1999 年施行の改正省エネ法 (エネルギーの使用の合理化に関する法律) で導入されたトップランナー制度⁽⁹⁾ (特定機器の省エネルギー基準を、各々の機器において基準設定時に商品化されている製品のうち、最も省エネ性能が優れている機器の性能以上に設定する制度) により、特定の機器に対する低消費電力化が法律として義務付けられている。そこには、小形ルータ、L2 スイッチ、サーバ等の ICT 機器も含まれている。EU においては、省エネの自主的な目標値として、Code of Conduct⁽¹⁰⁾ を制定、北米では主要キャリアの一つ Verizon が自社に導入する通信機器の省エネ基準を設定した、TEEER Requirements (Telecommunications Equipment Energy Efficiency Rating Requirements) を制定し⁽¹¹⁾、2009 年以降はそれまでより 20% 以上省エネ化された装置のみ導入することを発表している。

上記の取組みはベンダが開発する装置の低消費電力化を加速する上で重要であるが、以下に述べる CMOS 技

術の進展の動向を考慮すると、数けたにのぼるトラフィック増に対応する低消費電力化を達成するためには、将来的なネットワークのパラダイムシフトが重要と考えられる。

4. 通信網構築技術と消費エネルギー

図2にJuniper社のコアルータのスループットと単位スループット当りの消費電力の推移を示す⁽¹²⁾。スループット並びに電力効率の向上が共に近年飽和傾向にあることが分かる。現状のコアルータの消費電力はラック当りの許容限界(15~20kW)にほぼ達しており、更なるスループットの拡大には何らかの抜本的な解決策が求められている。図3に大容量コアルータの消費電力の内訳例を示す⁽¹³⁾。ルータの消費電力はそのアーキテクチャに依存するが、電源のロス並びに冷却に要するパワー(これらはほかが削減されれば自動的に小さくなる)を

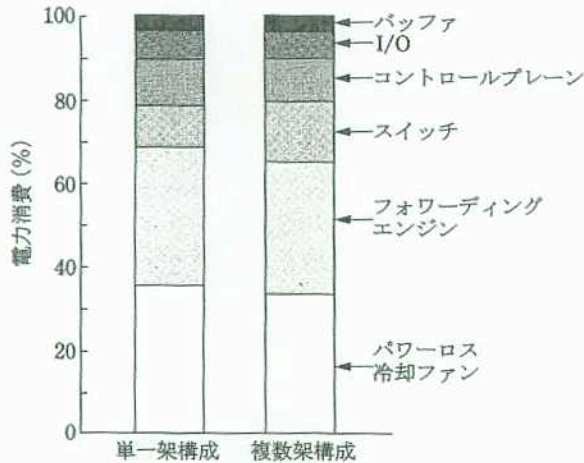


図3 大容量コアルータの消費電力の内訳例

除けば、IPパケットのルーチング処理に必要な電力が全体の半分以上を占めていることが分かる。このような状況で、ルータのコストと消費電力の観点から、ルータを低位レイヤの転送によりカットスルー(通過)する方式の導入がコア/メトロネットワークにおいて進展し始めている。図4に各種の転送方式におけるルーチングの粒度と電力効率(ギガビット当りの消費電力)の関係を示す⁽¹⁴⁾。L2スイッチやL1のODU(Optical Data Unit)クロスコネクタ、光バスクロスコネクタを用いてルータをカットスルーすることにより、IPルータと比較して抜本的なネットワークの低消費電力化が図れることが分かる。北米のキャリアVerizonにおいては、P-OTP(Packet Optical Transport Platform, パケットアウェアなL2/L1トランスポート)によるL3のカットスルー⁽¹⁵⁾、ドイツテレコムにおいてはODUクロスコネクタによるL3のカットスルー⁽¹⁶⁾が進展しつつある。もちろん、ルータとL2/L1のルーチング機器はその転送メカニズムが異なるため、カットスルーが有効なのはトラフィックが十分にアグリゲートされた領域、あるいは将来の高ビットレートの映像などの比較的バースト性の小さい情報の転送である。将来のトラフィックの大半を占めると考えられる高ビットレートの映像情報の転送において、IPルータをカットスルーすることは極めて効果的である。このような時代には、L1でのカットスルー技術として電気レイヤを用いるのではなく光レイヤでの転送が重要になると考えられる⁽¹⁴⁾。更にトラフィックのダイナミックな変動への適用が必要となり、光バスの高速スイッチング技術(高速光バス/光回線交換)も重要になると考えられる⁽¹⁴⁾。これを実現するためには、図5に示すように、現在の光バスレイヤ技術を進展させた、光バスを複数束ねてルーチングする波長群を導入した光バスレイヤ機能の拡張が有効であり、ネットワークアー

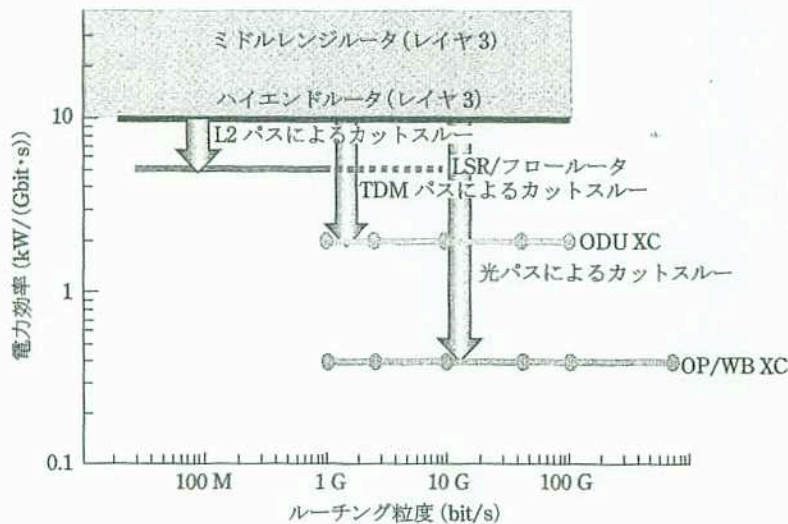


図4 各種ネットワーク機器のルーチング粒度と電力効率

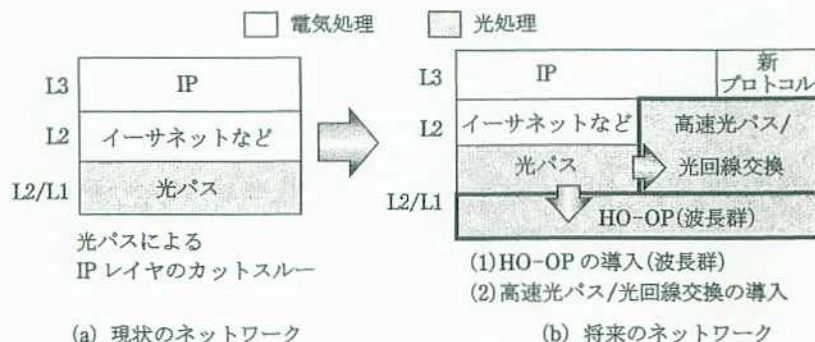


図5 光パスレイヤ技術の進展

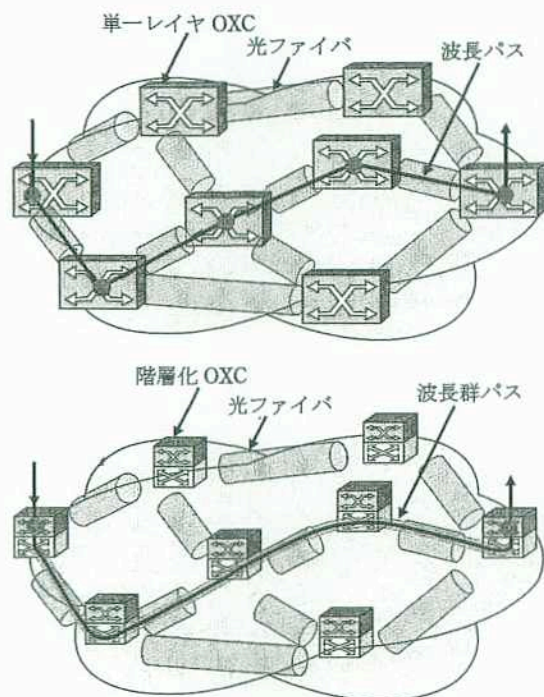


図6 波長群による光パス/光回線のトンネル化

キテクチャ、収容設計技術、ノードハードウェアなどに関する技術開発が積極的に進められている^{(14),(17),(18)}。

波長群を利用することにより、単一レイヤの光パスでのルーティングに比べノードのスイッチ規模を大幅に削減することができる^{(14),(18)}。また、図6に示すように、波長群を用いることにより光パス/光フロー/光回線に対して対地までの直通パスを設定することが可能となり、経路する途中のノードでのシグナリングを簡略化でき、設定時間の大幅な短縮が図れる(従来の交換機とクロスコネクタの関係と同じ)。一方、階層化光パスネットワークにおける収容設計は単一レイヤでの波長パスのルーティング並びに波長割当問題に加え、波長群の設定(始点終点の決定)、波長レベルでの編集の最適化などを含み難易度が高いが、いったん効率的な設計アルゴリズムが開発されればその問題は消失する⁽¹⁴⁾。

5. ま と め

情報通信ネットワーク技術は社会の省エネ化に大きな貢献をすると期待される。光技術はアクセス系、メトロ/コア系を問わずネットワークの低消費電力化、更には、通信機器の低消費電力化を進める上で重要な役割を演じる。またそこで用いられる通信用光デバイス自体の低消費電力化も進展している⁽¹⁹⁾。光技術は通信ネットワークの継続的な発展にとって、通信の大容量化のみならず低消費電力化においても必須の技術であり、今後ますますの発展が期待される。

謝辞 本稿の作成には一部、CREST (JST) 並びに NEDO の支援を受けた。

文 献

- (1) 経務省, 地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会報告書, 平成 20 年 4 月。
- (2) 経済産業省商務情報政策局グリーン IT イニシアティブ資料, 平成 20 年 5 月。
- (3) C. Lange and A. Gladisch, "Energy consumption of telecommunication networks—A network operator's view," Presented at OFC/OFOEC 2009, Workshop, OSuB-Energy Footprint of ICT, 2009.
- (4) A. Otaka, "Power saving ad-hoc report," IEEE 802.3 Interim Meeting Seoul, South Korea, Sept. 2008.
- (5) J. Baliga, K. Hinton, and R.S. Tucker, "Energy consumption of the internet," COIN-AOTF 2007, no. WeA1-1, Melbourne, Australia, June 2007.
- (6) 扶間壽文, "インターネットトラフィックと ICT エネルギーの課題," OPTRONICS, vol. 29, no. 337, pp. 139-143, Jan. 2010.
- (7) <http://www.itu.int/ITU-T/focusgroups/climate/>
- (8) Y. Somemura, T. Origuchi, Y. Sugiyama, R. Kobayashi, S. Nishi, and T. Sawada, "Standardization activities on ICTs and climate change in ITU-T," NTT Technical Review, vol. 7, no. 9, pp. 1-7, Sept. 2009.
- (9) <http://www.enecho.meti.go.jp/policy/saveenergy/save03.htm>
- (10) Code of conduct on energy consumption of broadband equipment, Version 3, Nov. 2008.
- (11) Verizon Technical Purchasing Requirements, VZ. TPR. 9205, Issue 4, Aug. 2009.
- (12) L. Ceuppens, "Planning for energy efficiency networking in numbers," OFC/OFOEC 2009, Workshop, OSuB-Energy Footprint of ICT, San Diego, March 2009.
- (13) R. Tucker, Presented at Photonics in Switching, San Francisco, Aug. 2007.
- (14) K. Sato and H. Hasegawa, "Optical networking technologies that will create future bandwidth abundant networks," Journal of Optical

Communications and Networking, Special Issue on Optical Networks for Future Internet, vol. 1, no. 2, pp. A81-A93, July 2009.

- (15) S. Elby, "Bandwidth flexibility and high availability... and ROIC," OFC/NFOEC 2009, Service Provider Summit, San Diego, March 2009.
- (16) F.-J. Westphal, A. Gladisch, and M. Gunkel, "Hierarchy and dynamics of optical networks," Symposia 4, ECOC 2009, Vienna, Sept. 2009.
- (17) K. Sato, "Recent developments in and challenges of photonic networking technologies," IEICE Trans. Commun., vol. E90-B, no. 3, pp. 454-467, March 2007.
- (18) K. Sato and H. Hasegawa, "Prospects and challenges of multi-layer optical networks," IEICE Trans. Commun., vol. E90-B, no. 8, pp. 1890-1902, Aug. 2007.
- (19) 阿部雄二, 中村 滋, 石坂政茂, "通信用光デバイスの低消費電力化," OPTRONICS, vol. 29, no. 337, pp. 159-163, Jan. 2010.

(平成 22 年 3 月 11 日受付 平成 22 年 3 月 29 日最終受付)



まとう けんいち
佐藤 健一 (正員:フェロー)

1978 東大大学院工学系研究科電子工学専攻修士課程了。同年 NTT 横須賀電気通信研究所入社。2004-04 から名大教授。光ファイバ伝送システム, ATM 伝達方式, フォトニックネットワーク等の研究開発に従事。本会論文賞, 業績賞, 通信ソサイエティ論文賞, 文部科学大臣賞等各受賞。著書, 「Advances in Transport Network Technologies」(Artech House), 「広帯域光ネットワーク技術」(電子情報通信学会), その他多数。IEEE Fellow, NTT R & D フェロー。



平成 22 年 9 月号小特集

「ビジョンコンピューティングにおける確率的情報処理の展開」予定目次

小特集編集にあたって.....	編集チームリーダー 田中和之
1. 確率的画像推論と統計的学習理論の基礎と最近の展開.....	田中和之 片岡 駿 安田宗樹
2. 画像領域分割の確率モデルと脳の視覚情報処理.....	三好誠司 岡田真人
3. 多重解像度画像からの特徴抽出.....	大町真一郎
4. 不確実性を手なずけるベイズ統計推測による画像超解像.....	兼村厚範 前田新一 福田 航 石井 信
5. 画像・映像意味理解の現状と検索インタフェース.....	長谷山美紀
6. 無限混合分布を用いたクラスタリング.....	栗原賢一
7. ベイジアンネットワークによる日常生活行動モデリング.....	本村陽一