



学生のページ

# 光スイッチング技術

行松 健一

行松健一：正員 NTT ネットワークサービス  
システム研究所

Photonics in Switching. By Ken-ichi YUKIMATSU, Member (NTT Network Service Systems  
Laboratories, Musashino-shi, 180 Japan).

## 1. はじめに

光ファイバの広帯域性と低損失性を利用する光伝送技術の進展は目覚しく、今ではネットワークを構成する上での必須技術となっている。公衆網では長距離大容量の中継系だけでなく、加入者を収容するためのアクセス系にも光伝送技術が使われようとしている。一方「光スイッチング」の方はどうか？残念ながら現時点で実用光交換システムというものはなく、いくつかの研究機関で要素技術に関する基本的な実験が行われている段階である。本稿では、まず、「光スイッチング」技術とは何かについて考察し、その後、二つの代表的な技術を紹介したい。

## 2. 光スイッチングとは

「光スイッチング」または「光交換」という言葉は恐らく「光伝送」に対応して生まれた言葉であろう。その目的が「伝送路の光信号を電気信号等に変換せず、そのままの形で交換することであり、システム内部で光/電気変換をもつものは「光」交換システムではないとするなら、今後もその実用化は難しいといわざるをえない。そもそも「何のために」という議論が必要である。初期のころ、通信網の中の交換システムの出入り口の光/電気変換の削減による経済化という議論があったが、そのために高価な光スイッチを使うとすれば本末転倒である。

では、交換システムにおける「光スイッチング」の研究の目的は何か？現在多くの光スウィ

ッチング研究者は、その目的を「光技術を適用してシステムの機能/性能/経済性を飛躍的に高める」ことと考えている。1987年から開催されている光スイッチング国際会議の英語名称が当初 Topical Meeting on Photonic Switching であったのが、1993年からは Topical Meeting on Photonics in Switching と変更されたのは、この間の研究者の意識/姿勢の変化を反映したものである。

通信網の広帯域化、マルチメディア化に伴い、交換システム、特にハードウェアに要求される機能/性能は、年を追うごとに高くなっている。LSIに代表される電子技術だけで将来必要な機能/性能を満たすことは不可能である。そのような認識の下で、将来の電子技術のボトルネックは何か、光技術の何をえばそのボトルネックを解消できるか、そのために解決すべき課題は何か、という最近のアプローチは自然であり、光技術を専門としない研究者にも受け入れやすいものとなっている。換言すれば、光スイッチングは多くの分野の研究者が注目する研究分野に発展しつつある。以下に最近注目されている二つの技術について紹介し、電子技術のボトルネック、適用する光技術、解決すべき課題の3点を整理する。

## 3. フリースペース光スイッチング

フリースペース光スイッチングは図1のように光入出力を含む単位素子が2次元状に並ぶ面デバイスと、単位素子間を光で結線するための

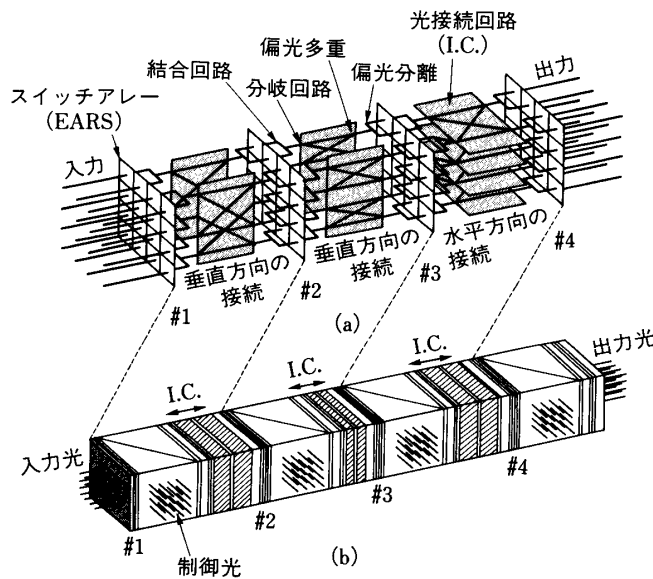


図1 フリースペース光スイッチング<sup>(1)</sup> 光入出力をもつスイッチ素子アレー (EARS) が空間的な光配線 (I. C.) により多段に接続され、全体として大規模なスイッチを構成している。(a) 論理構成、(b) 実装イメージ。

配線系から構成される。自由空間(フリースペース)を利用して大規模なスイッチを実現しようとするものである<sup>(1)</sup>。

#### (1) 電子技術のボトルネック

LSIの集積度が上がるとLSIへの入出力数が増加するが、LSIチップ/LSIパッケージの双方とも、信号を電気を入出力する限りはその数に制限がある。そのため、集積度の点からは高

### 用語解説

**SEED** (Symmetric self-Electro-optic Effect Device) 多重量子井戸構造のpinダイオードを受光/変調に用いる面デバイス。複雑な制御機能を実現するためFETによる電子回路の集積化が進められている。

**VSTEP** (Vertical to Surface Transmission Electro-Photonic device) pnpn構造等による光双安定性をもつ発光型面デバイス。発光ダイオードモードとレーザーダイオードモードのものがある。

**EARS** (Exciton Absorption Reflection Switch) ヘテロ接合ホトトランジスタと多重量子井戸pinダイオード(反射型光変調器)とからなる変調型面デバイス。面発光レーザーによる発光型の試作例もある。

機能/高性能のLSIができるにもかかわらず、入出力数に制約があるため、そのLSIから引き出せる機能/性能が制限(ピンアウトボトルネック)されることが将来は考えられる。

#### (2) 適用する光技術

光は空間で交差しても相互に影響し合うことはなく、またその波長のオーダーにまで集光できることから、空間(フリースペース)を使って高密度に配線することが可能である。そこで入出力をチップの縁から電気を取り出すのではなく、チップの面に垂直な方向から光で取り出す方式をとることにより、LSIのピンアウトボトルネックの解消を計ろうとするのがフリースペース光スイッチングである。例えば、 $20\mu\text{m}$ ピッチで入出力を設けることで $1\text{mm}^2$ のチップから2,500もの入出力を取り出すことが可能となる。AT & Tで発明されたSEED<sup>(用語)</sup>、<sup>(2)</sup>やNECのVSTEP<sup>(用語)</sup>、<sup>(3)</sup>、NTTのEARS<sup>(用語)</sup>、<sup>(1)</sup>等のデバイスを用いてスイッチングの実験が行われている。

#### (3) 解決すべき課題

現在の光電気IC(OEIC)技術では電子回路の高集積化と光入出力を同時に実現することは困難である。そのため、ピンアウト数に比較して内部の処理機能が貧弱であり、システム全体として実現可能な機能/性能が制限されている。文献(2)では $2\times 1$ スイッチ素子ごとに25個のFETと17個のPINダイオードを集積化したFET-SEEDが報告されているが、その他のデバイスも含めて、今後は電子回路の一層の集積化によるスイッチ素子の高機能化(スマートピクセル化)が課題である。

もう一つの課題は、低損失で小型の空間光配線の実現技術である。高密度に配列された数百、数千の素子相互を光で空間を介して配線する技術は、従来にない実装技術であり未開拓に近い分野である。

## 4. 周波数ルーチング利用光スイッチング

利用可能な光周波数帯域の広さと光フィルタ

の弁別機能をスイッチに利用しようというものである。

(1) 電子技術のボトルネック

スイッチの入力端子上的情報を希望の出力端子に接続する機能（ルーチング）は交換システムの基本機能であるが、大規模なスイッチではスイッチ内部で他の接続にじゃまされて希望する出力端子に接続できない場合（内部ブロック）や、同一出力端子に複数の接続要求がある場合（出線ブロック）があり、ルーチングは必ずしも容易ではない。特に ATM スイッチでは高速なルーチングをするため、ハードウェアでこれを実現するが、ブロッキングを防ぐためにスイッチの随所にバッファメモリをもったり、スイッチの段数を増やすなどの特別な工夫が必要である<sup>(4)</sup>。回路が高速になると LSI からの発熱の問題が深刻になるため、ハードウェアの増加となる複雑なルーチングが避けられない電気の ATM スイッチでは、速度と規模に制限ができてしまう。

(2) 適用する光技術

周波数の異なる光は光フィルタで分離することができる。そこで、ATMセルをあて先にに応じて異なる周波数の光にのせて光フィルタに入力すれば、光フィルタは ATMセルがたとえ 10 Gbit/s であっても瞬時に振り分けることができる。図 2 のような周波数選択型のスターカップラが既に開発されており<sup>(5)</sup>、これを用い

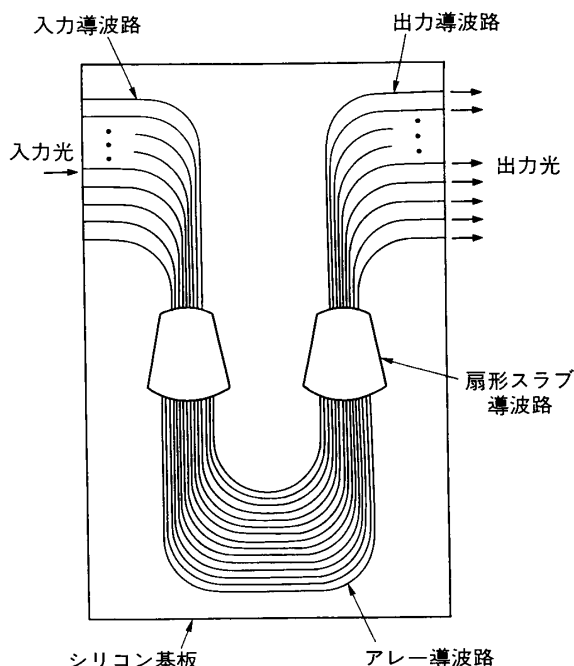


図 2 アレー導波路格子形光合分波器<sup>(4)</sup> 石英系プレーナ光波回路 (PLC: Planar Lightwave Circuit) 技術を用いて周波数選択型スターカップラを実現したもの。入力導波路から入射した光信号は扇形スラブ導波路で回折により広がり、導波路アレーに等位相で分配する。導波路アレーで  $\Delta L$  の光路長差を与えられた後、出力側扇形スラブ導波路で多光束干渉を生じ、周波数に対応する出力導波路に集光する。

れば、周波数を介して入力ポートと出力ポートの対応付けができ、かつ、複数の入力からの信号が一つの出力ポートに集まっても、周波数が異なるのでそれらを分離することができる。従って、このデバイスを周波数可変の光源と組み合わせることで、図 3 のような単純な構成の

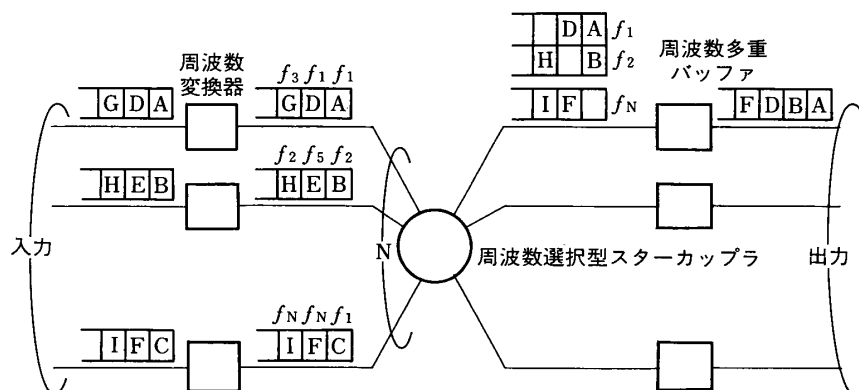


図 3 周波数ルーチング型光 ATM スイッチ<sup>(5)</sup> 入力したセル (A-I) は、周波数変換器で出力ポートに対応した光周波数に変換され、周波数選択型スターカップラによりルーチングされて、出力ポートにある周波数多重バッファに光周波数多重の形で入力される。周波数多重バッファは光周波数多重されたセルを分離して一つずつ取り出す機能をもつ。

光 ATM スイッチが実現できる<sup>(6)</sup>

### (3) 解決すべき課題

周波数可変光源としては DBR レーザの回折格子部分の注入電流を変化させてブラッグ波長を変えるものが一般的であるが、可変範囲は 1 THz 程度である。これをせめて 10 THz 程度に広げ、100 GHz 間隔で自由にしかも正確に制御する技術が必要である。これまでに SSG DBR レーザを用いて 16 波のスイッチング実験が報告されている<sup>(7)</sup>。

周波数ルーチング光 ATM では入出力ポート間のルーチングは単純な構成で実現できるものの、出力ポート上に同時に存在する複数の周波数の異なるセルを時系列上に一つずつ並べるための機構/技術が確立していない。いわゆる光周波数多重バッファをどう実現するかという課題であるが、光ファイバ遅延線、LSI バッファ、それとも全く新しい技術により実現するのか、今後の研究の進展が楽しみな分野である。

## 5. おわりに

LSI 技術に代表される電子技術が、集積化を武器にオールラウンドにそれなりの機能をもちうるのに対し、光技術は限定された分野では利用の仕方次第で極めて高い性能/機能を発揮する可能性をもっている。そこで、光技術の何をどう利用すれば交換システムのボトルネックを解消し、性能/機能を飛躍的に高めることができるか、という観点から二つの技術について解説した。本文中で紹介した課題を含め、光スイッ

チング技術については多くの未解決の課題があり、また、研究が進展すれば更に多くの新しい課題が発掘されることが期待できる。本稿が若い研究者のそれらの課題に挑戦するきっかけとなれば幸いである。

## 文 献

- (1) M. Yamaguchi, et al., "Experimental investigation of a digital free-space photonic switch that uses exciton absorption reflection switch arrays," *Appl. Optics*, vol.33, no. 8, pp.1337-1344, 1994.
- (2) F.B. McCormic, et al., "A 5-stage embedded-control EGS network using FET-SEED smart pixel arrays," *PS '93*, PD 5-1, 1993.
- (3) M. Nishio, et al., "Photonic ATM switch using vertical to surface transmission electro-photonic devices (VSTEPS)," *ISS '92*, B10.4, 1992.
- (4) 漆谷, ほか, "再ルーチング型バンヤン網の提案," *信学論 (B-I)*, vol.J72-B-I, no.11, pp.1034-1043, Nov. 1989.
- (5) H. Takahashi, et al., "Arrayed-waveguide grating wavelength multiplexers fabricated with flame hydrolysis deposition," *OEC '92*, 17C1-3, 1992.
- (6) K. Sasayama, et al., "Photonic ATM switch using frequency-routing-type time-division interconnection network," *Electron. Lett.*, vol.29, no.20, pp.1778-1779, 1993.
- (7) Y. Sakai, et al., "FDM optical switching of 16 channels at the data rate of 5 Gbit/s using an SSG DBR laser and an arrayed-waveguide grating," *CLEO '94*, Post-deadline paper, 1994.



ゆきまつ けんいち  
行松 健一 (正員)

昭46東大・工・電気卒。昭48同大学院修士課程了。同年日本電信電話公社(現NTT)入社。以来、データ交換システムの研究開発、高速パケット交換、光交換の研究に従事。現在、NTTネットワークサービスシステム研究所主幹研究員。工博。著書「光スイッチング技術入門」。