

第2章

MEMS ミラー・アレイ構造で 大規模光スイッチ装置を 実現する

——ネットワーク・インフラへの光 MEMS の応用

東原朋成

MEMS 技術の応用事例として光 MEMS スイッチを取り上げる。ネットワークにおける通信量増大の要求にこたえる一つの解決策として、光ネットワークの導入が進められている。そして、MEMS 技術を利用したスイッチ・デバイスによって光信号のスイッチングを行う装置が実用化されている。ここでは、ミラー・アレイ構造をとる光 MEMS スイッチを例に、その動作原理とスイッチングの際の制御方法について解説する。

(編集部)

ネットワークのトラフィック(通信量)は増加の一途をたどり、しかもそのペースは年々上がっています。この増え続ける通信量の要求を満たすために、昨今では例えば FTTH (fiber to the home ; 光ファイバが各家庭の入り口まで張り巡らされたネットワーク)などのインフラ整備が急ピッチで進んでいます。本稿では、MEMS (micro electro mechanical systems) の応用事例として、こうした光ネットワークにおける光スイッチの技術を紹介します。

本稿で取り上げる光スイッチ (photonic switch) は、多入力多出力 ($M \times N$: M 入力, N 出力) のノンブロッキングでトランスペアレントなスイッチ^{注1}です(図1)。ノンブロッキングとは、どのような二つの接続(入出力)のペアであっても、ほかの接続に影響を与えることなくスイッチングを変更できることを意味します。ノンブロッキングは、ネットワークのスイッチとして重要な要素です。一方、トランスペアレントとはスイッチングが伝送される情報(フォーマット、伝送ビット・レート、暗号化の有無など)と無関係であるということです。このことは、このタイプのスイッチがどのようなネットワークにも対応できることを意味します。図2に、通信網におけるノンブロッキング・トランスペアレント型スイッチの位置づけを示します。

1 光スイッチの原理

ここで説明するスイッチは、ファイバ・ツー・ファイバ

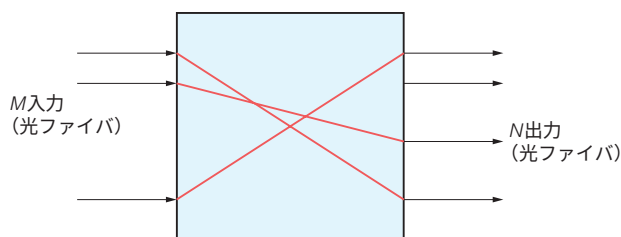


図1 多入力多出力ノンブロッキング・トランスペアレント型光スイッチ

ノンブロッキングとは、ペアの入出力がほかのスイッチ接続にまったく影響を与えることなく切り替えられることを意味する。また、トランスペアレントとは、光を光のままスイッチングすることによって、どのような通信パケットのフォーマットや暗号化に対してもスイッチング可能であり、情報源に依存しないことを意味する。

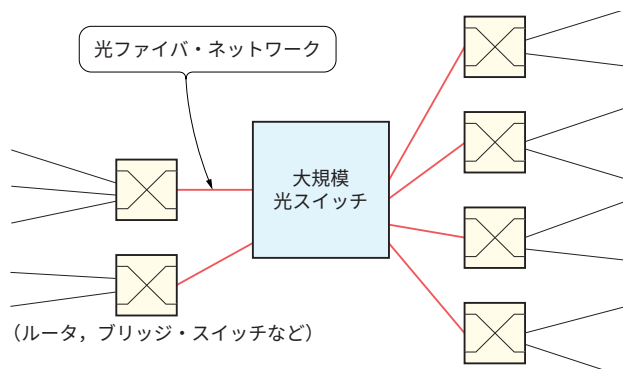


図2 多入力多出力光スイッチの使用例

大規模光ファイバ・スイッチが光ファイバ幹線に設置された例を示す。

注1: ここでスイッチとは、電気信号であれ光信号であれ、入力を特定の出力へ「誘導する」ものを指す。

● COLUMN ● 大規模光スイッチの使われかた

本稿で紹介するスイッチは、ネットワーク系の基幹スイッチ以外にもさまざまな用途があります。

例えば、ネットワーク関連の機器を設計・製造している会社では、設計したネットワーク製品（ルータなど）をテストする必要があります。テストを実施するにあたり、社内のテスト・ネットワーク上にその機器を装着するわけですが、機器によってテスト・ネットワークの再構成が必要になります。従来、このネットワーク再構成を人

手で実施してきましたが、これは非常に時間がかかり、かつ潜在的にエラー（配線ミスなど）が生じやすい作業です。大規模光スイッチを導入することで、人手で行っていたネットワークの構成作業を自動化できるようになります。

実際、テスト関連市場は光スイッチの有望なアプリケーションになっています。

（fiber-to-fiber）型の光対光スイッチです。これは、入力側の光ファイバの光信号を光のまま何の変更も加えず、出力側の光ファイバにスイッチングします（上掲のコラム「大規模光スイッチの使われかた」を参照）。

図3に示すように、その原理はいたってシンプルです。2本の光ファイバと2枚のレンズ、2枚のミラーによる光伝達パスを介して光を伝えていきます。スイッチ路中、2枚のミラーの角度を調整することで入力光ファイバからの光をターゲットとする光ファイバに伝える（誘導する）わけです。光の持つ直進性を考えると、ミラーで反射させることで光を目的の場所に誘導できることがわかります。

● スイッチ路における損失を抑えることが重要

さて、スイッチ内では光を光のまま（増幅などを施さずに）出力側へ誘導すると、スイッチ・ロス（損失）が生じます。この損失は、だいたい2dB以上になります。この損失をインサージョン・ロス（insertion loss）と呼ぶこともあります。

微妙な光の回折（レンズ、ミラー部など）が損失の主要因となります。図3の構造では、2枚のミラーがスイッチ部になるので、2枚のミラーを適切に制御することで光ファイバ、レンズ、ミラーのアラインメント（整合）を調整し、損失を最小にする必要があります。この制御技術は、スイッチを開発している各社の企業秘密になりますが、実際に損失を2dB以下に抑えた製品を開発しているメーカーもあります。衛星通信や宇宙通信などにおける（地上に設置した）アンテナ制御技術を応用しているメーカーもあります。実際、シリコンバレーで光スイッチ・システムを開発している会社には、以前、NASA（米国航空宇宙局）などで衛星通信のアンテナ制御システムを開発していた技術者が何人も就業していると聞きます。

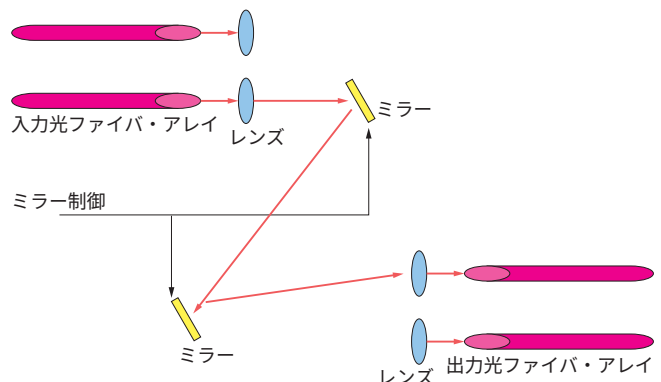


図3 光・電気変換を施さず、ファイバ・ツー・ファイバで光を伝達する原理図

レンズを通してミラーに焦点を合わせ、2枚のミラーの角度を調節することで光を反射させ、出力側のレンズに光を伝送する。出力側のレンズは伝送された光を光ファイバに伝える。この例では、ミラーの傾きを調整することで出力ファイバを選択するが、別の方法として、ミラーを固定して光ファイバ（とレンズ）を動かすことでミラーを選択してスイッチングするという方法もある（大規模スイッチでは一般的ではない）。

多入力多出力スイッチではミラーや光ファイバの物理的位置、個々のミラーやレンズの製造時の誤差などによって、個々の光伝送路の損失が違ってきます。

通常、システムは仕様で定めた個数以上のスイッチを用意し、装置ごとに最適な（損失が最小となる）伝送路を選択するように設計します。もっとも、スイッチ・ロスが多少大きいとはいえ、スイッチとして使用できないわけではありません。通常の場合は損失が大きいスイッチは使いませんが、例えばあるスイッチ路が故障したときなどはバックアップとして一時的に使用することはできます。

● 固定ミラーと可動ミラーを組み合わせる光路を作る

ここでは、MEMS技術を利用した可動式ミラーを使ってスイッチングする光スイッチを紹介します。このほかのスイッチング方法としては、ミラーを固定し、光ファイバを動かしてスイッチングするという方法があります。この方法は、