

## セッション2

## 「光通信分野へのマイクロメカトロニクス技術の応用」

大平 文和 (NTT 通信エネルギー研究所ネットワーク装置  
インテグレーション研究部 部長)

ご紹介いただきましたNTTの大平でございます。与えられた課題が、「光通信分野への応用」ですので、できるだけ光通信という分野に特化したお話をしたいと思えます。

マイクロマシンでもマイクロメカトロニクスでもいいのですが、まだ光通信の分野ではいわゆる半導体プロセスを使ったマイクロマシンは、それほど多く使われているわけではございませんので、従来のいわゆる大きいメカトロをマイクロ化したものということで、少し幅を広げて言葉を使わせていただきます。できるだけNTTの研究内容だけでなく、世の中の、例えばルーセントとかAT & Tも含めた研究内容をご紹介したいと思います。最後に少しビデオをお見せいたします。

## (OHP)

目次ですが、「光通信とマイクロマシン」ということですが、マイクロマシンがどういう分野に使われているのか、あるいは使われようとしているのかという観点でお話をしたいと思います。特に、光通信分野に特化したしまして、マイクロマシンが現在どういうところで実用化(本当に使われているという意味)されているのかということをお話いたします。あと、実用化の前の段階の開発あるいは研究というもの現状と課題をお話いたしまして、次に研究動向と、これから必要となるであろうデバイスについてお話をします。最後に、将来の展開と今後の期待をお話したいと思っております。

## (OHP)

光通信の分野では、正直申しまして、それほどマイクロマシンが多く使われているわけではございません。実際の程度使われているのかは後でご紹介いたしますけれども、従来のいわゆる大きいメカトロニクス装置を小型化した装置が使われている程度というのが現状でございます。

例えば自動化光 MDFとか小型の光 DF、これはあとで図をお見せいたしますが、どちらかという大きなメカトロ装置の中に小さい部品が入っていて、接続替えをすると

いう分野の使われ方、それから光ファイバーのスイッチであるとか、それからエタロンフィルタとって、波長を分波するためにギャップを少し変えてフィルタリングする、こういうものが使われています。ただし、こういうものもすべていわゆる半導体フォトリソプロセスでつくられているわけではなく、従来のメカを小さくした技術をベースにしているのがほとんどであります。当然、寸法が大きいあるいは値段が高いという課題がございます。そのためにさまざまな、先ほど藤田先生からお話のあったような半導体プロセスを使ったマイクロデバイスが研究されておりますけれども、まだまだ実用化の実績というのは多くないということです。

その理由ですが、一つは、通信システムの中でマイクロマシン——特に機械というものの位置づけを少しお話ししないといけないと思えます。光通信システムをつくっている人は、レーザダイオードと光ファイバーと、フォトダイオードと光アンプと、コンピュータ等は通信に必須と考えていますが、必ずしもメカトロニクス技術が必須と認識してない可能性があります。そういうことで、マシンが必ずしも通信の世界では重く見られていないということも正直言っております。

これが一つの理由だと思えますけれども、さらにマイクロマシンの特徴を活かした、通信システムにとって必須あるいは魅力的なデバイスが必ずしも実用レベルにはなっていないということもあります。これは別にマイクロマシンがだめだと言っているのではなくて、魅力的で実用的なデバイスを実現していかなければいけないという意味で申し上げているわけでございます。

それから、信頼性のデータが不足しています。これはマイクロマシンが信頼性がないという意味ではございませんで、誤解をされないようお願いしたいのですが、信頼性のデータを出さないと使ってもらえない。例えばミラーの角度が1度ずれただけで多くの人の電話が通じないということになりますと、全然お話になりません。そういう意味で信頼性のデータを出して、使う人に納得させてい

かない限りは使われまいだろうと思っています。こういう理由で、必ずしもまだそれほど実用化されているわけではありません。

ただし、最近の状況といたしまして、光通信分野の中でこの分野の研究開発は活発化しております。理由はあとで申し上げますが、通信の光化が進んでいき、しかも Fiber to the Home であるとか、WDM という波長多重システムがどんどん使われようとしています。そうすると、これまでのデバイスだけでなく、新しい光部品が必要になってきています。そのために多くの研究開発が行われるようになってきており、これから実用化が期待されるだろうと思っています。

(OHP)

背景を少しお話いたしますと、「マルチメディア・トラヒックの拡大」と書いてありますが、固定電話は、加入者数がどんどん下がっていく一方です。一方、例えばインターネットをはじめとするマルチメディア・トラヒック、情報通信の量が非常に増えていくと予想され、「西暦 2000 年過ぎには情報量の爆発」が起こるであろうと言われており、光を使って、大量の情報を流せるような土管をつくらなければいけないと言う背景がございます。

(OHP)

「光サービスの即応」と書いてますが、大きく分けて 2 つの動きがあります。一つは、光をどんどん家庭にまで入れていくことです。Fiber to the Home, FTTH といいますが、NTT の局舎ビルがあるといたしますと、光ファイバークーブルがどんどん引かれています。この中で、これはお客様の家の中のさまざまなパソコンとか電話であるとしみますと、ONU という電気と光を変換する OE/EO 変換デバイスですが、光をどんどん家の近くまで引いていき、最後は家の中まで引いていきます。ここまでいくと Fiber to the Home になるのですけれども、今のところは電柱にぶら下がったりしています。いずれにしても光ファイバーをどんどん家庭の近くまで引いていき、ご要望があればすぐにでも光ファイバーは引けるようにする。例えば兵庫県の川西市のある町は家庭まで光ファイバーを引いている、そういう動きがあります。

(OHP)

もう一つは、DWDM という動きがあります。D というのはデンスとって、WDM というのは波長多重で、1 本のファイバーの中をたくさんの波長の光を通して大量の情報をやりとりしようという WDM システムがあります。デンスというのは非常に密度を濃くしてどんどん波長を詰めていき、より多くの情報を送るというものです。そのために、詳細は省略しますが、たくさんの波長を分けたり、スイッチで切り替えたり、フィルタリングしたり、と言うさまざまな新しいデバイスが必要になってきておりま

す。

(OHP)

今日の解答を言うてしまうようなものですが、光通信システムの中で今後必要となる技術あるいはデバイスとはどのようなものをまとめてみました。先ほど言った、WDM 等の通信システム用の光デバイスというのは当然あるでしょう。例えば波長多重するためのデバイス、ある波長だけ抜き出すような高機能デバイス。それから最初申し上げましたような家庭まで光ファイバーを引く、Fiber to the Home 用の新しいデバイス。これは ONU (Optical Network Unit) とって光と電気を変換するデバイス。こういうものを安く、しかも高機能につくる必要があるんで、それをターゲットとした新しい構造、あるいは新しいマイクロ加工技術が必要になってきているというのが現状であります。今日はこの辺を中心にお話ししたいと思います。

それから、マイクロマシン技術のもう一つのアプリケーションとしては、光モジュールを実現する技術、つまりツールとしての技術があると思っています。

例えば、ONU でも何でもいいのですが、こういうものをつくらうとしたときに、非常に精密に、三次元加工あるいは実装しなければいけないということが起こります。当然光部品ですから、ファイバーを付けることも必要になってきますので、加工技術とかアSEMBL 技術の精密化が必要になってきます。それと同時に新しい位置決めセンサであるとか小型アクチュエータの開発も必要になってきます。

例えば、光部品というのは光ファイバーにつながなければいけませんので、光ファイバーと光デバイスとの結合をどうするのかという問題が必ず起こります。そのときに、微小なアクチュエータを使って光部品との結合をしてやる、そのようなツールとしてのマイクロマシン技術の開発が必要になってきます。しかし、今日はこの実現技術については時間の関係でお話しはしません。

それから、インフラ系の話から、もう少し広げてサービス系と言いますか、もっとマルチメディアの情報端末の近いうちにターゲットがあると思っています。具体的には、いくら光ファイバーを引いて土管を太くしても流す水がなかったら意味がないわけでありまして、マルチメディア用の超小型情報端末を置いて、そこで各種高機能センシングデバイスを用いて、さまざまな情報を取って土管の中を流すことが考えられます。最近ウェアブル・センシング・デバイスと言うキーワードがよく出てきますけれども、そういう観点で、サービス系のマイクロデバイスを実現することが一つのターゲットになる可能性があると思っています。これについても今日はお話しはしません。

(OHP)

光ネットワークの中でマイクロマシンデバイスがどうい

う使われ方をする可能性があるかということをお話します。これはあくまでも実際のネットワークではなく、イメージですが、こういうループ状のネットワークがあって、この中には、大規模な光クロスコネクットのシステムが必要でしょう。また、例えば500とか1000という大規模な光の切り換えスイッチが必要です。また、ADM(アド・ドロップ・マルチプレクサー)と叫びまして、例えばWDMでたくさんの光の波長が流れているときに、ある波長だけを加えたり、ある波長だけを抜き出したり、つまりアドしたりドロップするためのモジュールが必要です。当然波長可変の光源も必要でしょうし、チューナブルなフィルターも、コネクタも必要です。先ほど言った端末系にあるONUも、光変調器も必要ということで、さまざまな新しい光デバイスが必要になってきます。

(OHP)

マイクロマシンを使ってどういうことが実現できるのかという具体的なデバイスを挙げてみたいと思います。FTTHをはじめとする光化に対応しては、ファイバーの接続替え装置、さまざまな光伝送用部品、ONU、シャッター、減衰器、コネクタ、変調器等があります。それから特にWDMという観点でいいますと、波長可変光源、フィルター、波長を制御するデバイス、それから光クロスコネクシステム等が必要になってまいります。こういうものは、これまでもかなり研究されてきております。ただ、必ずしもまだ実用レベルにはなっていないということです。実際どういう研究がされているかということ国内外の例も含めましてご紹介したいと思います。

(OHP)

最初に、これは全然マイクロじゃない話ですが、光ファイバー接続替え装置と言うものがあります。

これはNTTで研究開発をしているのですが、将来的にはインテリジェントビルの中に光がどんどん引かれていって、Fiber to the Deskつまり、机のところまで光ファイバーが行くでしょう。各フロアごとに光配線がどんどん引かれるようになったときに、例えばこの入れ替えがあったときに、この光DFで光ファイバーを自動的につなぎ替えてやる、こういう装置が必要であります。

(OHP)

実際これは我々が作っている装置ですけれども、幅が50cmぐらいあって大きな装置です。これは全然マイクロマシンではないですけれども、こういうメカトロ装置も必要になってきます。

(OHP)

それから、交換機の前に置くMDF(メイン・ディストリビューティング・フレーム)という装置があります。これは今人手で切り換えをやってます。4000本のファイバーがこの中に入っているのですが、例えばお客様が引

越された場合とかいろんな場合に、1本のファイバーをつなぎ替えることを今は手でやっています。FTM(ファイバー・ターミネーション・モジュール)とも言うのですが、私の背よりも高い大きい装置がNTTの局舎内に入っています。こういうものを小型化したいというニーズはございます。

いまお話ししたのは全然マイクロマシンの話ではなくて、メカトロニクス装置として、そういうものが使われているということをご紹介しただけです。

(OHP)

次に、マイクロマシンデバイスとして具体的にどういうものが検討されているのかをいくつかご紹介いたします。これはスイスのヌシャテル大学でやっているもので、チューナブルアテネータつまり減衰器です。ファイバーとファイバーとの間にシャッターを入れて、途中で光を少し遮って減衰させます。アクチュエータには静電楕形電極を使っています。以下、いくつかの例を順不同でご紹介します。

(OHP)

これは、ルーセントテクノロジーがやっている研究ですが、トランスミッタと叫びまして、レーザ光を受けて、それをモジュレーションしてやりますと、それに応じて信号を出すことができるということで、変調器として使うことができるというものです。

(OHP)

WDM方式において、どういう部品が必要かをまとめてみました。導波路とか増幅器とか変換デバイス、というのはガラスや半導体で作らなければいけないと思うのですが、例えば光源、これはもちろんレーザですが、それをチューナブルにするという意味ではメカニカルな部品が役に立つところがあります。それから波長の合分波、波長選択フィルター、アド・ドロップ・モジュール、光切り換えスイッチ等です。こういうものはマイクロマシン技術を使うと、小型に、かつさまざまな特徴をもたせて、実現できることが期待されます。

そのいくつかの例を紹介いたします。

(OHP)

これはマイクロマシン技術を使った面発光形の波長可変レーザですが、これはスタンフォード大とカリフォルニア大等の例です。共振器長を変えることによって違った波長を出す技術です。

(OHP)

これはNTTでやっている例で、Tunable Laser Diodeといって、楕形電極の先端にミラーがついていまして、このミラーの面と、このレーザの面との間で共振を起こさせて発振波長を制御する技術です。後でビデオでお見せします。

(OHP)

これはレーザと、アクチュエータつきミラーで共振を起

こして、ミラーを動かすことによって、波長を制御できるというものです。

(OHP)

これはルーセントテクノロジーからの報告ですが、ファイバー・グレイティングというものがあります。これは光ファイバーの中に回折格子を形成しておきまして、この格子間隔に応じてブラッグ反射を起こして、特定の光の波長だけがこちらに来るといった特性のもので、これを磁石の力で伸ばしたり縮めたりしてやると、格子間隔が少し変わりますので、反射する波長がチューナブルにできるものです。

(OHP)

これはもう世の中で売られているもので、マイクロン社というところがあります。これも同じくチューナブルフィルターです。これは光ファイバーで、この端面が、ミラーを形成しており、ピエゾでこの間のギャップを調整してやります。ギャップが変わることによって透過波長、反射波長等が制御できます。

(OHP)

これはNTTの研究内容ですが、原理は同じです。ミラーと、ファイバーがあり、ミラーを動かすことによってギャップを変えて、ある波長を透過したり反射させたりする波長選択性を実現するものです。

(OHP)

実際に電圧を少し変えてギャップを変えてやると、透過波長がシフトすることがよくわかります。

(OHP)

今日、特にご紹介したいのは光スイッチです。光スイッチは、メカニカルなスイッチ以外に半導体を使ったものなど、さまざまな光スイッチがありますけれども、今実用になっている光スイッチは、メカニカルなスイッチを中心として、数少ないものしかありません。

メカニカルなスイッチの特徴としては、空間や、導波路あるいはファイバーの間を通しますので波長依存性が極めて少なく、偏波依存性も少ないです。構成をうまくすると自己保持性があります。自己保持性というのは電源を落としてもそのままつなげた状態である、つまりその状態が保たれていることを言います。

光スイッチを分類しますと、ファイバー型と導波路型と空間伝播型とに分けられますけれども、ファイバー型と導波路型は現実的ですし、既に実用化され市販品もあります。ただ、ファイバー型については、NTTでも開発しておりますけれども、微小化や大規模化には難点があります。ロス是非常に少なく良い特性で、制御性も優れています。重要なのはファイバーとの結合や実装でありまして、こういうものがちゃんとできないと当然実用にはなりません。

次に導波路型については、微小化と大規模化はある程度

までは可能ですが限界があるでしょう。ロスは低く、制御性、ファイバー実装性も良いです。

注目したいのは空間伝播型です。光ビームを空間を飛ばすのですが、切り換えをするためのスイッチング機構が非常に難しいです。当然ミラーで反射させたりシャッターを入れたりといろいろな方法があります。構成に依存して本当に微小化できるかどうか難しいところがあります。ロスも構成に依存します。コストはまだよくわかりません。これは特に、制御性とファイバーをどう取り出すかという実装性、そのカップリングロスが課題と思っております。うまく三次元的に実装できるとポテンシャルは高いスイッチになる可能性はありますけれども、ブレイクスルーとなる構成法、あるいは制御技術が必要となってきます。

テキサスインスツルメント等のDMDの技術がありますので、その技術を使えば高機能スイッチもできると予想はされていましたが、後で述べますが、最近このような光スイッチが出てきました。

(OHP)

これはメカニカルな光スイッチや、導波路型の光スイッチを分類したものです。縦軸が寸法です。NTT局舎やビルの中に入るような、1mオーダーの大きな装置もあります。一方、これは光ファイバーを直接駆動するような、1~10cmオーダーの部品です。導波路の間にシャッターを差し込む、あるいはミラーを起こすもの、あるいは導波路の中を液が動くもの等があります。これらを少し詳しくご紹介します。

(OHP)

例えばミラーを使ったメカニカルなスイッチでは、東大の藤田先生がやっておられるようなミラーを垂直に起こすものもありますし、ファイバー間にシャッターを置いてシャッターを入れるとこちらからの光が直角に曲がる、というスイッチも検討されています。

(OHP)

また、回転部分にミラーを立てて、溝にファイバーを置き、ここから来た光がミラーによって反射されファイバーに入射する構成のスイッチも検討されています。

(OHP)

これはNTTで実用化したのですが、ファイバー型スイッチです。2本のファイバーが固定されており、1本のファイバーに微細な磁性パイプが入っていて、これを上下に動かすことによって光路を切り替える1×2のスイッチです。

(OHP)

後でビデオで紹介しますが、NTTで検討しております溝付き交差導波路スイッチです。ここに導波路がクロスしており、この導波路の交差点に縦方向に深い溝を形成します。この溝の中に、コアと同じ屈折率を持つ液体を

入れておき、液体がある場合には光が通過し、ない場合にはミラー面で反射して光が曲がるということで、液体の駆動によって光を透過させるか反射させるかを切り換えるスイッチです。

今考えている用途は予備系の切替えといひまして、NTTの局舎内に光ファイバーを引いたときに、光部品の予備を一個一個持っていたのを、予備を持たなくして切替えスイッチと、1個だけ予備を持つようにします。そうすると、予備系モジュールの経済化に役に立つので、こういう適用が考えられます。このスイッチがいいのは、電源を落としても液の状態が保たれているということ、つまり自己保持性があるのが特徴です。

また、通信に使っている光の波長というのは1.3や1.5ミクロン帯ですので、それにほぼ透明な屈折率の液を使えば低ロスで通るといのが大きな特徴です。

(OHP)

AT & Tが検討しているフリースペースタイプのスイッチです。これはミラーを垂直に起こして、光を反射させると光路が形成でき、倒すと通過します。先ほどのクロスコネクと全く同じです。

この方法のデメリットは、例えば8×8のスイッチの構成をしようとすると、64個のデバイスがいます。また光路によってロスが変わり、さらに、制御が難しいのではないかと想像しています。

(OHP)

光スイッチの応用としては、先ほど言ったように予備系切り換えへの応用があります。そのほかに、これはルーセントの報告ですが、WDMシステムにおいて、ある一波長だけを抜くことができます。例えば10波の光が入ったとしますと、これはサーキュレータを通してここで波長を分波して、スイッチを置きます。これがそのスイッチの中身ですが、そのまま戻ると、倒して別の方向に行く場合で、方向を選択できるわけです。ここでは、あくまでも波長の合分波はWDMの「Mux」と書いている部品で行います。このスイッチはあくまでも切り替えの用途に使っているわけです。

(OHP)

将来的には、これもルーセントのものですが、非常にたくさん波長を使って、ある波長で切り替えてきたものを、任意のルートに切り替えてやるようなスイッチも必要になると言われています。

(OHP)

次に、先ほど言った空間光スイッチというのはこれです。これはルーセントのホームページからコピーしてきたものですので御覧になった方がいらっしゃるかもしれませんが、こういうスイッチを去年に発表しています。そこでは、256×256のスイッチを今年中に売り出すと言っています。

す。

(OHP)

その構造は、フレームがありX方向とY方向に倒すことができます。例えば、こっち方向に16値、こっち方向に16値をとってやりますと、256の方向の位置決めができるわけです。こういうものを組み合わせて空間実装してやれば、非常に高密度なスイッチができると考えられるわけです。構成は先ほど申し上げたとおり、光ファイバーからの光を反射して曲げて、他のファイバーに入れるものです。ただ、非常に難しいと思うのは、どの光ファイバーに入れるかというのをちゃんと制御信号でフィードバックして、ミラーを制御して止めなければいけないことです。それがどの程度正確にできるのかは、まだよく分かりません。

(OHP)

これは推定図ですが、難しいのは2点あると思います。1つは、256値の任意のファイバーに制御すること、制御したものをその位置に保っておかないといけないわけですから技術的に難しいと思われれます。もう一つは光の結合でして、いくらレンズを入れて、コリメート系にしても、低ロスで光ファイバーに光を入れるのは大変です。モジュール実装も含めてこういうのが出来上がっているのかどうか、まだ分からないところはあります。

時間がなくなってきたので、最後にビデオを見ていただくように思います。それを見ていただいて、今後の展開の方向等をお話ししたいと思います。

(ビデオ)

(OHP)

ここでは時間の関係であまり触れられなかったのですが、今日お話ししたようなマイクロデバイスそのものも必要ですが、それをどうやって実現するかという実現技術も非常に重要です。先ほど増沢先生のお話にもありましたように、三次元の精密な加工技術、例えば、光コネクタをつくったり、高アスペクト比の溝加工をしたりする、これはキーになる技術です。それから、先ほどから言っていますが、実装・アSEMBルというのは非常に重要で、シリコンのオプティカルベンチ・テクノロジーという言葉があるように、表面実装技術や、ファイバーを動かしてきちっと精密にアライメントする技術は必要です。さらに実装用の小さなエンコーダであるとかアクチュエータを使って、さまざまな高性能光部品を実現していくということが必要になってくると思います。

(OHP)

最後に、「将来展望と期待」ということで、私が考えていることを申し上げたいと思います。

マイクロマシンというのは、通信の中ではそれほど使われていないというのは最初申し上げたとおりですが、システム側のニーズを把握し、仕様を明確化して、例えば速度

はいくらならいいのか、特性はいくらまでならいいのか、ロスはどのくらいあってもいいのかということを中心に詰めていかないと、通信システムの中では使われないと思います。

それから「信頼性データの蓄積」。これはマイクロマシンが信頼性がないという意味ではなくて、信頼性データを蓄積して、ユーザー側に提供しない限りは使われないと思っています。

さらに、できるだけ技術は広い範囲をカバーしないとダメだと思います。つまり実装技術とか制御技術等は非常に重要で、こういうのを洗練しそれを深めて、原理的に動いたというだけでなく、実装も含めてモジュールとして完成度を上げることが必要だと思います。

最後に、マルチメディアサービスについては、今日はほとんどお話しできなかったですが、さまざまな情報端末と

してのマイクロデバイスを実現する技術が必要になると思います。

通信の観点でいくと、現在までにほとんどの考えられるメニューというのは検討されてきていますし、この辺に使っていくべきだという適用分野は見えてきたと認識しております。マイクロマシンならではの特徴を生かした、例えば広帯域性や、チューニング性と言った特徴を生かした新しい光デバイスを作っていく必要があるだろうと思います。当然コンペティターがたくさんあるわけですし、他技術と比較して、コストパフォーマンスが優れているということを示していけば実用化されると思っています。今後ますますマイクロマシン技術が発展することを期待して、私の講演を終わらせて頂きます。ご静聴を感謝します。