

# 光集積回路設計支援システム に関する研究

小柴 正則  
北海道大学 工学部  
電子工学科 教授

## 1. はじめに

超高速光通信システムへの期待から、次世代の光学系として、複数個の光素子を1枚の基板の上に集積化した光集積回路に対する関心が高まっているが、同時に、こうした光集積回路の極限性能を探り、一連の設計作業を支援するために不可欠なCAE (Computer-Aided Engineering) システム開発に対する要請も次第に強くなってきている。

さて、CAEシステム構築のためのツールとしてよく知られている有限要素法 (FEM: Finite-Element Method) は光エレクトロニクス分野においてもその有用性が認識され、各種光デバイスの解析や最適設計に利用され始めている。筆者らも、以前からFEMを用いて各種の光集積回路用光導波路や光ファイバの解析を行うとともに、光導波路解析用ソルバーの開発を進めてきた。ところで、FEMは領域分割型の数値解法であるため、光導波路の仕様決定、概念設計、さらには詳細設計のあらゆる段階において頻繁に生じる形状や材料の変更に伴い、解析領域や要素分割などの変更が必要となり、FEMに対する専門知識と多大な労力が要求されることになる。したがって、FEMを実際の設計現場でツールとして使用するためには、大規模な行列方程式をいかに速く正確に解くかという問題のほかに、解析領域の要素分割作業の自動化や、解析によって得られる膨大な出力データをユーザが容易に認識し、理解できるように表示する作業の自動化を促進する高機能なプリ・ポストプロセッサを整備することが必要不可欠となる。

このような実情から、筆者らは、FEMの専門知識をもたないユーザにも高度な数値解析環境を提供するCAEシステムOPTICS (OPTical Integrated Circuit design System) の開発に着手してきた。ここでは、特に光集積回路用光導波路解析のためのOPTICS-GUIDE (optical wave GUIDE) の基本構造について述べる。

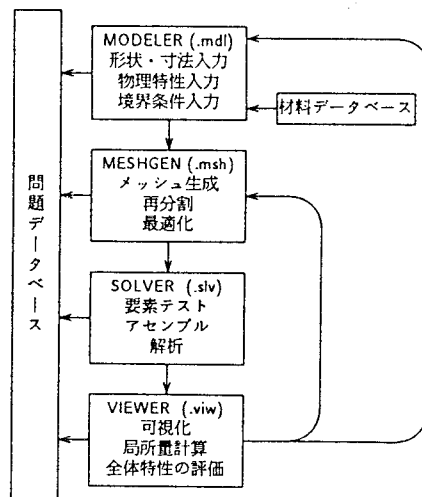


図1 OPTICSの構成

## 2. OPTICSの概要

解析ツールとしてFEMを利用する場合、その解析プロセスは、まず、解析対象の幾何学的形状の入力を行い、有限要素に分割するプリプロセッシングの段階、次に、システム方程式を作り、固有値や固有ベクトルを求めるソルバーの段階、さらに、解析により得られた固有値や固有ベクトルから系の固有状態や界分布などを表示するポストプロセッシングの段階に分けられる。筆者らが開発を進めているOPTICSでは、以上の各段階を主に図1に示すような4個の独立したモジュールによって構成している。このように機能を分散したのは、モジュール単位でのバージョンアップや交換などを容易にするためである。

ところで、CAEシステムでは、プリ・ポストプロセッサに対して高機能な対話式グラフィックス・ターミナル、ソルバーに対して高速度の演算性能をもった計算機が要求される。前者にはEWS (Engineering Work Station) , 後者にはスーパーコンピュータが適しているが、最近のEWSの高性能化にともない、ソルバーもEWS上で実行させることが可能になってきている。OPTICSはすべてのソフトウェアをEWS上で実行させることを目標に開発されている。

以下に、各モジュールの機能の概略を述べる。

### 1) 形状モデラ (MODELER)

このパッケージの目的は、解析対象の形状と寸法、物理特性、さらに、境界条件などのデータをインタラクティブに入力することにある。ユーザはディスプレイ上のアイコンをマウスでクリックすることにより、作業の大部分を行うことができる。

任意形状のモデリング法には様々な方法が提案されているが、このMODELERでは、まず、ユーザが形状を入力する際は、CSG法のイメージでプリミティブを選択、入力し、次に、計算機内部で有限要素分割に有利なB-R e p s法に展開するというハイブリッド構造を用いている。

### 2) メッシュジェネレータ (MESHGEN)

MESHGENでは、MODELERで入力された解析対象を三辺系と四辺形のブロックの集合で与え、各ブロックを三角形要素に分割する。このようなメッシュ生成法では、必ずしも完全な自動化はできないが、形状の表示および隣接ブロック内の関連性の制御が比較的容易であるといった利点がある。また、MESHGENでは、対称性をもつ構造の光導波路の場合、解析領域を縮小して計算効率を上げるため、全領域の1/2あるいは1/4の解析領域に対して、解析するモードに適合した対称面での境界条件を自動的に設定するようにしている。これらの機能によって、光導波路やFEMの専門知識をもたないユーザも容易に解析することが可能になっている。

### 3) ソルバー (SOLVER)

OPTICSにおいては、光集積回路用光導波路の解析のために特に開発されたスカラ有限要素法 (SFEM: S c a l a r FEM) がサポートされている。

### 4) ビューアー (VIEWER)

VIEWERはSOLVERによって得られた膨大な解析結果を可視化し、ユーザの物理的解釈を支援するモジュールであり、フィールドの3次元表示と等高線表示をサポートしている。3次元表示は解析結果を任意の視点から鳥瞰できるため、フィールドが複雑な変化をしている

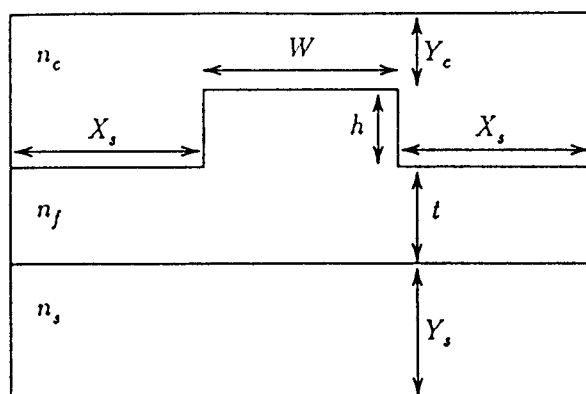


図2 リブ導波路の断面

場合でも容易に評価できる。また、等高線表示は光導波路の形状に対するフィールドの広がりを2次的に評価することを支援する。

#### 5) 操作手順

OPTICSの操作手順を説明するために、図2に示すようなリブ導波路を考える。

MODELERを起動すると、ディスプレイ上にアイコン群と作業用シートが表示される。OPTICSでは統一化された操作性を提供するため、各モジュールのディスプレイ・イメージを統一している。図3にMODELERの実行例を示す。マウスで作図コマンドを選択し、光導波路の形状を入力する(図3(a))。キーボードから各部分の屈折率を入力し、境界条件を設定してMODELERでの作業を終える(図3(b))。

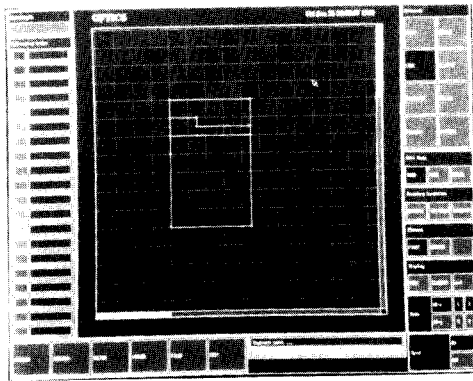
MESHGENの起動は、MODELERのファンクション・スイッチで行うことができる。OPTICSでは、有限要素として、1次要素と2次要素の両方をサポートしているため、使用する要素のタイプを入力する必要がある(デフォルトは1次要素)。要素分割は、まず、MODELERの作図コマンドを用いて解析領域を三角形と四辺形のブロックに分割する。各ブロックの内部は辺上の分割数を入力することで、瞬時に、自動的に要素分割される(図3(c))。

以上のような作業によってできたデータをSOLVERに引き渡して計算を実行する。

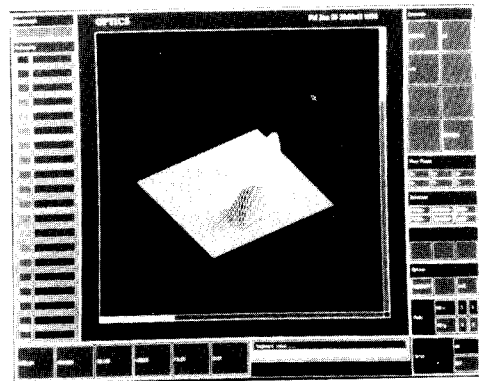
SOLVERはすべてEWS上で実行されるため、解析に時間を要する。しかしながら、ファンクション・スイッチでSOLVERを起動する場合は、別のプロセスとしてバックグラウンドで処理が進むため、解析中もほかのジョブを処理することができる。

このようにして得られた解析結果をVIEWERを用いて3次元可視化(図3(d))、および等高線表示(図3(e))する。

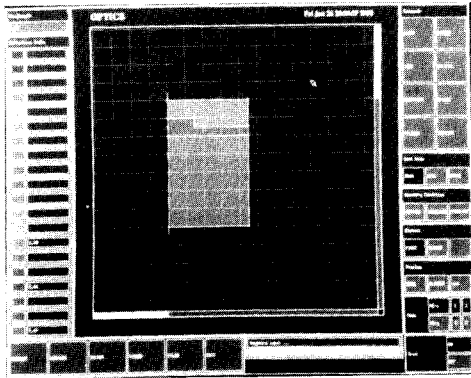
OPTICSは、X Windowシステム上で実行されるため、複数のモジュールを同時にオープンしたり、リサイズしたり、ほかのX Windowアプリケーションと並行して使用することもできる(図3(f))。



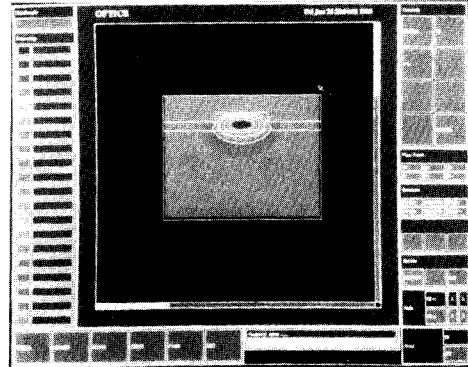
(a) 導波路形状入力



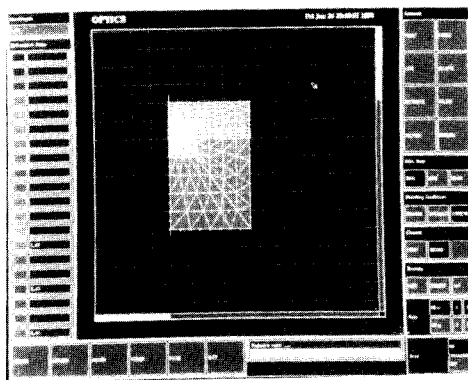
(d) 3次元表示



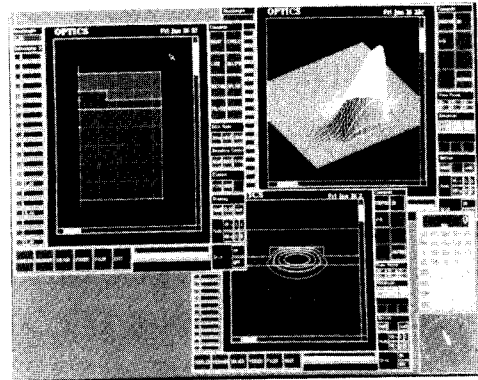
(b) 屈折率入力



(e) 等高線表示



(c) 有限要素分割



(f) マルチウィンドウ

図3 OPTICS実行例

### 3. おわりに

（財）高柳記念電子科学技術振興財団の研究助成の下に開発を進めた光集積回路用光導波路設計支援システムOPTICS-GUIDEの概要を述べた。RISCチップ搭載の高速ワークステーションが出始めた今日、このような対話型数値解析パッケージに対するニーズはますます大きくなると考えられる。

研究成果については、紙面の都合上、下記参考文献の文献欄を参照していただければ幸いです。

これらの研究成果は、故高柳先生の暖かい励ましと、（財）高柳記念電子科学技術振興財団の多大な御支援によるものであり、関係各位に深く感謝申し上げます。また、本研究期間中、終始御指導いただいた桜庭一郎先生（北海道大学名誉教授、北海学園大学教授）に厚く御礼申し上げます。

最後になりましたが、高柳先生の御冥福を心からお祈り申し上げます。

#### 参考文献

- 〔1〕小柴正則、“光・波動のための有限要素法の基礎”、森北出版、1990
- 〔2〕小柴正則、“光導波路解析”（先端科学技術シリーズ）、朝倉書店、1990