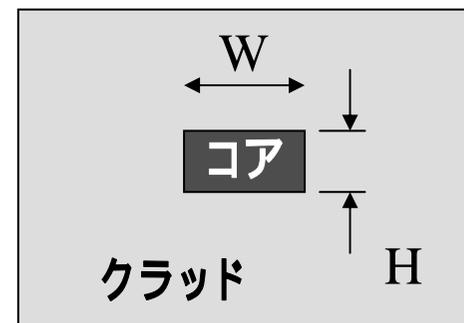


実習4 . 導波路の最小曲げ半径設計 (チャンネル導波路)

SOI技術によるSi細線導波路

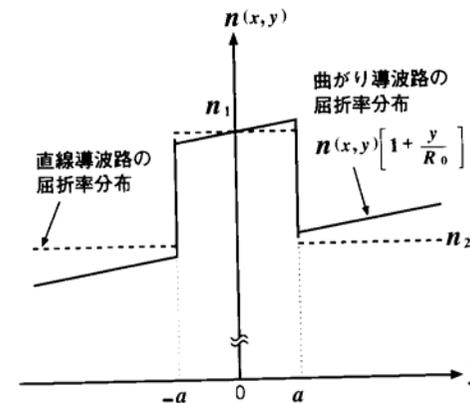
光集積回路設計では、最小曲げ半径の設計は回路の性能、占有面積から生じる歩留まりコストなど仕様を満足させるには重要な課題の一つである。



導波路構造でモード解析から閉じ込め損失を計算して閉じ込め損失が大きくなる曲率半径を評価する方法は計算に負荷がかからなく正確に曲げ損失を求めることができる。

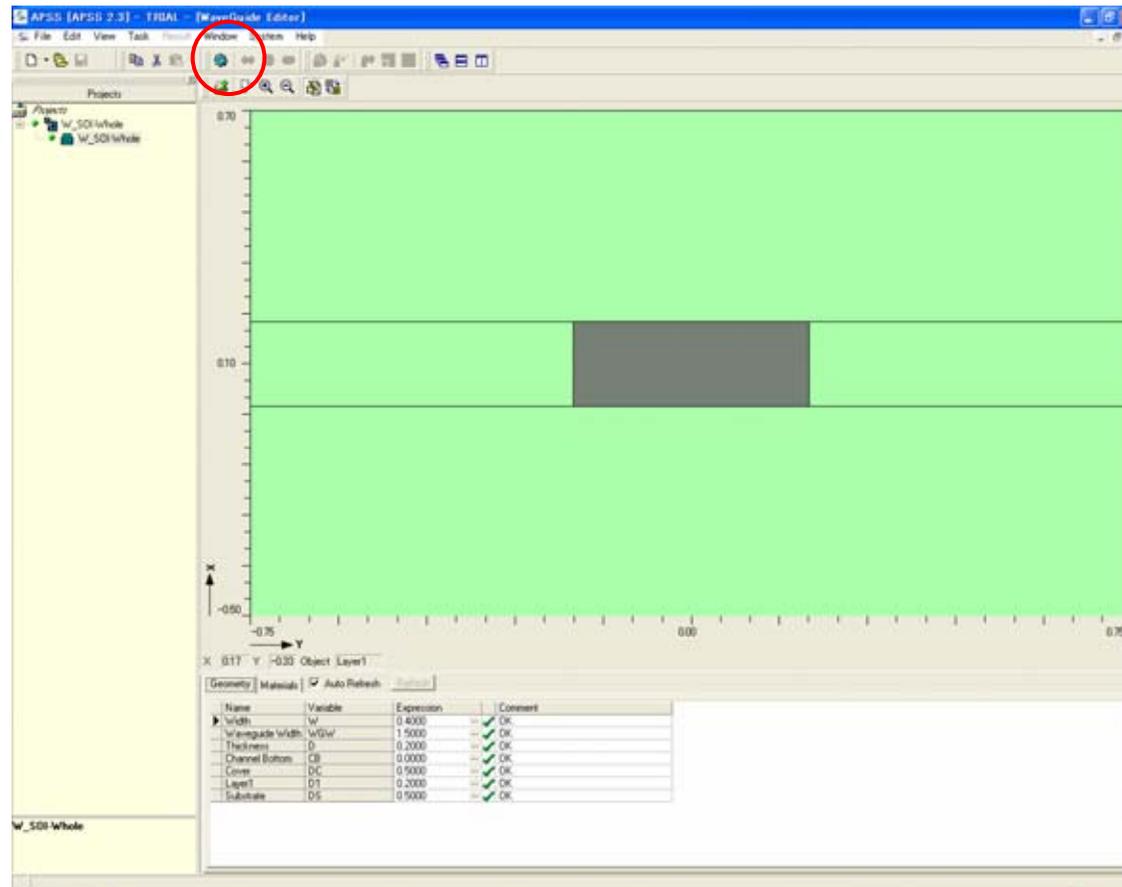
本説明は実習3で用いたSOI(Silicon-on-insulator)技術の導波路寸法で行う。導波路は400nm×200nm (K. Yamada et al., Optics Lett., vol. 28, pp.1663-1664, Sept. 2003)ではTE/TMモード共にシングル条件を満足しているので、この寸法を用いる。また、波長は1.55 μ mとした。導波路解析では、通常は対称性を利用して左右の半分だけ解析し、シミュレーションの効率化を行なう。

しかし、曲げを含んだ解析では、曲げ効果を等角写像で屈折率変化として反映させ、直線導波路とみなしてモード解析を行う。そのために、モード解析はデバイス全領域でなければならない。



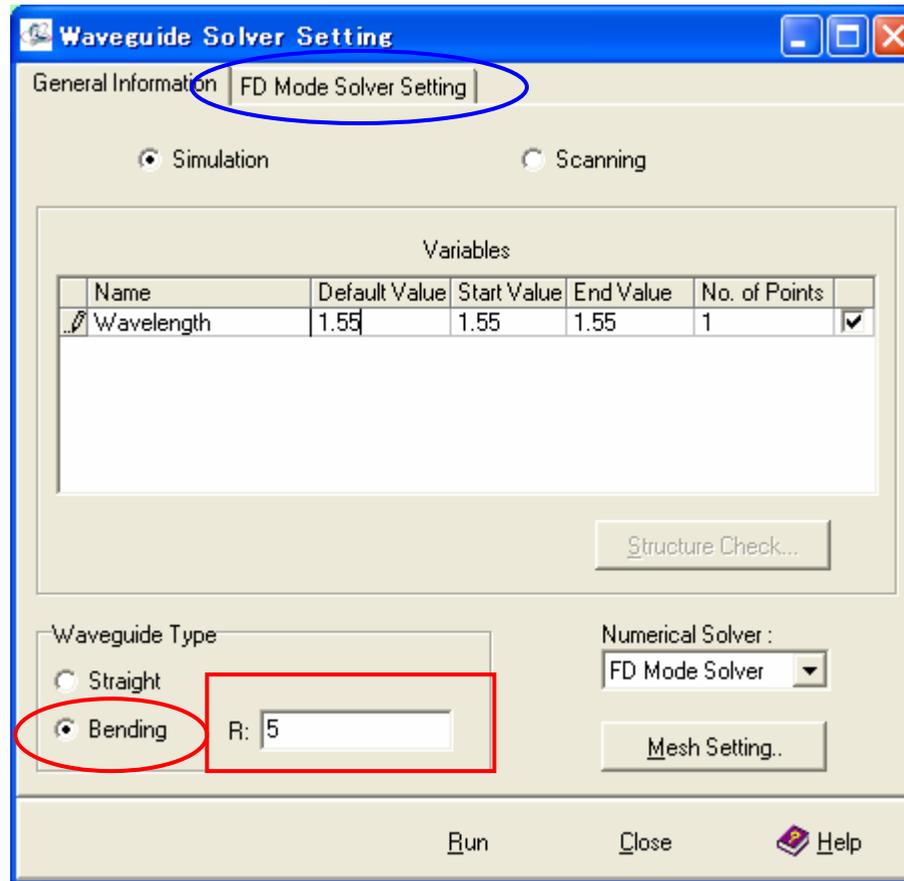
図D4-1は実習3で用いた導波路と同じ寸法(Geometry)、屈折率(Materials)で解析領域のみ全領域としたものである。

”Run Simulation” (赤丸)をクリックすると図D4-2が現れる。



図D4-1. シリコン細線導波路の全体形状

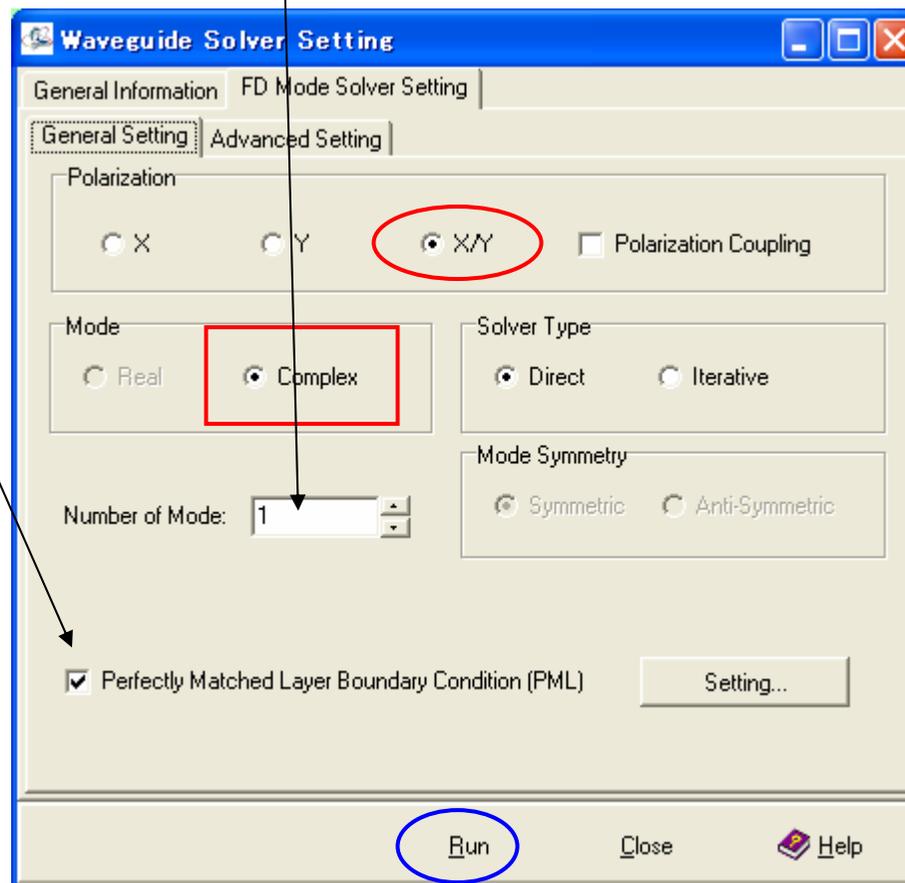
“Waveguide Type”は“Bending”(赤丸)を選択し、半径Rの右のテキストボックス(赤四角)には μm 単位で曲げ半径を入力する。図D4-2の例では $R=5\mu\text{m}$ である。Mesh Settingに関しては通常の解析どおりである。図D4-2でGeneral Informationの設定が終わったら、タブをFD Mode Solver Setting(青丸)に切り替える(次頁)。



図D4-2 . 解析設定画面

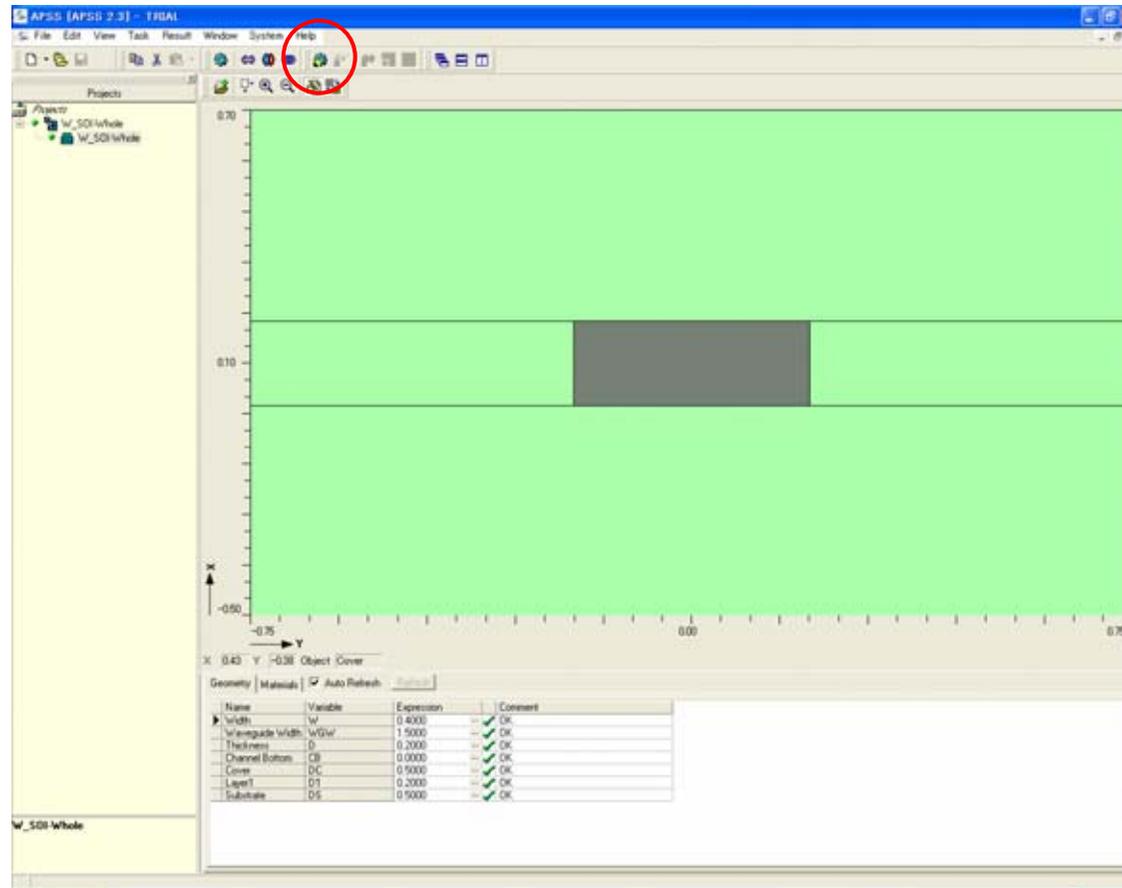
今回の設計では、X(TM)とY(TE)偏波について求めるので偏波はX/Y(赤丸)とする。閉じ込め損失の計算には複素数でのリーキーモード計算となるので、Modeは"Complex"(赤四角)を選択し、基本モード(モード数1)のみを計算することとする。境界条件はPMLを選択し、その値はデフォルトとした。

正常な閉じ込め解が得られない場合には"Advanced Setting"を開いて初期解を設定する。全ての設定が終了したら、"Run"(青丸)をクリックする。正常に計算が終了すると図D4-4の画面となる。



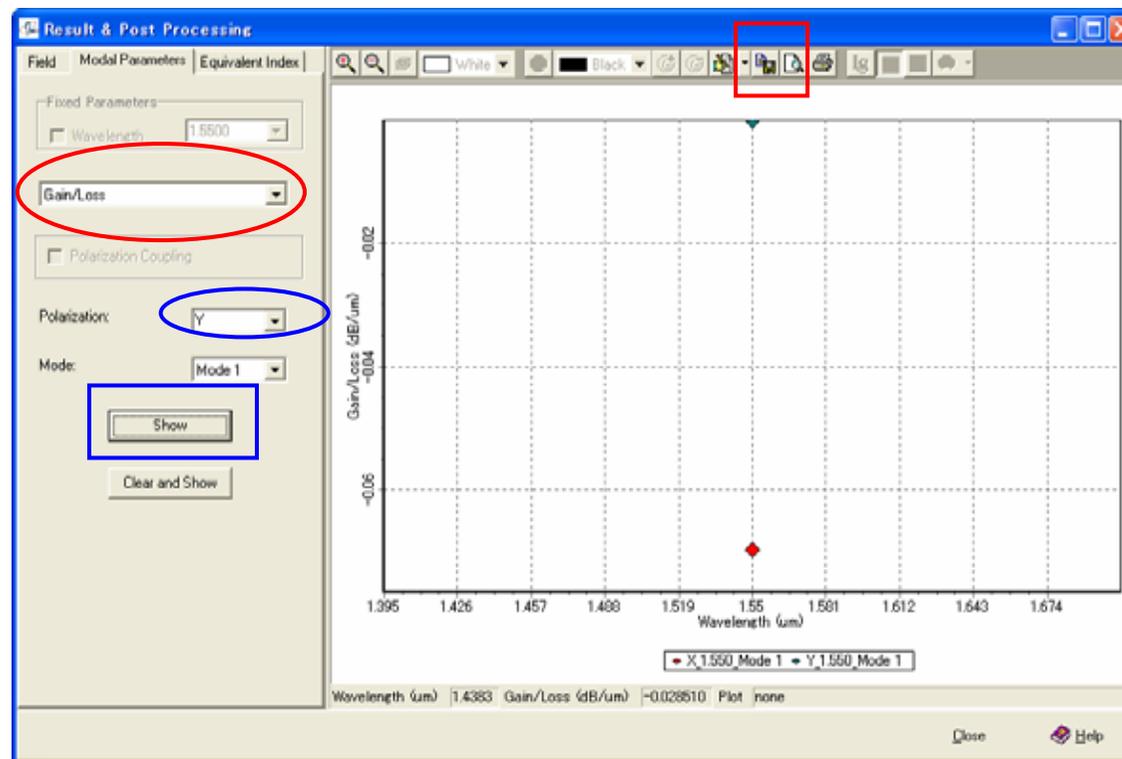
図D4-3 . FD Mode Settingの入力

ここで、"View Simulation Results" (赤丸) をクリックする。



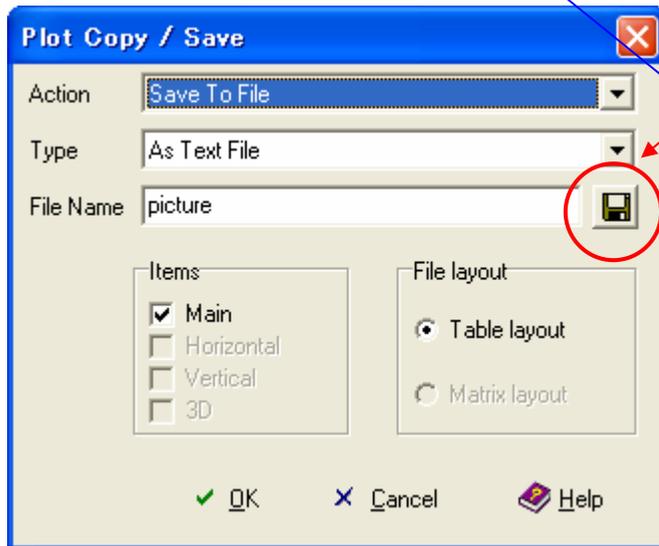
図D4-4. モード計算が正常終了したときの画面

結果表示で、表示させるメニューは**"Gain/Loss"** (赤丸)、偏波はX表示がデフォルトなので、引き続きY(青丸)を選択して、Showボタン(青四角)をクリックすると下図のような最終表示となる。ここで、**"Copy/Save Plots"** (赤四角)をクリックする。——→ 次頁へ

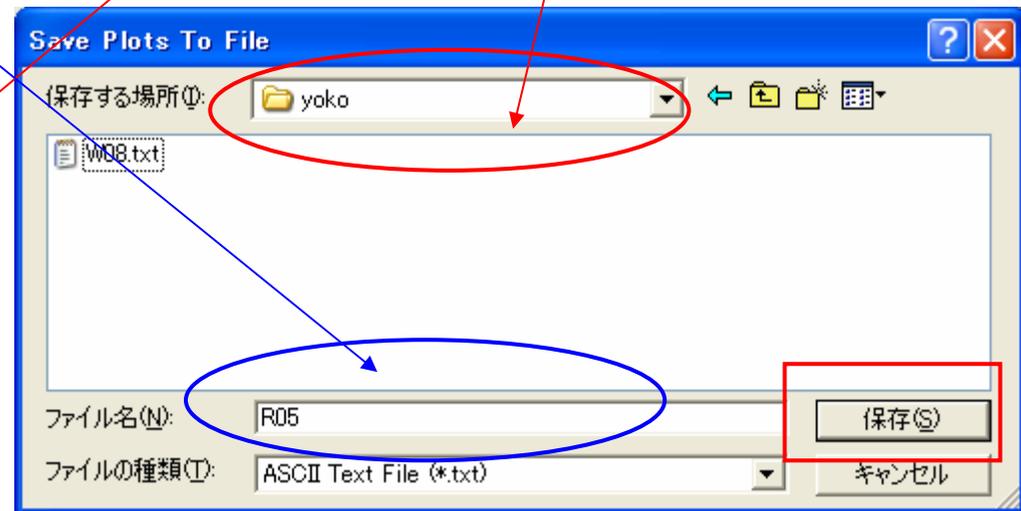


図D4-5 . 結果表示画面

図D4-6では、ファイルはデフォルトの「テキスト」のままとして、赤丸をクリックして、File Nameを定義する。図D4-7が開くので、ファイル格納場所(赤丸)とファイル名、青丸を指定し、保存(赤四角)をクリックする。



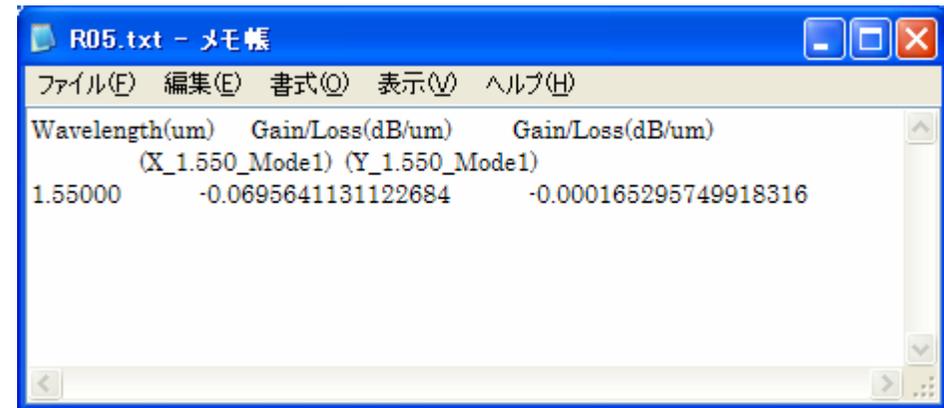
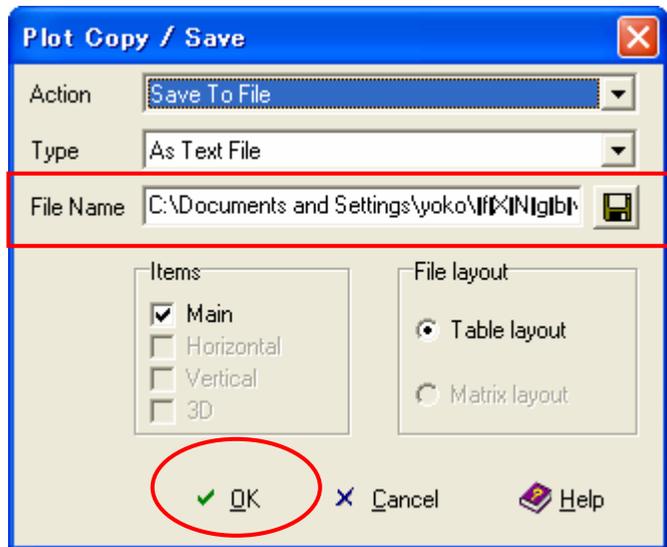
図D4-6. ファイル出力を定義する画面



図D4-7. ファイル名入力画面

その結果、図D4-6の画面は、図D4-8となる。

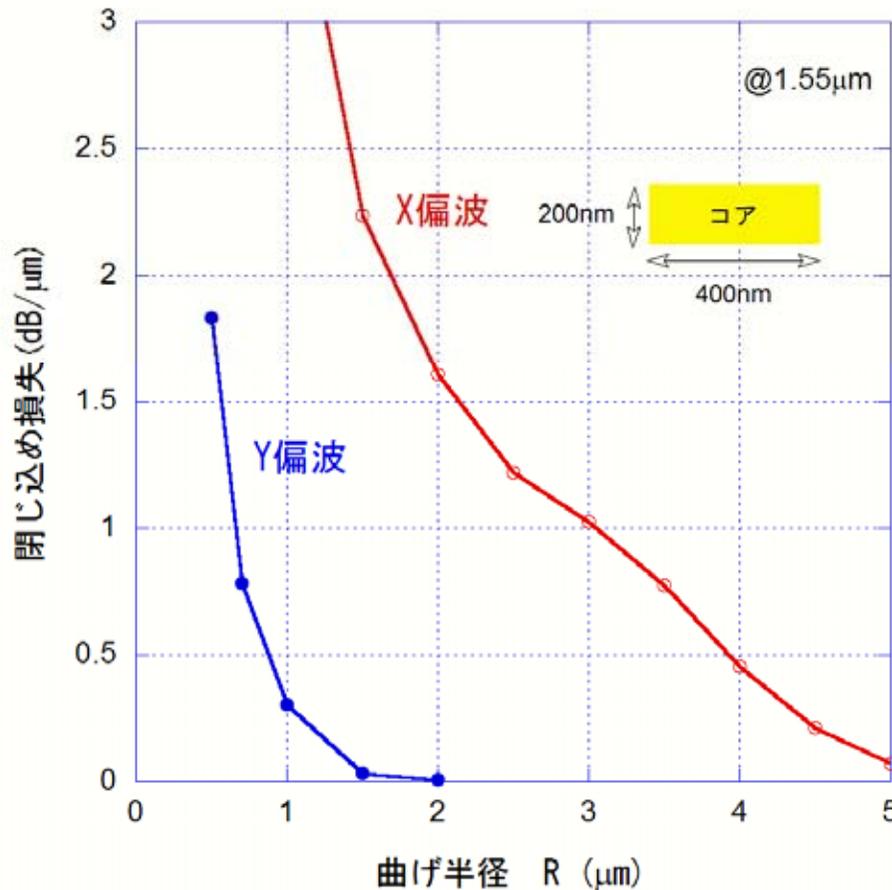
図D4-8に示すように、一部文字化けのように見えるが、気にしないで、OK(赤丸)をクリックする。その結果、図D4-7で指定した場所に、指定したファイル名がテキストファイルでできている。これを、メモ帳またはワードパッドで開くと、図D4-9のようになる。ここで閉じ込め損失が負の値となっているのはロスを示すためである。



図D4-8. ファイル名が定義された図D4-6の画面

図D4-9. X偏波とY偏波に対するR=5 μ mでの曲げを含む閉じ込め損失値

曲げ半径Rを変化させて、X偏波とY偏波の閉じ込め損失を同様な作業で求めて、それらの値をグラフソフトで表示すると、図D4-10の結果が得られる。このプロットでは、ロスを正として表示してある。

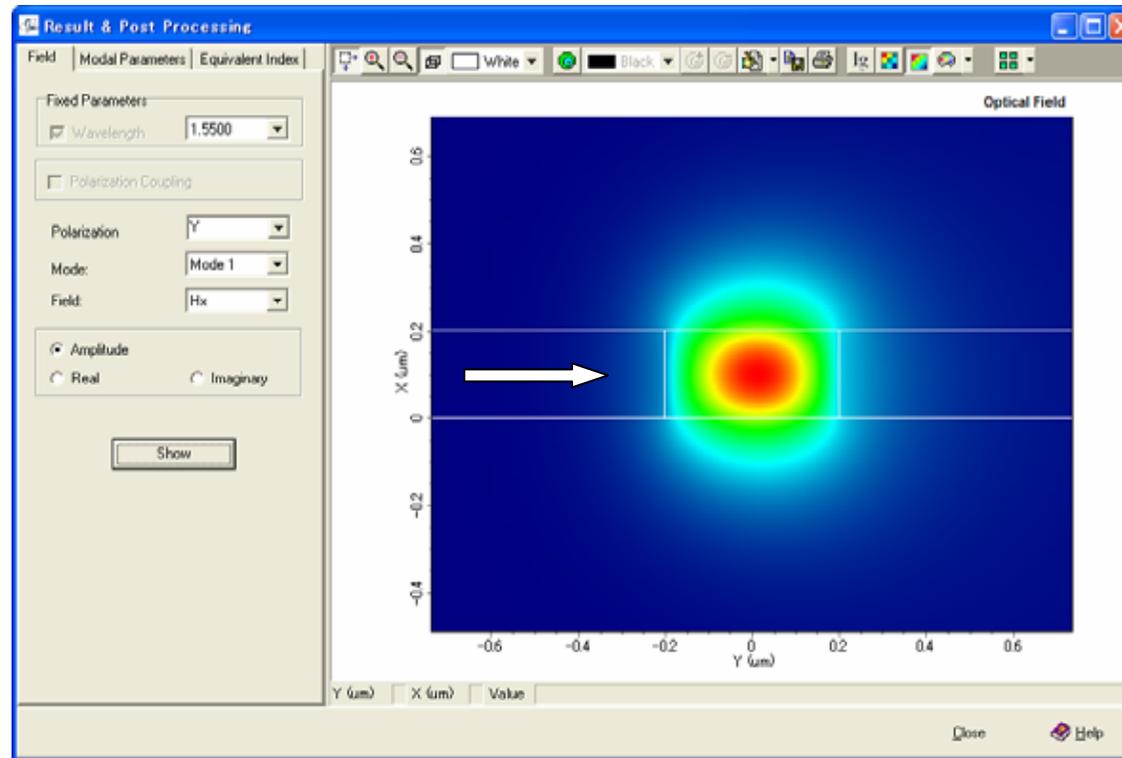


このように表示することで、曲げによって閉じ込め損失が増大しない最小の半径を選択することで、最小の曲げ半径を設計することができる。左図では、Y偏波(TEモード)の特性が優れ、X偏波(TMモード)では半径5μmの曲げでは既に漏れが生じることがわかる。

Y偏波でのR=2μmと0.5μmのときのフィールド分布をそれぞれ、図D4-11, 12に記す。

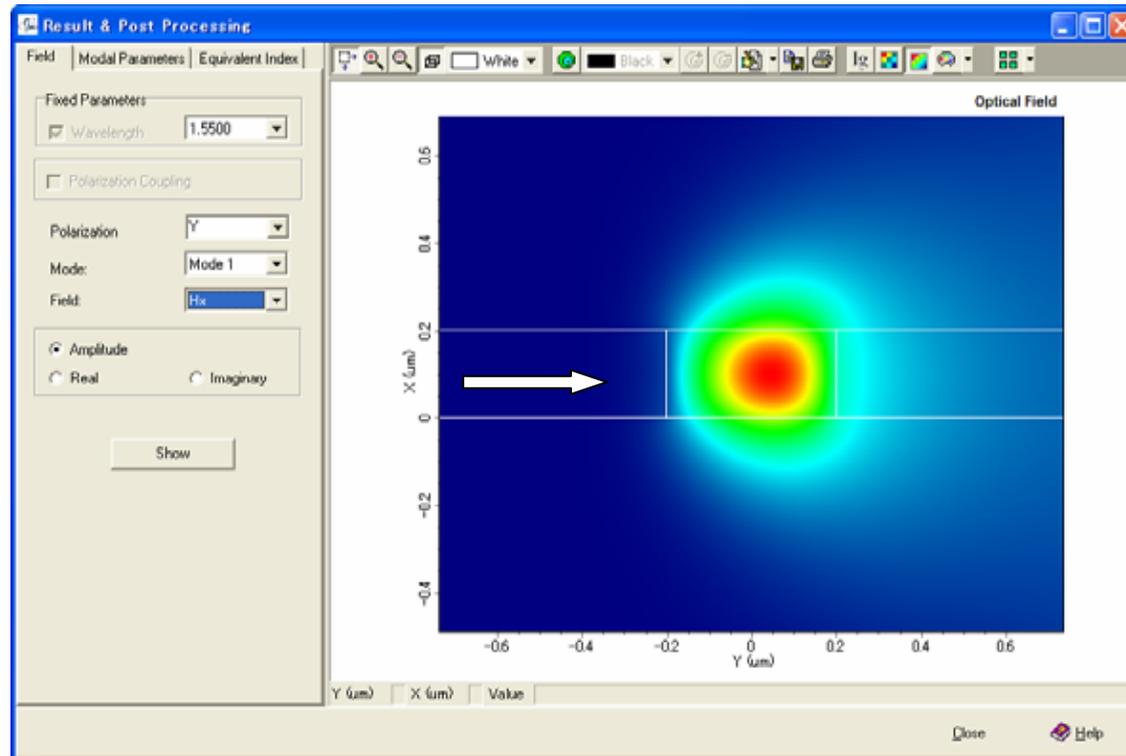
図D4-10 . 閉じ込め損失の曲げ半径依存性

フィールドの漏れがほとんど無い



図D4-11 . R=2 μ mのときのフィールド分布(矢印が曲げの方向)

漏れが顕著



図D4-12 . $R=0.5\mu\text{m}$ のときのフィールド分布(矢印が曲げの方向)

これらの事柄は図D4-10の結果とも一致し、APSSによりデバイス内部での現象まで十分に理解して、最小曲げ半径を設計することができる。

以上より、論文の著者Yamadaらが採用しているTEモードでの曲げ半径 $R=2.5\mu\text{m}$ は余裕ある最小曲げ半径であることもわかる。