

# フルベクトル有限差分ビーム伝搬法を利用した 光導波路素子のトポロジー最適設計

Topology Optimal Design of an Optical Waveguide Device  
Utilizing Full Vectorial Finite Difference Beam Propagation Method

井口亜希人<sup>1</sup>  
Akito Iguchi

辻寧英<sup>1</sup>  
Yasuhide Tsuji

安井崇<sup>2</sup>  
Takashi Yasui

平山浩一<sup>2</sup>  
Koichi Hirayama

室蘭工業大学<sup>1</sup>  
Muroran Institute of Technology

北見工業大学<sup>2</sup>  
Kitami Institute of Technology

## 1 まえがき

これまでに筆者らは、有限要素法やFDTD法よりも効率的に光波の伝搬解析が実行できるビーム伝搬法(BPM)を利用した光導波路デバイスのトポロジー最適設計手法について検討を行ってきた。これまでに、有限差分BPM(FD-BPM)を利用したトポロジー最適設計を2次元設計問題[1]やセミベクトル3次元設計問題[2]に対して応用し、各種設計例を報告してきた。本報告では、本設計アプローチのさらなる汎用化のため、フルベクトルFD-BPMを利用した光導波路素子のトポロジー最適化手法について検討する。

## 2 感度解析に基づくトポロジー最適設計

本報告では、比誘電率分布を密度法を用いて表現する。また、設計領域内部においてコアの高さは一様として、水平方向( $x$ )と伝搬方向( $z$ )に離散点ごとに正規化密度パラメータ $\rho$ を割り当てる。交互方向陰解法(ADIM)を適用した場合、フルベクトルFD-BPMの逐次更新式は

$$\{\phi\}^{m+1} = \left( [\Gamma_4]^{-1} [\Gamma_3] [\Gamma_2]^{-1} [\Gamma_1] \right)_m \{\phi\}^m \quad (1)$$

と表現できる。ここで、 $m$ は $z$ 方向の伝搬ステップ番号である。式(1)を用いると、1番目のポートから $n$ 番目の出力ポートへのSパラメータの $\rho$ に対する感度は次のように表現できる。

$$\frac{\partial S_{n1}}{\partial \rho_{k,m}} = \sum_{i=1}^4 (-1)^{i-1} \{\lambda_{n,m+i}\}^\dagger \frac{\partial [\Gamma_i]_m}{\partial \rho_{k,m}} \{\phi\}^{m+i+1} \quad (2)$$

ここで、 $k$ は $x$ 方向の離散点番号であり、 $l_1 = l_2 = 0$ 、 $l_3 = l_4 = 1/2$ 、 $l_5 = 1$ である。 $\{\lambda_n\}$ は次の演算により求まるベクトルである。

$$[\Gamma_4]_m^\dagger \{\lambda_{n,m+1/2}\} = [\Gamma_1]_{m+1}^\dagger \{\lambda_{n,m+1}\} \quad (3)$$

$$[\Gamma_2]_m^\dagger \{\lambda_{n,m}\} = [\Gamma_3]_{m+1}^\dagger \{\lambda_{n,m+1/2}\} \quad (4)$$

## 3 最適設計例

感度解析の妥当性を確認するため、図1の設計モデルを用いて偏波回転素子の設計を行う。入出力ポートのコアの寸法は $W = H = 0.8 \mu\text{m}$ 、設計領域幅はそれぞれ $L = 20 \mu\text{m}$ 、 $D = 3 \mu\text{m}$ 、 $h = 0.4 \mu\text{m}$ 、コアとクラッドの屈折率はそれぞれ $n_1 = 2.2$ 、 $n_2 = 1.445$ とする。本報告では、図の破線で囲まれた面を対称面として設計領域

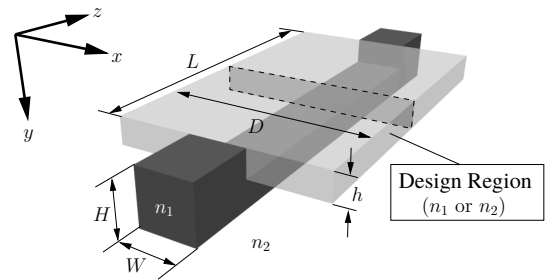


図1 偏波回転素子の設計モデル

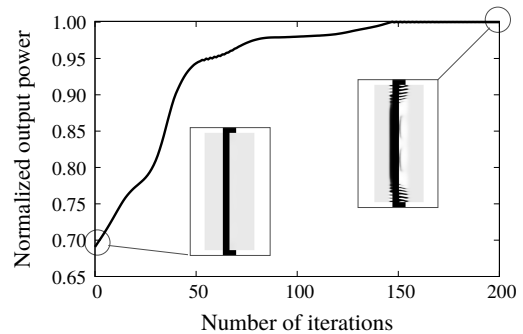


図2 最適化の反復回数に対する $y$ 偏波基本モードの出力特性

の半分を最適化する。入射ポートに波長 $1.55 \mu\text{m}$ の $x$ 偏波基本モードの光波が入射されたとき、 $y$ 偏波基本モードの出力が最大化されるように最適設計を行う。最適化の反復回数に対する $y$ 偏波基本モードの出力特性のグラフを図2に示す。図より、反復回数を経るにしたがって特性が改善しており、感度解析の妥当性が確認できる。

## 4 まとめ

ADIMに基づくフルベクトルFD-BPMを利用したトポロジー最適化手法を用いて偏波回転素子の設計を行い、本手法による感度解析の妥当性を確認した。

## 参考文献

- [1] A. Iguchi *et al.*, *J. Lightw. Technol.*, Vol. 34, Sept. 2016.
- [2] A. Iguchi *et al.*, PIERS 2016 in Shanghai, China, Aug. 2016.