

フルベクトル有限要素ビーム伝搬解析の安定化に関する考察

A Study on Stabilization of Full Vector Finite Element Beam Propagation Analysis

河井翔平
Shohei Kawai

辻寧英
Yasuhide Tsuji

室蘭工業大学
Muroran Institute of Technology

1 まえがき

伝搬方向に構造の変化が緩やかで反射がほとんど生じない導波路型光デバイスの解析・設計にはビーム伝搬法 (BPM) が有効であり広く用いられている。横方向の離散化に有限要素法 (FEM) を用いた有限要素ビーム伝搬法 (FE-BPM) は、任意形状の形状表現に優れ、曲辺の媒質境界も精度良く扱うことができる。しかしながら、フルベクトル FE-BPM (FV-FE-BPM) 解析においては非物理モードの発生によって解が必ずしも安定ではないことが知られている [1]。本研究では、所望の固有値を持つ固有ベクトルのみを通すフィルタ [2] を用いた FV-FE-BPM の安定化について考察を行っている。

2 FV-FE-BPM の安定化

FV-FE-BPM における伝搬界分布 $\{\phi\}$ は、各伝搬ステップにおいて固有モード $\{\phi_i\}$ の重ね合わせとして

$$\{\phi\} = \sum_{i=0}^N A_i \{\phi_i\} \exp\{-j(\beta_i - \beta_0)z\} \quad (1)$$

のように書ける。このとき、 β_i^2 の虚部が正のモードは伝搬とともに振幅が増大し解を不安定にする。このモードは数値的な離散化により現れたものであり、これらを抑圧できれば解が安定化できると考えられる。

FEM により離散化すると各固有モードは

$$([K] - \beta_i^2[M])\{\phi_i\} = \{0\} \quad (2)$$

で表される。したがって、伝搬解を線形フィルタ

$$F(\beta^2) = \prod_{l=1}^L \frac{a[M]}{[K] - (at_l + t_0)[M]}, \quad t_l = e^{j(2l-1)\pi/L} \quad (3)$$

に通すと、指定した固有値 t_0 近傍 (半径 a の範囲) のモードのみが通過し、非物理モードが抑圧される。

3 解析結果

図 1 に示すような強導波の 3 次元光導波路を考え、材料の屈折率を $n_1 = 3.4, n_2 = n_3 = 1.45$ とし、 $w = h = 0.6 \mu\text{m}, l = 3 \mu\text{m}, W_{\text{MMI}} = 1.8 \mu\text{m}, L_{\text{MMI}} = 97 \mu\text{m}, d = 3.7 \mu\text{m}, W_x = W_y = 8 \mu\text{m}$ とする。入射光として $1.55 \mu\text{m}$ の E^x 基本モードを考える。図 2 に通常の FV-FE-BPM による解析結果および固有モード展開に基づき非物理モードを除去した場合と式 (3) のフィルタ ($L = 8, a = t_0 = \beta_0^2$) を用いて非物理モードを抑圧した場合の解析結果を示す。解析構造の自己結像距離は約 $6.6 \mu\text{m}$ であるが、解法の安定性を見るため十分長い距離を伝搬させている。図より、通常の FV-FE-BPM では非物理モードの発生により界が発散しているが、非物理モードを抑圧することで安定化が図られていることが

わかる。図 2(b), (c) の出力端における電磁界分布の相関は 0.994 であり、両者の結果が良く一致していることがわかる。一般にモード展開の計算コストは非常に高いが、フィルタの適用は線形代数方程式を解くことで、比較的効率的に行うことができる。このことから、フィルタを用いることで効率的な FV-FE-BPM の安定化ができると考えられる。

4 まとめ

フィルタを用いた非物理モード抑圧によって FV-FE-BPM の安定化が期待できることを示した。今後はより効率的に非物理モードを抑圧できるフィルタの設計についてさらに検討を行う予定である。

参考文献

- [1] T. Q. Tran *et al.*, *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 50, no. 10, pp. 808-814, Oct. 2014.
[2] 村上 弘, 数理解析研究所講究録, vol. 1652, pp. 134-145, 2009.

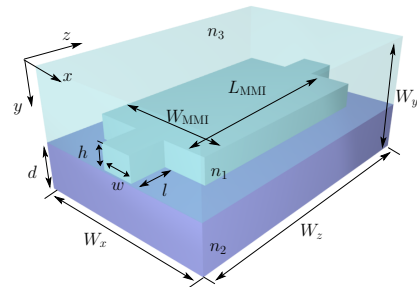


図 1 三次元光導波路 (MMI カプラ)

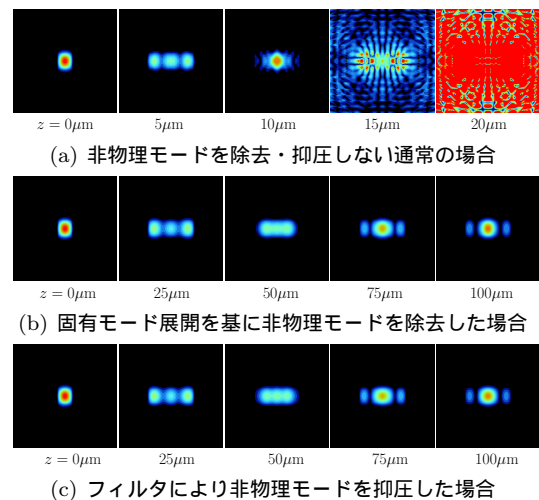


図 2 FV-FE-BPM による伝搬界分布 (主成分 H_y)