11-NA24

辻　寧英（室蘭工業大学）

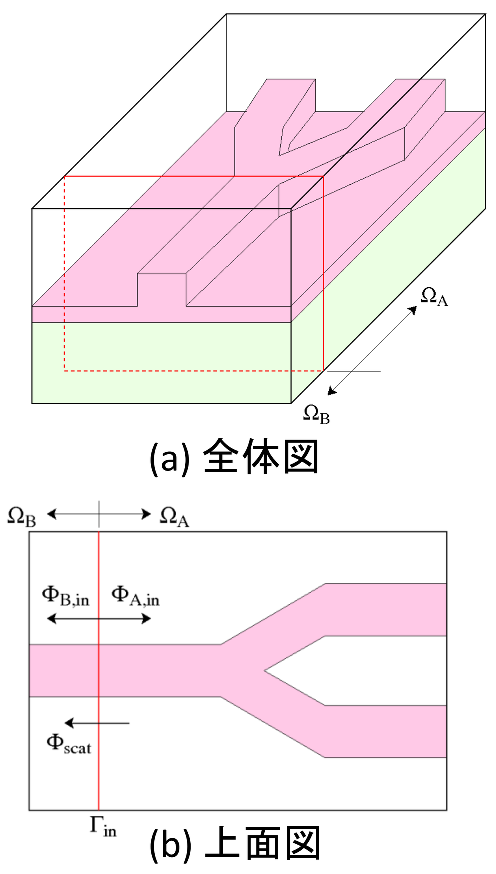
3次元有限要素法による光導波路解析の高速化と最適設計に関する検討

研究目的

光通信の高速大容量化を目指し，そこで必要とされる光導波路デバイスの解析設計を効率的に行うために，光導波路デバイスの解析法の高速化と最適設計法の開発を行う．本研究では数値解析法には任意形状への適用性と汎用性に優れた有限要素法に基づく解析法を考え，最適設計法には目的とする出力特性を指定することで最適化領域内の屈折率分布を自動生成することができる関数展開法に基づくトポロジー最適化を考え，これらの高速化・高性能化を目指す．

3次元光導波路の有限要素法解析

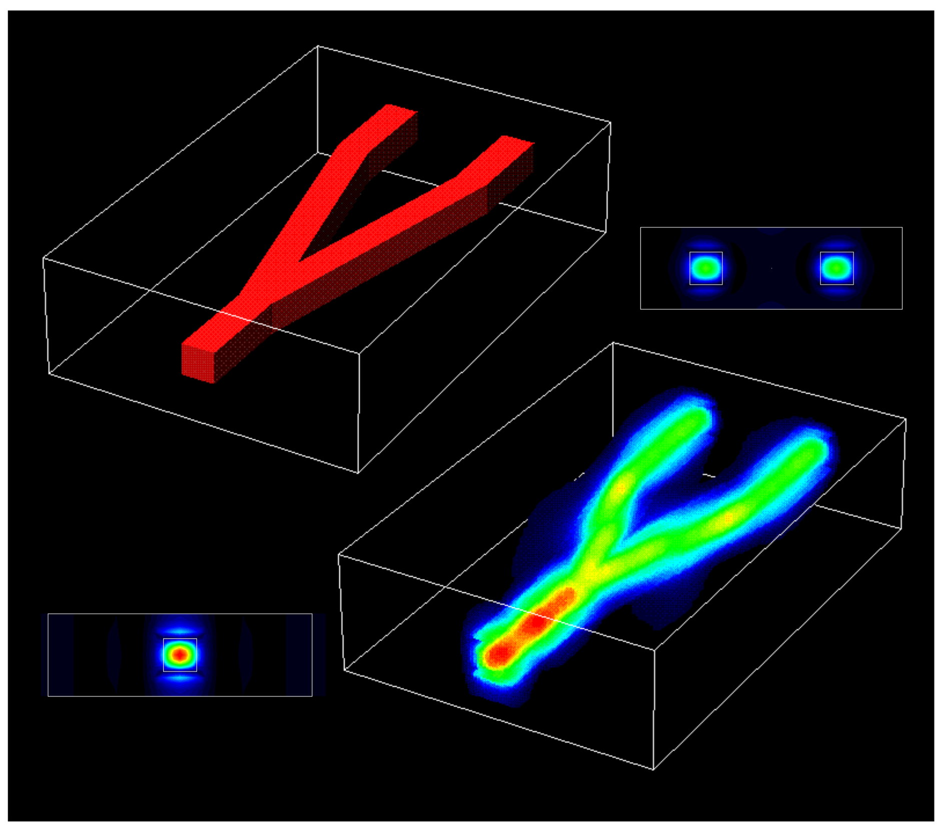
3次元光導波路の有限要素法解析では，入出力導波路の境界条件に完全整合層を用いることで，解析的関係式を用いるときに必要となる煩雑なモード展開を不要にしている．また，境界条件は非相反導波路の取り扱いも可能な拡張，任意方向へ向かう導波路にも適用可能な拡張を行っている．



(a) 全体図

(b) 上面図

3次元光導波路の解析モデル

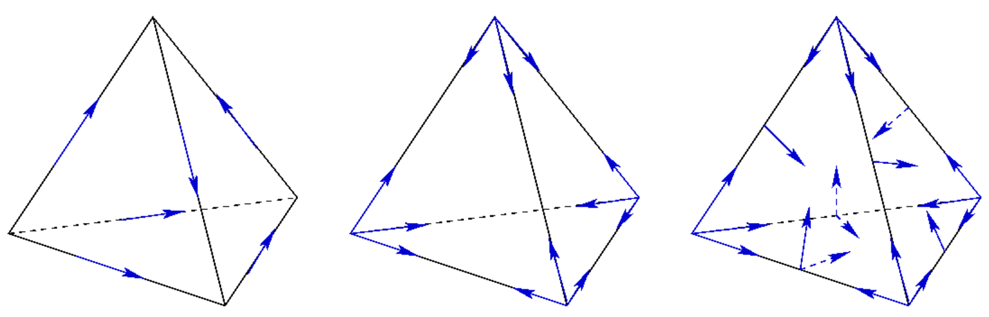


Y分岐導波路中の光波の伝搬

有限要素分割

四面体エッジ要素

光導波路デバイスの3次元解析ではフルベクトル解析が必須であり，任意形状への適用性とスプリアス解の除去考え四面体エッジ要素を用いる．解析精度と速度の観点から解析に用いる要素次数についても検討する．

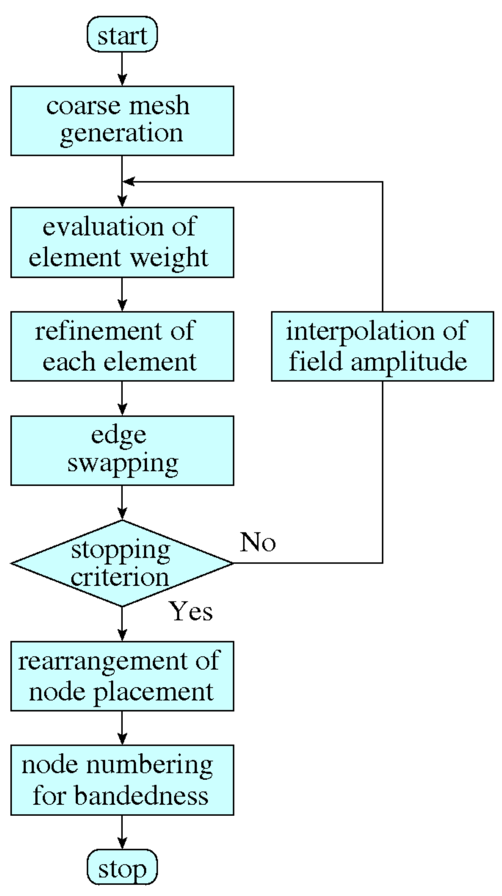


CT/LN　LT/LN　LT/QN

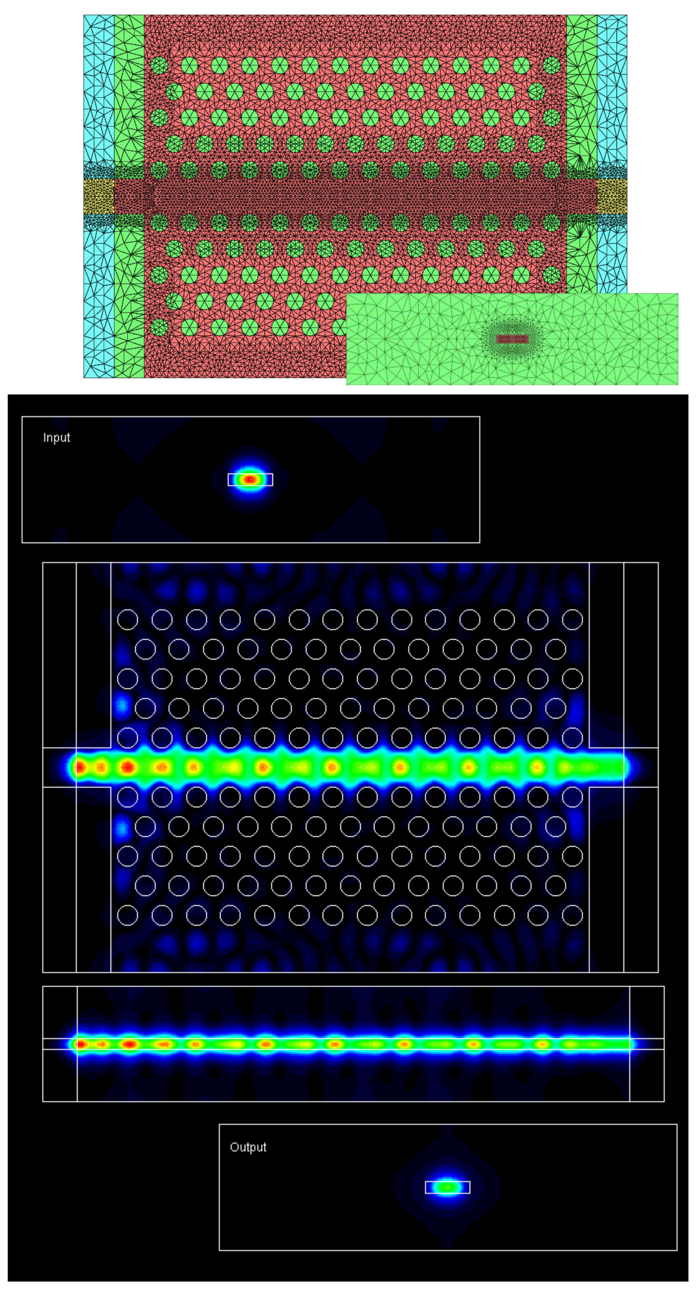
四面体エッジ要素

アダプティブメッシュの生成

伝搬界分布に応じて要素分割に粗密をつけることで，計算精度を保ったまま計算規模を縮小する．



アダプティブメッシュの生成手順

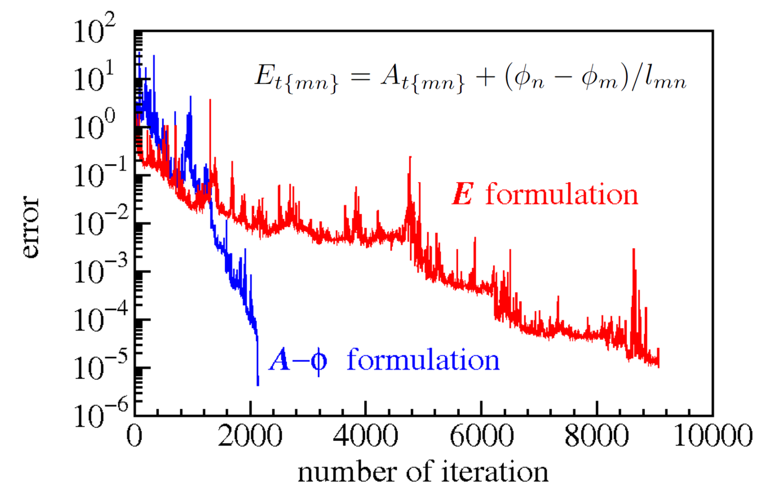


伝搬波形と要素分割

大規模行列問題の解法

反復法の適用性の検討

有限要素法による高周波電磁界解析で連立一次方程式の解法に反復法を用いると収束が悪いことが知られている．ここでは，反復法の前処理を工夫することにより，大規模問題への反復法の適用性について検討する．電磁界を直接扱う代わりにポテンシャルを用いて解くのもひとつの方法であり，問題の性質を利用した前処理法についても検討する．

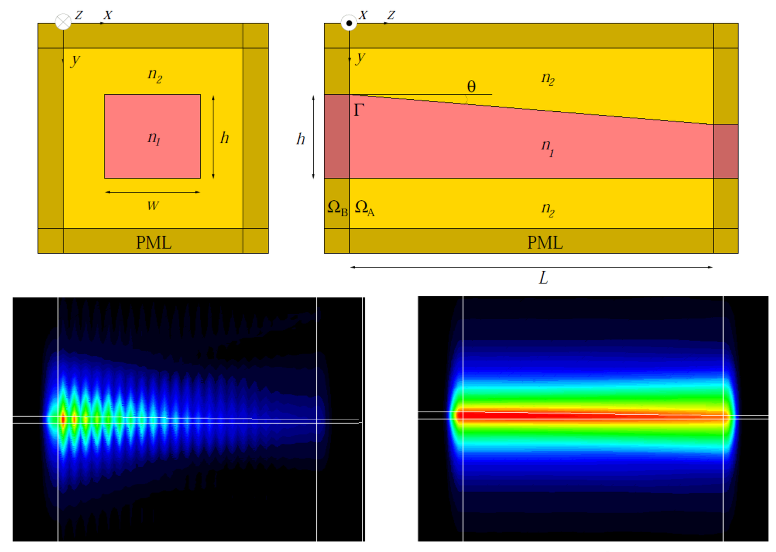


近似的アプローチ

緩慢変化包絡線近似を用いることで伝搬方向の離散化を大幅に緩和することができる．

$$\Phi(x,y,z) = \phi(x,y,z)e^{-jk_0 n_0 z}$$

反射の無視できる領域に対してはビーム伝搬法を用いるような結合解法も計算規模を縮小するためのひとつの方策である．

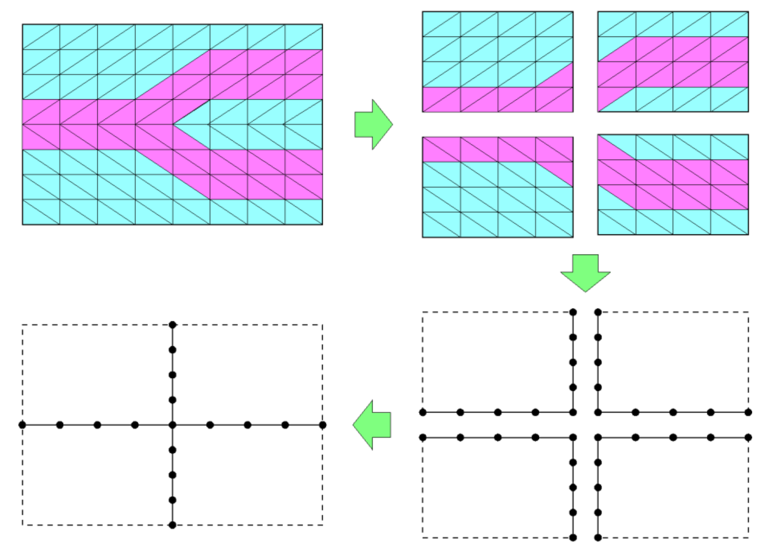


SVEAなし　SVEAあり

領域分割法による計算の並列化

解析領域を分割し，領域ごとの連立一次方程式解き，領域境界での境界条件が満足されるように反復計算により自己無撞着な解を求める．

$$\begin{bmatrix} [P_{11}] & [P_{1b}] & [0] \\ [P_{b1}] & [P_{bb}] & [P_{b2}] \\ [0] & [P_{2b}] & [P_{22}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{\phi_1\} \\ \{\phi_b\} \\ \{\phi_2\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{u_1\} \\ \{u_b\} \\ \{u_2\} \end{bmatrix}$$



領域分割法

光導波路デバイスの最適設計法

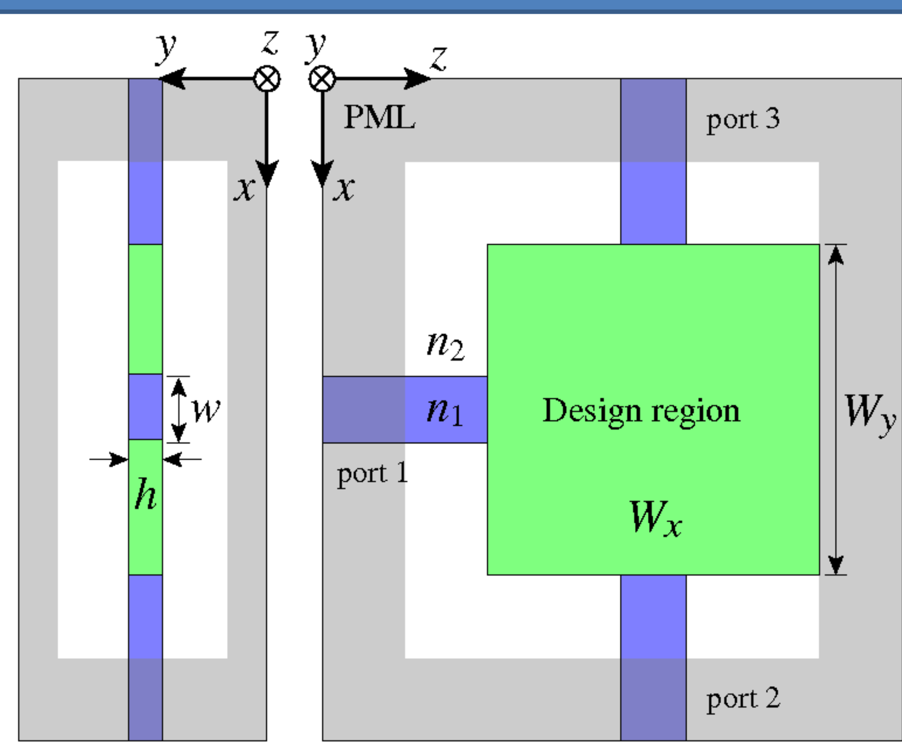
トポロジー最適化

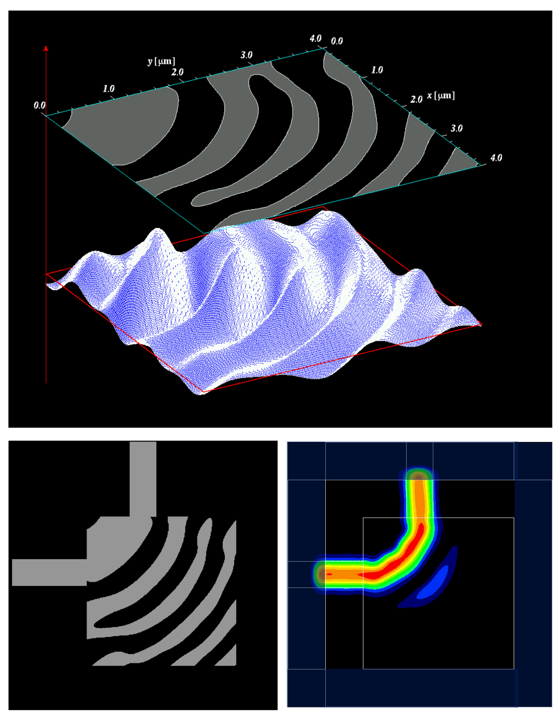
目的とする出力特性を与えることで最適化領域内の屈折率分布を自動的に生成することができ，これまで考えられてこなかった構造を見出せる可能性がある．

$$\varepsilon_r(x,y,z) = \varepsilon_{ra} + (\varepsilon_{rb} - \varepsilon_{ra})\,H(w(x,y,z))$$

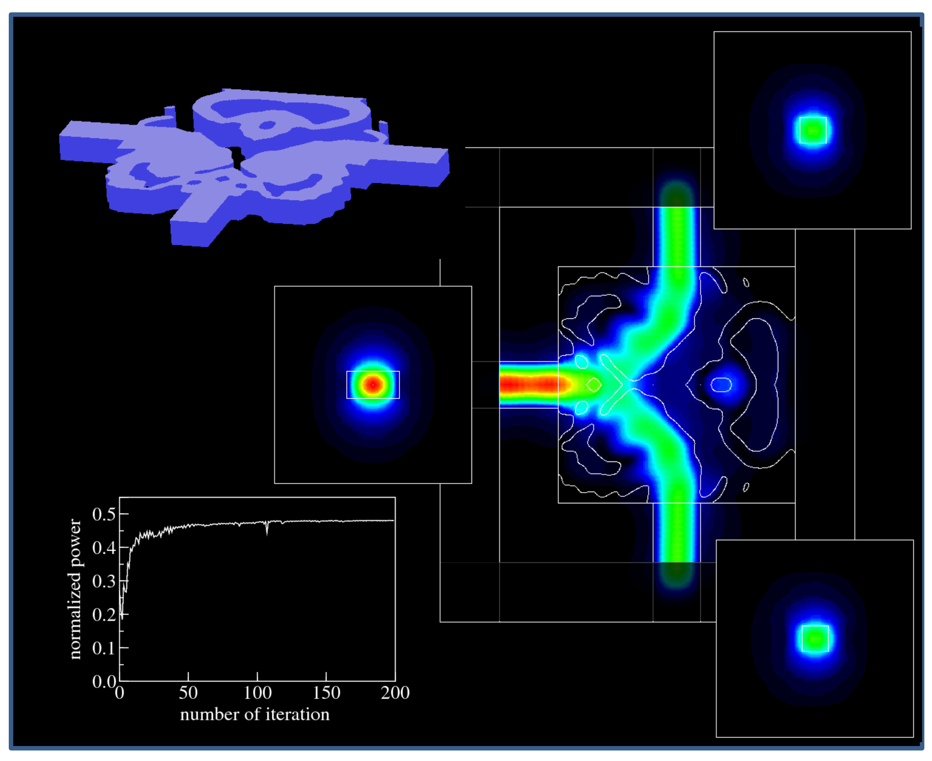
$$w(x,y,z) = \sum_i a_i f_i(x,y,z)$$

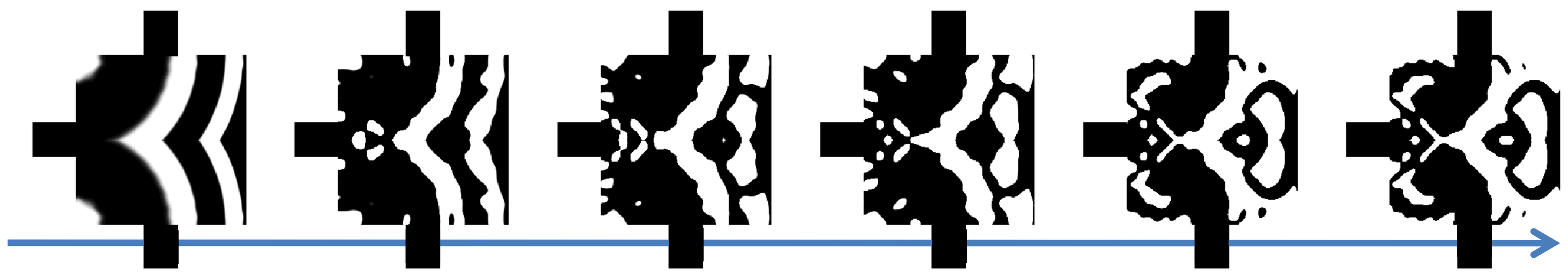
$$H(\xi) = \begin{cases} 0 & (\xi \le -h) \\ \frac{1}{2}\left(\frac{\xi+h}{h}\right)^2 & (-h < \xi < 0) \\ 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\xi-h}{h}\right)^2 & (0 \le \xi < h) \\ 1 & (\xi \ge h) \end{cases}$$





曲り導波路の最適化





3次元光導波路分岐のトポロジー最適化