

# ハイパスフィルターとしての導波管の形状最適化

251702255 村木 健太

## 論文要旨

電磁波を伝送するデバイスである導波管は、低い周波数の信号を遮断し、高い周波数の信号を通過させるハイパスフィルターとしての特性を持っている。本研究ではこれまで、導波管のフィルター性能を向上させるために、導波管内の電場に対する周波数応答問題を状態決定問題とおき、出力ポートの電力とフィルタ特性関数の積和を目的関数とした形状最適化問題の解が使われてきた。しかし、この方法で最適化された形状では、フィルター性能は向上したものの、改善の余地が見られた。本研究では、導波管内の電場に対する固有値問題を状態決定問題とみなし、固有値を目的関数において移動することを目的にした形状最適化問題を定式化し、その問題の解の中からフィルター性能の優れた形状を見つけることを目指した。

形状最適化問題は次のように構成された。  $\Omega_0 \subset \mathbb{R}^3$  を有界な初期領域とする。領域変動の変位を  $\phi \in \mathcal{D} = \{W^{1,\infty}(\mathbb{R}^3; \mathbb{R}^3) \mid \text{領域変動の制約}\}$  とかき、変動後の領域を  $\Omega(\phi)$  とかくことにする。また、カットオフ周波数近傍の周波数領域を指定して、その領域内に存在する電場の固有対の次数の集合を  $R \subset \mathbb{N}$  とかく。このとき  $r \in R$  次の固有周波数  $\omega_r \in \mathbb{R}$  と固有振幅モード  $e_r \in \mathcal{S} = \{W^{1,\infty}(\Omega(\phi); \mathbb{R}^3) \mid \text{電場の境界条件}\}$  は、

$$\nabla \times \left( \frac{1}{\mu} \nabla \times e_r \right) - \omega_r^2 \varepsilon e_r = \mathbf{0}_{\mathbb{R}^3} \quad \text{in } \Omega(\phi). \quad (1)$$

で与えられる固有値問題の解とする。形状最適化問題は、

$$(\phi^*, \omega_r^*, e_r^* \mid r \in R) = \underset{(\phi, \omega_r, e_r \mid r \in R) \in \mathcal{D} \times (\mathbb{R} \times \mathcal{S})^{|R|}}{\operatorname{argmin}} \left\{ f(\phi, \omega_r \mid r \in R) = \sum_{r \in R} w_r \omega_r^2 \mid (1) \right\},$$

を満たす  $\Omega(\phi^*)$  を求める問題として定式化された。ただし、 $w_r$  は  $\omega_r^2$  の最大化あるいは最小化を規定するための定数とする。

本研究では、 $f$  の形状微分を求める式を導出し、COMSOL Multiphysics 5.2 を用いて、その計算を行い、 $H^1$  勾配法に基づいて形状更新するプログラムを開発した。図 1 にフィルター性能が最も向上した  $f = \omega_1^2 + \omega_2^2$  のときの固有周波数の変動を示す。図 2 はそのときの入力電力に対する出力電力の比を示す  $s_{21}$  パラメータの結果である。この図より、カットオフ周波数である 50 GHz 近傍のフィルタ性能が向上していることが確認される。

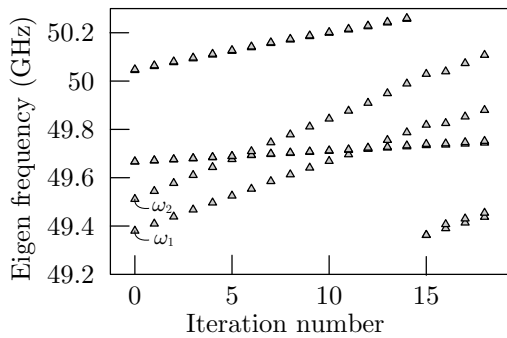


図 1: 固有周波数の推移

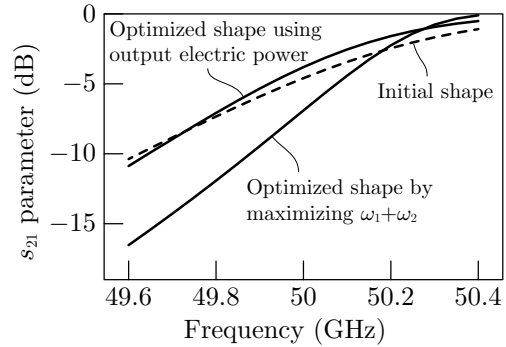


図 2:  $s_{21}$  パラメータ