

# 電子デバイスの形状最適化問題に関する研究

351504065 酒井 乾

## 論文要旨

電磁場の周波数応答現象は Maxwell 方程式に基づく Helmholtz 型偏微分方程式の境界値問題としてモデル化される．この問題は電子デバイスにおける電力や信号の伝搬現象を解析する際に用いられる．本研究では，この問題を状態決定問題に用いた伝搬特性を改善する形状最適化問題を定式化して，その数値解法を開発することを目的とする．具体的には，電子デバイスとしてコネクタを取り上げ，ローパスフィルタの機能を表す目的関数を定義して，その形状微分を評価する式を理論的に導出する．数値解法は，それを用いた  $H^1$  勾配法によって構成される．これらの理論の有効性は数値例によって示される．

形状最適化問題を以下のように定義する． $E_0$  と  $\Omega_0 = \mathbb{R}^d \setminus E_0$  はそれぞれ初期の平行電極とその外側の電場を表す  $d \in \{2, 3\}$  次元領域とする (図 1)． $\Gamma_{I0} \subset \partial E_0$  と  $\Gamma_{O0} \subset \partial E_0 \setminus \Gamma_{I0}$  はそれぞれコネクタの入力ポートと出力ポートを表す境界とする．形状最適化問題の設計変数には領域変動の変位  $\phi: \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}^d$  を選ぶ．ただし， $\Gamma_{I0} \cup \Gamma_{O0}$  上では  $\phi = \mathbf{0}$  とする． $\phi$  によって変動したあとの  $E_0$  と  $\Omega_0$  をそれぞれ  $\Omega(\phi)$  と  $E(\phi)$  とかくことにする．また，フィルタ特性を観測するサンプリング周波数を  $F = \{\omega_1, \dots, \omega_m\}$  とかく．設計変数  $\phi$  が与えられたとき，入力ポート上の既知の電流密度  $\mathbf{i}_R: \Gamma_{I0} \times F \rightarrow \mathbb{C}^d$  に対する電場強度  $\mathbf{e}: \Omega(\phi) \times F \rightarrow \mathbb{C}^d$  は Helmholtz 型偏微分方程式の境界値問題の解として決定されるとする．このとき，目的関数と制約関数を

$$f_0(\phi, \mathbf{e}) = \sum_{\omega \in F} w_R \int_{\Gamma_{O0}} \operatorname{Re}[\mathbf{i}_R \cdot \mathbf{e}] d\gamma, \quad (1)$$

$$f_1(\phi) = \int_{E(\phi)} dx - c_1 \quad (2)$$

とおく．ここに， $\mathbf{i}_R: \Gamma_{O0} \times F \rightarrow \mathbb{C}^d$  は  $\Gamma_{I0}$  のものと同じ関数を使用する．また，

$$w_R = \begin{cases} -\operatorname{sign} \left( \int_{\Gamma_{O0}} \operatorname{Re}[\mathbf{i}_R \cdot \mathbf{e}] d\gamma \right) & \text{for } \omega < \omega_c \\ \operatorname{sign} \left( \int_{\Gamma_{O0}} \operatorname{Re}[\mathbf{i}_R \cdot \mathbf{e}] d\gamma \right) & \text{for } \omega > \omega_c \end{cases} \quad (3)$$

はカットオフ周波数  $\omega_c$  をもとにフィルタの役割を果たす重み関数である．ここで， $\operatorname{sign}(\cdot)$  はシグナル関数を表す．

コネクタのローパスフィルタのための形状最適化問題は， $f_1 = 0$  を満たしながら  $f_0$  を最小にするような領域  $\Omega(\phi)$  を求める問題として定式化される．数値例では，図 1 のような初期形状に対して， $\omega_c/2\pi = 0.8$  [GHz]， $F = \{0.5, 1.1\}$  [GHz] のとき，図 2 のような最適化された形状を得ている．電力の伝搬特性を示す  $S_{21}$  パラメータの結果を示す図 3 は，ローパスフィルタとしての特性が向上していることを示している．

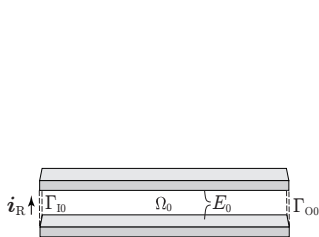


図 1 初期形状

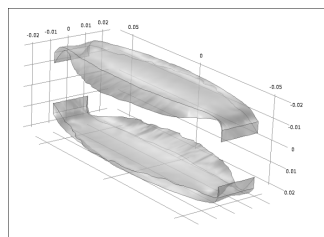


図 2 最適化された形状

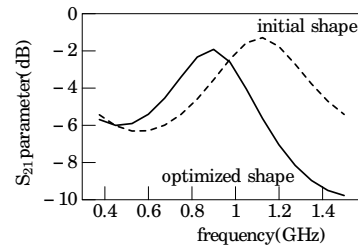


図 3  $S_{21}$  パラメータ