

# 高周波インダクタ設計のための高精度磁界シミュレーション と AI による形状最適化

## High Accuracy Magnetic Field Simulation for High Frequency Inductor Design and Shape Optimization by AI

清水 香尨<sup>†</sup> 古屋 篤史<sup>†</sup> 下川 聡<sup>‡</sup>

Koichi SHIMIZU<sup>†</sup> Atsushi FURUYA<sup>†</sup> and Satoshi SHIMOKAWA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>富士通株式会社 <sup>‡</sup>株式会社富士通研究所

### 概要

本ワークショップセッションでは、外形サイズに上限を設けた EI コアに対して、コア損失を小さくかつインダクタンスの値を最大化する形状を求めするために取り組んできた我々の最適化手法の一つを報告する。まず初めに、EI 型のインダクタのコア形状を様々に変えて、インダクタンスと損失からなる複数のデータセットを有限要素法の磁場解析で計算した。そして、計算より得られたデータセットを用いて、コア形状を特徴付ける寸法を入力、およびインダクタンスと損失を出力とするニューラルネットワークを構築した。最適化アルゴリズムには遺伝的アルゴリズムを採用し、ニューラルネットワークと連携させて損失と体積を目的関数とする多目的最適化を行った<sup>[1]</sup>。

### Abstract

In this workshop session, we will report one of our optimization methods for the shape of an EI core with minimum core loss and maximum inductance under upper limit on the outer size. First, various data sets of an inductance and a loss were calculated by finite element magnetic field analysis for various shapes of EI cores. Using data sets obtained from the calculation, we constructed a neural network that inputs several sizes of the core shape and outputs an inductance and a loss. We adopted a genetic algorithm as an optimization algorithm and performed multi-objective optimization with loss and volume as objective functions in cooperation with a neural network.

### 1. はじめに

ノート PC やスマートフォン等、IT 機器の小型化や軽量化に伴い、インダクタやトランスの小型化と動作の高周波化が求められている。Mn-Zn フェライトは、透磁率が高く低周波領域（～100kHz）において損失が小さいことから IT 機器内のインダクタやトランスのコア材として広く用いられている。ところが、Mn-Zn フェライトを用いる磁気デバイスは、数 MHz の高周波領域でコアの断面寸法に依存して共振現象が起こることが知られている<sup>[2]-[4]</sup>。この共振現象は結晶粒と粒界層から成る Mn-Zn フェライト材料の内部構造に起因し、その内部構造に RC 等価回路を適用した誘電効果モデル<sup>[5]</sup>によって共振現象を再現することができる。磁気的な損失を高精度に予測するためには、共振現象の再現と磁気ヒステリシスによる損失の考慮が不可欠である。そこで、我々は誘電効果モデルとプレイモデル<sup>[6]</sup>と呼ばれる磁気ヒステリシスモデルを有限要素磁場解析に組み込んで今回の磁場解析に使用した。

インダクタは磁界によってエネルギーを蓄える受動電子部品であり、形状、寸法および磁性材料の磁気特性によって性能が様々に変化する。高い品質が求

められるインダクタの設計開発には、従来から実測データが中心的に活用されたが、近年では実験をサポートする手段として数値解析結果が活用されてきた。そして、誘電効果モデルやプレイモデルに代表される磁気ヒステリシスモデルが有限要素磁場解析に組み込まれ、損失の計算精度がさらに向上すると、設計者からの要望は「磁場解析によるインダクタ形状の最適化」へと一気に高まった。

本稿で形状最適化の対象とするインダクタは Mn-Zn フェライトの E 型と I 型のコア部材を組み合わせで構成される EI コアと呼ばれるインダクタである。一定の外形サイズに収まる EI コアに対して、損失を小さくし、かつインダクタンスの値を最大化することが本取り組みの目的である。インダクタ形状のパラメータの振り幅を大きくして最適な形状を探索するので、我々は大域的最適化手法の一つで実績のある遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) を採用した。

GA を用いて最適形状探索を行う場合、個体の評価回数、すなわち磁場解析の回数が非常に多くなることで最適解を得るまでに非常に多くの時間を要してしまう問題が発生する。これを解決するため、従来の