

《総 括》

電気機器・電子素子における最適設計・逆解析

高 橋 則 雄*・山 崎 憲**

1. ま え が き

電気機器や電子素子の形状や寸法を与えて電界、磁界、音波などを計算するいわゆる「順問題」の解析法は近年著しく進歩し、日常の設計業務などに広く使われつつある。これに対して、最近では、与えられた電界、磁界、音圧分布等を満足させたり、電磁力等が最大になるような形状、寸法などを求める「最適化問題」や、計測・観測された電界、磁界、振動等からその源となっている電流源、音源等の入力を推定するという「逆問題」が注目されている。これらの最適設計・逆問題の手法は、コンピュータの高速・大容量・低価格化、並びに遺伝的アルゴリズム等の高度な知識情報処理技術の進展等により、今後益々研究が進められ、普及するものと考えられる。

本特集では、磁場配向用金型、電力機器の電極、表面波弾性フィルタ、音響機器などの電気機器・電子素子における最適設計・逆解析についての最近の研究成果が収められている。本誌に掲載されている各論文の中で、各種の最適化手法・逆解析法が用いられているが、ここではまず、これらの手法の多様性について述べる。次に、電気機器・電子素子における最適設計・逆解析に関する学会等の最近の動向について述べるとともに、各手法の優劣比較を行うために提案されている比較用モデルに言及する。

2. 最適化手法、逆解析法の多様性

最適設計、逆解析を行う方法としては、通常、電磁界解析法、振動・音波の解析法等と最適化手法を併用した手法が用いられる。最適化手法としては表1のような手法がある。この分類方法は必ずしも確定して

表1 最適化手法

種 別	代表的な解法
直接法	二次計画法, Rosenbrock 法, 緩和法, Simulated Annealing 法, Evolution Strategy 法, 遺伝的アルゴリズム
降下法	Gauss-Newton 法, 準 Newton 法, 共役勾配法, 最急降下法, 感度解析法, Davidon-Fletcher-Powell 法, 拡大 Lagrange 関数法, Penalty 法

いるとは言えないようであるが、ここでは大きく直接法と降下法に分けている¹⁾。直接法の中には従来の Rosenbrock 法 (RBM) のように最適解を順次探索する方法以外に、確率論的 (stochastic) 方法と呼ばれる Simulated Annealing 法 (SAM), 遺伝的アルゴリズム (GA), Evolution Strategy (ES) などがある。降下法は、準ニュートン法のように目的関数の微係数を用いるので決定論的 (deterministic) 方法と呼ばれる。

直接法は、目的関数の微係数を用いずに解の探索を行うため、収束性の問題はあるものの、解が振動・発散することはまれである。一方の降下法は、目的関数の微係数を用いて解の探索を行うため、収束性は一般的に良いが、解が振動・発散を起こして求まらないことがある。また、局所的な極小値に陥りやすく、大域的な極小値 (つまり最適解) を求めにくい。これらの手法には各々特徴があり、順問題の解析法と同様、万能なものがあるわけではない。磁界解析法、音場の解析法等と最適化手法の組み合わせにより構成される最適設計・逆解析ではその多様性がさらに増し、対象とする問題自体も多種多様であるため、個々の問題への適用に終わってしまい、一般的な有用性、相互の優劣が良く分からないことが多い。また最適化設計を行う際、設計変数の選び方や初期値、制約条件、収束判定条件などの与え方によって異なる解が求まったり、収

Optimal Design and Inverse Analysis in Electrical Machines and Electronic Devices. By Norio Takahashi (Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Okayama University) and Ken Yamazaki (Dept. of Electrical Engineering, College of Industrial Technology, Nihon University).

*岡山大学工学部電気電子工学科

**日本大学生産工学部電気工学科

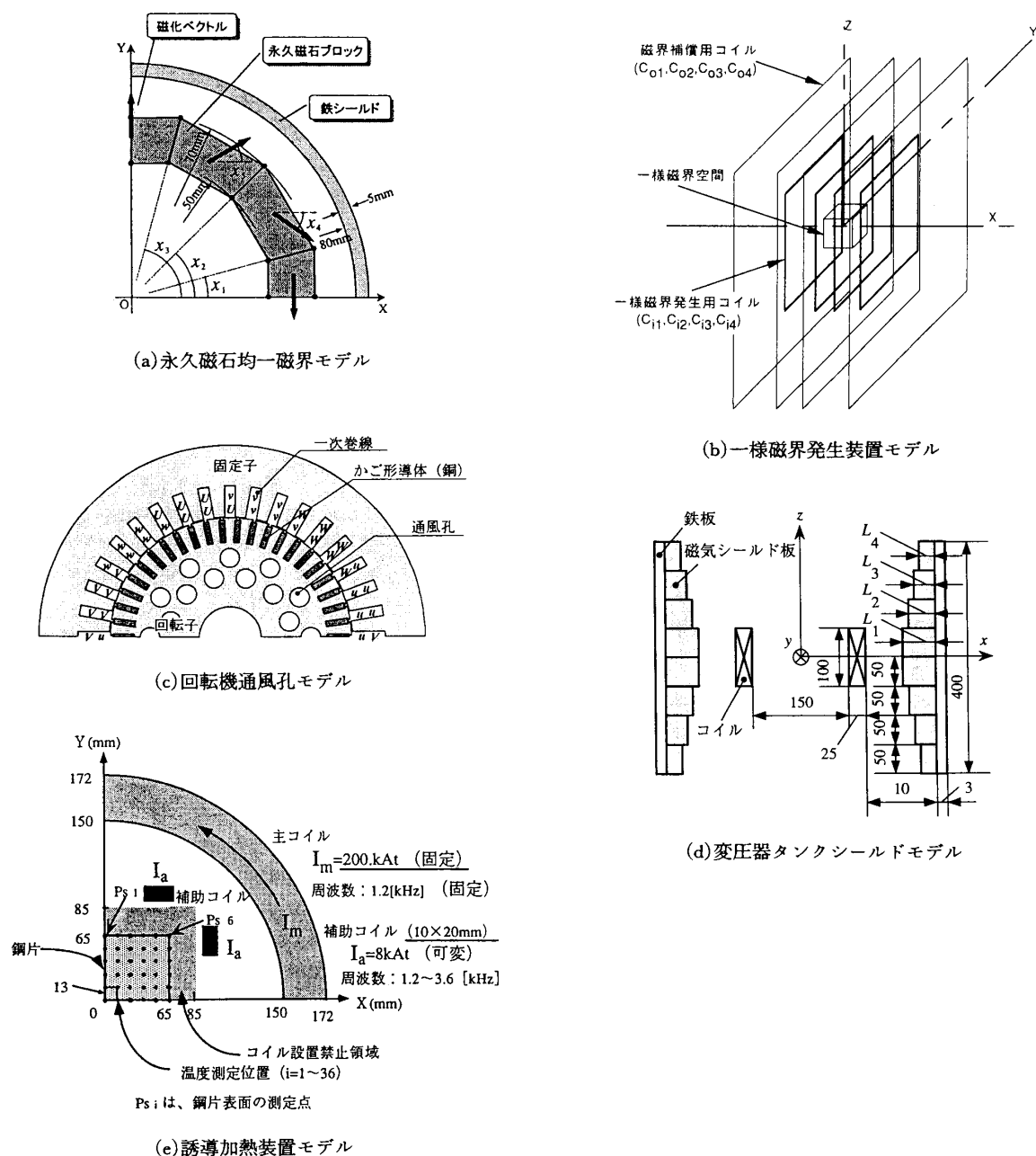


図1 最適化手法比較用モデル

束状況が変わってくるので、実用上はこれらについての体系的な検討を行っておく必要がある²⁾。

3. 学会等の動向, 比較用モデル

最適設計・逆解析については、本学会の計算電気・電子工学シンポジウムやシミュレーション・テクノロジー・コンファレンスではほとんど毎年何編かの論文発表が行われており、本誌「シミュレーション」でも、小特集として「コンピュータ利用による逆問題解析」

(第9巻第1号, 平成2年)が取り上げられている。また、電気学会「電磁界解析とその逆・最適化問題への応用調査専門委員会(平成5年～8年)」¹⁾、「電磁界問題最適化手法の高度化調査専門委員会(平成8年～11年)」では、各種最適化手法を比較するためのモデルを5個ずつ制定し、各機関が参加して比較計算を行っている。図1に、後者の委員会で提案された5個のモデルを示す。これらを解いた結果は、平成11年電気学会全国大会のシンポジウムで発表されている^{3,4)}。

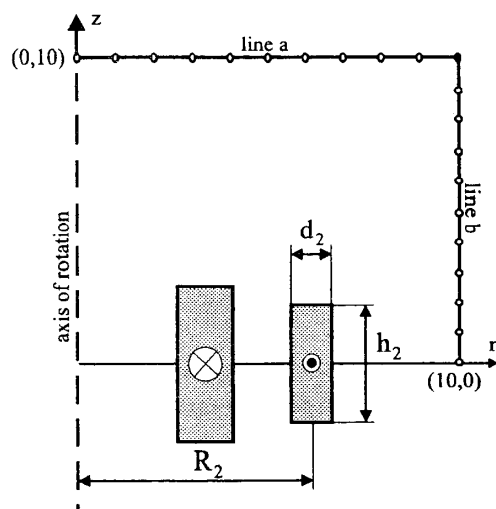


図2 Problem 22 (TEAM Workshop 比較用モデル)

電子情報通信学会も「音響波動場の逆問題」に関する小特集（英文誌 A，平成 9 年）を組んでいる。

その他に，国際的な標準モデルを解いて，開発されたソフトウェアの検証を行う，TEAM (Testing Electromagnetic Analysis Methods) 国際ワークショップ⁵⁾があり，現在30個の標準モデルが用意されている。そのうちの Problem 22 (SMES コイル，図 2) と

Problem 25 (磁場プレスモデル) は最適化問題である (Problem 25については本特集論文で記述されているので省略する)⁶⁾。

さらに，日本 AEM 学会，日本計算工学会等の研究発表会や，互いに隔年ごとに開催される COMPU-MAG 国際会議，IEEE CEFC 国際会議等でも，最適設計・逆解析に関連した論文が多数発表されている。

本特集を契機として，電気機器・電子素子における最適設計・逆解析の分野の研究が今後益々進展することを期待する。

参考文献

- 1) 電磁界解析とその逆・最適化問題への応用調査専門委員会：電磁界解析とその逆・最適化問題への応用，電気学会技術報告，611 (1996)
- 2) 若尾真治，高橋則雄：最適化手法実用上の問題点，平11電気学会全国大会シンポジウム
- 3) 河本 正：各種最適化手法によるベンチマークモデルの計算結果 (その 1)，平11電気学会全国大会シンポジウム
- 4) 山下英生：各種最適化手法によるベンチマークモデルの計算結果 (その 2)，平11電気学会全国大会シンポジウム
- 5) 高橋則雄：電磁界解析の品質，シミュレーション，17-2, 112/120 (1998)
- 6) Proceedings of the TEAM Workshop in the Sixth Round, Okayama (1996)