

論 文 概 要
博士（システムズ・マネジメント）

**遺伝的アルゴリズムによる
多様解の探求と実問題への適用に関する研究
発電所内電気回路最適設計**

ビジネス科学研究科 企業科学専攻

勝 又 勇 治

1 . 背景および研究の目的

本論文では、原子力、火力および水力等の発電所内における電気回路の最適設計手法について論ずる。発電所の内部には、電動機、電熱器および照明器具などの機器（以下「電力負荷」と言う）が多数存在する。これら電力負荷への電力供給は、確実かつ経済的に行わなければならない。

このため、発電所内電気回路の設計は、(1) 変圧器および電力ケーブルの容量、(2) 電力ケーブルで生じる電圧降下、(3) 電気回路の建設コスト、および電力ケーブルで発生する電力損失コストを考慮しなければならない。

また、変圧器等で発生する騒音、電気機器設置に伴う美観上の問題、および高電圧送電に伴う危険性等を設計時に勘案しなければならない。しかし、「騒音」、「美観」、および「安全性」などの定性的事項は定式化が難しく、最適化問題として扱うことは困難である。むしろ、設計熟練者の経験に基づく判断に委ねる方が現実的である。そこで、いくつかの候補となる解を求め、設計者が定性的な事項を勘案しつつ解を取捨選択するという方法が有利と考えた。

本論文では多様性の保たれた複数の解候補を「多様解」と定義する。多様解を得ることにより、解の選択肢が広がる。よって、多様解の獲得性能の優れたアルゴリズム(Tabu-BOA) の開発を第 1 の研究目的とする。次に、Tabu-BOA を応用した発電所内電気回路最適設計手法の確立を第 2 の研究目的とする。

2 . 多様解の獲得と Tabu-BOA

Tabu-BOA は、ベイジアン最適化アルゴリズム(Bayesian Optimization Algorithm: BOA 「以下 BOA と呼ぶ」) とタブー探索 (Tabu Search) とのハイブリッド化によるアルゴリズム (Tabu-BOA) である。BOA は、最適解への収束能力が高いことが知られている。しかし、唯一の解を求めるためのアルゴリズムとして開発されているため、多様解を得るためのアルゴリズムとしては適さない。この点を解決するため、BOA にタブーリストを付加し、解候補を直接タブーリストに蓄積する新しいアルゴリズム Tabu-BOA を開発した。本研究では、種々の実験により Tabu-BOA の多様解獲得性能を実証した。

多様解について明確な定義を行った。これにより、本研究の意義をより明確にすることができた。さらに、この定義に基づいた多様解登録リストを作成し、多様解の獲得を容易かつ確実なものにした。

多様解登録リストを用いて、Tabu-BOA のパラメータ (長期タブーリストサイズとハミング距離閾値) 変更に伴う多様解獲得性能の変化について実験を行った。その結果、パラメータの変化に伴う性能変化は小さく、Tabu-BOA の安定性を確認することができた。

3 . Tabu-BOA による発電所内電気回路最適設計

発電所内電気回路最適設計問題は下記の特長がある。

(1) 電気機器の数量、仕様および配置に関する組合せのバリエーションは多く、これは非線型の組合せ問題となる。ジョブショップスケジューリング問題等と同様に、NP 困難な組合せ最適化問題の一種であり、その最適解を多項式オーダーの時間で求めることは一般に困難である。実際の設計業務では、計算時間が制限される場合が多く迅速性が求められる。つまり、短時間で結果を求めなければならない。急な設計変更を要請される場合はなおさらである。このため、むしろ最適ではなくても比較的最適解に近い解 (準最適解) を効率的にかつ系統的に求める解法の方が有利となる場合が多い。

(2) 必ずしも、1 つのみの厳密な最適解を求めるという必要はなく、むしろ複数の解候補を求め、その中から定性的な事情等を勘案して解を選択するという手法が望ましい。

本研究では、上記 (1)(2) 項を解決するため、Tabu-BOA を用いて問題を解いた。あらかじめ解のわかっている同心円状に電力機器を配置した問題を扱い、短時間ですべての解を獲得することを確認した。次に、同心円状問題に制約を設け実験を行った。さらに電力損失を考慮した実規模の問題を解き、解獲得性能を確認した。これら種々の実験をとおし

て、Tabu-BOA は唯一解のみならず多様解の獲得が可能であることを実証した。

4．発電所運転パターン等を考慮した発電所内電気回路最適設計

発電所内電気回路最適設計問題に、以下に示す 4 点の設計項目を考慮した。いずれも決定変数となるものである。

- (1) 発電所内電気機器配置および電気機器間のケーブル接続パターンの決定
- (2) 発電所運転パターン (4 つのパターンのうち 1 つを選択) の決定
- (3) 変圧器の並列運転台数の決定
- (4) 電力負荷への供給電圧 (高圧または低圧) の決定

以上、(1) ~ (4) の設計項目を考慮した電気回路最適設計手法を確立した。これら 4 項目は必ずしも全て勘案する必要はなく、ケースに応じて使いわけることが望ましい。例えば、原子力発電所は(1)および(4)の設計項目の組合せが適しており、水力発電所は(1)、(2)および(3)の組合せが適している。また、火力発電所は 4 項目を全て勘案することが望ましい。いずれも非常に短時間 (数分) で解が求まっている。得られた多様解をそれぞれ比較すると、適応度の差は小さいが電力ケーブルのルートが異なっており、選択のバリエーションが広がったといえる。短時間 (数分) での処理が可能のため、前提条件を変えて繰り返し解を求めることが可能である。このため、より実用的な応用が期待できる。

5．研究の成果

本研究の成果は、以下の 3 点に要約できる。

(1) Tabu-BOA の開発

BOA は本来多様解を得る性格のアルゴリズムではなく、むしろ 1 点の最適解を得る能力に優れている。その能力は目を見はるものがある。そこで、BOA にタブーリストを追加することにより Tabu-BOA を開発した。これにより、多様解を強力かつ効率的に獲得することが可能となった。

(2) 多様解の定義と多様解の獲得

多様解について明確な定義を行った。これにより、本研究の意義をより明確にすることができた。さらに、この定義に基づいた多様解登録リストを作成し、多様解の獲得を容易かつ確実なものにした。

(3) 発電所内電気回路最適設計モデルの作成

4点の主要設計項目を考慮した発電所内電気回路設計モデルを作成した。これらを考慮したモデルは前例がなく、本研究において独自に考案したものである。実際に設計に応用することで、建設コスト削減のみならず、電力損失コスト削減を含めた合理化設計が可能となる。

6 . 今後の課題

Tabu-BOA は、BOA とタブーリストのハイブリッド化によるものである。このため、BOA の1つの解へ向う収束力と、それを阻止し解の多様性を高めるためのタブーリストの抑制力との間にはトレードオフが存在する。つまり、収束力と阻止力の相反する力関係をうまくバランスさせることが必要となる。特に、解く問題の峰の数が多くなると、この調整が難しくなる。このため、トレードオフの関係をさらに調査し、その改善方法を研究することにより、Tabu-BOA の適用範囲を広げていくことが可能となる。

設計にあたり、複数の項目を同時に最適化したいという要望がある。例えば、本論文で扱った「コスト」以外に「機器性能」あるいは「信頼性」などが挙げられる。これら目的項目の間にはトレードオフが存在し、同時にすべての項目を最適化することは不可能である。このため多目的最適化モデルとして扱うことが有効である。一方、多目的最適化においては、個体集合の多様性を維持することが本質的な要件となる。このため、本論文で提案した Tabu-BOA の利用が非常に効果的と言える。