

氏名	オウ ヨウネン 王 鴻燃
所属	システムデザイン研究科 システムデザイン専攻
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	シス博 第140号
学位授与の日付	令和3年3月25日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	Proposal of Superior Solution Set Search Problem and Construction of Superior Solution Set Search Methods Based on Metaheuristics (優良解集合探索問題の提案とメタヒューリスティクスに基づく優良解集合探索手法の構築)
論文審査委員	主査 教授 安田 恵一郎 委員 教授 朽久 保文嘉 委員 准教授 相馬 隆郎 委員 教授 小坪 成一

【論文の内容の要旨】

最適化とは、与えられた制約条件の下で、達成すべき目的に対して最も優れた評価を与える解を決定する行為である。最適化は、工学は勿論のこと、経済学、社会学などの幅広い分野に及んで応用され、現代工学の基盤技術の一つとしてその重要性が広く認識されている。数理的なモデリングが容易な良構造システムの最適化においては、達成すべき目的や制約条件を微分可能性や凸性などを満足するように最適化問題として定式化し、数理的最適化手法を適用することで実用に耐える成果を上げてきた。

一方、近年、システムの大規模化・複雑化、システムの設計・運用・制御や工業製品の性能に対する要求の高度化などが求められており、このような要求に応えるためには、対象システムの一層詳細なモデリングや多様な設計仕様の考慮が必要となる。このような状況においてはこれまで以上に複雑な最適化問題を解く必要が生じる。例えば単一目的最適化の実応用として良く知られている最短経路探索問題では、最短経路を与える最適解のみならず事故や渋滞などの不測の事態を考慮した複数の代替案の提示を要求される場合がある。しかしながら従来の単一目的最適化では、唯一の大域的最適解、あるいは準最適解の探索を目標とするため、複数の代替案を提示することは困難である。また、多目的最適化の実応用では、例えば最適設計における設計者の主観的な評価であるデザインなど、客観的かつ定量的評価が困難な目的の考慮が要求される場合がある。しかしながら従来の

多目的最適化では客観的かつ定量的に評価できる目的を扱っており、客観的かつ定量的な評価が困難な目的の考慮は難しい。最適化の実応用に対する要求の多様化・高度化に対応可能な新たな最適化問題および最適化手法の構築が最適化における重要な課題となっている。

これらの要求に応えるために本研究では、使用者の希求水準を満たし、かつ解相互の性質が大きく異なる多様な解から構成される解集合の探索を目標とした優良解集合探索問題 (Superior Solution Set Search Problem) を新たに提案・定式化している。優良解集合探索問題における希求水準は目的関数値が一定以上優れることであり、解の性質の違いは決定変数の相違の程度 (例えば解空間における距離) で評価できる。この優良解集合を意思決定者に提示することは、目的関数空間と決定変数空間の双方を考慮した解選択の適切な支援につながる。

一方、現実の最適化では、多くの計算時間をかけて厳密な最適解を求めることよりも、実用的な時間内に十分な最適性を有する解を求めることに対するニーズが高い。さらに近年では、コンピュータパワーの飛躍的な増大が、最適化アルゴリズムやシミュレーションなどの数値計算に多大な貢献をしている。このような最適化を取り巻く環境の変化に応じた、実用的かつ新たな最適化手法の必要性が高まっている。上述の「実用上における従来の最適化手法の課題」や「最適化分野の環境の変化」に対応可能な最適化手法の枠組みとして、近年ではメタヒューリスティクスが注目されている。メタヒューリスティクスは、決定変数情報とそれに対応した対象の評価値情報のみを利用して最適化を行う直接探索法の枠組みであり、実用的な時間内でそれに応じた近似解を求めることができ、微分可能性や凸性を保証した数理モデルを必要としない。また、メタヒューリスティクスは調整可能なパラメータを有しており、パラメータの自由度を活用し、問題構造や探索条件に応じて適切に設定することで効率的に探索を行うことができる。これらの背景を考慮し、本研究はメタヒューリスティクスに基づく優良解集合探索手法の開発を行っている。

以上を踏まえ、本研究では、優良解集合探索問題のための最適化手法として、(1) 単一目的最適化における多峰性最適化問題を基礎とし、すべての局所最適解の部分集合として優良解集合を獲得することで、間接的に優良解集合探索問題を解くアプローチと、(2) 多目的最適化の研究分野の「優越関係」を用いた解更新に着想を得て、優良解集合探索問題における希求水準による優越関係を定義し、優良解集合の定義を満足する優越関係を用いて優良解集合を直接獲得するアプローチ、に基づく2つの優良解集合探索手法を構築している。

本論文は、全6章より構成されており、各章の概要および得られた成果は以下の通りである。

第1章の序論では、本研究の背景・目的・位置付け、および本論文の構成について述べた。

第2章では、単一目的最適化問題を基礎に、評価値が一定以上優れ、かつ解相互の距離

が一定以上離れた局所的最適解の集合として優良解集合を数学的に定義し、この優良解集合の決定を目標とする優良解集合探索問題を新たに提案した。優良解集合探索問題は単一目的最適化問題においては、解空間の情報を含む集合として解を求める点で新規性を有し、従来の最適化では考慮が不可能な、あるいは困難な要求を満足することが期待される点において有用性を有している。

第3章では、メタヒューリスティクスの探索構造を解析し、メタヒューリスティクスに共通する探索戦略を抽出した。さらに、代表的なメタヒューリスティクスの比較を行いながら、多峰性関数に適用した際に探索点群が複数に分かれた探索を行うFirefly Algorithmについて、優良解集合探索問題と親和性を有することを明らかにした。

第4章では、優良解集合を間接的に解くアプローチにおける、優良解集合探索問題のための多様化・集中化を提案し、Firefly Algorithmの解析結果に基づく多様化・集中化の実現状態の評価指標を提案した。多様化・集中化に基づき、事前に設定された目標値スケジュールに探索状態の評価指標を追従させるための適応的なパラメータの調整機能を持つ適応型Firefly Algorithmを構築した。数値実験により、構築した適応型Firefly Algorithmの優れた探索性能を確認した。

第5章では、優良解集合を直接獲得するアプローチにおける、優良解集合探索問題の有する性質について解析し、優良解集合探索問題と多目的最適化問題の構造的な類似点を指摘した。解析した性質を活用し、ユーザの希求水準を探索に活用することで、優良解集合を探索する優越関係に基づく探索戦略を提案した。さらに、優良解集合探索問題を対象に数値実験を行い、優越関係に基づく提案手法の有用性を検証した。

第6章は、本論文の結論であり、本研究で得られた研究成果、および今後の課題と展望をまとめた。