

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560487

研究課題名(和文) シミュレーション・モデリング・発見的最適化を統合した最適設計システムの構築と応用

研究課題名(英文) Construction and Application of Optimal Design System Based on Combining Metaheuristics with Simulation and Modeling

研究代表者

土屋 淳一 (Tsuchiya, Junichi)

首都大学東京・理工学研究科・助教

研究者番号：70155406

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、発見的最適化、モデリング手法、シミュレーション技術を統合した新たな最適設計の枠組みを構築し提案した。その提案手法を電磁界解析シミュレータを用いた電磁アクチュエータの最適設計に適用し、提案手法を検証した。新たに構築した枠組みは、シミュレータの計算負荷が軽い場合と重い場合に各々対応した2つパスを持ち、実用的な計算時間で最適解が得られる手法である。計算負荷が重い場合には、発見的最適化手法とモデリング手法とを組み合わせ、より少ないシミュレーション回数で最適解が得られる手法である。多数の設計変数を持つ多自由度モータ(サーフェスモータ)の最適設計を行い、本手法の有用性および実用性を検証した。

研究成果の概要(英文)：The new frame of the optimal design method for the electromagnetic actuators with an electromagnetic field analysis simulator is proposed. The proposed method is an optimal design system integrated with the optimization method, the modeling and the simulator. Moreover, it has two methods for the case at heavy simulation time and light simulation time in it. The developed approach is applied to the optimal design of the magnetic pole shapes of actual electromagnetic actuators, and the advantage of the developed approach is verified.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：最適設計 最適化 電磁界シミュレータ メタヒューリスティクス 統合的最適化 モデリング PSO

1. 研究開始当初の背景

応用数学の一分野としてスタートした数値計画法は、1970年代の高速・大容量のコンピュータの出現を原動力にして、シンプレックス法や準ニュートン法をはじめとする実用的なアルゴリズムの構築と有用性の検証が急速に進展した。しかしながら、これまでの工学諸分野への最適化技術の普及は、モデリングが容易な分野に限定されていた。

これに対して近年、様々な分野におけるシミュレーション技術や、Radial Basis Function Network (RBFN) を始めとする数値モデリング技術が急速に進歩し、数式モデル表現が困難な対象に対しても精緻なシミュレーションやモデリングが可能となりつつある。

このように拡大しつつある最適化周辺技術の一層の活用を実現するためには、応答曲面法の概念をさらに拡張し、モデリング・シミュレーション技術との結合を前提とした新たな最適化アルゴリズムの開発と、最適化アルゴリズムとの結合を前提とした新たなモデリング・シミュレーション技術の開発を同時にかつ双方向・相補的に進め、最適化に関わる技術を発展的に再構築することが重要な課題となっていた。

2. 研究の目的

近年、シミュレーション技術やモデリング技術、さらには解直接探索型の発見的最適化手法(メタヒューリスティクス)が急速に発展し、これまで困難とされてきた工学諸分野における実用的な最適化が可能となりつつある。本研究では、シミュレーション技術、モデリング技術、発見的最適化手法を統合した新たな最適化の枠組みである統合的最適化の概念を具体化し、この概念に基づく汎用最適設計システムの構築を目的としている。さらに、構築した最適設計システムを多自由度モータ(サーフェスモータ)の形状最適化に適用し、シミュレーションおよび試作における性能評価を行なうことで、構築する汎用最適設計システムの有用性を検証することも目的としている。

3. 研究の方法

本研究は、シミュレーション・モデリング・最適化を統合した統合的最適化を用いた最適設計システムの構築と、最適設計に基づく多自由度モータ(サーフェスモータ)の試作と性能検証・評価を目指しており、以下の主要な4つの研究課題から構成されている。(1) 電磁界解析に基づく多自由度モータ(サーフェスモータ等)のモデリングと解析。(2) Particle Swarm Optimization(PSO)とRadial Basis Function ネットワーク(RBFN)を用いた統合的最適化手法の構築と数値実

験による最適性の検証。

(3) 構築した統合的最適化を用いた多自由度モータ(サーフェスモータ等)の最適設計とシミュレーションによる性能評価。

(4) 本最適設計手法による多自由度モータ(サーフェスモータ)の最適設計と詳細な性能検証・評価。

上記の(1),(2),(3)は、主としてコンピュータ上でのモデリング・シミュレーション・最適化として実施され、(4)は最適設計に基づく諸性能を評価・検証として実施される。

4. 研究成果

研究期間中に得られた主な研究成果は、以下の通りである。

(1) 電磁界解析に基づく多自由度モータのモデリングと解析

多自由度モータ(サーフェスモータ)の設計では、新しいアクチュエータであるため、規格等がなく、設計の自由度が高いため、仕様や用途に応じて新たに設計する必要がある。この新型モータにおける設計要素として、固定子および可動子の磁極形状、ギャップ、巻線巻数などがあり、その性能の向上には鉄心などの飽和を考慮しつつ磁束密度に応じて磁極形状を最適化する必要がある。そこで、パラメータが多い複雑な形状の多自由度モータ(サーフェスモータ)の電磁界解析モデルを構築し、種々の条件の下、多自由度モータの最適設計を行い、提案システムの実用性を検証した。

(2) PSO と RBF ネットワークを用いた統合的最適化手法の構築と検証

シミュレーション・モデリング・最適化を統合した統合的最適化を用いた最適設計システムの構築のため、多自由度モータの最適設計問題の数理的定式化、最適化アルゴリズムの改良とモデリング手法との融合を行なった。多自由度モータ設計の最適化問題は、磁極形状のパラメータなどの連続変数から構成される非線形連続最適化問題となり、この問題を解くために本研究では、GA以上の探索性能を持つとされる Particle Swarm Optimization (PSO)を用いた。また、電磁界シミュレータからの評価データからの評価関数のモデリングには、高精度な曲面近似能力を持つ Radial Basis Function ネットワーク(RBFN)を用いた。電磁界解析シミュレータによる電磁機器の評価データのモデリングと最適化手法を結合させることで、汎用最適設計システムを構築し、様々な条件設定の下でシミュレーションを実行し、アルゴリズムの収束性・最適性などの基礎的検討を行なった。その結果を踏まえて、統合的最適化を用いた最適設計システムを構築した。(図1)

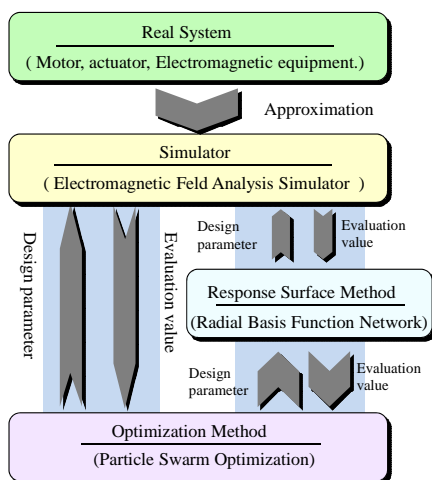


図1 構築した最適設計システム

(3) 最適設計システムに基づく多自由度モータの最適設計と詳細な性能検証

本研究の成果である最適設計システムを用いて、サーフェスモータ等の電磁気器の最適設計を行った。実際に設計した14変数のサーフェスモータの磁極形状の設計例を図2に示す。提案システムによる最適設計の結果は、図3に示されるような複雑な形状となった。その性能は、従来の試作機より良好な特性が得られ、その結果、提案最適設計システムの有用性および実用性が検証された。

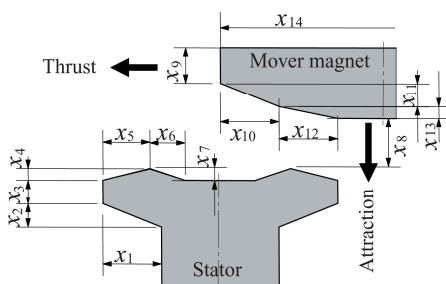


図2 サーフェスモータのパラメータ(14変数)

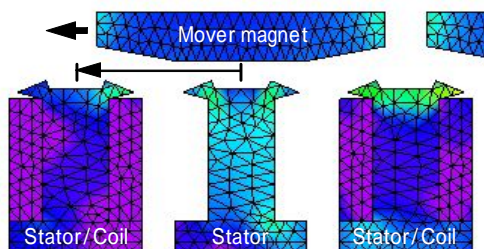


図3 最適設計システムによる磁極形状の最適設計の結果

(4) 最適設計システムの多目的化への基礎的検討

実際の設計においては、設計目標とする評価項目が1つではなく複数あり、それを同時に最適化する要求がある。そのため、単一目

的であった提案システムの多目的化への拡張の検討も行った。そのため、多目的化のアルゴリズムの開発を行い、ベンチマーク問題により、アルゴリズムの検証と性能の確認を行った。その結果を用いて、多目的統合型最適化によるサーフェスモータの最適設計を行った。

(5) 今後の課題と展望

本研究期間中には、連続変数の単一目的最適化による最適設計システムを構築し、さらに多目的最適化の適用の基礎的検討を行ってきたが、実際の設計においては、磁極数や材料の規格などにより、設計変数が離散変数となる場合があり、そのため、提案システムを混交変数問題へ拡張する必要がある。更に、実際の最適設計において、種々の条件・制約に対応出来るように、提案システムのより一層の研究・開発が必要であり、研究の継続が重要であると判断する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

土屋淳一, 小菅崇裕, 安田恵一郎, 「統合的最適化に基づくサーフェスモータのステータ・ムーバ磁極の最適設計」, 電気学会 産業応用部門誌, 【査読有】, Vol.131, No.11, pp.1362-1363 (2011)

DIO:10.1541/ieejias.131.1362

高村秋平, 田村健一, 安田恵一郎, 「多目的組合せ最適化問題に対する Tabu Search に基づく多点探索法の提案」, 電気学会 電子・情報・システム部門誌, 【査読有】, Vol.134, No.3, pp.466-467 (2014.3)

DIO:10.1541/ieejieiss.134.466

[学会発表](計19件)

J. Tsuchiya and K. Yasuda, "Constrained Particle Swarm Optimization based Integrative Optimal Design Method for Surface Motor," Proc. of 9th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO9), 【査読有】, paper104-1 (2011.6)

T. Kosuge, K. Yasuda and J. Tsuchiya, "Magnetic Pole Shape Optimization for Motor Using Integrated Optimization with Constraints," Proc. of 2011 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 【査読有】, pp.1562-1567 (2011.10)

小菅崇裕, 安田恵一郎, 土屋淳一, 「制約を考慮した統合的最適化を用いたサーフェスモータ磁極形状設計」, 平成23年電気学会 電子・情報・システム部門大会, OS6-4, pp.779-784 (2011.9)

土屋淳一, 小菅崇裕, 安田恵一郎, 「統合的最適化を適用した電磁アクチュエータの最適設計」, 第46回SICEシステム・情報部門システム工学部会研究会, pp.23-28 (2012.3)

片山裕貴, 田村健一, 安田恵一郎, 「最適化・モデリング・シミュレーション技術を用いた統合的最適化に関する検討」, 産業計測制御研究会, IIC-12-56, pp.41-46 (2012.3)

軽部満國, 田村健一, 安田恵一郎, 「パラメータの自己調整機能を有するDifferential Evolutionの提案」, 産業計測制御研究会, IIC-12-58, pp.53-58 (2012.3)

J.Tsuchiya, T.Kosuge and K.Yasuda, "Optimal Design System for Electromagnetic Actuator Using Integrated Optimization," Proc. of The 44th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS2012), 【査読有】, pp.209-214, (2012)

土屋淳一, 小菅崇裕, 安田恵一郎, 「シミュレーション・モデリング・発見的最適化を統合した電磁アクチュエータの最適設計システム」, 平成24年電気学会電子・情報・システム部門大会, OS8-4, pp.939-944 (2012)

片山裕貴, 田村健一, 安田恵一郎, 「統合的最適化における多目的最適化に関する研究」, 平成24年電気学会電子・情報・システム部門大会, GS2-2, pp.1346-1351 (2012.9)

片山裕貴, 田村健一, 安田恵一郎, 「最適化・モデリング・シミュレーション技術を用いた多目的統合的最適化」, 進化計算学会進化計算シンポジウム2012, S4-15 (2012.12)

中川純子, 田村健一, 安田恵一郎, 「解空間の階層構造を利用した組合せ最適化手法に関する基礎研究」, 電気学会産業計測制御/メカトロニクス制御合同研究会, IIC-13-156, MEC-13-156, pp.117-122 (2013.3)

土屋淳一, 小菅崇裕, 安田恵一郎, 「最適化・モデリング・シミュレーションを統合した多目的統合型最適化を用いたサーフェスマータの最適設計」, 第23回インテリジェント・システム・シンポジウムFAN2013【ST-13-063】pp.182-187 (2013-9)

土屋淳一, 安田恵一郎, 「最適化・モデリング・シミュレーションを結合した統合的最適化を用いたハルバッハ型磁極サーフェスマータの最適設計」, 平成25年電気学会研究会, LD-3-98, pp85-90 (2013.10)

上田靖人, 大路貴久, 大橋健, 森實俊充, 堀越敦, 土屋淳一, 乾成里, 山本晃生, 「多自由度/新原理アクチュエータの非接触支

持技術の事例紹介とその考察」, 平成25年電気学会研究会, LD-13-93, pp55-61 (2013.10)

青柳学, 富田良幸, 矢野智昭, 土屋淳一, 上野敏幸, 上田靖人, 大橋健, 川嶋健嗣, 大路貴久, 「伸縮/変形を用いるアクチュエータの性能評価 伸縮/変形を用いるアクチュエータの性能評価」, 平成25年電気学会研究会, LD-13-88, pp25-30 (2013.10)

H. Katayama, K. Tamura and K. Yasuda, "Multi-Objective Integrated Optimization Using Optimization, Modeling and Simulation," Proc. of 2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 【査読有】, pp.3537-3542 (2013.10)

R. Ji, K. Tamura and K. Yasuda, "Differential Evolution with Adaptive Parameter Adjustment," 平成25年電気学会電子・情報・システム部門大会, OS4-7, pp.739-744 (2013.9)

高村秋平, 田村健一, 安田恵一郎, 「多目的組合せ最適化問題に対するTabu Searchに立脚した多点探索法」, 平成25年電気学会電子・情報・システム部門大会, GS5-2, pp.1410-1415 (2013.9)

片山裕貴, 田村健一, 安田恵一郎, 「最適化・モデリング・シミュレーションを用いた多目的統合的最適化の性能向上に関する検討」, 平成25年電気学会電子・情報・システム部門大会, GS5-3, pp.1416-1421 (2013.9)

〔図書〕(計1件)

土屋淳一, 他, 「新世代アクチュエータの多自由度化可能性」, 電気学会技術報告1265号 (2012.10)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

なし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土屋淳一 (TSUCHIYA JUNICHI)
首都大学東京・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 70155406

(2) 研究分担者

安田恵一郎 (YASUDA KEIICHIRO)
首都大学東京・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 30220148

(3) 連携研究者

なし。