

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04142

研究課題名（和文）複合領域の最適化のためのロバスト設計法の開発

研究課題名（英文）Development of Robust Design for Multidisciplinary Optimization

研究代表者

荒川 雅生（Arakawa, Masao）

香川大学・創造工学部・教授

研究者番号：20257207

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は複合領域の最適化における多段最適化において、設計変数の取り合いを原因とする手戻りを発生させずに、少ない手戻り回数で最適化を終了させることを目的としている。その際に、ロバスト設計の考え方を導入することで、設計変数に幅を持たせることができ、さらに、注目している目的関数の劣化、制約条件を破ることを防ぐことが可能であることに着目し、最悪ケースを想定したロバスト設計方法を提案した。本来、多重ループであるところ、提案した手法では多目的化することで、インナーループを排除することができた。このロバスト設計の考え方を導入して、多段最適化の手戻りを発生させない手法の開発を行い、ベンチマーク問題で立証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

製品開発において部品レベルの部分最適化を繰り返しても全体としてはアンバランスで必ずしも良くなるとは限らない。全体最適化が必要であるが、規模が大きくなり、最適化で最終的にいい結果をえることは難しい。この矛盾を解決する考え方として複合領域の最適化があり、複数の多段最適化を繰り返すことで収れんさせることが提案されている。各段での設計変数の取り合いから収れんさせる有効な方法が存在しなかった。本研究で提案した手法を用いることで、各段階での目的関数の劣化範囲を設定することで、その範囲内で収まるため、設計変数の取り合いが生じないことを立証した。全体最適化への道筋を開くことができた意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to propose a method that reduce the number of repetitions of optimization in multi-stage optimization for multidisciplinary optimization caused by different results of design variables. To realize such situations, we found possibility in introducing robust design considering worst case, as it can make interval design variables under protecting deterioration of objective function and breaking constraints. Unfortunately, it needs multi-loop of optimization, so that it needs too much computational costs. To get rid of inner loop, we proposed multi-objective formulation. With all efforts, we have shown effectiveness of the proposed method through bench mark problem.

研究分野：設計工学

キーワード：設計工学 複合領域の最適化 ロバスト設計 多目的最適化

### 1. 研究開始当初の背景

現在、製造業はユーザの価値観の変化、及び市場ニーズの多様化の流れの中で非常に激しい競争下にある。そのような状況下で企業が他社との競争を勝ち抜くためには、顧客満足度の向上や開発コストの削減、開発期間の短縮による市場ニーズへのタイムリーな対応等が欠かすことができない。こうした状況の中、より品質の高い製品の開発の必要性や合理的な設計探索で、無駄な試作や解析を減らしたいとの要求から、最適設計に対する要求は増えてきており、それに対応した対策が求められている。

### 2. 研究の目的

複合領域の最適化に関する研究は、最適化の研究の当初から行われていたが、今から25年ほど前から、主に航空宇宙分野で盛んに研究された。ここでは、目的関数が多様化、特に多くの分野、例えば、構造、制御、流体など、その目的関数の次元の差を乗り越えるために必要な多目的最適化技術の必要性、与えられた問題を分割し、解答を得るための小規模問題の群としてとらえるための、分割、統合の方法など様々な議論がなされた。その中で、注目すべき研究がKrooが示した分割の方法である。Krooは最適化の主問題の分割に当たって、いわゆるQFDを作り、これを基に、複数のサブ問題に分割し、サブ問題間で仮に共通の設計変数が無ければ、順番にこれを解くことで、大規模問題を一連の小規模問題を解くことで最終的な最適解へと導けることを示した。ところが、残念ながら、サブ問題間では共通の設計変数があり、それ故に、手戻りが発生することを示し、手戻りの発生を防ぐためには、サブ問題を解く順序に応じて、総合問題に必要なサブ問題の最適化の回数を減らせることを示した。

### 3. 研究の方法

サブ問題での手戻りを解決する方法とは何であろう。上位の問題から、下位の問題へと設計変数の受け渡しをする際に、仮に、上位の問題の改悪の限界を示したうえで、その範囲で収まるように下位問題に対して、設計変数に適切な側面制約を設定できれば、基本的には下位問題から上位問題に対して不平不満は発生しない。問題はこの側面制約を適切に設定する方法が存在しないことであった。本研究では、ロバスト設計の概念をベースとして、設計変数を区間変数と考え、「改悪の限界」を最適値からの改悪量と考えた場合に、主旨としてロバスト最適化と同じであるというコンセプトのもとに、その実証としてゴリンスキーの変速機を利用して、その有用性を実証した。

この研究を通じて、最適設計において必要な考慮項目は制約条件であり、制約条件をどのようにして取り扱うかであることがよくわかった。そこで、制約条件の関係性を把握し、すべての制約条件を満足するように、各変数の側面制約を構成するためのアルゴリズムの開発を行った。また、この場合、制約条件の中側に側面制約を張ってしまうことから、精度の向上が見られない。そこで、精度を向上するための側面制約の再設定法、移動法の開発を行い、数値計算例からその有効性の実証を行った。

### 4. 研究成果

- 複合領域の最適化のためには、多段設計が不可避である。
- 多段設計において手戻りを発生しないためには、インターバル変数の導入とそれに伴

うロバスト設計の考え方を導入することが重要である。

- この場合、設計変数による目的関数の最小化と、インターバル変数の最大化を維持しつつ制約条件を守ることが必要となる。
- 結果として、設計問題はインターバル変数による区間の最大化というインナーループを抱えた多層最適化の構造となってしまう、実現性に乏しくなる。
- 多目的最適化の概念を導入することでこのインナーループを回避する定式化を提案した。
- 手戻りの発生を防ぎ、多段最適化が可能となったことを示した。
- この結果を通じて、最適化において制約条件を満足する、側面制約の発見が重要であることを認識した。
- 制約条件を満足する側面制約の見つけ方に関する手法の提案を行った。このことにより、目的関数、制約条件の計算回数が数百分の1回で済むことを確認した。
- 更にその精度向上を図るための手法を提案し、有効性を検証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hiroshi Unesaki, Shigeki Hiramatsu, Shuuichi Kondou, Masao Arakawa and Tetsuro Butsuen
2. 発表標題 Robust Design Using Interval Design Variables for MDO
3. 学会等名 Asian Congress on Structural and Multi-Disciplinary Optimization (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Osumi, Masao Arakawa, and Tetsuro Butsuen
2. 発表標題 Development of an Efficient Data Point Collection Algorithm for Response Surface Generation
3. 学会等名 Asian Congress on Structural and Multi-Disciplinary Optimization (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masao Arakawa
2. 発表標題 How to Design Heuristic Search
3. 学会等名 Asian Congress on Structural and Multi-Disciplinary Optimization (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒川 雅生, 宇根崎 弘, 平松繁喜, 佛圓哲朗
2. 発表標題 ロバスト設計を用いた区間変数設計の提案
3. 学会等名 日本機械学会設計工学システム部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 121.Unesaki, H, Osumi, Y., Hiramatsu, S., Kondo, S., Hatano, T., Arakawa, M., Butsuen, T.
2. 発表標題 Exploaring Quasi-Optimum Solution Assuming Side Constraints for Approximation Active Constraints
3. 学会等名 World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佛圓 哲朗 (Butsuen Tetsuro)  (00803967)	香川大学・創造工学部・教授  (16201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------