The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	構造部品の形態設計のための外部変数と連係するトポロジー最適化法
Author(s)	丸山, 峻
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/88034
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　　丸山 峻　　）	
論文題名	構造部品の形態設計のための外部変数と連係するトポロジー最適化法

論文内容の要旨

本論文では，機械を構成する構造部品の設計に関して，他の部品との関係によって変わりうる条件設定を外部変数と位置付け，それ自体の形態と外部変数とが連成する設計問題に対するトポロジー最適化法を構築し，例題および実問題への適用を通して有効性を示した．

第1章では，形態の最適化法であるトポロジー最適化を構造部品の設計に適用する上での限界を論じることにより，本研究の背景と目的を示した．

第2章では，対象とする最適化問題を定義した上で，その解法に向けた基本構想を論じた．まず，従来型のトポロジー最適化問題での定式化においては，構造物と呼ばれていた対象を構造部品と呼ぶものとした上で，他の部品との関係により規定される条件設定を設計変数として扱うために外部変数の概念を導入することによって，構造部品が外部変数と連係するトポロジー最適化問題を定義した．次に，最適化法の基本的枠組みとして一括最適化方式と入れ子方式を想定し，両者の比較のもと，外部変数の値に従属して材料分布変数が定義されるという特徴から，入れ子方式が有効であるとの想定を導いた．また，計算コストを抑制するという課題に対し，入れ子方式に基づく最適化法にメタモデリングを組み込むことにより課題が解決されることを展望した．

第3章では，上述の基本構想に基づき，入れ子方式へメタモデリングを組み込んだ最適化法を構築した．具体的には，外部変数を固定した条件下でトポロジー最適化を行う下位問題と，下位問題の結果をもとに外部変数を最適化する上位問題から構成される最適化問題を定式化した上で，上位問題と下位問題の間でやり取りされる，外部変数とそれに対応する下位問題の最適解の目的関数値の関係を近似するメタモデルを構築し，上位問題での下位問題の評価を下位問題のメタモデルにより代替する最適化法を構築した．また，leave-one-out 交差検定を用いて，メタモデルの基底となる関数を適切に選択する方法を構成した．

第4章では提案手法により得られる解の妥当性を検証するために，物理場の挙動が比較的単純な片持はりの剛性最大化問題を2つ取り上げ，提案手法を数値例題に適用した．その結果から，まず，外部変数を考慮することにより，従来のトポロジー最適化よりも広い解空間での探索が行え，より優れた解が得られることを確認した．また，2つ目の例題を通じて，目的関数が多峰性となる設計問題に対しても，下位問題の適切なメタモデルのもとで上位問題での最適化を異なる初期値から繰り返すことにより，提案手法により対応できることを示した．

第5章では，工学的実用性を有した設計問題として，永久磁石同期モータの回転子の構造設計問題を取り上げた．まず，回転子の構造設計を行う上では，ヨーク形状に加えて永久磁石の配置位置を考慮することが重要である点に着目し，それらの両方を考慮する最適化がより本質的であることを論じた．次に，当該の問題に対する提案手法の適用方法を構成して，数値例題への適用を行った．結果の妥当性を検証するために，実際の製品をもとにした回転子構造と，従来手法によるトポロジー最適化で形態のみを最適化した回転子構造，および，提案手法により永久磁石の配置とヨークの形態を最適化した回転子構造を比較した．その結果から，提案手法により回転子における磁束漏れを効果的に抑制する構造が得られることを示した．

第6章では，工学的実用性を有した設計問題として，ノイズフィルタの回路基板のレイアウト設計問題を取り上げた．ここでは，導体の配線パターンと素子やポートの配置位置を対象とし，それらの取り合いを考慮した最適化法を提案した．その際，本設計問題の課題として，外部変数の数が比較的多いためにメタモデル構築にかかる計算コストが増大する点を指摘し，それに対して，本設計問題の解空間の性質に適合する実験計画法を用いた上で，適応的にサンプルを追加していくことにより計算コストを抑制しながら最適化を行う方法を提案した．次に，提案手法を2つの数値例題に適用して，それぞれ従来の配線パターンのみの最適化よりもノイズ減衰特性に優れたレイアウトが得られることを示した．

第7章では，本研究で得られた成果を総括した．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　丸山　峻　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教 授	藤田 喜久雄
	副 査　教 授	中谷 彰宏
	副 査　教 授	津島 将司
	副 査　准教授	山﨑 慎太郎

論文審査の結果の要旨

本論文では、機械を構成する構造部品の設計に関して、他の部品との関係によって変わりうる条件設定を外部変数と位置付け、それ自体の形態と外部変数とが連成する設計問題に対するトポロジー最適化法を構築し、例題および実問題への適用を通して有効性を示している。本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

第 1 章では、形態の最適化法であるトポロジー最適化を構造部品の設計に適用する上での限界を論じることにより、本研究の背景と目的を示している。

第 2 章では、対象とする最適化問題を定義した上で、その解法に向けた基本構想を論じている。まず、従来型のトポロジー最適化問題での定式化においては、構造と呼ばれていた対象を構造部品と呼ぶことを確認した上で、他の部品との関係により規定される条件設定を設計変数として扱うために外部変数の概念を導入することによって、構造部品が外部変数と連係するトポロジー最適化問題を定義している。次に、最適化法の基本的枠組みとして一括最適化方式と入れ子方式を想定し、両者の比較のもと、外部変数の値に従属して材料分布変数が定義されるという特徴から、入れ子方式が有効であるとの想定を導いている。また、計算コストを抑制するという課題に対し、入れ子方式に基づく最適化法にメタモデリングを組み込むことにより課題が解決されることを展望している。

第 3 章では、上述の基本構想に基づき、入れ子方式へメタモデリングを組み込んだ最適化法を構築している。具体的には、外部変数を固定した条件下でトポロジー最適化を行う下位問題と、下位問題の結果をもとに外部変数を最適化する上位問題から構成される最適化問題を定式化した上で、上位問題と下位問題の間でやり取りされる外部変数とその変動に対応する下位問題の最適解の目的関数値の変化との関係を近似するメタモデルを構築し、上位問題での下位問題の評価を下位問題のメタモデルにより代替する最適化法を構築している。また、leave-one-out 交差検定を用いてメタモデルの基底となる関数を適切に選択する方法を構成している。

第 4 章では提案手法により得られる解の妥当性を検証するために、物理場の挙動が比較的単純な片持はりの剛性最大化問題に関して、提案手法を 2 つの数値例題に適用している。その結果から、まず、外部変数を考慮することにより、従来のトポロジー最適化よりも広い解空間での探索が行われて、より優れた解が得られることを確認している。また、2 つ目の例題を通じて、目的関数が多峰性となる設計問題に対しても、下位問題の適切なメタモデルのもとで上位問題での最適化を異なる初期値から繰り返すことにより、提案手法により対応できることを示している。

第 5 章では、工学的実用性を有した設計問題として、永久磁石同期モータの回転子の構造設計問題を取り上げている。まず、回転子の構造設計を行う上では、ヨーク形状に加えて永久磁石の配置位置を考慮することが重要である点に着目し、それらの両方を考慮する最適化がより本質的であることを論じている。次に、当該の問題に対する提案手法の

適用方法を構成して、数値例題への適用を行った。結果の妥当性を検証するために、実際の製品をもとにした回転子構造と、従来手法によるトポロジー最適化で形態のみを最適化した回転子構造、および、提案手法により永久磁石の配置とヨークの形態を最適化した回転子構造を比較している。その結果から、提案手法により回転子における磁束漏れを効果的に抑制する構造が得られることを示している。

第 6 章では、工学的実用性を有した設計問題として、ノイズフィルタの回路基板のレイアウト設計問題を取り上げている。この問題に対しては、導体の配線パターンと素子やポートの配置位置を対象とし、それらの取り合いを考慮した最適化法を提案している。その際、本設計問題の課題として、外部変数の数が比較的多いためにメタモデル構築にかかる計算コストが増大する点を指摘し、それに対して、本設計問題の解空間の性質に適合する実験計画法を用いた上で、適応的にサンプルを追加していくことにより計算コストを抑制しながら最適化を行う方法を提案している。次に、提案手法を 2 つの数値例題に適用して、それぞれ従来の配線パターンのみの最適化よりもノイズ減衰特性に優れたレイアウトが得られたことを示している。

第 7 章では、本研究で得られた成果を総括している。

以上のように、本論文は、機械を構成する構造部品の形態設計に関して外部変数と連係するトポロジー最適化法を提案し、性質の異なる 3 つの領域での設計問題への適用を通じて、その妥当性と有効性を検証したものであり、さらなる高性能化が求められる機械の設計における構造部品の最適設計法に向けて新たな可能性をもたらすものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。