

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23611037

研究課題名(和文) 可変構造物に対応するロバストデザイン法とそれを包含する実務者支援システムの構築

研究課題名(英文) Robust Design Method for Adjustable Mechanisms and Its Supporting System for Designers

研究代表者

加藤 健郎 (Kato, Takeo)

東海大学・工学部・講師

研究者番号：70580091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、可変構造物(例えば、シートにおけるリクライニング機構など)に対応するロバストデザイン法を構築するとともに、同法を包含する各種ロバストデザイン法を用いて製品開発を支援するロバストデザイン支援システムを構築したものである。具体的には、調整可能なデザインパラメータの調整により、モンテカルロ法で算出した目標特性のばらつきが許容範囲内に収まるようにするための、最適な(最小の)デザインパラメータの調整範囲を、遺伝的アルゴリズムにより導出する手法を構築した。さらに、目的関数やパラメータの特徴に基づくロバストデザイン法の分類基準を定義し、それに基づいてロバストデザインの支援システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：This study proposes a robust design method for adjustable mechanisms, such as seat reclining mechanism, and a supporting system assisting the product development using a variety of robust design methods. Specifically, the proposed method derives the optimum (minimum) adjustable range of design parameters, required to set the varied objective characteristic values, calculated by the Monte Carlo method, into the tolerance, using Genetic algorithm. The supporting system includes the classification scheme of robust design methods based on the features of the objective function and parameters in order to properly choose a robust design method.

研究分野：時限

科研費の分科・細目：デザイン学

キーワード：デザイン理論・方法論 ロバストデザイン 最適デザイン QFD ISM DSM

1. 研究開始当初の背景

ロバストデザイン法は、製品製造時における加工や材料特性のばらつき、製品使用時におけるユーザ特性や使用環境のばらつきなど、様々なばらつきに対して機能の頑強性(ロバスト性)を高めるためのデザイン方法である。すなわち、ロバストデザイン法を用いてロバスト性を向上させることにより、様々なばらつきに対して、安全性・信頼性に優れた製品を提供することが可能となる。

ロバストデザイン法は“実験を用いる手法”と“シミュレーションを用いる(目的関数を用いてシミュレーションを行う)手法”に大別される。前者は、デザイン目標を表す目的関数が明確でないデザイン問題において、デザイン目標に影響を与える要因系を効率的に抽出し、適切な値に設定する手法であり、タグチメソッドを筆頭に、数多く提案されている。後者は、目的関数が存在するデザイン問題を対象とし、各種最適化法を用いてデザイン解を導出する手法である。計算機の進歩の著しい近年は、後者の手法に関する研究が行われる傾向が強く、本研究において構築しようとする手法も後者に分類される。

“シミュレーションを用いる手法”に関する研究の多くは、デザイン変数(制御因子 x)を1つの値に設定する(固定値の解を導出する)ため、目標特性における許容範囲が狭い場合、十分なロバスト性を得られないことがある。そのようなデザイン問題においては、一般的に、デザイン変数の範囲を解とし、使用者が可変できるようにする。しかし、そのような可変構造物を対象とするロバストデザイン法は提案されていないため、近年の多様化・複雑化するデザイン問題において、その必要性が顕在化している。さらに、ロバストデザイン法に関する研究は数多く見られるものの、各種手法の特徴を明確化し、それらを体系的に捉えた研究は殆どなされていない。このため、各手法の特徴やそれらの効果的な使い分けを、デザイン・開発実務者が理解することは困難であり、ロバストデザインが現場に普及しない要因となっている。

2. 研究の目的

上述したように、ロバストデザイン法は、現在までに数多く提案されているものの、可変構造物を対象とした手法が提案されていないことや、デザイン・開発実務者が同手法を効果的に使い分けられていないことなどの課題がある。そこで、本研究では、可変構造物に対応するロバストデザイン法を構築するとともに、本手法と既存の手法の関係性を明確化し、ロバストデザイン法の選択指針を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

平成 23 年度においては、可変構造物に対応するロバストデザイン法を構築するために以下の内容を実施した。

- ・可変構造物のロバスト性評価測度の定義および定式化
- ・1つの可変パラメータにおける最適調整領域の導出法の構築
- ・複数の可変パラメータにおける最適調整領域の導出法の構築

平成 24 年度においては、ロバストデザイン法(提案手法含む)の選択指針を構築するために以下の内容を実施した。

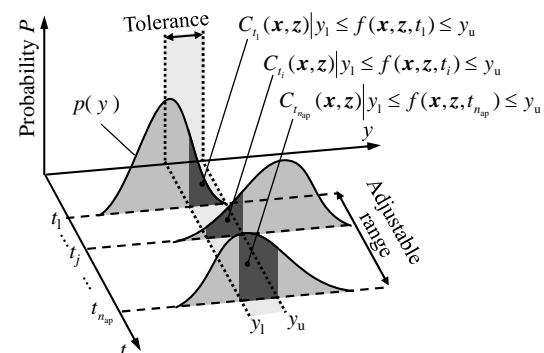
- ・既存のロバストデザイン法の文献調査
- ・デザイン理論の観点に基づくロバストデザインの意義・特徴についての考察
- ・既存のロバストデザイン法の特徴(例えば、制御因子や誤差因子(設計者が制御できない目標特性のばらつき要因)の分布型や目的関数の微分可能性など)整理と分類基準の定義

平成 25 年度においては、前年度に導出した分類基準を用いて適切なロバストデザイン法を選択可能とするロバストデザイン支援システムを構築するために、以下の内容を実施した。

- ・デザイン・開発プロセスに用いられるツールの調査
- ・デザイン目標に対する要因系の抽出支援ツールの構築
- ・導出した分類基準と要因系の抽出支援ツールの統合

4. 研究成果

平成 23 年度においては、まず、可変構造物のロバスト性評価測度を定義した(図 1)。ここで、同評価測度は、「可変する制御因子 t の各値において、目標特性 y が許容範囲を満たす制御因子および誤差因子を算出し、その和集合が全集合に占める割合」である。そして、同評価測度に基づいて、単数の可変パラメータにおける最適調整領域の導出法を構築するとともに、同手法を応用して、複数の可変パラメータにおける最適調整領域の導出法を構築した。同手法では、上述したロバスト性評価指標を適応度とした遺伝的アルゴリズムにより最適な調整範囲を算出する。



$$R_A = P \left[\bigcup_{i=1}^n \{ C_i(x, z) \mid y_1 \leq f(x, z, t_i) \leq y_u \} \right] \text{ where } t_i \in [t_1, t_u]$$

図 1 可変構造物に対応するロバスト性評価測度の概念図

平成 24 年度においては、既存のロバストデザイン法の文献調査を行い、デザイン理論の観点に基づくロバストデザインの意義・特性を明確化したうえで、既存のロバストデザイン法の特徴（例えば、制御因子や誤差因子の分布型や目的関数の微分可能性など）を整理し、分類基準を構築した（図 2）。同分類基準は、設計問題における、目的関数・制約関数、因子、目標特性・制約特性の特徴に基づいて手法を選定するものである。

設計問題の特徴		ロバストデザイン法		目的関数を用いる手法				
		Belegundu 5 の手法	Ramakrishnan 5 の手法	Arakawa・Yamakawa の手法	Wilde の手法	Zhu 5 の手法	Gunawan 5 の手法	Eggert 5 の手法
目的関数・制約関数の特徴	微分可能な関数を想定する（関数の微分値を用いる）	-	-	-	-	-	-	-
	単調増加・減少する関数を想定する（因子のばらつきを最大・最小値を用いる）	-	-	-	-	-	-	-
因子の特徴	因子のばらつきの特徴	左右対称なばらつきを想定する	-	-	-	-	-	-
		左右非対称なばらつきを想定する	-	-	-	-	-	-
	ばらつきの分布を想定する	-	-	-	-	-	-	
	多数の因子を想定する（多数の因子におけるばらつきの許容領域を用いる）	-	-	-	-	-	-	
	可変する因子を想定する	-	-	-	-	-	-	
目標特性・制約特性の特徴	目標特性の分布型	確率密度関数が既知であること（正規分布など）を想定する	-	-	-	-	-	
		確率密度関数が未知であること（多峰性分布など）を想定する	-	-	-	-	-	
	目標特性の重要度	一様	-	-	-	-	-	
	非一様	-	-	-	-	-		

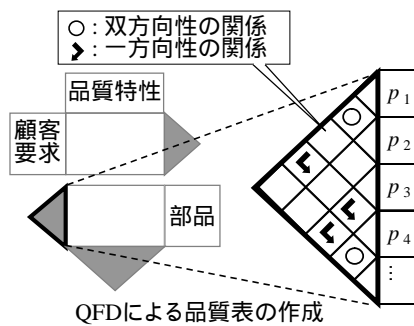
1: 微分値がなくてもロバスト性を評価することができる。

設計問題の特徴		ロバストデザイン法		制約関数を用いる手法				
		Parkinson 5 の手法 (1)	Parkinson 5 の手法 (2)	Arakawa・Yamakawa の手法	Sunderesan 5 の手法	Eggert 5 の手法		
目的関数・制約関数の特徴	微分可能な関数を想定する（関数の微分値を用いる）	-	-	-	-	-	-	
	単調増加・減少する関数を想定する（因子のばらつきを最大・最小値を用いる）	-	-	-	-	-	-	
因子の特徴	因子のばらつきの特徴	左右対称なばらつきを想定する	-	-	-	-	-	
		左右非対称なばらつきを想定する	-	-	-	-	-	
	ばらつきの分布を想定する	-	-	-	-	-		
	多数の因子を想定する（多数の因子におけるばらつきの許容領域を用いる）	-	-	-	-	-		
	可変する因子を想定する	-	-	-	-	-		
目標特性・制約特性の特徴	目標特性の分布型	確率密度関数が既知であること（正規分布など）を想定する	-	-	-	-	-	
		確率密度関数が未知であること（多峰性分布など）を想定する	-	-	-	-	-	
	目標特性の重要度	一様	-	-	-	-	-	
	非一様	-	-	-	-	-		

1: 微分値がなくてもロバスト性を評価することができる。

図 2 各種ロバスト設計法の分類基準

平成 25 年度においては、デザイン・開発プロセスに用いられているツールの調査を行い、品質機能展開（QFD）に着目するとともに、同法を用いてデザイン目標に対する要因系の抽出支援ツールを構築した。さらに、同ツールに、導出した分類基準を統合することにより、ロバストデザイン支援システムを構築した（図 3）。同システムにおいては、QFD を用いて目標特性に関する要因系を抽出し、それらの関係性を ISM（Interpretive Structural modeling）法や DSM（Design Structure Matrix）法を用いて整理する。さらに、それら要因系から関数や因子を明確化したうえで、適切な手法を選定する。



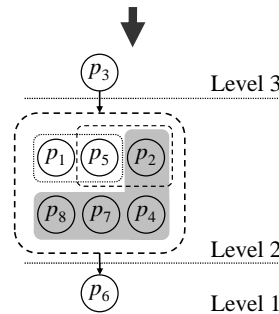
QFDによる品質表の作成

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8
p_1	0	0	0	0	1	0	0	0
p_2	0	0	0	1	1	0	0	0
p_3	1	0	0	0	0	1	0	1
p_4	0	0	0	0	0	1	1	0
p_5	1	1	0	0	0	1	1	1
p_6	0	0	0	0	0	0	0	0
p_7	0	0	0	0	0	0	0	1
p_8	0	1	0	0	0	0	1	0

直接影響行列の作成

	p_3	p_1	p_5	p_2	p_4	p_7	p_8	p_6
p_3	1	0	0	0	0	1	1	0
p_1	0	1	0	0	0	0	0	0
p_5	0	1	1	0	1	1	1	0
p_2	0	0	1	1	0	0	0	0
p_4	0	0	0	0	1	0	1	0
p_7	0	0	0	0	0	1	1	0
p_8	0	0	0	1	0	1	1	0
p_6	0	0	0	0	0	0	0	1

DSMによるクラスタリング(グループ化)



階層構造モデルの作成

図 3 QFDを用いたロバストデザインシステムの概念図

以上のように、本研究では、可変構造物に対応するロバストデザイン法を構築するとともに、同法を包含する各種ロバストデザイン法を用いて製品開発を一貫して支援するロバストデザイン支援システムを構築した。

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5件)

木村優、加藤健郎、松岡由幸、最適可変域導出のための可変制御因子を用いたロバスト設計法、設計工学、査読有、Vol.48、No.1、2013、pp.24-32

Takeo Kato, Shigehiro Horiuchi, Koichiro Sato and Yoshiyuki Matsuoka, Quality Function Deployment Based on the Multispace Design Model, Science of Design, 査読有, Vol.60, No.1, 2013, pp.77-86

Takeo Kato and Masatoshi Muramatsu, Robust Design Method for Adjustable Mechanisms, Journal of Mechanics Engineering and Automation, 査読有, Vol.4, No.1, 2013, pp.16-24

Takeo Kato, Shigehiro Horiuchi, Koichiro Sato and Yoshiyuki Matsuoka, Multispace Quality Function Deployment Using Interpretive Structural Modeling, 査読有, Science of Design, in press

Takeo Kato, Masatoshi Muramatsu, Suguru Kimura and Yoshiyuki Matsuoka, Robust Design Method Using Adjustable Control Factors, International Journal of Automation Technology, 査読有, Vol.8, No.3, 2014, pp.333-343.

[学会発表](計20件)

加藤健郎、木村優、松岡由幸、可変制御因子に対応するロバストデザイン法とその事例適用、日本計算工学会 第16回計算工学講演会、2011年5月25日、東京大学

加藤健郎、木村優、松岡由幸、ロバストデザイン概論 - 安全な社会とものづくりのために -、日本デザイン学会 第58回研究発表大会、2011年6月25日、千葉工業大学

Suguru Kimura, Takeo Kato and Yoshiyuki Matsuoka, A Proposal of Robust Design Method for Deriving Adjustable Range, The 2011 International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering, 2011年9月18日、Guangzhou, China

Takeo Kato, Suguru Kimura and Yoshiyuki Matsuoka, Mathematical Consideration on a Robustness Index

for Adjustable Control Factors, The 2011 International Conference on Materials and Products Manufacturing Technology, 2011年10月29日、Chengdu, China

加藤健郎、松岡由幸、離散的調整を行う可変機構のロバスト設計法、日本設計工学会 平成23年度秋季研究発表講演会、2011年10月21日、大阪電気通信大学
Takeo Kato, Shigehiro Horiuchi and Yoshiyuki Matsuoka, Quality Function Deployment Based on Multispace Design Model and Interpretive Structural Modeling, International Conference on Machine Design and Production, 2012年6月20日、Pamukkale, Turkey

Suguru Kimura, Takeo Kato and Yoshiyuki Matsuoka, Robust Design Method Using Adjustable Control Factors, Asian Conference on Design and Digital engineering 2012, 2012年12月7日、Niseko, Japan

Takeo Kato and Yoshiyuki Matsuoka, Proposal of Quality Function Deployment Based on Multispace Design Model and Its Application, International Conference on Research into Design, 2013年1月8日、Chennai, India

加藤健郎、木村優、松岡由幸、可変機構のロバストデザインにおける因子の設定法、日本計算工学会 第17回計算工学講演会、2012年5月31日、京都教育文化センター

加藤健郎、堀内茂浩、松岡由幸、多空間デザインモデルに基づく品質機能展開の提案、日本機械学会、第22回設計工学・システム部門講演会、2012年9月28日、広島大学

堀内茂浩、田所亮太、加藤健郎、松岡由幸、多空間デザインモデルとISM法に基づくQFDの提案、Design シンポジウム 2012、2012年10月16日、京都大学

木村優、加藤健郎、松岡由幸、可変機構設計における可変制御因子と同因子間の従属・独立関係の設定方法、日本設計工学会 平成24年度春季研究発表講演会、2012年5月20日、慶應義塾大学

Takeo Kato, Koichiro Sato and Yoshiyuki Matsuoka, Robust Optimization of Adjustable Control Factors Using Particle Swarm Optimization, 12th European Conference on Artificial Life, 2013年9月4日、Taormina, Italy

Takeo Kato, Quality Function Deployment Applying Structural Model, International Conference on Advances in Mechanical and Robotics Engineering, 2013年10月13日、Zurich, Switzerland

加藤健郎、松岡由幸、ISM 法を用いた品質機能展開の提案、日本設計工学会 平成 25 年度春季大会研究発表講演会、2013 年 5 月 26 日、国土館大学

山本圭吾、木村優、加藤健郎、松岡由幸、可変機構により調整される因子間の従属・独立関係を設定するためのロバスト設計法、日本設計工学会、平成 25 年度春季大会研究発表講演会、2013 年 5 月 26 日、国土館大学

村松政俊、加藤健郎、PSO 法を用いた最適可変域導出のためのロバスト設計法、日本設計工学会、平成 25 年度春季大会研究発表講演会、2013 年 5 月 26 日、国土館大学

加藤健郎、堀内茂浩、三輪俊晴、松岡由幸、DSM 法を用いた品質機能展開の提案、日本設計工学会、平成 25 年度春季大会研究発表講演会、2013 年 10 月 5 日、名城大学

加藤健郎、堀内茂浩、佐藤浩一郎、松岡由幸、ISM と DSM 法を用いたマルチスペース品質機能展開の提案、日本機械学会、第 23 回設計工学・システム部門講演会、2013 年 10 月 23 日、読谷村文化センター
山南大輔、北村武士、加藤健郎、松岡由幸、M モデルに基づく因子決定法を包含するロバストデザイン、第 23 回設計工学・システム部門講演会、2013 年 10 月 23 日、読谷村文化センター

〔図書〕(計 1 件)

松岡由幸、加藤健郎、ロバストデザイン-「不確かさ」に対して頑強な人工物の設計法-、森北出版、2013、pp.14-158

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 健郎 (KATO, Takeo)

東海大学・工学部・講師

研究者番号： 70580091

(2) 研究分担者

松岡 由幸 (MATSUOKA, Yoshiyuki)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号： 20286636