

平成21年5月21日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760097
 研究課題名（和文）大規模設計問題のための効率的なロバスト最適化設計法の構築
 研究課題名（英文）Development of efficient robust design optimization method for large scale design problems

研究代表者

鄭 信圭 (SHINKYU JEONG)
 東北大学・流体科学研究所・准教授
 研究者番号：20358469

研究成果の概要：ロバスト最適化を高精度かつ効率的に行えるため、近似モデル（クリギングモデル）の精度改善を行った。具体的には、設計問題の設定を行う段階で目的関数と設計変数間の関連度を調べ、それに基づいて形状定義（設計変数の定義）を行うことで近似モデルの精度改善を行った。さらに、スキーマ処理に着目した進化的計算法を導入することで近似モデルのパラメータ設定の精度改善も行った。設計空間の構造理解と新しい設計知識発見のためのデータマイニングでは、自己組織化マップを用いた設計変数と目的関数の感度調査、Aspiration法とAssociation ruleを用いた特定解になる条件を獲得する手法の開発を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	0	2,500,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	240,000	3,540,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学 機械機能要素 トライボロジー

キーワード：設計工学

1. 研究開始当初の背景

通常の絶対値最適化では作動環境の微小変動や工作精度の誤差に起因する形状変動の影響まで考慮する設計は行っていない。しかし実際は、ほとんどの機械は微小変動が存在する環境下で作動され、さらに、その形状には工作精度による誤差や弾性による変形も含まれている。この研究では、作動環境の変動や工作の誤差を考慮できるロバスト最適化手法の開発を行う。

ロバスト最適化の場合は、性能評価に膨大なコストが掛かるため、本研究では、高精度か

つ効率的なロバスト最適化手法の開発をAdjoint法を用いるロバスト性の評価、クリギングモデルによる局所変動領域内の性能評価、設計空間の構造と設計知識習得のためのデータマイニングを実施することにする。

2. 研究の目的

ロバスト性を高精度かつ効率的に評価できるアルゴリズムを開発し、多くの変動変数を持った大規模設計問題にも適用可能なロバスト最適化設計システムを構築するとともに、設計で得られたデータから設計空間の構造

を理解するためにデータマイニング技術の蓄積を考えている。具体的には下記の4項目を実施する。

- (1) 効率的なロバスト性評価のため、Adjoint法で求められた勾配情報を利用するロバスト性評価法を確立する。
- (2) 局所変動領域内の性能値を予測できる高精度近似モデル作成に関する研究を行う。
- (3) 開発されたロバスト設計システム検証のための大規模設計問題への適用を行う。
- (4) 設計空間の構造理解と新しい設計知識発見のためのデータマイニングを実施する。

3. 研究の方法

(1) 勾配情報を利用するロバスト性評価法の確立

勾配情報を効率良く獲得するためにAdjoint法を用いた勾配情報の獲得を行った。ここでは形状の多様性を維持するためParsec形状定義法を採用した。

(2) 高精度近似モデルの作成

当初は勾配情報を利用するコークリギングモデルを作成することで精度改善を図りましたが、実際のコークリギングモデルによる精度改善はあまり見られなかった。本研究では、設計問題の設定を行う段階で目的関数と設計変数間の関連度を調べ、それに基づいて形状定義（設計変数の定義）を行うことで近似モデルの精度改善を行った。さらに、スキーマ処理に着目した進化的計算法を導入することで近似モデルのパラメータ設定の精度改善も行った。

(3) 大規模設計問題への適用

ロバスト最適化設計の例として、洗濯乾燥機ファンの設計を行った。洗濯乾燥機は量産製品であり、ロバスト最適化の必要とされる設計対象である。

(4) 設計空間の構造理解と新しい設計知識発見のためのデータマイニングを実施

本研究では、自己組織化マップや分散分析法を利用した目的関数と設計変数の感度調査はもちろん設計の結果(非劣解の集合)から特定解を選択し、その解になる特約の設計知識を取り出すため、Aspiration法とAssociation ruleを組み合わせた手法を導入した。

4. 研究成果

(1) 近似モデルの精度改善

本研究では近似モデル（クリギングモデル）の精度改善を行うため、勾配の情報を利用するコークリギングモデルの開発と目的関数と設計変数の関連度に基づく問題定義法に関する研究を行った。

① コークリギングモデルによる精度改善

コークリギングモデルは近似曲面を構築

する際に、関数値の値以外にその点での関数値の勾配情報も同時に利用し近似曲面を作成する方法である。しかし、本研究で試した結果では、サンプル点の数が多かった。この結果は他の研究者の論文同様、精度の改善はあまり得られなかったとの結果と一致していた。

② 目的関数と設計変数の関連度に基づく問題定義による精度改善

蒸気タービンの設計問題で図1のような形状定義をして出口流出角不一致度に関するグリーンキング近似曲面を作成した結果、図2のように精度良い近似曲面を得ることができなかった。

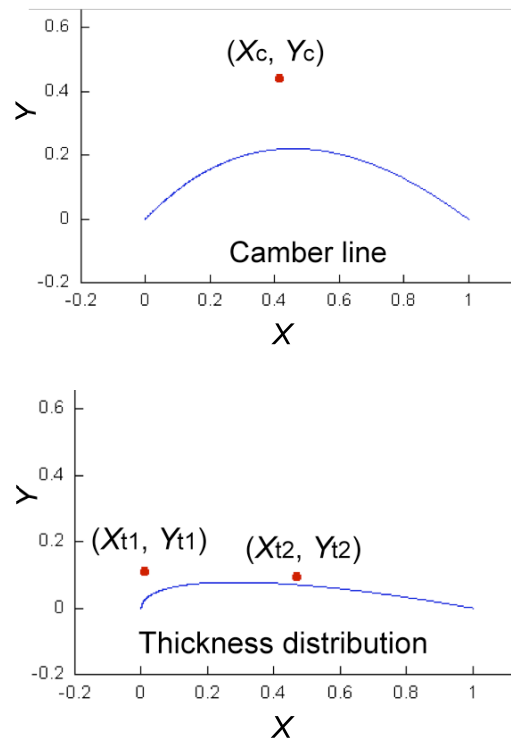


図1 形状定義

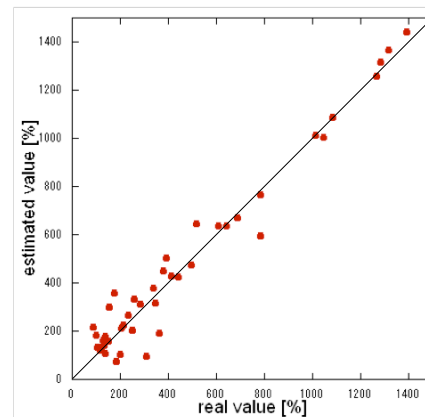


図2 出口流出角不一致度に関する近似曲面のCross Validation

その後の調べで、図1の設計変数定義では出

口流出角不一致度を支配する形状特徴である図3のスロート距離をうまく制御することができないためであることがわかった。

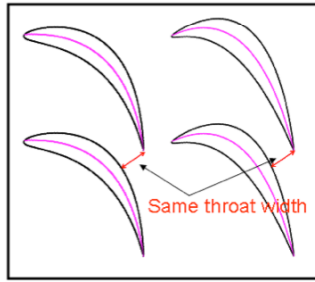


図3 スロートの距離

本研究では、形状定義を図4のように設計変数を用いて行うことでスロート距離を適切に変化できるようになった。その結果、図5のように近似曲面の精度を向上することができた。

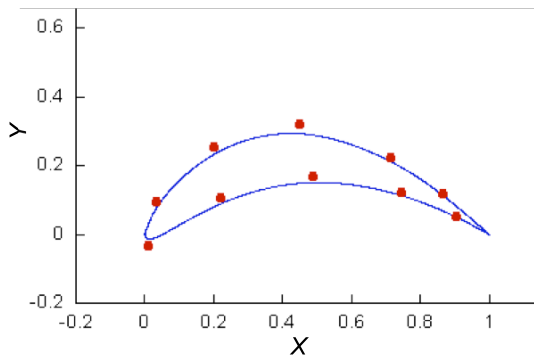


図4 新しい形状定義

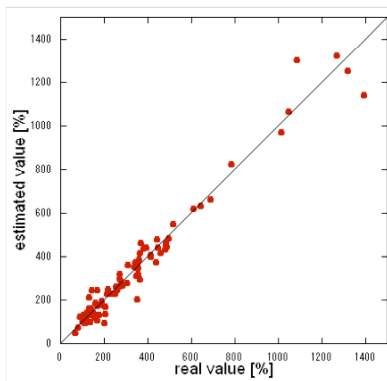


図5 出口流出角不一致度に関する近似曲面のCross Validation

(2) Aspiration法とAssociation ruleを用いた特定解になる条件を獲得する手法の開発
多目的最適化から得られた非劣解の集合から特定の解を選択するため式(1)で示されるAspiration Vectorを用いた。

$$\vec{a} = \begin{pmatrix} -w_1 \\ -w_2 \\ \vdots \\ -w_n \end{pmatrix} \quad (1) \quad \vec{d} = \begin{pmatrix} y_1^{(j)} - 1 \\ y_2^{(j)} - 1 \\ \vdots \\ y_n^{(j)} - 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

このAspiration Vectorは設計者の好みの方向を示す物である。なお、式(2)はある非劣解と原点Sを結ぶVectorである。

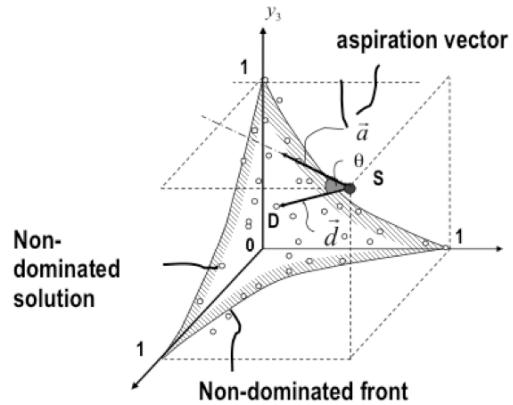


図6 Aspiration Vectorによる特定解の選択

図6に示しているようAspiration VectorとVector Sの間の角度式(3)のように求めることができる。

$$\theta_j = a \cos \left(\frac{\vec{a} \cdot \vec{d}_j}{\|\vec{a}\| \cdot \|\vec{d}_j\|} \right) \quad (3)$$

この角度はある非劣解が設計者の好みの方向からのずれを意味する。θが最も小さい値を持った解が一番設計者の好みに近い解を意味する。

さらに、好みの解になるruleの抽出にはPosデータ等のtransactionデータの解析に使うAssociation Rule法を用いた。

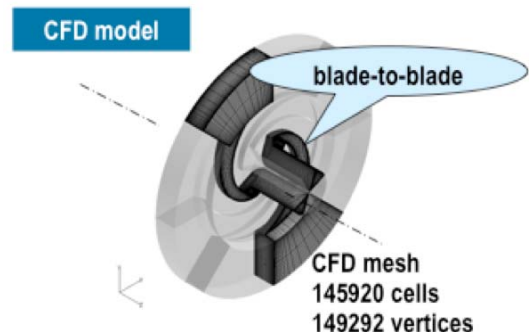


図7 洗濯乾燥機ファンのロバスト最適化

開発したデータ手法を図7の洗濯乾燥機用ファンのロバスト最適化設計に適用した。この設計問題の目的関数はファン性能とノイズである。形状を表現する8個の設計変数に対してuniform uncertaintyを加えたロバスト最適化を行った。

性能とノイズのロバスト性 (Aspiration Vector=(w1:w2:w3:w4=0:1:0:1)を重視した解

になるためには表1で示しているように、 b_2 は小さく、 $Beta_3$ は大きい、図8のような速度三角形(小さいaspect ratio)を持つ形状が必要であることがわかった。これは一般的なターボ機械の知識とも一致している。このことから開発した特定解になる知識を抽出するデータマイニング手法は有効であると言える。

No.	Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Count
1	b2									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
2	b2/b2	1						1																		6
3	D _{max} (D)		2	2	2	2	2	2												2	2	2	2	2	2	14
4	R _r																									3
5	R _{mass}	2	1						2	2	2	2	2	2	3	3				1					2	12
6	Beta1						3										4	3								4
7	Beta2	1	1					1																	1	4
8	Beta3		5	5	5	5	5	5									5	5								10
9	Conf.	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	10	
10	Supp.(%)	1.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	9	
11	Lift	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	9	

表1 ロバスト性を重視した解になる条件

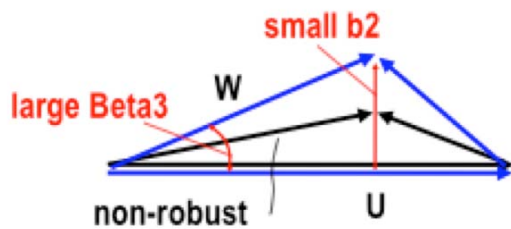


図8 ロバスト性を重視した解になる条件(小さいAspect非を持った速度三角形)

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9件)

- (1) S. Jeong, K. Suzuki, S. Obayashi, M. Kurita, Optimization of Nonlinear Lateral Characteristic of Lifting-Body Type Reentry Vehicle, JOURNAL OF AEROSPACE COMPUTING, INFORMATION, AND COMMUNICATION, vol. 6, 239-255, 2009, 査読有
- (2) K. SUGIMURA, S. JEONG, S. OBAYASHI and T. KIMURA, Kriging-Model-Based Multi-Objective Robust Optimization and Trade-Off Rule Mining of a Centrifugal Fan with Dimensional Uncertainty, Journal of Computational Science and Technology, vol. 3, 196-211, 2009, 査読有
- (3) 下山幸治, 鄭信圭, 大林茂, 応答局面近似・可視化データマイニングを利用したロバスト設計最適化の実問題応用, 人工知能学会論文誌, 24巻1号, 13-24,

2009, 査読有

- (4) M. Kanazaki, Y. Yokokawa, M. Murayama, T. Ito, S. Jeong, and K. Yamamoto, Nacelle Chine Installation Based on Wind-Tunnel Test Using Efficient Global Optimization, Transaction of the Japan Society for Aeronautical and Space Scieces, Vol. 51, 146-150, 2008, 査読有
 - (5) K. Sato, T. Kumano, M. Yonezawa, H. Yamashita, S. Jeong and S. Obayashi, Low-Boom and Low-Drag Optimization of the Twin Engine Version of Silent Supersonic Business Jet, Journal of Fluid Science and Technology, vol.3, 576-585, 2008, 査読有
 - (6) S. Jeong, S. Obayashi and Y. Minemura Application of Hybrid Evolutionary Algorithms to Low Exhaust Emission Diesel Engine Design, Engineering Optimization, Vol. 40, 1-16, 2008, 査読有
 - (7) M. Kanazaki, K. Tanaka, S. Jeong and K. Yamamoto, Design Exploration of High-Lift Airfoil Kriging Model and Data Mining Technique, KSAS International Journal Vol. 8, 2007, 28-36, 査読有
 - (8) K. Chiba, S. Jeong and S. Obayashi, Knowledge Discovery in Multidisciplinary Design Space for Regional-Jet Wings Using Data Mining, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 50, 2007, 181-192, 査読有
 - (9) M. Kanazaki, K. Tanaka, S. Jeong and K. Yamamoto, Multi-Objective Aerodynamic Optimization of Elements' Setting for High-Lift Airfoil Using Kriging Model, Journal of Aircraft, Vol. 44, 2007, 858-864, 査読有
- [学会発表] (計22件)
- (1) S. Jeong Design Exploration Framework for Real-World Application, International Workshop on Multi-Objective Design Exploration for Aerospace Engineering, 2009年3月19日, 仙台(日本)
 - (2) 吉清水宗 蒸気タービン静翼形状設計最適化, 日本航空宇宙学会北部支部2009年講演会ならびに第10回再使用型宇宙推進系シンポジウム, 2009年3月11日, 仙台(日本)
 - (3) 長谷川翔一

- ハイブリッド最適化手法を用いたディーゼルエンジン燃焼室形状の最適化, 進化計算シンポジウム, 2008年12月20日, 登別(日本)
- (4) 吉清水宗
最適解探索能力向上に向けた翼型形状表現方法に関する検討
第8回最適化シンポジウム2008 (OPTIS2008), 2008年11月27日, 東京(日本)
- (5) S. Chae
Blade Shape Optimization for HSI Noise Reduction and Performance Improvement of Helicopter, 34th European Rotorcraft Forum, 2008年9月18日, リバプール(イギリス)
- (6) T. Kumano
Low-Boom and Low-Drag Optimization of the Twin-Engine Silent Supersonic Technology Demonstrator, 26th International Congress of the Aeronautical Sciences, 2008年9月16日, アラスカ(USA)
- (7) S. Yoshimizu
Multi-Objective Design Optimization for Stator Blade Configuration of Steam Turbine, 8th World Congress on computational Mechanics-5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering(ECCOMAS 2008), 2008年7月4日, ベニス(イタリア)
- (8) K. Shimoyama
An Efficient Robust Optimization Framework for Real-World Engineering, 8th World Congress on computational Mechanics-5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering(ECCOMAS 2008), 2008年7月3日, ベニス(イタリア)
- (9) S. Jeong
Low-Boom and Low-Drag Design Exploration for Twin Engine Supersonic Business Jet, 8th World Congress on computational Mechanics-5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering(ECCOMAS 2008), 2008年7月2日, ベニス(イタリア)
- (10) T. Kumano
Aeroelastic Analysis using Unstructured CFD Method for Realistic Aircraft Design, 8th World Congress on computational Mechanics-5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering(ECCOMAS 2008), 2008年7月2日, ベニス(イタリア)
- (11) S. Obayashi
Multi-Objective Design Exploration (MODE)- Visualization of Design Space and Knowledge Mining, 8th World Congress on computational Mechanics-5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering(ECCOMAS 2008), 2008年7月1日, ベニス(イタリア)
- (12) 蔡相賢
HS I 騒音低減に関するブレード平面形と翼型の最適化, 第40回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2008, 2008年6月12日, 仙台(日本)
- (13) 山本潤弥
プラズマアクチュエータ流体制御の非構造格子数値解析手法の開発, 第40回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2008, 2008年6月12日, 仙台(日本)
- (14) 森野裕行
非構造CFDと縮約次元非定常空気力モデルを用いた高効率空力弾性解析, 第40回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2008, 2008年6月12日, 仙台(日本)
- (15) 長谷川翔一
GA/PSOハイブリッド最適化手法による大域的・局所的探査能力の同時改善に向けた研究, 第13回計算工学講演会, 2008年5月19日, 仙台(日本)
- (16) 鄭信圭
静粛超音速研究機双発案の低ブーム低抵抗設計探査, 平成19年度科研費空力班シンポジウム, 2008年1月25日, 東京(日本)
- (17) K. Sato
Low-Boom and Low-Drag Optimization of the Twin Engine Version of Silent Supersonic Business Jet, 7th International Symposium on Advanced Fluid Information and the 4th International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, 2007年12月15日, 仙台(日本)
- (18) K. Shimoyama
Development and Application of a New Robust Optimization Framework for Real-World Engineering Design, 7th International Symposium on Advanced Fluid Information and the 4th

International Symposium on
Transdisciplinary Fluid Integration,
2007年12月15日, 仙台 (日本)

(19) 吉清水宗

蒸気タービン静翼翼型形状の多目的流体
設計最適化,
第17回設計工学・システム部門講演会,
2007年10月31日, 仙台 (日本)

(20) 鄭信圭

多目的最適化と応答曲面法,
第45回飛行機シンポジウム,
2007年10月23日, 小倉 (日本)

(21) 下山幸治

応答曲面近似・データマイニングを併用し
た高効率多目的ロバスト設計最適化,
日本機械学会2007年度年次大会,
2007年9月12日, 吹田 (日本)

(22) S. Jeong

Improvement of Nonlinear Lateral
Characteristics of Lifting-Body Type
Reentry Vehicle Using Optimization
Algorithm,
AIAA Infotech@Aerospace 2007
conference and Exhibit,
2007年5月9日, カリフォルニア (USA)

[その他]

ホームページ等

[http://www.ifs.tohoku.ac.jp/edge/Jeong/
Jeong.htm](http://www.ifs.tohoku.ac.jp/edge/Jeong/Jeong.htm)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鄭 信圭 (SHINKYU JEONG)

東北大学・流体科学研究所・准教授

研究者番号：20358469

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：