

平成22年 5月 19日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19760098
 研究課題名（和文） ロバスト最適設計探査統合フレームワークの確立と実証
 研究課題名（英文） Development and Demonstration of a Total Framework
 for Robust-Optimal Design Exploration
 研究代表者
 下山 幸治（SHIMOYAMA KOJI）
 東北大学・流体科学研究所・助教
 研究者番号：80447185

研究成果の概要（和文）：ロバスト最適設計探査とは、実世界の工学製品開発の場に見られるように、設計・製造誤差や使用環境変化などの不確実性が存在する状況下で安定した性能を発揮できる製品設計候補を見つけ出すことである。本研究では、高精度・高効率、そして利便性・汎用性に優れたロバスト最適設計探査統合フレームワークを確立するとともに、本フレームワークを様々な実工学設計問題に適用することでその有効性を実証した。

研究成果の概要（英文）：Robust-optimal design exploration aims to find good design candidates, which realize stable characteristics of performance against the errors and uncertainties in real-world design process, manufacturing process, and/or operating conditions. This study has developed a total framework for the robust-optimal design exploration to be implemented accurately, efficiently, easily, and versatily. In addition, this study has demonstrated the framework through the application to various real-world engineering design problems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	0	1,300,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	600,000	3,900,000

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：設計最適化、ロバスト設計、応答曲面近似、データマイニング、品質工学

1. 研究開始当初の背景

実世界の工学製品開発では、設計・製造過程で含まれる誤差、あるいは使用環境の変化などの様々な不確実性が存在する。したがって、そのような不確実性を考慮せずに設計点性能の改善だけを目的とした通常の最適化

技術を用いて設計候補を探索しただけでは、数値計算によって予想された性能が実世界で発揮されない危険性がある。加えて、製品性能に対する顧客側からの要求項目として、「高性能」のみならず「高信頼性」も重要視されるようになってきた昨今の時代背景も

ある。そこで近年、工学製品開発で起こりうる様々な不確定性に対する性能のロバスト性の改善を目的とした最適化技術であるロバスト最適化技術の利用が期待視されている。

通常最適化技術で着目される性能の最適性(設計点値・平均など)と、ロバスト最適化技術で着目される性能のロバスト性(勾配・分散など)は一般的に相反する性質を持つ。このようなトレードオフ関係に関する情報は、設計者が採用すべき設計候補を選ぶ上で非常に有益な設計判断材料となるため、このトレードオフ情報を抽出することが「高性能」かつ「高信頼性」を目標としたロバスト最適設計探索における最重要課題である。そこで、申請者はこれまでに、多目的遺伝的アルゴリズムとシックスシグマ概念を組み合わせることにより、性能の最適性・ロバスト性という個別の2種類の指標を同時に改善することを目的とした最適化技術「多目的シックスシグマ手法」を新たに考案し、本技術が性能の最適性とロバスト性の間のトレードオフ情報を抽出する上で効果的な方法であることを、種々のテスト問題や実設計問題を通して実証してきた。

2. 研究の目的

実世界の工学製品開発において、設計・製造誤差や使用環境変化などの様々な不確定性が存在する状況下においても安定した性能を発揮できる製品設計候補を打ち出すロバスト最適設計探索に関して、高精度・高効率、そして利便性・汎用性に優れたロバスト最適設計探索統合フレームワークを確立・実証する。

3. 研究の方法

(1) 応答曲面近似を用いた性能統計量評価の高効率化

高精度な応答曲面近似を用いて性能の統計量算出に要する計算時間を短縮することにより、ロバスト最適設計探索の高効率化を行う。これにより、工学製品開発の設計段階に要する作業時間が短縮されるだけでなく、設計以降の段階から設計修正の要求がフィードバックされた場合に柔軟かつ迅速に対応できるようになり、最終的に工学製品開発スパン全体の高効率化・円滑化が実現される。

(2) 多次元データマイニング技術を用いた設計情報抽出の簡易化

多次元データマイニング技術を用いて膨大な計算結果データから有益な設計情報を簡易的に抽出することにより、ロバスト最適設計探索の後処理に要する手間と時間を省く。これにより、工学製品開発スパン全体の高効率化だけでなく、従来の分布図からは把

握できなかった複雑かつ斬新な多次元設計情報の提示が可能となる。

(3) 品質工学概念に基づいた設計問題設定の適切化

品質工学の概念に倣い、「性能」そのものではなく性能を正常に発揮する上で重要な「機能」に着目することで、設計問題設定の適切化に向けた新たな枠組みを確立する。これにより、性能を具体的に定量化することが難しいロバスト最適設計問題にも柔軟に対応できるようになる。加えて、機能に着目して設計対象物の本質的な善し悪しを見極めることで、性能に着目する従来手法に比べて非常に高い信頼性を有する優れた設計候補を探索することも可能となる。

4. 研究成果

(1) 応答曲面近似を用いた性能統計量評価の高効率化

応答曲面近似モデルの1つであるKrigingモデルを用いて、図1に示す自動車用タイヤについて形状および材料物性のロバスト最適設計探索計算を行った。その結果、既存設計案に比べて、ばね性能の最適性・ロバスト性の双方について優れた新たな設計候補を精度良く見つけ出すことに成功した。さらに特筆すべきことに、計算に要した時間が応答曲面近似を用いない場合のおよそ50万分の1に大幅短縮された。

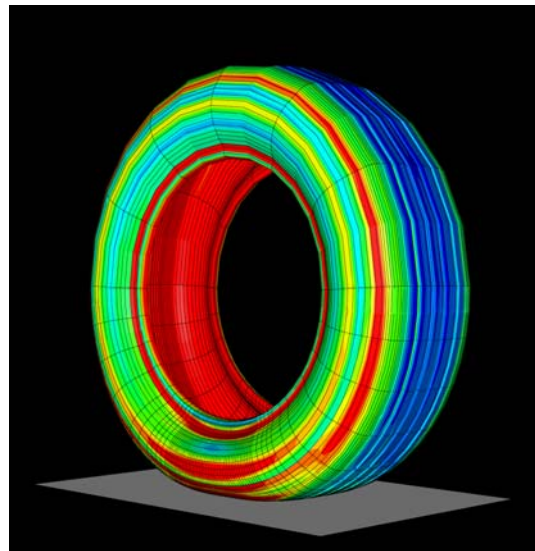


図1 自動車用タイヤ

(2) 多次元データマイニング技術を用いた設計情報抽出の簡易化

図2に示す家電用遠心ディフューザの形状対性能データに対して、分散分析・自己組織化マップといったデータマイニング技術を適用した。その結果、ディフューザの圧力回復性能に大きく寄与するノズル部形状パラ

メータ（スロート幅・羽根曲率）を特定するとともに、各形状パラメータ間に存在する相互作用を確認・考察できた。特にこの相互作用は、従来の準1次元ノズル理論では不明であった、新しい知見である。

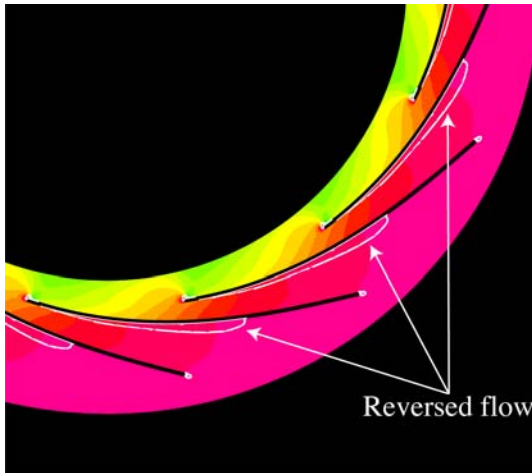


図2 家電用遠心ディフューザ

(3) 品質工学概念に基づいた設計問題設定の適切化

図3に示すスポーツ用シューズソールの材料物性最適設計探索を行った。ここでは、「走りやすさ」の善し悪しに間接的に影響するシューズの機能としてソールの曲げ剛性およびソール重量に着目し、これらを定量的に評価した。その結果、走りやすさを追求したソールの最適弾性率分布を求めるとともに、走りやすさを保証する上でのソールの剛性・重量の適性バランスに関する詳細な設計情報を提示することができた。

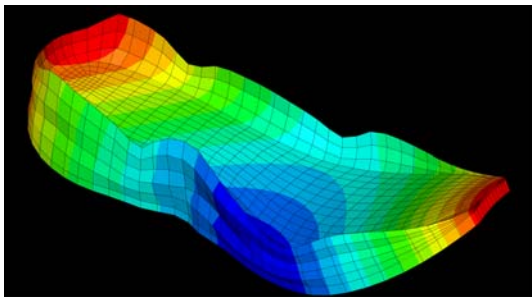


図3 スポーツ用シューズ

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6件)

1. Koji Shimoyama, Kazuyuki Sugimura, Shinkyu Jeong, and Shigeru Obayashi, "Performance Map Construction for a Centrifugal Diffuser with Data Mining Techniques," Journal of

Computational Science and Technology, 査読有, Vol. 4, 2010年, pp. 36-50.

2. 下山幸治, 鄭信圭, 大林茂, "多目的ロバスト設計のための方法論確立と実問題応用", 日本信頼性学会誌「信頼性」, 査読有, Vol. 32, 2010年, pp. 105-112.
3. 下山幸治, 杉村和之, 鄭信圭, 大林茂, "多目的設計探索による設計空間の可視化と知識発見", 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), 査読有, Vol. 21, 2009年, pp. 293-303.
4. Koji Shimoyama, Jin Ne Lim, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, and Masataka Koishi, "Practical Implementation of Robust Design Assisted by Response Surface Approximation and Visual Data-Mining," Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME, 査読有, Vol. 131, 2009年, pp. 061007-1-11.
5. 下山幸治, 鄭信圭, 大林茂, "応答曲面近似・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, 査読有, Vol. 24, 2009年, pp. 13-24.
6. 下山幸治, リムジンネ, 鄭信圭, 大林茂, "応答曲面近似・データマイニングを併用した多目的ロバスト設計最適化手法の開発・応用", 東北大学流体科学研究所報告, 査読無, Vol. 18, 2007年, pp. 1-10.

[学会発表] (計7件)

1. Koji Shimoyama, "Efficient Multi-Objective Robust Optimization in Real-World Engineering Design Problems," 2nd International Workshops on Advances in Computational Mechanics, 招待講演, Vol. 4, 2010年3月30日, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan.
2. 下山幸治, 瀬尾和哉, 西脇剛史, 鄭信圭, 大林茂, "進化的計算によるスポーツ用シューズソールの材料物性最適設計", 人工知能学会第2回進化計算フロンティア研究会, 2009年10月3日, 東京大学.
3. Koji Shimoyama, Shinkyu Jeong, and Shigeru Obayashi, "An Efficient Robust Optimization Framework for Real-World Engineering Design," 8th World Congress on Computational Mechanics - 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, 2008年7月3日, Venice Conventional Center, Venice, Italy.

4. Koji Shimoyama, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, and Masataka Koishi, "Development and Application of a New Robust Optimization Framework for Real-World Engineering Design," 7th International Symposium on Advanced Fluid Information and 4th International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, 2007 年 12 月 14-15 日, Sakura Hall, Tohoku University, Sendai, Japan.
5. Koji Shimoyama, Jin Ne Lim, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, and Masataka Koishi, "An Approach for Multi-Objective Robust Optimization Assisted by Response Surface Approximation and Visual Data-Mining," 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2007 年 9 月 27 日, Swissôtel The Stamford, Singapore.
6. 下山幸治, リムジンネ, 鄭信圭, 大林茂, "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, 関西大学.
7. Koji Shimoyama, Jin Ne Lim, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, and Masataka Koishi, "A Framework of Efficient Multi-Objective Robust Optimization for Real-World Engineering Design," SNU-TU Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, 2007 年 6 月 18 日, Seoul National University, Seoul, Korea.

[図書] (計 2 件)

1. Koji Shimoyama, Jin Ne Lim, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, and Masataka Koishi, Springer-Verlag, Multi-Objective Memetic Algorithms, 2009 年, pp. 133-151.
2. Kaisa Miettinen, Kalyanmoy Deb, Johannes Jahn, Wlodzimierz Ogryczak, Koji Shimoyama, and Rudolf Vetschera, Springer-Verlag, Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches, 2008 年, pp. 435-461.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下山 幸治 (SHIMOYAMA KOJI)
東北大学・流体科学研究所・助教
研究者番号：80447185