

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 16 日現在

機関番号：82645
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2011 年度 ～ 2012 年度
 課題番号：23700186
 研究課題名（和文）：固有直交分解を用いたパレート最適解群からの設計知識抽出法の確立と実証
 研究課題名（英文）Mode Analysis of Pareto-Optimal Design

 研究代表者：大山 聖（Akira Oyama）
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 准教授
 研究者番号：10373440

研究成果の概要（和文）：

「3つ以上の目的関数を持つ設計最適化問題への適用方法」の開発と実問題での実証に成功した。具体的には、任意の2つの目的関数値を軸とする非劣解群の2次元プロットに固有ベクトル成分値を色で表示させることなどで MAPOD が3つ以上の目的関数を持つ設計最適化問題の理解にも役に立つことを確認し、太陽観測衛星の多目的軌道設計最適化問題で得られたパレート最適解群からの設計知識抽出を試み、開発された手法が実問題でも有効であることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

Objective of this study is to establish the mode analysis of Pareto-optimal designs (MAPOD) framework. In this research, MAPOD framework for three-objective design optimization problem has developed and demonstrated on a real-world design problem, i.e., a multiobjective trajectory design optimization problem of solar observatory spacecraft. To apply MAPOD to a three-objective design optimization problem, the Pareto-optimal designs are plotted as a scatter plot using two of three objectives where color of each plot indicates its Eigen vector value. For four or more objective design optimization problem, self-organizing map is coupled with this approach.

There result show effectiveness of MAPOD for real-world design optimization problems. This research will contribute to design innovation in Japan.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：「多目的最適化」「多目的設計探査」「ソフトコンピューティング」「データマイニング」「固有直交分解」

1. 研究開始当初の背景

宇宙工学の分野では人工衛星用太陽電池パドルの構造設計最適化問題や宇宙探査機のイオンエンジンの設計最適化問題などさまざまな設計最適化問題が存在する。これまで、これらの設計最適化問題はそれぞれの分野の専門家が理論や経験で裏打ちされた直感を頼りに試行錯誤的に解くことで製品を

開発してきたが、近年の信頼性向上に対する要求や設計開発期間の短縮・設計開発コストの削減などに対する要求の高まりにより、設計プロセスの革新が必要とされている。

宇宙工学の分野における設計最適化問題のほとんどは複数の相反する設計目的を持つ多目的設計最適化問題であり（たとえばロケットエンジンの出力の最大化と効率の最

大化など)、これらの最適化問題はパレート最適解と呼ばれる多数の最適解を持つ。近年、多目的設計最適化問題を多目的進化計算を用いて解き、得られるパレート最適解群の持つデータを自己組織化マップなどのデータマイニング技術を用いて解析し、設計に関する有益な知見を引き出す多目的設計探索と呼ばれるフレームワークが提案され、その有効性が旅客機設計などにおいて示されつつある。研究代表者はこれまでこの多目的設計探索技術を利用し、1) 再使用型宇宙往還機の機体の空力設計最適化問題、2) 液体ロケットエンジンの複合領域設計最適化問題、3) 宇宙探査機の軌道設計/機体設計最適化問題、4) ハイブリッドロケットの複合領域概念設計最適化問題、などに取り組み、これらの設計をする上で有益なさまざまな知見を獲得し、宇宙工学の発展に貢献してきた。

しかしながら、既存の多目的設計探索技術では、パレート最適解群のもつ目的関数値や設計変数値などのスカラー情報からしか設計に関する知見を抽出をすることができないため、得られる知見が設計変数の取り方に大きく依存してしまうという問題や、設計問題の背後に隠れている物理的な理由付けを示すことができないという問題があった。これらの問題を解決するため、平成 20 年度から 21 年度にかけて科学研究費若手(B)として採用された「多目的最適化のための革新的情報抽出法の開発とはばたき型MAV設計への適用」において、研究代表者はパレート最適解群の持つ流れ場データや軌道データなどの大規模データ(ベクトルデータ)からの設計知見抽出を可能とする新しい手法(MAPOD)を開発した。MAPOD はこれまで解析されてこなかったパレート最適解がもつ形状データ、流れ場データ等を固有直交分解を用いてモード解析し、設計に関する有益な知見を抽出する手法である。

しかしながら、これまで開発された MAPOD は目的関数の数が2つの設計最適化問題に適用することのみを想定しており、目的関数が3つ以上ある設計最適化問題への適用方法が明らかではない。また、パレート最適解群の持つデータが1次元ベクトルデータもしくは2次元ベクトルデータの場合の有効性は確認されているが、3次元や4次元のベクトルデータを持つパレート最適解群への適用可能性は示されていない。宇宙工学分野における設計最適化問題は目的関数が3つ以上ある場合がほとんどであり、また、パレート最適解がもつデータが3次元もしくは4次元であることも多く、これらの問題をクリアしなくては実問題へ本格的に適用することはできない。

2. 研究の目的

以上の背景をもとに、本研究では、これまでに開発された MAPOD を発展させ、目的関数の数が3つ以上の設計最適化問題への適用方法を明らかにするとともに、3次元データや4次元データを持つパレート最適解群のデータマイニングへの有効性を示すことを目的とする。また、宇宙探査機の軌道・機体設計最適化問題などに適用し、開発される手法の実設計問題での有効性を示す。

3. 研究の方法

はじめに、「3つ以上の目的関数を持つ設計最適化問題への適用方法」の開発と実問題での実証に取り組む。3つの目的関数を持つ設計最適化問題の分析については2次元プロットに固有ベクトル成分値を色で表示させることで可能となると考えている。4目的以上の設計最適化問題ではパレート最適解群を自己組織化マップ等で2次元マップに射影し、固有ベクトル成分を色情報などを用いて可視化することで分析が可能になると考えている。現在取り組んでいる太陽観測衛星の多目的軌道設計最適化問題は3つあるいは4つの目的関数を持っており、この問題のパレート最適解群が得られている。これらの問題のパレート最適解群がもつ軌道データなどからの設計知識抽出を試み、3つ以上の目的関数を持つ設計最適化問題への適用可能性を実証する。

つぎに、「パレート最適解群が3次元ベクトルデータや4次元ベクトルデータを持つ多目的設計最適化問題への適用方法」を開発する。3次元ベクトルデータからの設計知識の抽出は既存の流れ場データの可視化手法を用いれば比較的簡単に実現できると考えられる。4次元ベクトルデータの分析は非常流場の周波数分解手法やモード解析手法などを応用することを試みる。

4. 研究成果

太陽極域観測衛星軌道設計の多目的設計最適化問題に開発された MAPOD を適用した例を示す。この問題の詳細については発表論文(4)をご参照いただきたいが、太陽極域観測衛星の軌道の多目的設計最適化問題であり、目的関数の数が3つ(終端質量の最大化、終端速度の最大化、最小動径半径の最大化)あることから、多数の最適解が存在し、それぞれの最適解が軌道データを持っているため、どのように軌道を設計するのがよいのかが従来の手法では把握することが難しい問題である。

そこで、本研究で開発された MAPOD を用いて解析を行った。ここでは、非劣解の平均値からの変動成分について固有直交分解を行うこととし、各周回の終端速度のかわりに各

周回の増速量を解析した。Fig.1 に示すのが第10モードまでのエネルギー比率の分布である。この図から、第2モードまでで全体をよく近似できていると考えられるため（第1モードおよび第2モードの合計でエネルギー比率は全体の70%以上に達する）、第2モードまでを使って非劣解の考察を行うこととした。

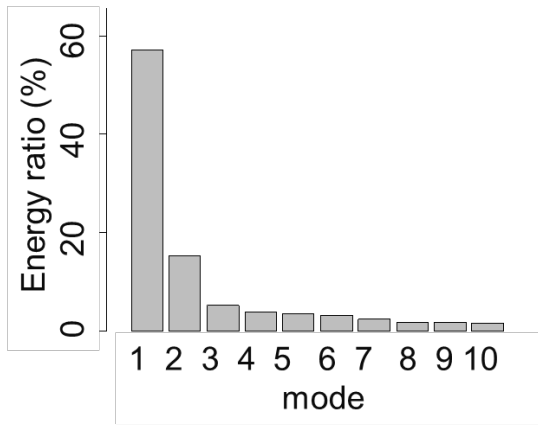


Fig. 1 各モードのエネルギー比率

Fig.2 にモード1の固有ベクトル、Fig.3 にモード2の固有ベクトルを示す。これらの図から、おおよそ、モード1は終端速度の最大化と終端質量最大化の間のトレードオフ方向の成分であり、モード2は最小動径半径最大化とそれ以外の2目的の間のトレードオフの方向成分であることが読み取れる。

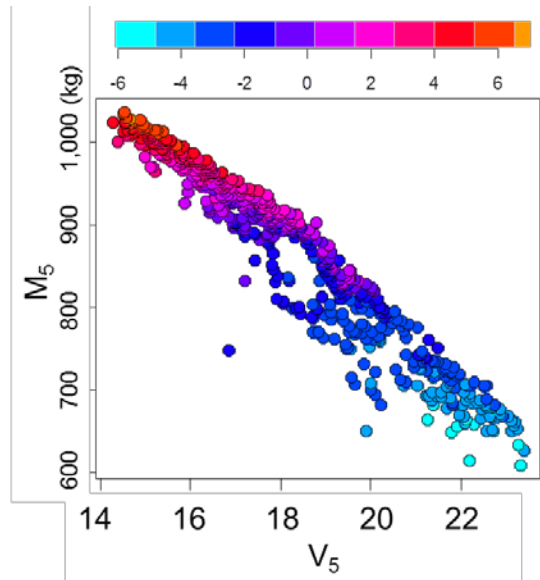


Fig. 2 固有ベクトルの各設計に対応する成分の分布（モード1）

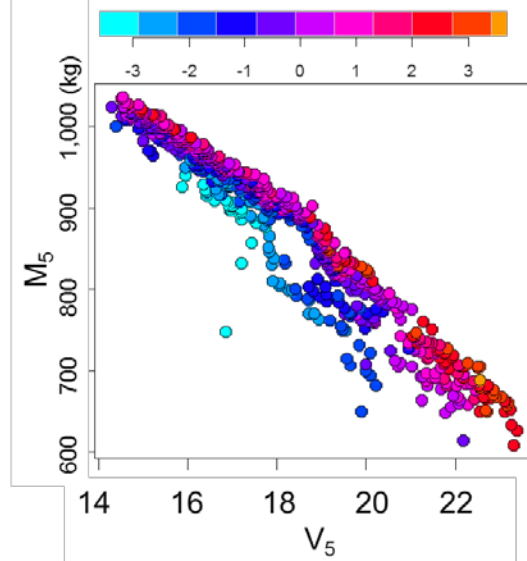


Fig. 3 固有ベクトルの各設計に対応する成分の分布（モード2）

Fig. 4 にモード1からモード4までの直交基底ベクトルを示す。この図からモード1は ΔV_i と E_{li} を下げつつ A_{zi} と I_{sp} をあげる(もしくはその逆の)成分であることがわかる。またモード2は ΔV_i と A_{z1} を上げつつ E_{li} と I_{sp} を下げる(もしくはその逆の)成分であることがわかる。

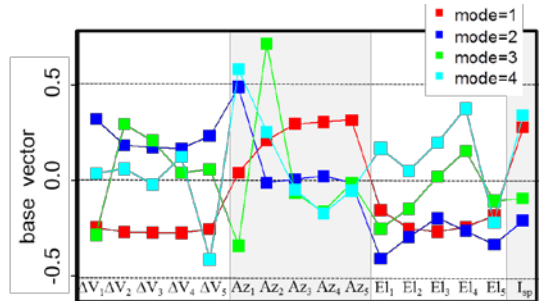


Fig. 4 モード1～4の直交基底ベクトル

このように、本研究では、非劣解データベースからの設計知見抽出法としてMAPODを提案し、3目的以上の実問題の解析に有効であることを示した。

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2件)

- (1) 大山聖 多目的設計探索と宇宙工学への利用 システム/制御/情報 査読無、Vol. 55, No. 9 pp. 374-381
- (2) 大山聖 宇宙工学分野での進化型計算の利用 電気学会誌 査読無 Vol. 132, No. 4, pp. 208-2011

[学会発表] (計8件)

- (1) 大山聖 ハイブリッドロケットの概念設計検討法と非劣解データのモード解析法. 日本機械学会2011年度年次大会「先端技術フォーラム」招待講演. 2011年9月12日 東京都目黒区
- (2) Akira Oyama, Problem Understanding with Data Mining of Pareto-Optimal Designs in Space Engineering. Dagstuhl Seminar 12041 Learning in Multiobjective Optimization. January

23-27, 2012. Germany

- (3) Akira Oyama, Yasuhiro Kawakatsu, and Kazuko Hagiwara. Application of Multiobjective Design Exploration to Solar-C orbit Design. 2011 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference. July 31- August 4, 2011. Girdwood, Alaska
- (4) 大山聖, 川勝康弘, 萩原和子. 太陽極域観測衛星軌道設計の多目的設計探索. 進化計算シンポジウム2011, 2011年12月17-18日 宮城県岩沼市
- (5) Akira Oyama, Data Mining of Pareto-Optimal Solutions Using Proper Orthogonal Decomposition, FNY60 organizing committee, international Workshop on Future of CFD and Aerospace Sciences (招待講演). April 23-25, 2012. 兵庫県神戸市
- (6) 大山聖 宇宙工学分野における多目的設計探索の活用事例. システム制御情報学会 56回システム制御情報学会研究発表講演会 (招待講演). 2012年05月21-23日. 京都府京都市
- (7) Akira Oyama, Yasuhiro Kawakatsu, and Kazuko Hagiwara. Data Mining of Pareto-Optimal Solutions of a Solar-Observatory Trajectory Design Problem. AIAA Infotech@Aerospace 2012. June 19-21, 2012. Orange County, California, U. S. A
- (8) 大山聖 Applications of Multiobjective Design Exploration in JAXA. Japan Aerospace Exploration Agency Workshop on Multi-Objective Design Exploration or Real-World Design Optimization Problems 2012 (招待講演). 2012年12月16-17日. 長野県軽

井沢町

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大山 聖 (Akira Oyama)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所 准教授
研究者番号：1037440

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：