

平成22年6月1日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760552
 研究課題名 (和文) 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
 研究課題名 (英文) Development of innovative information extraction method for multiobjective optimization and its application to flapping-wing MAV design
 研究代表者
 大山 聖 (OYAMA AKIRA)
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・准教授
 研究者番号：10373440

研究成果の概要 (和文)：

固有直交分解をもちいて、多目的最適化問題のパレート最適解がもつ、形状データや流れ場データなどのベクトル情報を分析し、有益な知見を引き出す革新的な情報抽出手法を開発した。また、3次元CFD計算および多目的進化計算を用い、揚力最大化、推力最大化、必要パワー最小化を設計目的として3次元はばたき翼の空力設計探索を行った。これにより、推力最大化と必要パワー最小化、揚力最大化と推力最大化の間には強いトレードオフ関係があること、翼端から発生する渦や前縁剥離渦の制御がはばたき翼の設計に重要であることなどがわかった。

研究成果の概要 (英文)：

A new approach to extract useful design information from Pareto-optimal solutions of optimization problems has been developed. This approach enables an analysis of line, face, or volume data of all Pareto-optimal solutions such as shape and flow field by decomposing the data into principal modes and corresponding base vectors using proper orthogonal decomposition. Aerodynamic design exploration of three-dimensional flapping wing is also conducted. The design objectives are lift maximization, thrust maximization, and required power minimization. This computation shows that there are strong tradeoffs between thrust maximization and required power minimization as well as between lift maximization and thrust maximization. This computation also shows that control of tip vortices and leading-edge vortices is very important for aerodynamic flapping wing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学
 科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学
 キーワード：航空宇宙流体力学

1. 研究開始当初の背景

近年、MAV(Micro Air Vehicle)と呼ばれる、翼幅が15-20cm以下、重量が100g以下の小型航空機の研究が盛んになってきている。MAVは小型軽量で製作コストも安いため、人が入ることができない災害現場での情報収集や科学調査などに威力を発揮すると期待されている。しかしながら、機体とともに翼が小型化すると、従来の航空機で使われている固定翼や回転翼では必要な揚力をえることが難しくなる。そのため、小さな翼でも大きな揚力を発生することが可能なはばたき翼に関する研究が近年注目を集めている。

これまで、国内外において行われてきたはばたき翼に関する研究は、鳥や昆虫などの飛翔メカニズムの解明のための研究とはばたき翼をもつMAVの開発のための研究のふたつに分類される。前者は主に生物学の研究者らによってなされ、翼の前縁から剥離する渦が生成する低圧領域を有効に利用することで、はばたき運動が効率的に大きな揚力を得ていることなどを明らかにしてきた。また、後者は主に工学系の研究者らによってなされ、推進効率(推力と必要パワーの比)を最大にするためには大規模剥離を抑えたほうがよいなどの知見が得られている。しかしながら、これらの研究は試行錯誤的な研究が多く、揚力や推力を最大にするはばたき運動はどのようなものなのか、必要パワーを最小にするはばたき運動はどのようなものなのか、これらの要求の間のトレードオフはどうなっているのか、これらの性能に大きな影響を持つはばたき運動のパラメータ(周波数、振幅、ピッチ運動など)はなんなのかなど、はばたき翼MAVの設計指針に関する包括的な研究はほとんど行われておらず、実用的なはばたき翼MAVの開発にはいたっていない。

近年、相反する複数の要求を持つ多目的最適化問題を多目的進化アルゴリズムなどの多目的最適化手法を用いて解き、得られるパレート最適解群(妥協解群)を自己組織化マップなどの情報抽出法を用いて設計問題から重要な知見を引き出す設計探査と呼ばれる手法が提案され、その有効性が旅客機設計などにおいて示されつつある。著者らは2次元翼のはばたき運動について、翼の上下運動とピッチ運動をサインカーブでパラメータ化し、数値流体力学、多目的最適化を用いてパレート最適解群を求め、自己組織化マップなどの情報抽出法を用いて情報抽出を行い、揚力/推力を最大にするはばたきかた、必要パ

ワーを最小にするはばたきかた、これらの性能に大きな影響を与えるはばたき運動のパラメータなどを明らかにしてきた。

この研究の中で2次元はばたき運動の打ち上げ、打ち下ろしの設計に関するいくつかの重要な知見が明らかになったが、一方で、多目的最適化のための既存の情報抽出法では、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情報抽出をすることができず、形状・運動データ、表面圧力分布データ、流れ場データなど設計に関する重要な情報が含まれているはずのベクトル情報を無駄にしているという問題も明らかになった(たとえば、既存の情報抽出法では、揚力を最大にするパレート最適解についてその流れメカニズムを知ることは難しい)。このような知見を抽出するためにはパレート最適解群のもつ流れ場データなどのベクトル情報を扱うことができる新しい情報抽出法の開発が必要であると考えられる。

2. 研究の目的

パレート最適解群のもつ流れ場データや形状などのベクトル情報を扱うことができる新たな情報抽出法を開発すること、3次元のはばたき運動の空力設計に多目的設計探査を適用することで、はばたき翼MAVの設計指針に関する包括的な知見を与えることを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

初年度に、多目的最適化によりえられたパレート最適解群のもつベクトル情報からの新しい情報抽出法を開発を行った。

2年目に、3次元羽ばたき翼の空力特性に関する多目的設計探査を行った。3次元羽ばたき翼の空力性能評価には3次元レイノルズ平均ナビエ-ストークスソルバを用い、宇宙航空研究開発機構のスーパーコンピュータSSSを用いて計算を行った。

4. 研究成果

(1) パレート最適解群のもつベクトル情報からの新しい情報抽出法の開発
画像データや時系列流れ場データなどの解析に用いられる固有直交分解(主成分分析などとも呼ばれる)を用いて、パレート最適解の持つベクトル情報からの情報抽出法を提案し、その有効性を実証した。

遷音速翼型の多目的最適化問題のパレート解 (図1) の形状データを分析した結果を図2および図3に示す。図2および図3に示された固有ベクトルおよび基底ベクトルを分析すると、1) パレート最適解は3つの種類に分類することができる、2) そのうちの低抵抗翼型に関しては翼型後縁のみを変化させることで抵抗の大きな増加なしで揚力を増加させている、3) 高揚抗比翼型と高揚力翼型の間には大きな違いがある、などのさまざまな有益な知見を引き出すことができ、本研究で開発した手法の有効性を確認することができた。また、パレート最適解の持つ流れ場データも同じ手法で分析できることも本研究で示している。

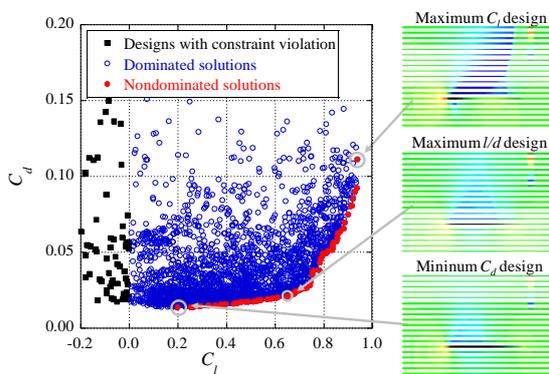


図1：分析したパレート最適解

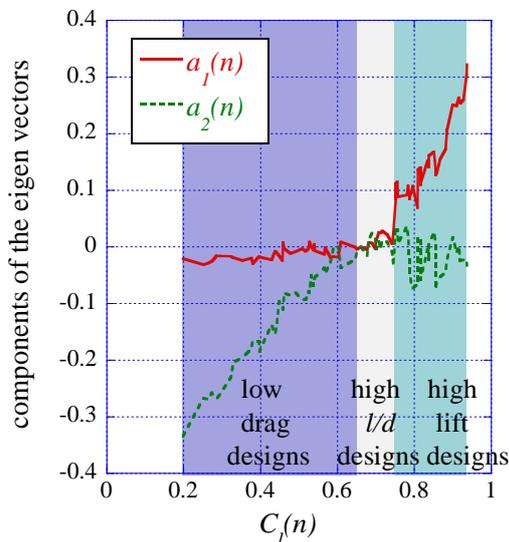


図2：パレート最適解の持つ形状データの第1モードおよび第2モードの固有ベクトル

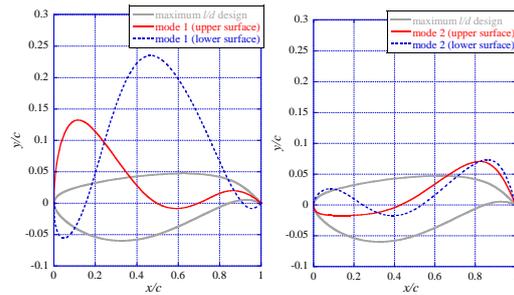


図3：パレート最適解のもつ形状データの第1基底ベクトル (左図) および第2基底ベクトル (右図)。

(2) 3次元羽ばたき翼の空力設計探査

3次元羽ばたき翼の空力設計探査によりさまざまな空力的な知見が得られた。目的関数間の関係に関しては、

- ・推力最大化と揚力最大化および必要パワー最小化の間にはトレードオフ関係がある。
- ・推力最大化と必要パワー最小化の間にはとくに強いトレードオフ関係がある。

などがあきらかになっている。また、以下に示すような各目的関数値を向上させる羽ばたき方に関する設計指針も得られている。

- ・揚力を最大化させるためには、ダウンストローク時に強い前縁剥離渦発生させる必要があり、1) オフセット角を 40[deg.]程度に設定し、ストローク面を大きく傾けた上下運動にする、2) 上下運動の周波数を上げ、速い速度で上下運動を行なう、3) ピッチ運動を少なくすることによって前縁剥離渦を翼上面に留め易くし、同時に必要パワーも節約させる、ということが効果的である。

- ・推力を最大化させるためには、アップストローク・ダウンストローク共に流体を後方に押し退けるような運動をする必要があり、1) ピッチ角を 40[deg.]程度とり、上下運動とピッチ運動の差を 190[deg.]程度にすることによって円弧を描くようなストロークを行なう、2) 上下運動の周波数を上げ、勢いよく流体を後方へ押し退ける、ということが効果的である。

- ・必要パワーを最小化させるためには、振動数や振幅を極力抑え、その上で揚力・推力を確保する必要があり、1) 揚力最大の解のように約 40[deg.]の大きな迎角とし、ダウンストロークで最低限の揚力を稼ぐ、2) ピッチの運動を少しつけ、やや8の字を描くように上下運動を行なうことで、アップストロークを行なう際に流れに身を任せるように後方へ翼を移動させ、パワーを節約する、ということが効果的である。

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1件)

- ① Akira Oyama, Taku Nonomura, and Kozo Fujii, "Data Mining of Pareto-Optimal Transonic Airfoil Shapes Using Proper Orthogonal Decomposition," Journal of Aircraft, 査読有, 2010 (採択決定済み, 巻号未定)

[招待講演]

- ① Akira Oyama, "POD-based data mining for Multi-Objective Design Exploration," International Workshop on Multi-Objective Design Exploration for Aerospace Engineering, Sendai, Japan, 2009年3月.

[学会発表] (計9件)

- ① Akira Oyama, Taku Nonomura, and Kozo Fujii, "Data Mining of Pareto-Optimal Transonic Airfoil Shapes Using Proper Orthogonal Decomposition," AIAA Paper 2009-4000, 2009.
- ② Akira Oyama, Taku Nonomura, and Kozo Fujii, "Data Mining of Non-Dominated Solutions Using Proper Orthogonal Decomposition," 11th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, 2009.
- ③ Akira Oyama, Paul C. Verburg, Taku Nonomura, Harry W. M. Hoeijmakers, and Kozo Fujii, "Flow Field Data Mining of Pareto-Optimal Airfoils Using Proper Orthogonal Decomposition," AIAA Paper 2010-1140, 2010.
- ④ Oyama A., Yamazaki Y., Nonomura T., Fujii K., Yamamoto M., "Aerodynamic multiobjective design exploration of flapping wing using a Navier-Stokes solver," the Sixth International Conference on CFD, St Petersburg, Russia, 2010 (採択決定済み).
- ⑤ 大山聖, 野々村拓, 藤井孝藏, 多目的空力形状最適化問題のパレート最適解の固有直交分解を用いた分析法の提案, 進化計算シンポジウム2008, 2008.
- ⑥ 藤井孝藏, 大山聖, Paul C. Verburg, 石川義泰, 設計探査・データ探査利用の試み - 2次元遷音速翼型を例として, 平成20年度航空宇宙空力班シンポジウム, 2009.
- ⑦ 大山聖, 野々村拓, 藤井孝藏, 固有直交

分解を用いたパレート最適遷音速翼型のデータマイニング, 日本航空宇宙学会北部支部2009年講演会/第10回再使用型宇宙推進系シンポジウム, 2009.

- ⑧ 大山聖, Paul C. Verburg, 野々村拓, 藤井孝藏, 固有直交分解を用いたパレート最適翼型の流れ場マイニング, 第14回計算工学講演会, 2009.
- ⑨ 山崎佑希, 野々村拓, 大山聖, 藤井孝藏, 山本誠, 翼周り渦挙動が羽ばたき翼性能に与える効果, 第23回数値流体力学シンポジウム, 2009.

[図書] (計1件)

- ① Akira Oyama and Kozo Fujii, Intech, "Multiobjective Design Exploration in Space Engineering," in "Data Mining," 2011 (採択決定済み).

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ

<http://flab.eng.isas.jaxa.jp/oyama/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大山 聖 (OYAMA AKIRA)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・准教授

研究者番号: 10373440