

補助事業番号 28-108  
補助事業名 平成28年度 コンプライアント機構を用いたモーフィング翼の設計法  
構築に関する研究 補助事業  
補助事業者名 大阪府立大学 准教授・小木曾 望

## 1 研究の概要

航空機主翼の形状をシームレスに変形させる「モーフィング翼」をコンプライアント機構で実現するために必要な設計法を最適設計技術を用いて構築することを目的として、翼としての空気力学性能が最適となる翼のモーフィング（変形）形状を求める形状最適設計と、その最適な変形形状を実現するための内部構造であるコンプライアント機構の最適形態を構造力学の立場から求める最適設計の二つの研究課題に取り組んだ。これにより、コンプライアント機構によりモーフィングが実現できる見通しを得た。

## 2 研究の目的と背景

航空機翼の形状をシームレスに変形させるモーフィング技術は、揚力向上と空気抵抗低減による飛行効率向上とそれにとまなう燃料費削減という経済的な効果、さらには騒音低減に寄与する技術として、航空機分野の重要な課題と位置づけられている。例えば、経済産業省が発表している航空機分野の技術戦略マップにおいて、モーフィング技術は2030年頃までに完成すべき主要技術課題とされている。また、航空分野における日欧関係強化のために設立されたSUNJET IIが作成したロードマップにおいても研究開発課題の一つとされている。

本研究では、モーフィング変形を実現する内部機構として、コンプライアント機構を考える。コンプライアント機構とは、構造の適切な場所に柔軟性を付加することで、ヒンジを実現する機構である。ヒンジのための部品を必要としないため、ガタや摩擦、緩みなどを排除でき、部品数の削減、軽量化など多くの利点がある。

モーフィング翼実現のためには、「どのような形状に変形させるべきか」、「その変形をどう実現するのか」が重要となる。そこで、本研究は、コンプライアント機構を用いたモーフィング翼の設計法を構築することを目的とし、そのために最適設計技術を用いた二つの設計法を構築する。一つは翼としての空気力学性能が最適となる翼のモーフィング（変形）形状を求める形状最適設計であり、もう一つはその最適な変形形状を実現するための内部構造であるコンプライアント機構の最適形態を構造力学の立場から求める。

### 3 研究内容

コンプライアント機構を用いたモーフィング翼の設計法を構築するために、以下の研究に取り組んだ。

#### (1) 空気力学性能に対する最適なモーフィング形状を求める最適設計法の開発

(<http://www.aero.osakafu-u.ac.jp/as/kogiso/research/2016jka/>)

空気力学的に最適な翼の外形状を求めるための最適設計手法を構築した。ここでは、モーフィング部分の翼形状をNURBS曲線でモデル化し、その通過点座標および迎角を設計変数とし、最大揚力係数を最大化する形状および揚抗比を最大化する形状を求める手法を構築した。

計算効率向上のために、近似最適化法としてRBFネットワークを採用し、空力解析の呼び出し回数を大幅に削減することができた。さらに、翼形状としてふさわしくない形状に対する空力解析を避けるために、タブーサーチの概念を導入した。これにより、探索効率を大幅に向上させることができた。得られたモーフィング形状の例を図1に示す。後縁側60%の領域を舵角20度でモーフィング変形させた場合の揚力係数を最大化する形状および揚抗比を最大化する形状を示している。

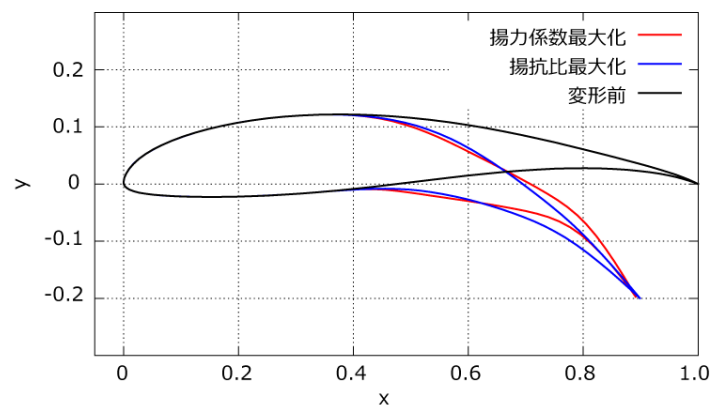


図1 モーフィング翼最適形状の一例

#### (2) コンプライアント機構を用いたモーフィング翼内部構造の最適形態を求めるトポロジー最適設計に関する研究

(<http://www.aero.osakafu-u.ac.jp/as/kogiso/research/2016jka/>)

モーフィング翼の内部機構であるコンプライアント機構の最適形態を求めるために、レベルセット法に基づくトポロジー最適設計法を用いた手法を構築した。通常のコンプライアント機構は、力点に与えた荷重に対して、作用点での変形が大きくなることを目的として最適化を行う。これに対し、モーフィング翼は、翼の表面形状が理想の形状となることを目的とする必要がある。また、空力特性を考慮すると、変形形状を理想形状に近づけるだけでは不十分で、翼表面に局部的に凹凸が出ないようにするなどの工夫が必要となる。これらを考慮した定式化を行い、コンプライアント機構としての最適形態を求める手法を構築した。開発

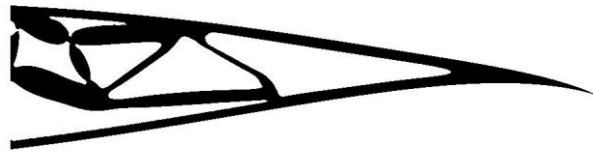


図2 モーフィング翼内部構造のコンプライアント機構の一例

したプログラムで求めた最適形態の一例を図2に示す。これは翼の後縁側であり、構造部材が配置された箇所が黒、空洞を白で表している。

また、3次元プリンターを用いて簡易モデルを作成し、得られた最適形態の妥当性を確認した。さらに、今後の実験計測モデル作成に対する課題を明らかにした。

### (3) トレードオフ解析による設計支援に関する研究

[\(http://www.aero.osakafu-u.ac.jp/as/kogiso/research/2016jka/\)](http://www.aero.osakafu-u.ac.jp/as/kogiso/research/2016jka/)

これら二つの最適設計技術を結びつけ、空気力学と構造力学の立場からのトレードオフを考慮した設計解の導出を支援する手法を構築するための課題抽出を行った。例えば、空力形状からみると、揚力係数最大化と揚抗比最大化でモーフィング形状が異なっている。そのため、二つの異なる形態を実現するには、コンプライアント機構だけではなく、荷重の与え方も設計変数として考える必要があることが、本研究で明らかになった課題の一例である。

## 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

航空機の燃費改善、騒音低減のために重要な技術課題であるモーフィング翼の実現のために、最適設計を利用した設計法の構築は重要な技術の一つである。本研究で構築した最適設計技術により、コンプライアント機構によりモーフィングが実現できる見通しを得ることができた。この技術をさらに発展させることで、モーフィング翼の設計技術の高度化に寄与することができる。また、コンプライアント機構は、部品数の削減、軽量化など多くの利点があり、航空機だけでなく、多くの分野にも適用できる。

一方、最適設計技術の高度化は、航空機だけでなく、自動車、産業機械など多くの分野で、高性能化と開発期間短縮に必須の技術である。この研究において、RBFネットワークへのタブーサーチ概念の導入など計算効率向上のために提案した手法や、理想変形形状を目的とするコンプライアント機構設計の定式化は、最適設計技術の高度化のために、多くの設計分野へ応用することができる。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

私は、これまで、信頼性に基づく最適設計やロバスト設計など不確定性を考慮した最適設計に関する研究を主要な研究として行ってきた。最近はこれを具体的な航空宇宙システムの設計に適用する研究を行っている。宇宙構造としては電波天文を念頭においたスマート宇宙構造に関する研究を行っている。今回のモーフィング翼の研究により、航空構造に最適設計の適用範囲を広げることができた。今回の研究で得た最適設計技術の高度化は、さらに別の分野への適用範囲の拡大につなげることができる。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

### 【国内学会講演論文】

- ◆ 中村 玄, 小木曾 望, 「RBFネットワークを用いた翼型形状設計」, 日本機械学会 第12回最適化シンポジウム講演論文集, (2016.12), 1205
- ◆ 津田 明, 小木曾 望, 山田崇恭, 泉井一浩, 西脇眞二, 「トポロジー最適設計を用いたモーフィング翼の構造形態設計」, 日本機械学会 第12回最適化シンポジウム講演論文集, (2016.12), 1206
- ◆ 中村 玄, 上原 健吾, 小木曾 望, 横関 智弘, 「RBFネットワークによる近似最適化を利用したモーフィング翼の形状最適設計」, 日本航空宇宙学会 第48期年会講演会講演論文集, (2017.4), 2014 (期間外の発表)

### 【国際会議発表論文 (予定)】

- ◆ G. Nakamura, K. Uehara, N. Kogiso, T. Yokozeki, “Optimum morphing shape design for morphing wing with corrugated structure using RBF network,” 12th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, (2017.6 発表予定), Paper ID 124, (講演論文提出済)
- ◆ A. Tsuda, N. Kogiso, M. Tamayama, T. Yamada, K. Izui, S. Nishiwaki, Optimum design of compliant mechanism for morphing wing structure using level set-based topology optimization, 12th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, (2017.6 発表予定), Paper ID 262, (アブストラクトのみ提出)

## 7 補助事業に係る成果物

### (1) 補助事業により作成したもの

- ◆ モーフィング翼の空力特性を最適化する最適形状設計プログラム
  - ◆ 近似最適化法としてRBFネットワーク法を用い、また、探索効率向上のためにタ

ブーサーチの概念を導入している.

- ・ コンプライアント機構を利用したモーフィング翼の最適形態設計プログラム
  - ♦ モーフィング翼として理想変形形状を達成するために、通常のコンプライアント機構とは異なる定式化を行っている.
  - ♦ レベルセット法に基づくトポロジー最適設計法を利用している.
- ・ 3次元プリンターで作成したコンプライアント機構簡易モデル (図3)
- ・

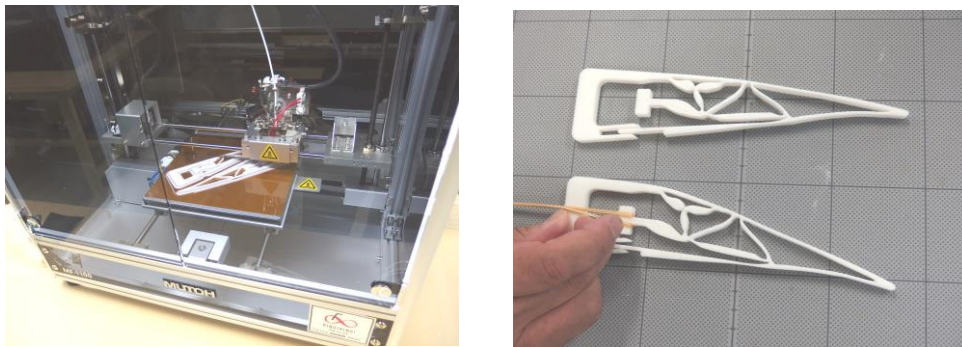


図3 3次元プリンターで制作したモーフィング翼コンプライアント機構の簡易モデル  
左: 制作時の風景, 右: 変形形状の比較

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

- ・
- ・ 該当なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 大阪府立大学 工学研究科 航空宇宙工学分野 小木曾研究室 (コギソケンキュウシツ)

住所: 〒599-8531

大阪府堺市中区学園町1-1

申請者: 大阪府立大学 准教授 小木曾 望 (コギソ ノゾム)

担当部署: 航空宇宙工学分野 (コウクウウチュウコウガクブンヤ)

E-mail: kogioso@aero.osakafu-u.ac.jp

URL: <http://www.aero.osakafu-u.ac.jp/as/kogiso/>