



モーフィング翼および  
テール部の開発

# Fly Like a Bird

センサネットワークの継続的な改善と材料科学における新たな発見により、航空機を適応制御する技術には新たな可能性が開かれています。ミシガン大学では、データの記録、アクチュエータの制御、実験の調整に関する新たな設計のテストを行っており、そこでは MicroLabBox が重要な役割を果たしています。



航空機に鳥と同じ操作性を提供することは、航空機設計者にとっての夢です  
(図は獲物を狙うハヤブサ)。

シガン大学の Adaptive, Intelligent, Multifunctional Structures (AIMS) Lab では、航空機のモーフィングテクノロジーを開発するうえで、自然から得た発想を取り入れることがよくあります。鳥は、ほぼ硬質の構造を持つ今日の航空機とは異なり、自らの翼や尾を状況に応じて操り、大気や気流の変化に柔軟に対応することができます。大型の航空機と比べて、鳥のように風や天候の影響を受けやすい小型の航空機にとって、このような適応制御の有用性は明らかです。AIMS Lab での研究は、航空機の形状、特に翼やテール部の形を調整することにより周辺の気流に能動的かつ直接的に反応できる航空機の開発に重点を置いています。この研究では大気状況に適応するモデルとして自然を利用する航空機の開発を可能にするため、これらをどのように調整すべきかを調査しています。

#### モーフィング翼 - 鳥の飛行モデル

航空機の適応制御テクノロジーの分野では、航空機の空力制御において中心的な役割を果たす補助翼は、重要な研究対象です。AIMS Lab では、エラストマー製のハチの巣状構造と連結したマクロファイバーコンポジット (MFC) アクチュエータを活用することで、翼の全表面にかけての形状変化の影響を調査しています (図 1)。この手法では、翼の特定領域を調整して気流からの悪影響を最小化することができ、翼の一部が大幅に揚力を失うストール現象が突然発生した場合にも極めて有効に対処できます。AIMS Lab では、ストール中の非線形空力動作をモデリングすることで翼の形状を最適化するのに必要なアクチュエータのそれぞれのたわみを予測し、気流の悪影響を相殺し、乱れのない安定した飛行を取り戻せるようにする研究を行っています。このコンセプトは、ステップイーグル (ソウゲンワシ) が意図的にストールを発生させて急旋回するのを観察した生物学者からヒントを得ました。

#### テール部の適応制御

AIMS Lab の研究者は、モーフィング翼の他に、水平に並んだ可動式テールの空気抵抗についても分析しています (図 2)。その作動メカニズムは、鳥が尾を使ってすばやく動作を微調整して頭と体を安定させたうえで獲物を確認し、その後迅速かつ慎重に的を絞った攻撃を開始する一連の動

>>

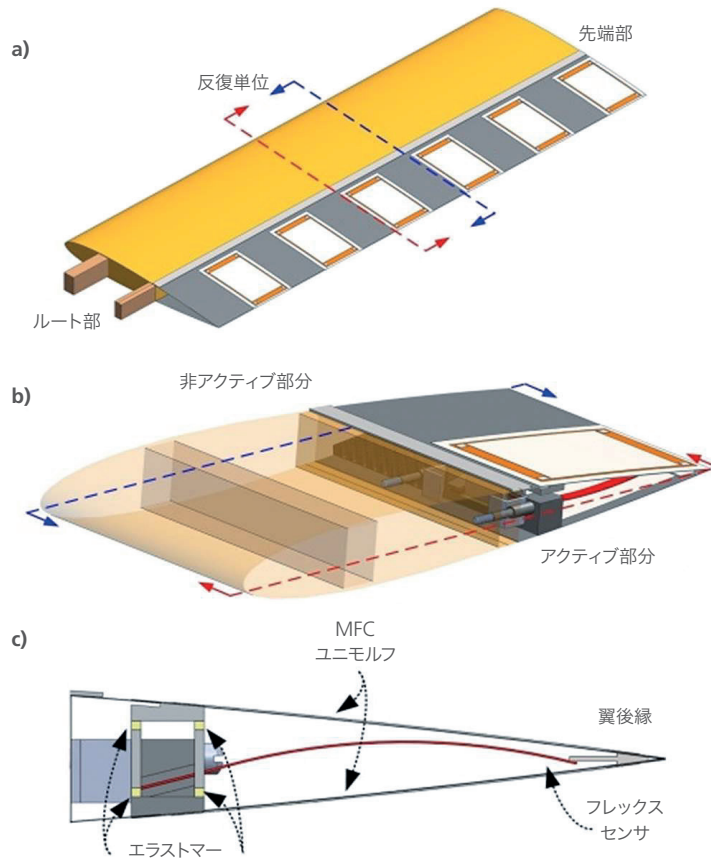


図1 : a) モーフィング翼の構造 b) モーフィングユニット部 c) アクティブモーフィングメカニズム。MFC が作動すると形状が変化し、翼後縁の先端にたわみが生じて反った形状になります。

ブテールを搭載した航空機は極めて操作性が高くなり、鳥とほぼ同様に多芸になります。

#### 柔軟に変化する表面形状が重要

適応制御が可能な航空機を実現するうえで大きな課題となるのは、ある形状から別の形状、またはその逆へとシームレスに移行できるよう、表面（翼やテール部など）の形状を変化させる手法を開発することです。この課題の解決策となるのが MFC です。MFC は、高電圧を印加すると形状が変化する薄く柔軟性の高い構造を有しており、表面素材およびアクチュエータの両方として機能します。また、軽量であるため、小型の無人航空機（UAV）における従来のサーボまたは油圧機構に代わる選択肢となります。MFC に適切なハチの巣状構造を組み込めば、アクチュエータ間での連続的な形状変化を保つことができ、旋風や抗力の形成を抑制できます。適応制御が可能な航空機を実現するうえでもう 1 つの課題となるのは、アクチュエータのたわみを飛行条件の変化に応じて理想的に組み合わせることです。ここで登場するのが空気力学シミュレーションです。簡潔に述べると、その瞬間の気流の状態に適応するために必要な翼の形状を、最適化したシミュレーションが算出します。最適化の結果、それぞれのアクチュエータの形状が定まり、それによって基本的に翼幅全体の表面形状が決定されます。ただし、これを実現するためには、内部センサにより翼形状の状態を監視し、空力的負荷に対して適切なたわみを制御し、空気力およびトルクのデータをリアルタイムで記録することが必要です。

#### MicroLabBox を使用した風洞テスト

生物学からヒントを得た適応制御型の航空機の開発では、空気力およびトルクを計測するための広範な風洞テストが必要で

Lawren Gamble 氏  
ミシガン大学航空宇宙エンジニアリング学部  
(米国) 博士課程の学生。



きの観察に基づいています。これは、テール部により方向の安定性と制御を確保するだけの通常の航空機とは違います。アクティブテールを使用するとピッチ運動やヨー運動も可能になるほか、空力ブレーキとしても機能します。そのため、アクティ

「dSPACE MicroLabBox では数十のセンサチャンネルを記録し、高い精度で複数のアクチュエータを制御できるため、風洞テスト時にモーフィング翼の複雑な構造と空力特性を監視することができました」

Lawren Gamble 氏、ミシガン大学

す。このテストでは、膨大なデータを取得し、高い精度でアクチュエータを制御する必要があるため、AIMS Lab はそれが可能な dSPACE MicroLabBox を使用しています。風洞テストの実行中は、小型化した翼や航空機全体の空力的および構造的特性のデータを取得および記録し、データ処理を行ったりデータを比較したりする必要があります。通常、こうした比較は、劣悪な飛行条件に合わせてどの程度翼の構造を調整できるかを見極める目的で行われるため、MicroLabBox には高い精度と適切なタイミングが要求されます。また、MicroLabBox に MATLAB®/Simulink® を組み合わせて使用すると、さまざまな機器を使用して複雑な試験を制御および調整することも可能です。

「感覚で飛ぶ」適応制御型の航空機を目指して

AIMS Lab の研究者は、MicroLabBox を使用することにより、3つの重要な結論を得ることができました。まず、従来の硬質の翼に比べ、モーフィング翼を使用すると空気抵抗を大幅に削減することができます。次に、モーフィング翼を使用すると、ストールに対して極めて適切に対応することができます。これは旋風の形成を抑制できることから明確に実証されています(図4)。最後に、適応制御型のテール部を使用すると、航空機の方向を制御し、方向安定性を向上させることができます。AIMS Lab では、これらの結論に基づき、分散型のセンサネットワークを備え、飛行状況に合わせて形状を調整できるテール部および翼の両方を有する「感覚で飛ぶ」適応制御型の航空機を開発することを目指し、研究を続けています。■

Lawren Gamble 氏、  
ミシガン大学

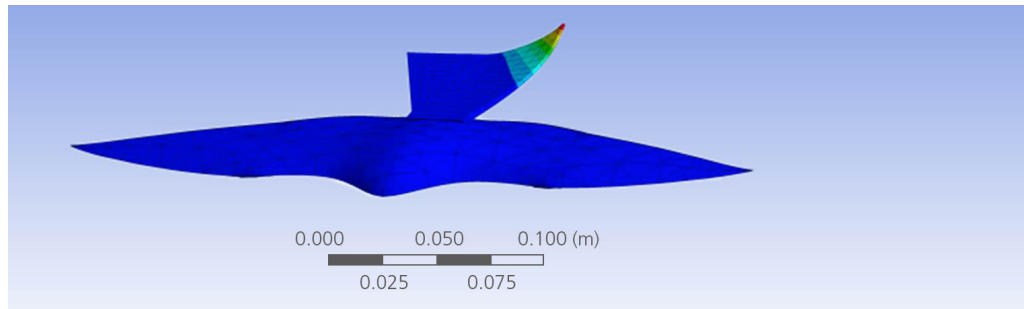


図2：生体力学からヒントを得たアクティブテールを有限要素法で解析した結果、テールの右半分が作動した際にたわみが生じることが実証されています。

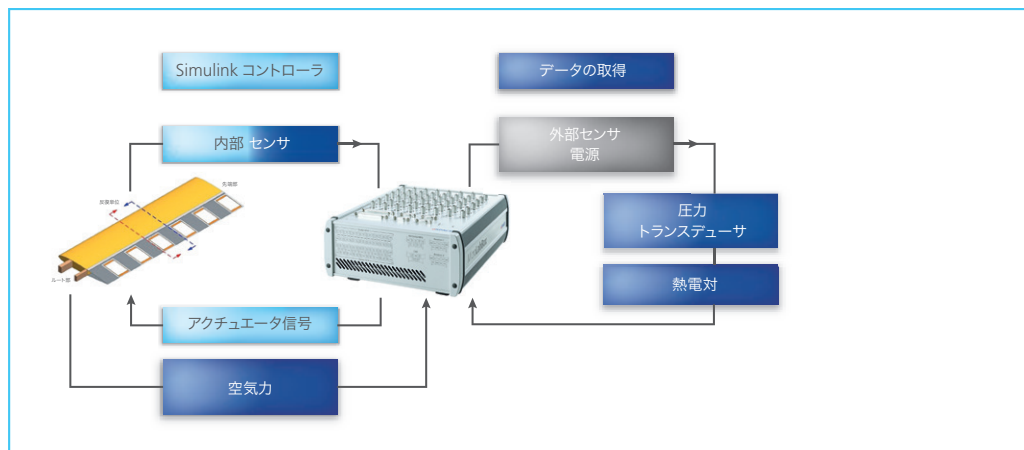


図3：試験セットアップおよび制御システムの模式図。MicroLabBox は風洞テストの実行中にアクチュエータの制御やデータの記録を行うための重要なデバイスです。



図4：気流をビジュアル表示することにより、ストールの状況に合わせて翼の形状を調整した場合の効果を確認できます。左：調整が行われなため、強い旋風が形成されます。右：翼の調整により、旋風の形成がほぼ完全に抑制されます。