



# 鳥に近づく しなやかなつばさ

鳥のつばさとジェットエンジンの翼を並べて眺めてみる。鳥のつばさはすっきりとしなやか見える。全身の羽毛で気流を感じ、つばさの形を自由に制御して失速を防いでいる。自ら感じ変形する翼を作れないだろうか？ 構造体の中にセンサーとアクチュエーターを埋め込む知的材料・構造システムの技術が、夢の実現に一步近づく手だてである。

## 人間は鳥に追いついたか？

ライト兄弟がノースカロライナ（アメリカ）の海岸で初の動力飛行を行ったのは1903年。ダ・ビンチ以来、幾多の人が失敗したのに、ライトフライヤーが成功したのは、鳥のように“羽ばたく翼”をやめて、“回る翼”を推進力に使ったためと言われている。そこには、生物、つまり造物主からの飛躍があった。以来、回る翼は発達し、最新の民間用ターボファンエンジンは50t以上の推力を出し、300t以上の飛行機をマッハ0.9で飛ばしている。ほとんどの推力はファンブレードと呼ばれる回転翼によって生み出される。

最新の空気力学を駆使して設計されたファンブレードの形には、“なまめかしさ”，すなわち生物の匂いを感じる。人工の翼は、神が創りたもうた翼に追いついただろうか？

海辺のトンビはわずかな気流の変化をつかまえ、巧みに旋回しながら、ほとんど羽ばたくことなく飛び続けている。気流を乱し、失速して落下するトンビは見たことがない。翻って、我が人間の所業は如何に？ 巨額の資金を費やし、英知を集めて作ったはずのジェットエンジンでも、運転試験では“予期せぬストール（失速）”に入りまして...”と担当者が言い訳することは、残念ながら、ままある。

やはり、神と鳥は偉大である。

## ナイスバディーと柳腰

“生物界最高のグライダー”と称賛されるアホウドリの翼の形には、“なまめかしさ”よりも“しなやかさ”を感じる。広辞苑によると、“しなやか”とは、たおやかなさま、弾力に富んでしなうさまを言う。ジェットエンジンの翼設計者は、弾力に富んでしなうことを嫌う。翼がしなって変形すると、気流を乱し失速を招く。場合によっては振動（フラッタ）を起こし、翼が壊れてしまう。だから、しなわない頑丈な翼の、流れを乱す部分を足したり、削ったりして形を整える。翼の形は凹凸に富み、ナイスバディーな“なまめかしい”ものとなる。鳥の翼はもっとすっきりした柳腰に見える。

ナイスバディーも柳腰も自然界の造形だが、腰のくびれは失速とは多分関係がない。なぜ“しなやかな”翼



ファンブレード

が失速しないのか？ それは、翼全体の形を制御しているからだと思う。

## 鳥はなぜ失速しないのか？

鳥の羽毛の役割は何か？ 体を保温する、翼表面の気流を保持する（境界層制御）と共に、体全体に張り巡らせた気流センサーではないかと思う。人間の髪の毛だって風が吹けば感じる。ふわふわした羽毛ならば、気流の乱れを敏感に察知できるだろう。羽毛センサーの検知に従って、気流が乱れる部分の筋肉を動かし、翼の反り（キャンバー）や平面形状を自由に変えて失速を防ぐ。トンビやアホウドリと話したことはないので定かではないが、鳥たちはこうやって大空を自由に、失速することなく飛び回っている。

つまり、骨とスジと筋肉と羽毛から成る鳥の翼システムは、体重と空気力を支える構造系と、センサーとアクチュエーターから成る空力制御系の機能を併せもつ統合システムになっている。

構造屋と空力屋の仲が悪いのは、世のジェットエンジンメーカーの常である。構造屋は“厚くても失速しない形を考えろ！”と叫び、空力屋は“薄くても変形しない翼を作れ！”とののしる。鳥はこんなケンカをせずに、太古の昔からコンパクトな与野党合同政権を作ってきた。

やはり、神と鳥は偉大である。

## 知的材料・構造システム

鳥のことをうらやんでばかりではしょうがない。ケンカを止めて、センサーとアクチュエーターの機能を併せもつ材料・構造系を作ろうではないか！ このコンセプトで作られた概念を、知的材料・構造システム（Intelligent Material and Structure）と呼ぶ。

ファンブレードや飛行機の翼を作る軽量構造のホープは、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）である。硬く強い炭素繊維と、軽量で複雑形状の形成が容易なプラスチックを混ぜ合わせて、アルミより軽く鉄よりも強い構造を作ることができる。

炭素繊維の隣にセンサーやアクチュエーターとなる材



アホウドリ

料を同時に埋め込めば、知的材料となる。光ファイバーセンサーは繊維状で埋め込みは容易であり、任意の場所のひずみを測ることができる。形状記憶合金の繊維やピエゾセラミックのフィルムを埋め込んでおくと、アクチュエーターとして働いて、CFRP翼を自由に変形させることができる。これらの技術を組み合わせれば軽いだけでなく、“自ら感じ、変形するCFRPファンブレード”が作れるはずである。

神と鳥に一步近づく。

## “しなやかなつばさ”への道

知的材料・構造のコンセプトそのものはすでに長い歴史をもつ。IHIで初めて光ファイバーを埋め込んだ試験片を作って、引張試験を行ってから20年経つ。幾多の研究者が山のような論文を書いてきた。しかし、“自ら感じ、変形するしなやかな翼”が空を飛んだことはない。そこには“信頼性”の高い壁がそびえる。もし、光ファイバーが切れたら、ピエゾアクチュエーターの接着が剥がれたら、しなやかな柳腰のファンブレードはただの弱い翼になってしまう。もう一つ、何か神に近づく工夫が必要である。

きっと鳥たちだって、最初からあんなに上手に飛んでいたわけではあるまい。やはり、トンビやアホウドリたちに尊敬の念をもって聞いてみたい。“ホントのところ、どうやって飛んでいるのでしょうか？”もう一つの技術革新、ドリトル先生の技が必要だ...