

鎌倉淡青会公開セミナー@鎌倉商工会議所

2018年 第3回 9月25日

演題：「トンボに学ぶ空力・飛行技術とその応用について」

講師：日本文理大学(NBU)名誉教授 小幡 章

はじめに

ー1 トンボの飛行性能の素晴らしさ

ウスバキトンボは毎年中国や台湾から海を渡って九州に飛来する。1,000Km 以上も一気に飛べる秘密はどこにあるのか

- ・飛ぶときには肢を折り畳み、抵抗を減らしている
- ・揚力を出す翅にはすごい工夫が凝らされている

ー2 流れの性質とそれを知ることのできる回流式可視化水槽

翅周りの流れを知るためには、揚力と抵抗に関する情報が分かる流線と、流線では分からない渦を見ることが出来る流脈を観測できる必要がある

これらを観測するために空気では、トンボの翅は小さすぎて良く見えない。水は、条件を合わせれば空気の流れを再現できる

NBUの回流式可視化水槽は、分布の均一な超低速流を作ることができ、流線をコントラストよく作ることができ、流脈も作ることができる

流線が翼の上下で上に凸であると揚力を発生し、流線間隔が翼の前後で広がっていると抵抗が発生する

流派法で、流線では捉えられない渦を静止画像にできた

ー3 トンボ技術の応用例

- ・トンボ型ロボット 幅 27cm、質量 25g
- ・マイクロ・エコ風車 微風で回る、超軽量、超安価

1. 超低速流のお話

(ア) ものの周りの流れの性質はもの大きさと速度で決まる (水も空気も同じ)

流れの性質を決めるレイノルズ数(Re)

Re = 「流れの勢いの力 / 流れの粘性力」

Re 数が同じであれば流れは同じ(相似)である

ジェット機の世界は 1 千万 ~ 1 億

昆虫の世界 1 千 ~ 1 万

Re 数は「長さ × 速度」を含む

(イ) 流れの性質は航空機 (高速) と昆虫 (超低速) で大いに異なる

(ウ) 超低速では空気の粘りの影響が強くなり、流れは淀みと渦を作り易くなる

速い昆虫くらいのサイズと速度になるとよどみができるようになる、このよどみを吹き飛ばす超小型装置を作ることが困難で、一時盛り上がった RC 機の超小型機競争は終止符を打った

(エ) 物体周りの各種の渦について

出発渦、カルマン渦、逆カルマン渦、双子渦などがある

(オ) 回転円柱が起す風について

回転円柱にできる渦を剥がしてジェットに変換し風を吹かせることができる

2. トンボの空気力学と飛行技術について

(ア) トンボの翅断面は流線型でなく凸凹している

トンボの翅のように凸凹している翼をコルゲート翼という

(イ) トンボは渦を使って翅周りに空気の流線型翼を作っていた

超低速でも、渦を使って航空機に近い外部流れを実現している

(ウ) トンボの翅は微風で高性能を発揮し、しかも風の影響を受け難い

(エ) トンボの翅からコルゲート翼に

NBU 標準コルゲート翼を開発、この翼は微流速での揚抗比が迎え拵の影響を余り受けない
(揚抗比は揚力と空気抵抗の比)

(オ) コルゲート翼は動的安定性を持つ

- ・ 一般に薄い翼は振れやすく、速度を上げると振動を起こすが、コルゲート翼は薄くても振動をおこさない
- ・ コルゲート翼は翼だけで直進出来る
- ・ コルゲート翼は急な左右への傾き(バンク)に対して復元力を持つ(出発渦効果)

3. トンボ型飛行ロボットについて

(ア) トンボの形と普通の飛行機との違い

- ・ 後退角がない
- ・ 前翼と後翼を持っている
- ・ 胴体が長い

(イ) トンボの腹(尻尾)は飛行する上で意味を持つか?

胴体有無の紙トンボを作り屋外で飛ばしてみると、胴体ありでは、あたかも意思を持っているように、横風に逆らって真っ直ぐ進もうとした

(ウ) トンボ型超小型飛行ロボット

- ・ 平面形はトンボ型
- ・ 正面形の翼上反角(跳ね上げ角)はトンボを参考に 15~20 度
- ・ 翼型は、作り易く性能の良い NBU 標準コルゲート翼
- ・ 推進法は、前後翼の間にツイン・プロペラ作動方式
- ・ 2CH 操縦(3CH 操縦は超小型機では動きが早すぎて極端に難しくなる)
- ・ 火星では地球より一桁ほど Re 数が低いので、火星探査飛行には、トンボ型ロボットは有

力候補になる

4. トンボの空力・飛行技術のマイクロ風車への応用について

- (ア) 従来のマイクロ風車は絶滅危惧種である
 - ・ 従来マイクロ風車は大電力を得ようという設計方針
 - ・ 日本の平均風速よりもはるかに高い設計点(風速 15m)
 - ・ 日本の平均風速は大半が 4m/s 以下、平均で 2.5m/s
 - ・ 一桁軽く、一桁安価な風車でないと使えない
- (イ) 微風で回り、台風に耐えるマイクロ風車が必要
 - ・ コルゲート翼は微風で回る(平均風速で高性能)
- (ウ) 台風に耐えるには、強風でなびけばよい
- (エ) なびくためには性能劣化が必要 (コルゲート翼は高速で性能を落とす唯一の翼型)
- (オ) コルゲート翼を持つ紙の風車は微風でも回り、なびくことで台風並みの強風に耐えられた
- (カ) 直径 20cm の紙製風車から直径 1m の PET 風車に至るまでの経緯
 - ・ 第 1 号コルゲート翼紙風車(直径 22cm)
 - 風速 6m/s の回転状況：なびき角小
 - 風速 40m/s: なびき角 75 度、異常なし
 - 風速が 10m 以上になると回転数はほぼ一定になる
 - ・ 1m^2 の面積の風のエネルギー = $0.61V^3$ ワット (V : m/s)
 - 取り込めるのは、せいぜいその 30%
 - ・ 回転面積が 1m^2 で平均風速 3m あれば 1 ワット出せる
 - ・ 常時 1 ワットの出力が得られれば、スマホ経由で遠隔地と情報交換できるし(情報世界では十分な電力)、水道のコックの切り替え位できる
 - ・ 1m 径マイクロ・エコ風車試作型
 - 微風で回り、強風はなびくことでやり過ごす
 - ロバスト性を持つ
 - 回転面積 0.78m^2
 - 軽量：4kg 位
 - ブレードは千円位、発電機は千円
- (キ) 普通のマイクロ風車は風向風速の急変で性能が急激に低下してしまうので対策が必要である
 - ・ ロバスト風車の開発
 - 変動する風にも安定した性能が出せる
- (ク) マイクロ・エコ風車の用途
 - ・ 微風速計、風向計としても使える
 - ・ 遠隔地の気象観測
 - ・ 遠隔地管理用環境情報
 - ・ 農林業関連

- ・安全管理関連
- ・観光地情報の SNS 化

5. その他のトンボの翅を利用した技術

- (ア) 扇風機
- (イ) 天井扇
- (ウ) 小水力発電

係留式小水力発電システム試作機

6. 生物模倣による進化論的ものづくり

- (ア) 生物模倣技術とは

環境に優しい理想技術の一つ！

- ・バイオミメティクス

従来の機械系では考えられない位優れた機能を持つ生物の局部を、最新技術によって人工的に作り出す技術

- ・ネイチャーテクノロジー、バイオミクラー

バイオミメティクスの考え方を敷衍し、組立品やシステムまで模倣適用対象を広げた技術

- ・成果例

汚れのつかない外壁タイル、効率の良いエアコン用ファン、蛾の眼を模した無反射透明膜、水をはじくフィルムコーティング、ヤモリのように脱着容易なテープ、マイクロ・エコ風車等

- (イ) 昆虫模倣は、昆虫（甲虫）が持つ次の4つの極めて魅力的な構造的特徴を取り入れることである

- ・肢が多い(自分を支えつつ、ものを掴める)
- ・凸凹表面(外部流れの制御)
- ・外剛内柔(内側の弱い翅で飛ぶが、飛ばない時は鞘翅で守る)
- ・マルチ折り：甲虫の後翅の折り畳み(折り曲げ等で簡単に形を変えられる：牛乳パック、ダブルクリップ、etc.)

- (ウ) 生活用品への適用例の紹介

- ・ユニバーサル・トング(マルチ折りクリップ)
万能箸
- ・ビートル手帳(外剛内柔構造)
ポケットに入る大学ノート
- ・スマート・ブックスタンド(多形態折りの組み合わせ)
ながら読みの出来るブックスタンド
