

パラグライダーの旋回メカニズムとは？

ブレークコード操作、体重移動がパラグライダーにどのように作用し、旋回するか考えてみよう。理解することによって、もっといい飛び、機体選びの参考になるのではないだろうか？ここで分かり易い解説書が見つかったので紹介しよう。

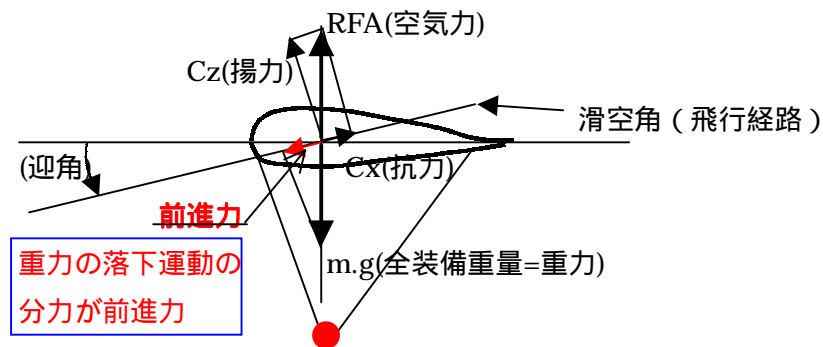
雑誌名：Volibre（フランスの雑誌） 著者：Caldara Olivier（フランス人）

(1) ブレークコード操作はパラグライダーの翼断面にどのように作用するのか？

(1-1) 前進力

一般的な航空力学の解説ですが、パラグライダーが飛ぶのは、揚力と抗力の合力（空気力）が全装備重量と釣り合い、抗力と釣り合う力が前進力となり滑空する。

アクセルを使用することは、滑空角を前に傾け、重力の落下運動の分力（前進力）を増加させることである。



(1-2) 揚力の公式

パラグライダーのブレークコード操作により、翼断面の揚力係数(Cz)が大きくなる。このことは、均等にブレークコード操作をすると速度(V)が緩くなり、公式の中で質量(m.g) = 揚力という条件で、速度(V)が遅くなった分だけ揚力係数(Cz)が大きくなることで、理解できる。

航空力学から揚力の公式は

$$m.g = 1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot (C_z + C_x)$$

m.g = 質量（パラグライダー全装備重量）

= 空気密度

V = 対気速度

S = 翼面積

Cz = 揚力係数

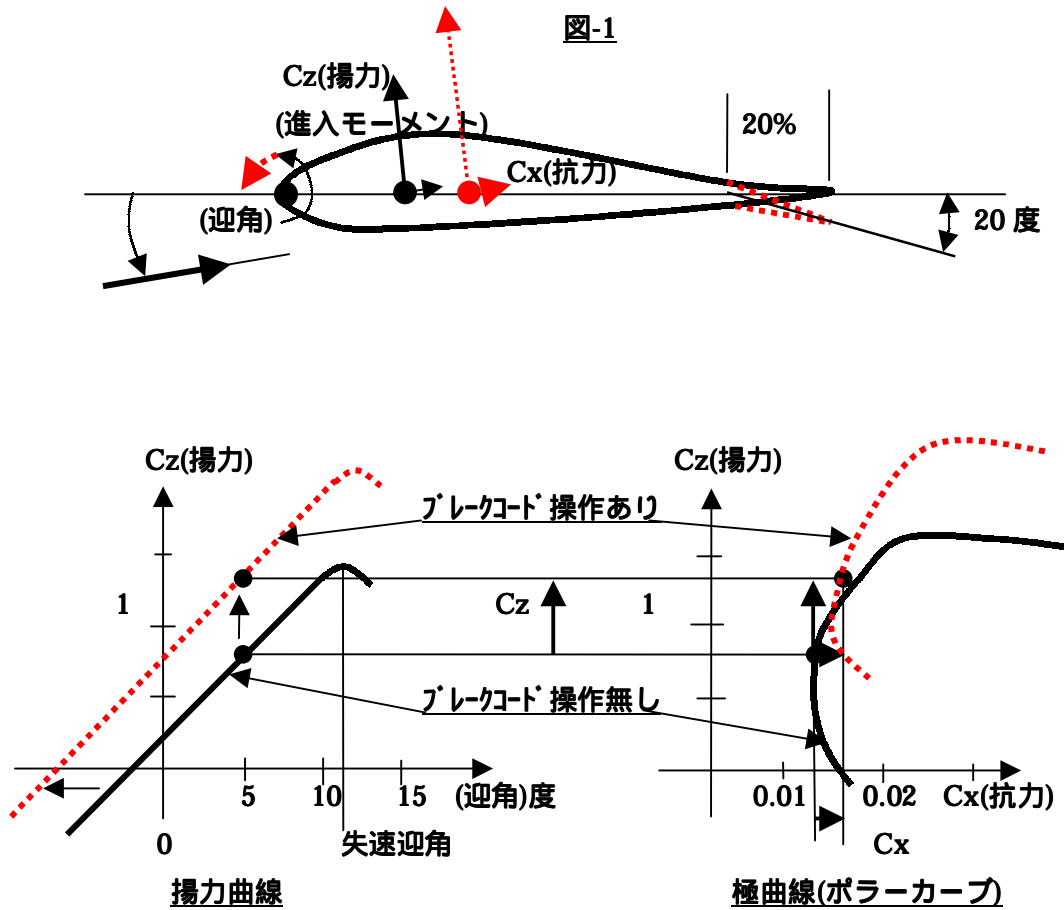
Cx = 抗力係数

* = 二乗

(1-3)ブレークコード操作による翼断面の応力変化

パラグライダーのブレークコード操作は飛行機のフラップ操作と同じだが、効き目は以下
図-1の から のように説明できる。

非常に重要な揚力の増加（弦長の 20%部分のフラップを 20 度操作することにより、少なくとも 50%増の揚力が働く）が極曲線の変換点で起こる。
揚力の増加に伴い、揚力の 1/10 から 1/100 ほどの抗力増加が発生する。
風圧中心が翼の後縁の方に移動する。
揚力が 0 で、翼の迎角が減少する。
翼断面の進入モーメントが増加する。



上記の解説図 図-1 は、ブレークコード操作によって、赤の点線で示すように変化する。

(2)左のブレークコード操作をすると、どうして左に旋回するのか？

(2-1)揚力分布特性

普通、飛行機の場合、左側にブレーキング動作をすると、左側に揚力が増加し、右側に傾こうとする。しかし、パラグライダーは左に旋回しようとする。どうしてこうなるのかは、パラグライダーの揚力特性を知る必要がある。揚力特性とは、パラグライダーの翼が弧を描いており、左側をブレーキングした時 揚力分布は左側に偏り、揚力の方向は左方向に傾く性質である。(図-2 参照)

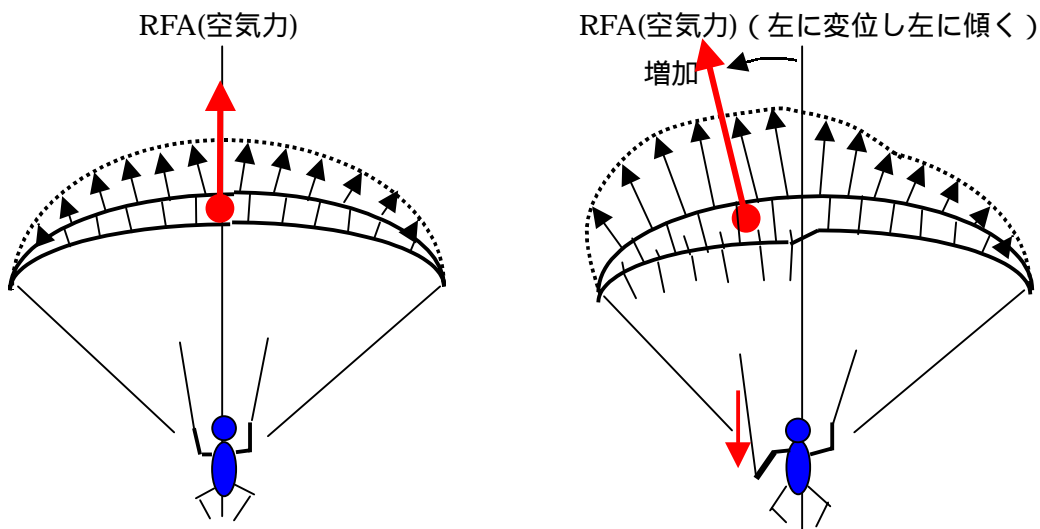


図-2

*RFA=Resultant Force of Air (揚力と抗力の合力)

(2-2)ローリング

航空力学において、ローリングの動きは、重心 (CG) の周りに起こり、重心の周りのローリングモーメントと考える。(ローリングの場合、モーメント係数はClと記述する) パラグライダーの弓形状、ラインの長さによってローリングモーメントの大小はあるが、特にフラットな翼形状ではローリングモーメント方向が反対になる。(図-3 (a)参照)

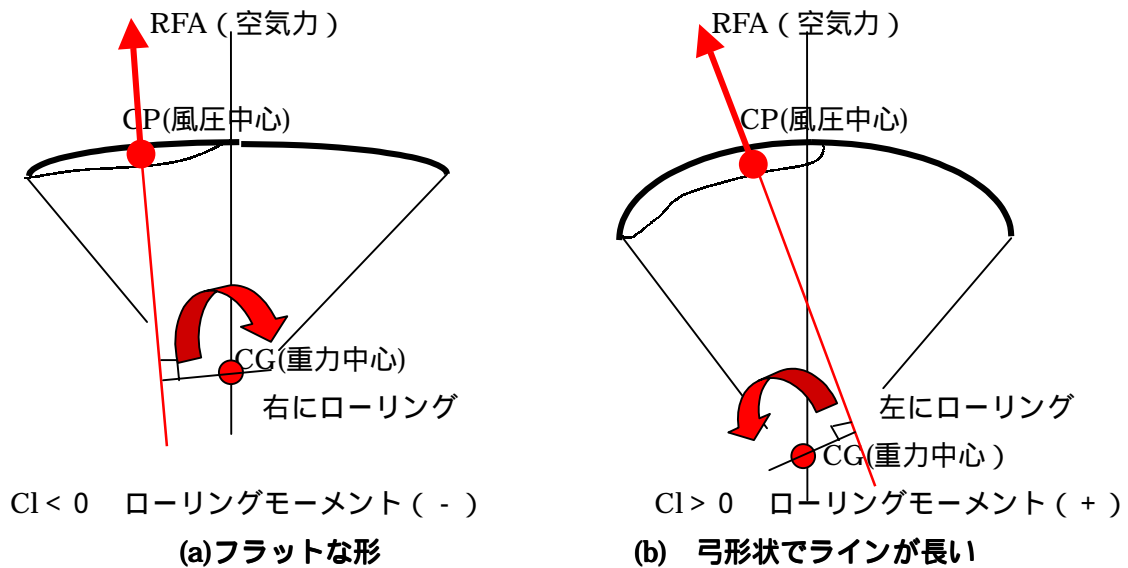


図-3

ローリングモーメント(Cl)は以下の条件によって、(-) (0) (+)に変化する。

- 翼の弓形の形状
- 翼の重心を決めるラインの長さ
- 翼の後縁のブレーキング分布

(2-3)ヨーイング

ヨーイングモーメントは、翼のブレークコード操作による形状抗力*1の発生増加と翼の誘導抗力*2の発生増加によって起こる。よって、ブレークコード操作側にヨーイングが発生するので 操作した正しい方向に向く。

特にパフォーマンスの高い翼では抗力の発生が少ないので、アドバンスのシグマ、オメガのように翼端に突起物を設け抗力を発生させている。

*1 形状抗力：翼の摩擦力和ブレークコード操作時の後縁の圧力(渦巻き)抵抗

*2 誘導抗力：翼上面と下面の圧力差によって起こる渦の抗力(揚力の発生に伴って発生する)

(3) 翼には、どうして、“安定したスパイラルと不安定なスパイラル”があるのか？

(3-1) 旋回時における、翼の内縁と外縁の速度及び揚力

パラグライダーは狭い半径で旋回できる。パラグライダーの旋回半径は翼幅の約 2 倍、ハンググライダーは翼幅の約 3 倍、グライダーは翼幅の約 4 倍。また、翼の旋回内側端と外側端の速度の違いは、パラグライダーは 2 倍、ハンググライダーは 1.5 倍、グライダーは 1.3 倍である。

揚力は旋回内側端と外側端では、パラグライダーは 4 倍、ハンググライダーは 2.25 倍、グライダーは 1.7 倍 違うのである。

旋回半径の違い

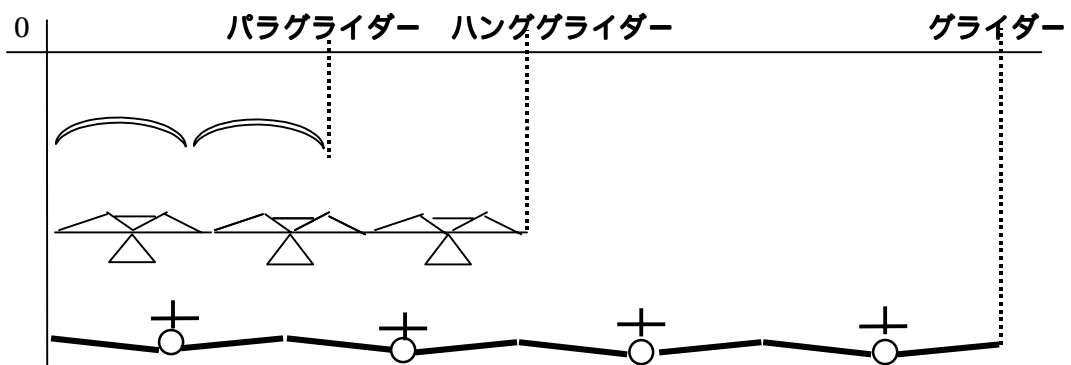


図-4

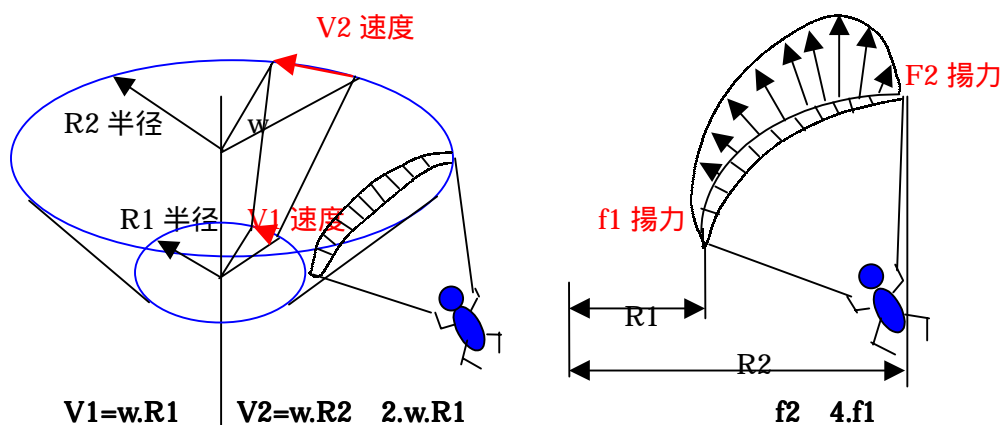


図-5

(3-2)安定したスパイラルと不安定なスパイラル

以下の条件によって、揚力のつりあい分布が変化し、**安定したスパイラル**、**不安定なスパイラル**を招く。

- 翼の弓形の形状（フラットであるか、そうでないか）
- 翼のラインの長さ
- 後縁部のブレーキング分布

図-6 は違った条件での安定を表す。

- **第一**は翼の弓形がよりフラットで、ラインも短い。旋回で内側方向にローリングが起これ、深く旋回に入っていく。（不安定なスパイラル）このとき左に体重移動を行えばより深く内側に入っていく。
- **第二**は翼の形は弓形で丸く、ラインも長い。旋回で外側方向にローリングが起これ、ローリングから回復しようとする。（安定したスパイラル）このとき左に体重移動を行えば、外側への傾きを押しさえ、安定したスパイラルを得られる。
- **第三**は翼の弓形もラインの長さもニュートラルになるように設定されている。旋回は傾き一定でローリングは起きない。（ニュートラルなスパイラル）

市場に出ているグライダーは（全てではないが）、ノーマルな旋回においては、安定したスパイラルからニュートラルなスパイラルの範囲に入っている。

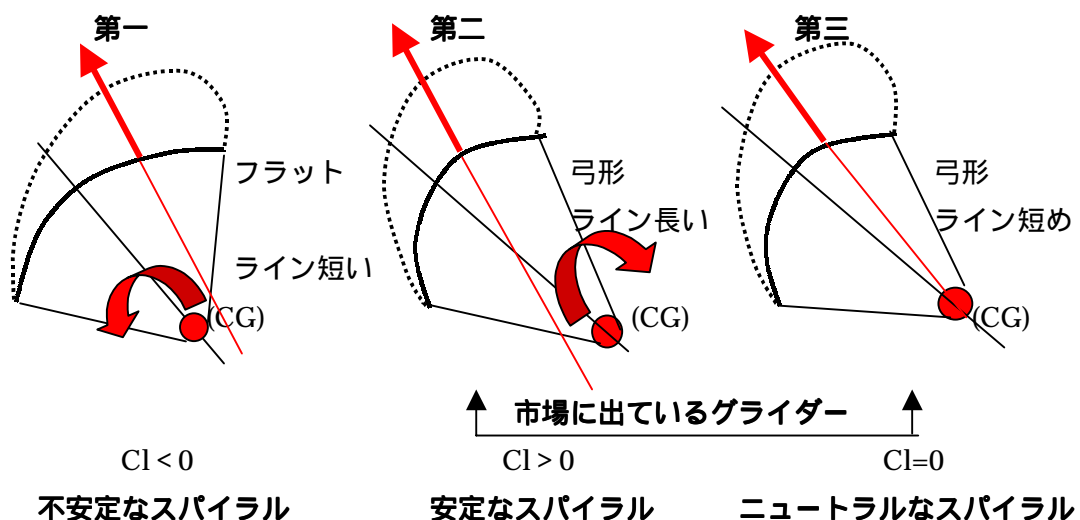


図-6

(3-3)安定した旋回

常にコンスタントな安定した左旋回を得るためには、左側のブレークコードを操作し、速度を調整し、右側へのローリングを打ち消している。(図-7 参照)

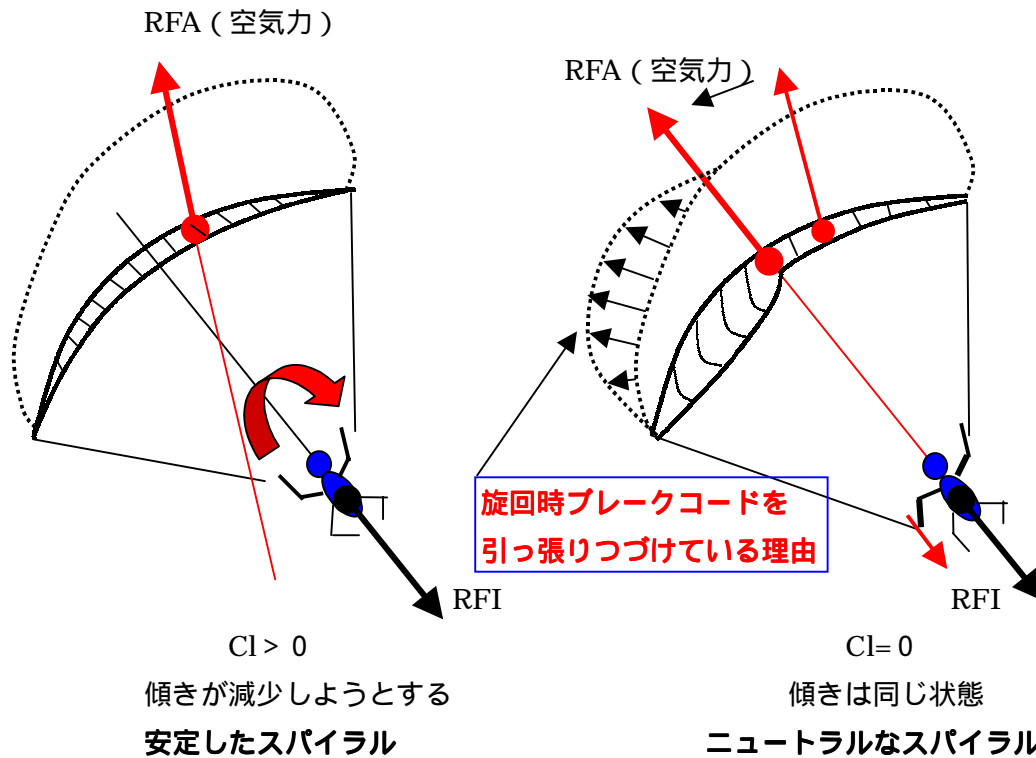


図-7

パラグライダーの設計において、1. 弓形の形状、2. ラインの長さ、3. ブレークコードの効き目分布、の3点がいかに重要であるかが理解できたと思う。

市場に、洗練された旋回をするパラグライダーを発表するために、十分なテストが必要である。十分なテストとは、十分な調整を、長い期間、慎重に行う。また、数機のプロト機の製造、数名のテストパイロットによるテストが必要である。

しかし、現在は一人の設計者がコンピューターで設計し、“良く飛ぶ”と言っているだけである。

2002年2月

ACB Aviation Inc.

仏語翻訳者 技術担当 小林 則雄