

自家用座学資料 科目1-2
機体の性能と運用限界

公益財団法人日本学生航空連盟

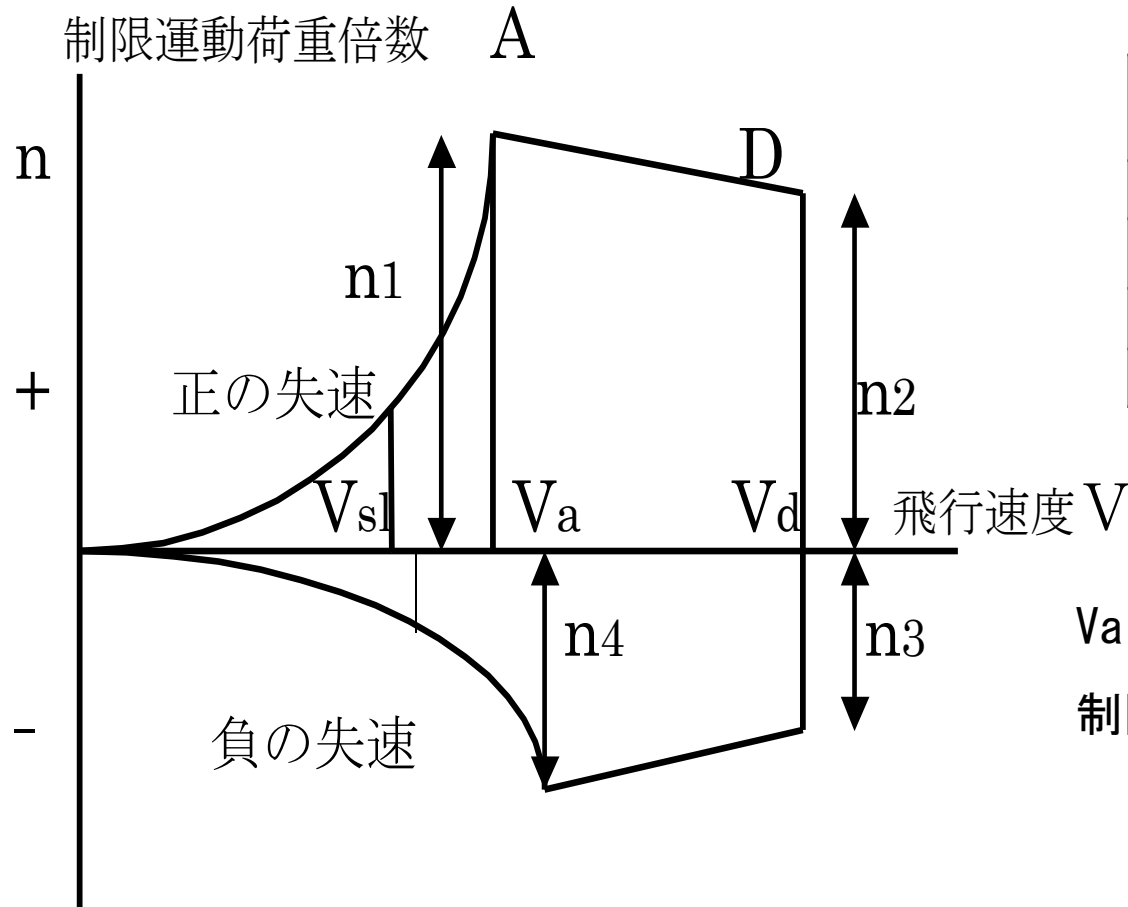
2011年6月作成

最終改定 2022年 6月

使用機体の限界事項

- 対気速度限界
- 計器標識、加速度計標識(装備している場合)
- 操縦席搭載重量(最大、最少)
- 機体総重量
- 許容重心位置範囲
- 運用様式限界
- 制限荷重倍数
- 最少装備品
- 曳航索安全装置(ウイーク・リンク)
- タイヤ空気圧
- 曳航用リリース
- 横風限界
- 標識
- その他

運動包囲線図



	曲技A	実用U
n1	7.0	5.3
n2	7.0	4.0
n3	-5.0	-1.5
n4	-5.0	-2.65

V_a までは大きな操作でも制限荷重倍数を超えない

限界事項 対気速度限界

飛行規程第2章の限界事項 対気速度限界

ASK21

・超過禁止速度 (V_{NE})	280km/h (IAS)
・悪気流速度 (V_{RA})	200km/h (IAS)
・設計運動速度 (V_A)	180km/h (IAS)
・設計航空機曳航速度 (V_T)	180km/h (IAS)
・設計ウインチ曳航速度 (V_W)	150km/h (IAS)

高度が増加するに従い、空気密度が減少するために、
真対気速度が指示対気速度よりも速くなる
高度3000mにおけるVNEは267km/h

速度の種類・違い

・指示対気速度 (IAS) 速度計に現れる速度

位置誤差、器差や気温、空気密度などによる誤差を生じる。

- ・ 位置誤差 ピト一管や静圧孔の取り付け位置による誤差。
- ・ 器差 計器自体の精度に関わる誤差
- ・ 空気密度 高度、気温など空気密度の違いによる差。
密度が小さいと表示は小さくなる

(参考)

・較正対気速度 (CAS) IASに器差などの修正をおこなったもの

・真対気速度 (TAS) CASを気温と高度によって密度補正したものの
TASがフラッターに対しての安全性にかかわっている

限界事項 重量



- 最大離陸重量 **600kg**
- 自重カタログ **約360kg**
 - AS社製造時 370kg
 - 2011年耐空検査後の自重 389kg
- 揚力発生部を除いた(主翼以外)最大重量 **410kg**
 - 胴体および尾翼重量装備品重量 180kg
 - 搭乗者、パラシュートの前席、後席最大重量 220kg
 - 積載物最大重量(翼根荷物室) 20kg

限界事項を確認してください

- 有視界飛行状態であれば夜も飛べるのか？
 - 雨中は飛べるのか？
 - 子供2名(合計重量30kg)とともに3人で飛べるのか？
 - 重心位置が前方に外れていたら何が起こるのか？
 - 同 後方に外れていたら何が起こるのか？
 - 飛行総重量が限界を超えていると何が起こるのか？
 - どのようなときに「制限荷重倍数」を超えるのか？
 - 万が一超えたら何をしなければいけないか？
 - 運動包囲線図で「負の荷重」がかかるのはどういう場合か？
 - 滑走路30度右手から5m/sの風が吹いている。横風成分は？
- などなど

性能：揚力と抗力、滑空比

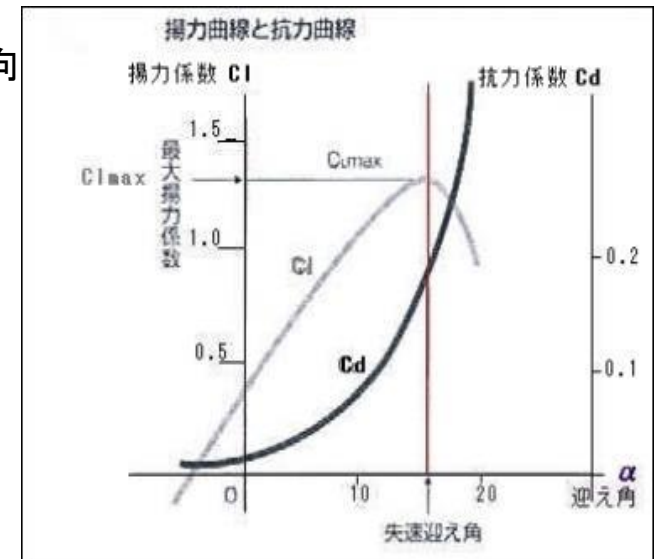
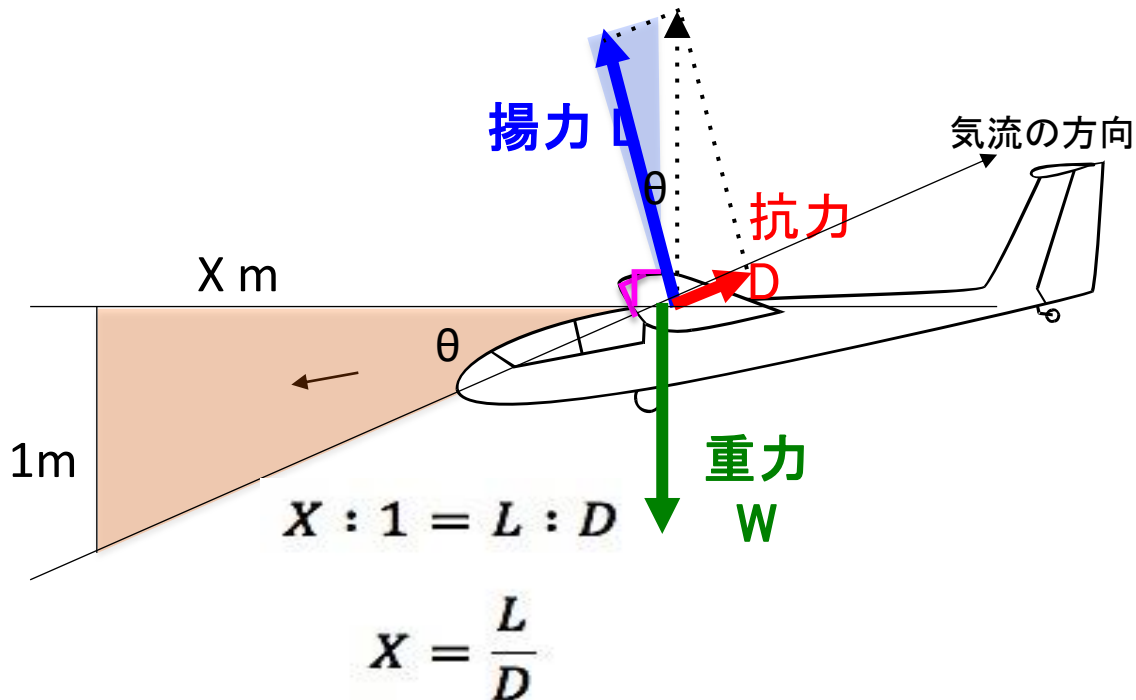
揚力(Lift) $L = 1/2 \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C_l$

抗力(Drag) $D = 1/2 \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C_d$

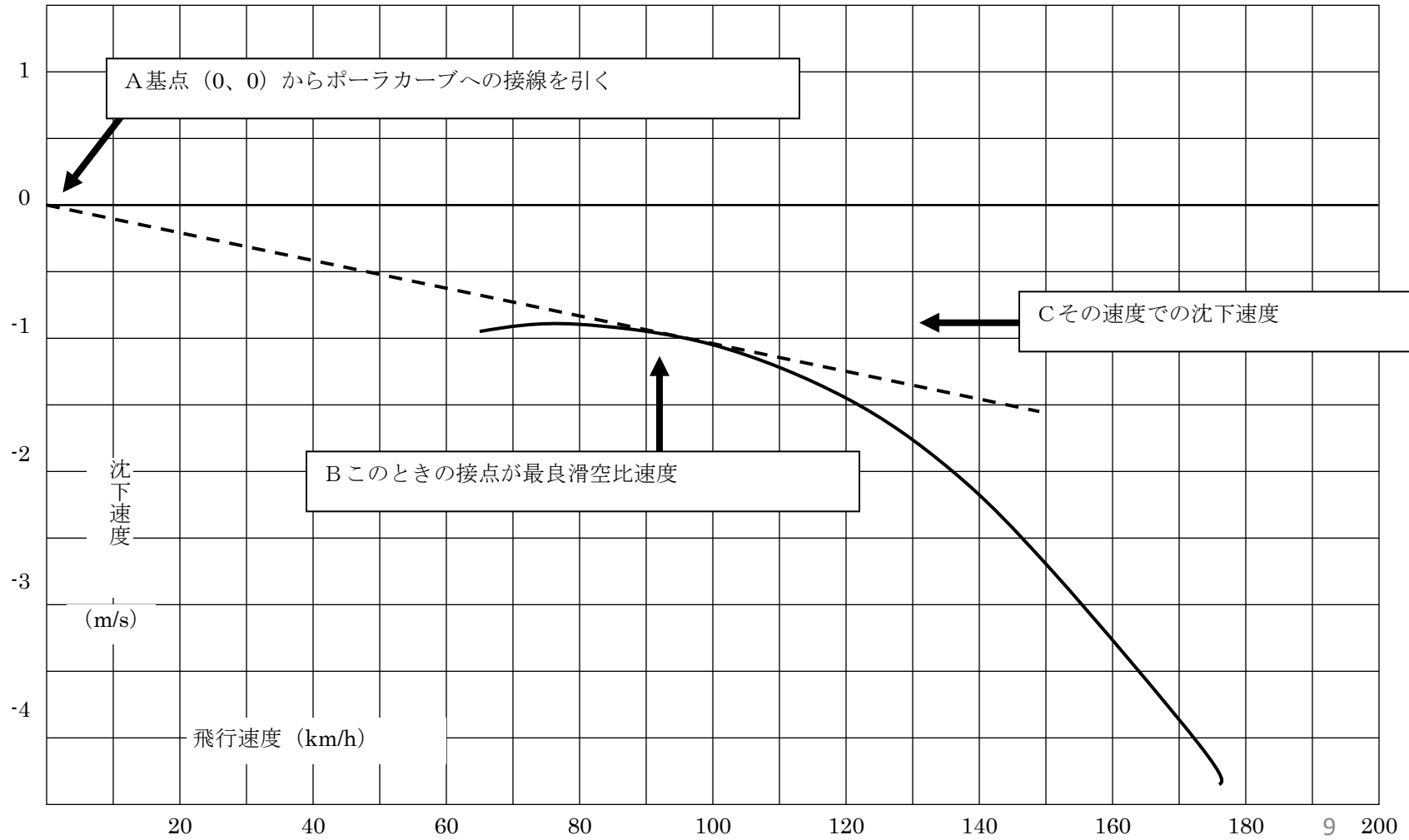
(ρ 空気の密度、 S 翼面積、 V 速度、 C_l 揚力係数、 C_d 抗力係数)

滑空比 = 揚抗比 = $L/D = C_l/C_d$

- 滑空比は、揚力、抗力はともに空気密度、翼面積、速度の二乗に比例するので相殺されて C_l と C_d の比で求められ、値は迎角によって変化する。
- 揚力と抗力が重力(G)と釣り合ったところで「等速滑空飛行」が行われ、迎角変化などでそのバランスを変えると上昇/下降や、減速/加速をする。

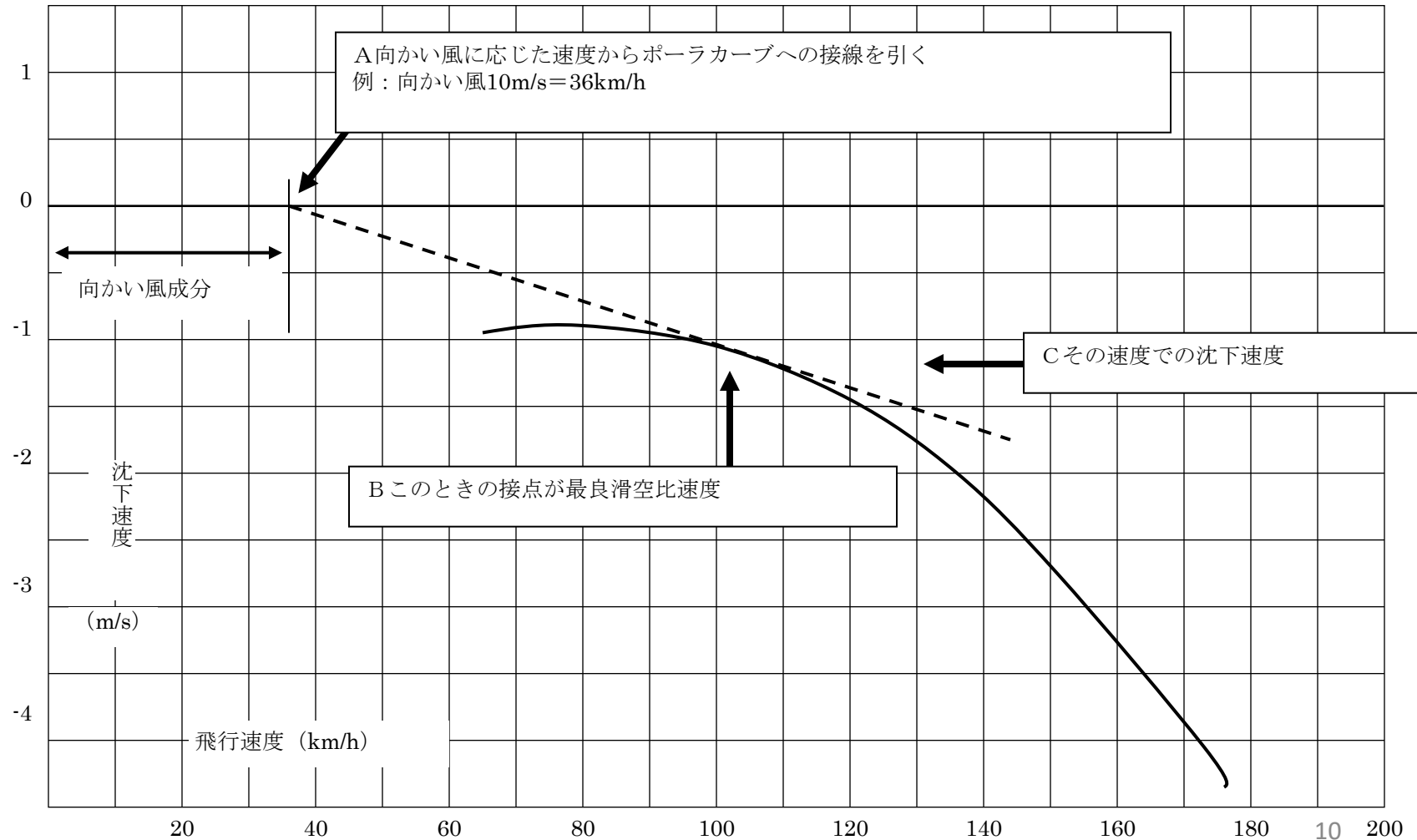


静穏時の最良滑空比速度と沈下率を求める



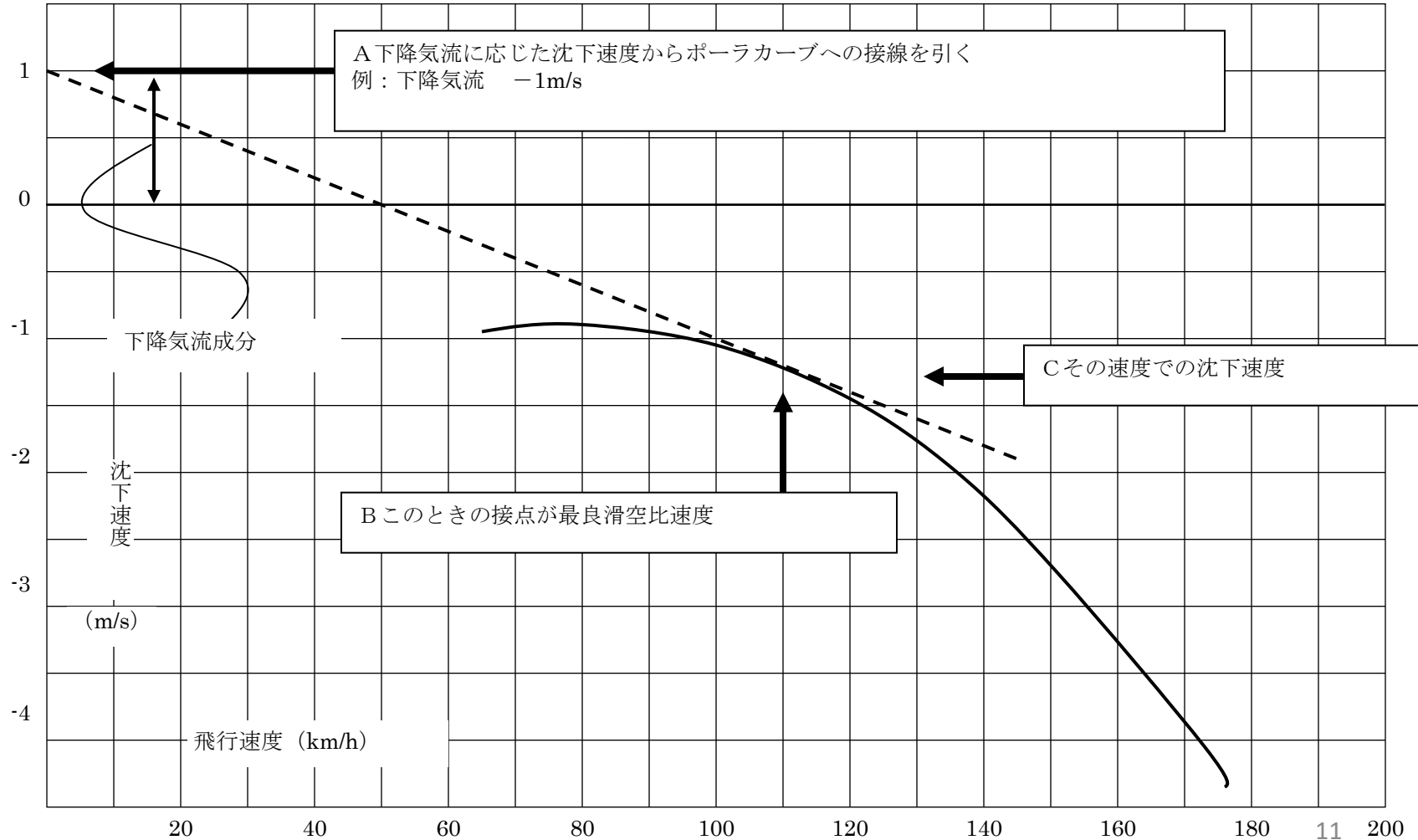
向かい風の強さに応じた最良滑空比速度と沈下率を求める

向かい風の際には、ポーラカーブは見かけ上、座標軸に対して左に移動することになる

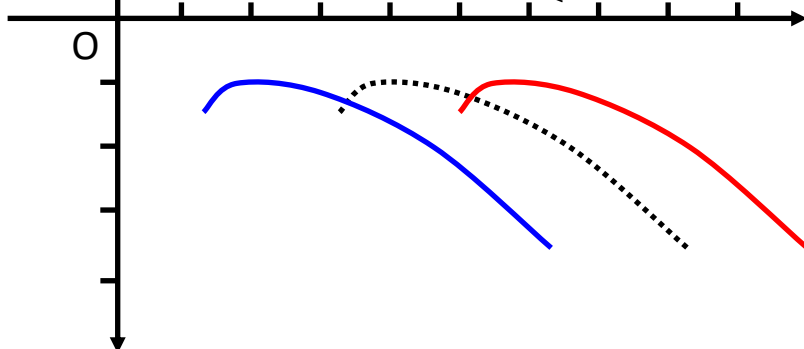
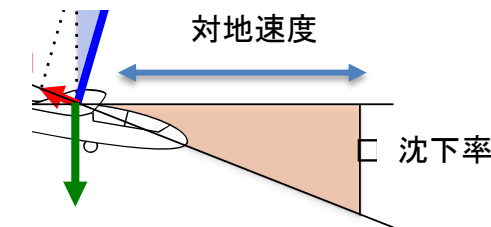
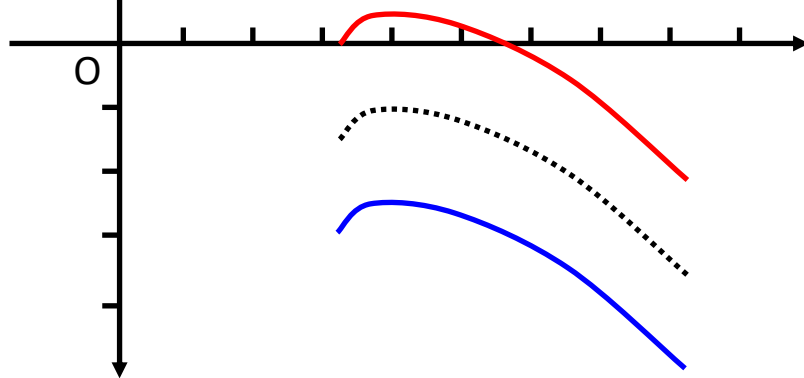
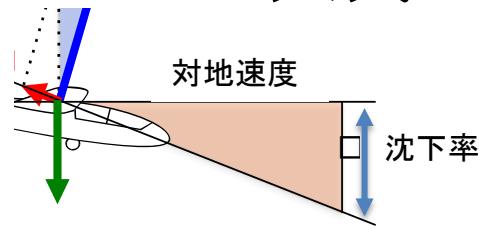


下降気流の強さに応じた最良滑空比速度と沈下率を求める

下降気流中では、ポーラカーブは見かけ上、座標軸に対して下に移動することになる



大気の状態の影響



上昇帯・沈下帯の影響

上昇・沈下の強さの分だけ曲線が上下に動く

- 上昇帯の影響
曲線: 上側に動く、見かけの滞空性能: 良くなる
- 沈下帯の影響
曲線: 下側に動く、見かけの滞空性能: 悪くなる

追い風・向かい風の影響

風速の分だけ曲線が左右に動く

- 追い風の影響
曲線: 右側に動く、見かけの滑空性能: 良くなる
- 向かい風の影響
曲線: 左側に動く、見かけの滑空性能: 悪くなる

マクレディー理論

ある状態での大気の平均上昇率を考慮して、最速クロスカントリーに最も有効な平均対気速度を導く理論

以下の仮定のもとに成り立っている

- 1、獲得した高度を使い切らないうちに次のサーマルに到達する
- 2、平均上昇率と平均沈下率は同様の強さである

サーマルがあるということは、インターサーマルでは平均上昇率(=平均沈下率)の分だけ損していると考え、早く次のサーマルに向かうために沈下率に応じて増速するという理論

マクレディーリング

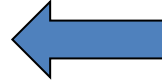
マクレディー理論に基づいて作られた、沈下率に応じた最適速度標識のこと

- 実績の平均上昇率をバリオメーター周囲のリングのゼロ位置にセット
- バリオ指針位置の指示速度が推奨速度

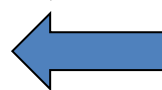
速度・重量と性能について

性能が良いとは・・・

できるだけ少ない沈下で、できるだけ遠くまで飛べること



滑空比、沈下率



速度に密接に関係する

性能を調べるには・・・

飛行規程の第5章性能、ポーラーカーブ（性能曲線）

対気速度vs沈下率曲線：最良滑空速度、最少沈下速度などを求める

重量を大きくすると荷重を支える揚力は速度の二乗に比例

滑空比（揚抗比）は不変、翼面荷重が増し高速で性能を発揮する
 重量増では機体に対して荷重倍数(n)が増すので
 最良滑空比速度、最小沈下率速度、失速速度は荷重倍数の
 「平方根」に比例して増す

全備重量	460kg	480kg	560kg	580kg	600kg
失速速度	65	66	71	73	74
最小沈下速度	65	66	72	73	74
最良滑空比速度	85	87	94	95	97

重量の性能への影響

機体の重量が変化すると、

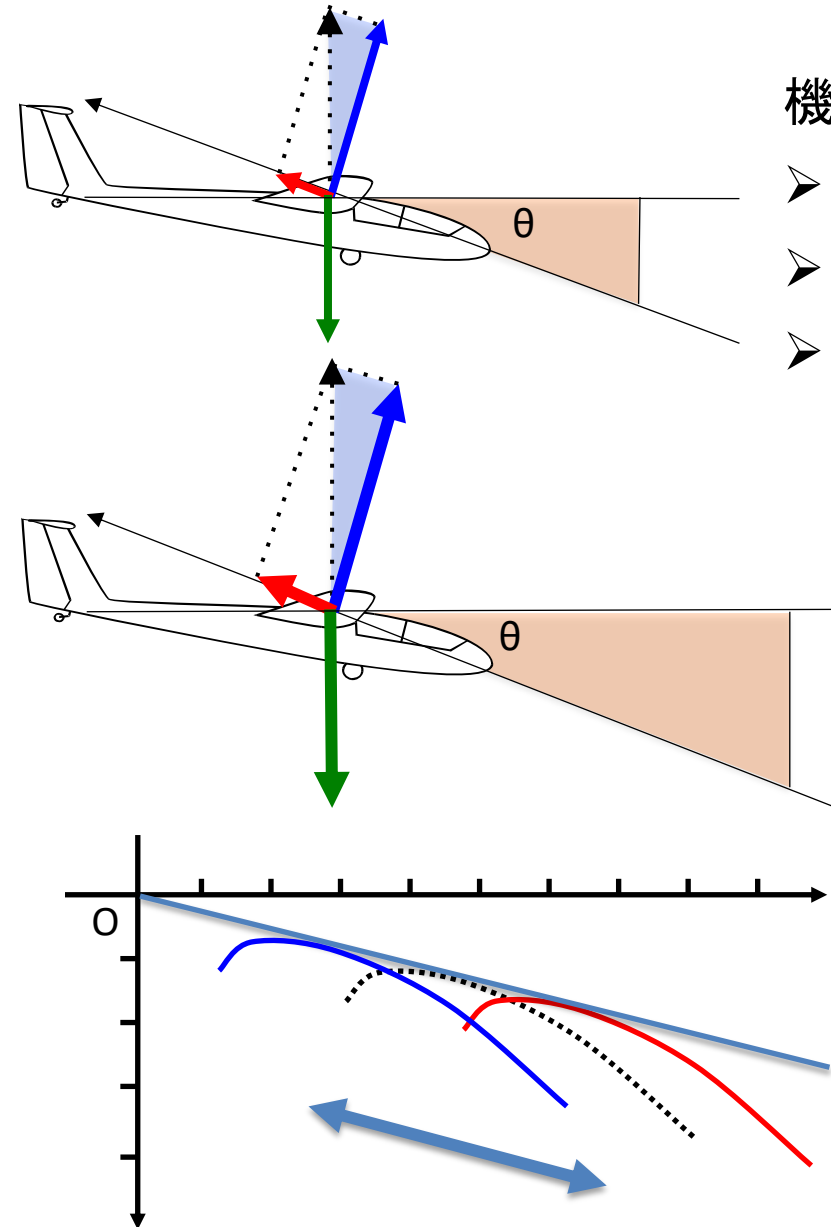
- 三角形のサイズが変わる。
- 曲線は接線に対して平行移動する。
- 最良滑空比は変化しない。

❖ 重量が軽くなるとき

- 沈下率が小さくなる
- 最良滑空速度が遅くなる
⇒ クライム時に適する

❖ 重量が重くなるとき

- 沈下率が大きくなる
- 最良滑空速度が速くなる
⇒ クルージング時に適する



旋回時の性能

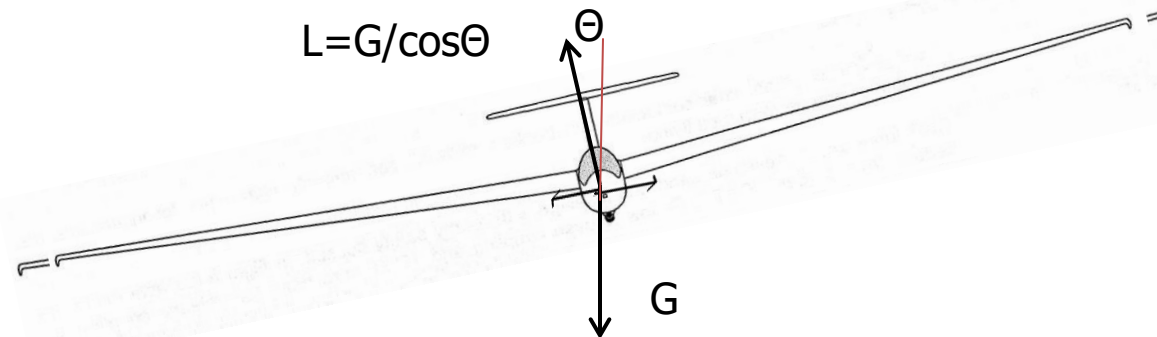
旋回中の荷重倍数 $n = 1 / \cos \theta$ (θ バンク角度)
 (旋回中の)失速速度は荷重倍数の「平方根」に比例する。

バンク角度	0°	15°	30°	45°	60°
荷重倍数	1.00	1.04	1.15	1.41	2.00
失速速度倍数	1.00	1.02	1.07	1.19	1.41
失速速度(例)	70km/h	71km/h	75km/h	83km/h	99km/h

旋回半径 $r = V^2 / G \tan \theta$

(V 速度 (m/s)、G Gravity (9.8)、 θ バンク角度)

バンク角度	15°	25°	30°	45°	60°
旋回半径@ 90km/h	238m	137m	110m	64m	37m



失速

翼の迎え角を増加させることを考える。

❖ 初めのうちは

迎え角: 増 ⇒ 揚力: 増、抗力: 増

❖ ある角度に達すると

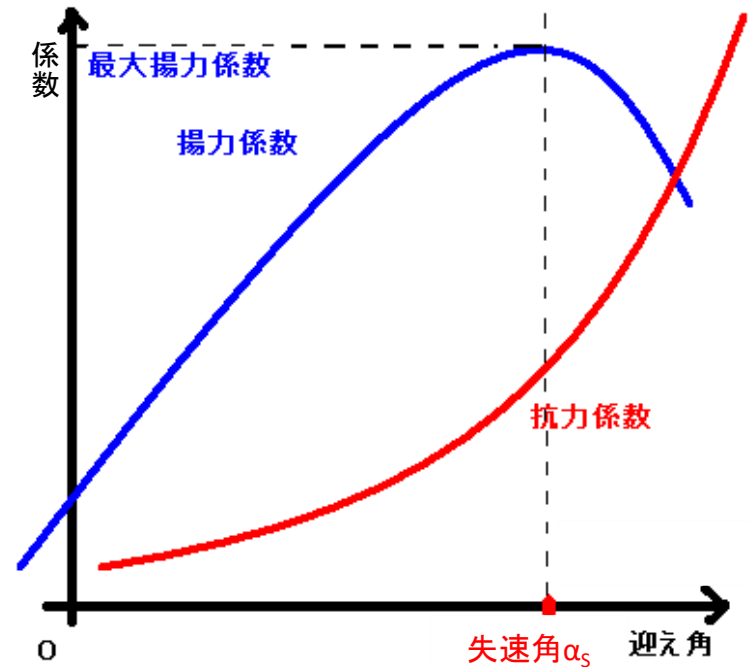
迎え角: 増 ⇒ 揚力: 減、抗力: 急増

重力を支えられなくなり、落下する。

➤ このときの迎え角を失速角

または臨界迎え角という。

➤ 失速角になり、落下する現象を失速という。



この時、翼ではどのようなことが発生しているのか？

失速速度について

飛行規程の4章には、

- 単座(470kg)の場合
エアブレーキ閉:66km/h エアブレーキ開:75km/h
- 複座(580kg)の場合
エアブレーキ閉:75km/h エアブレーキ開:85km/h

この速度になったら失速するのか？ ⇒ あくまで失速速度の標準値

失速速度が変化する要素

- 機体重量の変化
- 荷重の変化(バンクの変化)
- 重心位置の変化
- 翼の汚れ、雨粒の付着やダイブ等による翼表面状態の変化
- 滑り

失速はある速度で起こるものではない！
迎え角が失速角に達した時に起こる。

翼端失速

失速は一度に翼全体に渡って生じるものではない。
最も条件の悪いところから発生して全体に広がる。

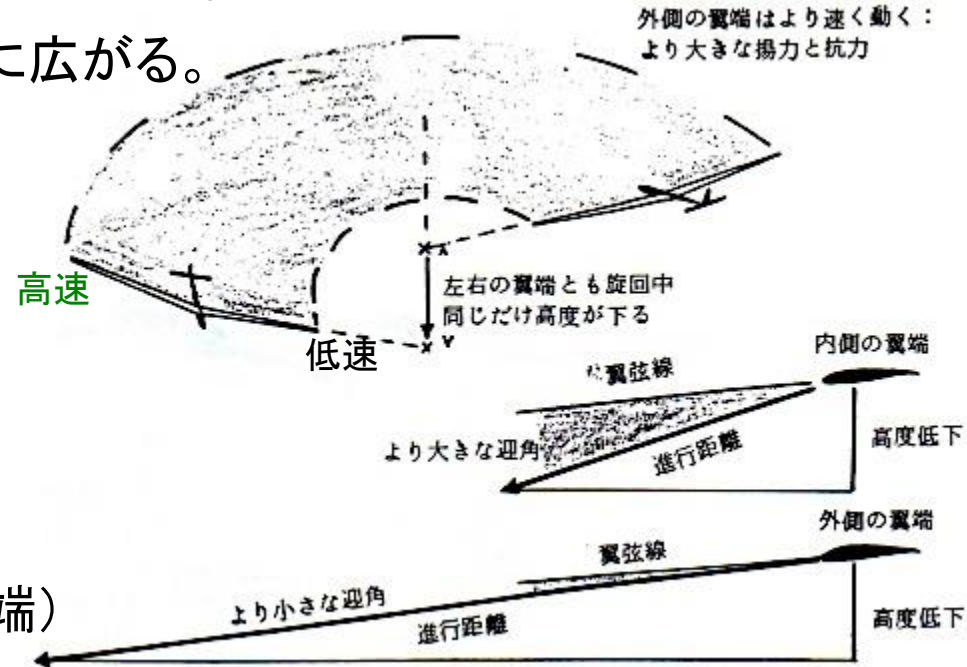
❖ 内側の翼

- 内側なので速度は遅い
- 迎え角は大きい

❖ 外側の翼

- 外側なので速度は速い
- 迎え角は小さい

⇒内側の翼が先に失速し易い。(特に翼端)
翼端から始まる失速を翼端失速という。



翼端失速に入ると...

- エルロンが効かなくなる。
- スパイラルダイブ・スピンの恐れ。

外滑り状態や急な操作は、
翼端失速をさらに発生し易くする。

翼端失速への対策

主な対策として以下の方法がある。

❖ 幾何学的ねじり下げ

迎え角を小さくしている。

❖ 空力的ねじり下げ

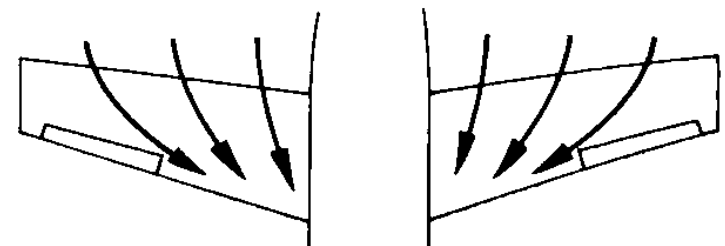
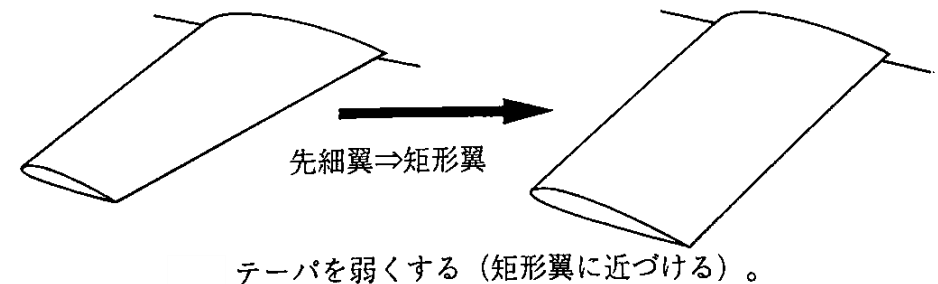
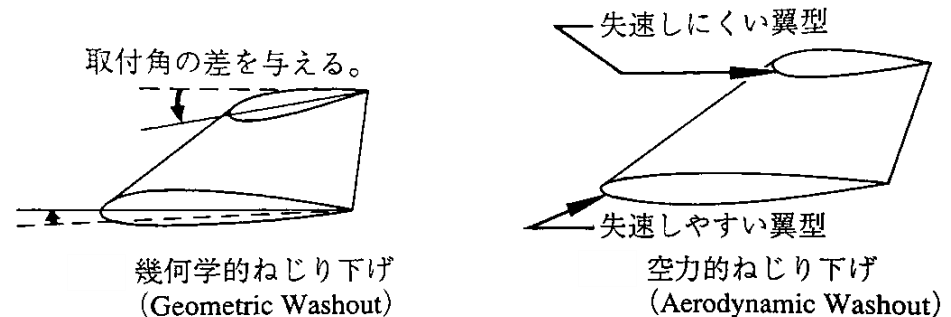
翼形を変えて迎え角を小さくする。

❖ テーパを弱くする

翼端での吹き下ろしが小さくなり
迎え角が小さくなる。

❖ 前進角をつける

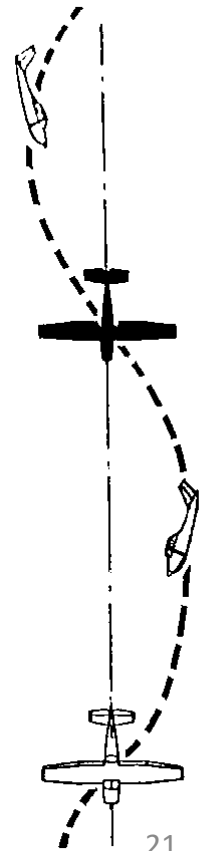
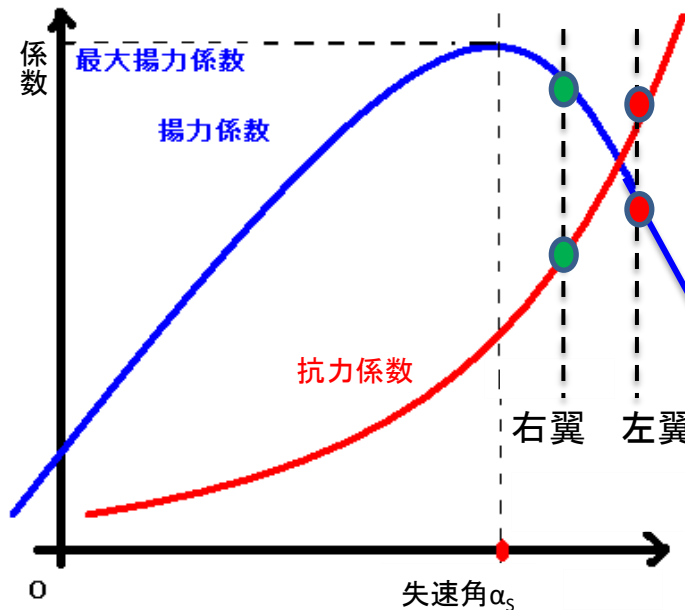
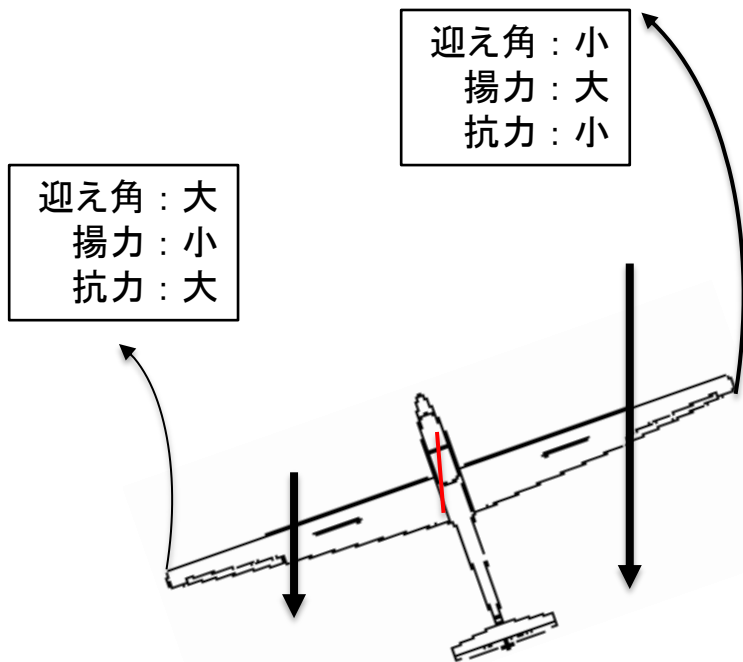
翼根側に境界層が流れ、集積する。
この集積により、翼根の気流が先に
剥離して失速する。(翼根失速)



前進角 (翼根元部の境界層を厚くする)。

スピン(錐揉み)

- ❖ 完全に失速した後、滑りながら螺旋状に落下する状態をスピン(錐揉み)という。
- ❖ スピンが長く続くと舵が効かなくなり回復が不可能となる。極めて危険な現象。
- ❖ 旋回中、失速間際で大きな外滑り又は内側翼の迎角増を与えると発生する。



失速している限り、各翼の揚力・抗力の差は保たれ自転は持続する。

スピンからの回復

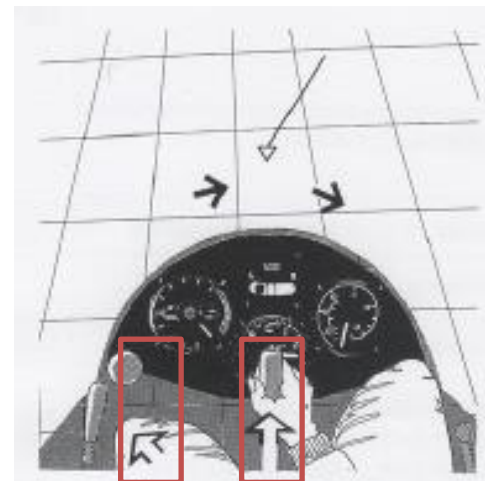
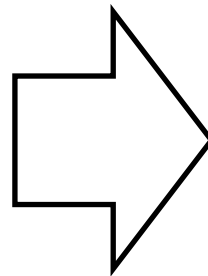
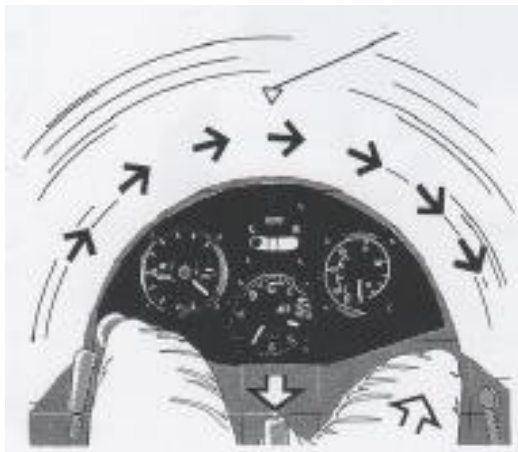
① トップラダー

旋回方向と逆のラダーを踏み込んで、旋回を止める

② スティックフォワード

引いていた舵を緩めて、翼の失速を回復させる

過度な荷重をかけないように、ゆっくり舵を中立に戻す



スパイラルダイブ(螺旋降下)

スピンと一見似ている現象として、スパイラルダイブというものがある。

1. 雲上飛行中に下方が雲に塞がれる前に急いで降りる場合
2. その他緊急事態で速やかに着陸したい場合

などの際に、用いる手法である。対地的な目標に向かって、高度を処理する。翼端失速からの回復の遅れや急旋回のあて舵不足で生じる。

スピンの相違点

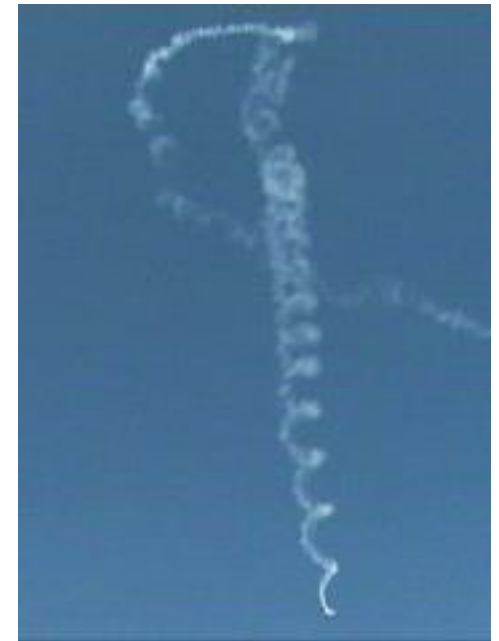
❖ 失速していない。

気流は剥離していないため、舵は効く状態。

❖ 回復手順が異なる。

失速はしていないため、当然手順が異なる。

- ① バンクを戻す。
- ② 姿勢をゆっくりと通常に戻す。(荷重に注意)



飛行規程 第4章に通常操作が規定されている。
それは理解と順守されなければならない。
飛行規程第4章を読み合わせする。

いつもの気付きでのDiscussion 1

離陸前

- ・日常点検での問題点の有無は確認したか
- ・飛行前点検は外回りも含めて実施したか 特に水平尾翼の取り付け・各舵面の動き、主輪/前輪/尾論の汚れ・レリーズの汚れと動き・風防の汚れ。は大丈夫か
 - ・特に初発は スタティックポート ピトー管
 - ・バラストの確認とPICへの報告
- ・離陸時の風はおおむね頭に入っているか。
- ・離陸直前の再確認 DIVE LOCKED Canopy Locked Belt Secured
- ・上空にいる他機の把握は済んでいるか。 ・ほかの滑走路での出発機・進入機は把握しているか。
- ・索切れ時 その時の風・滑走路などで 直進すべき高度 索切れ操作時 旋回が可能な高度は
- ・離陸前のCheck Listはやったか。 CHAOTIC またはABCCDDまたはそれぞれの手順で。

準備よし出発用意

- ・無線コミュニケーションは保たれているか。
- ・対地/対空警戒よし 風よし パイロット準備よし。
- ・Pist・Winch・Pilotとのコーディネーション そして出発

通常操作でのDiscussion(2)

離陸 上昇初期 中期 後期 離脱

- ・離陸初動でひっぱり感を継続して感じているか
- ・曳航の引っ張りを感じながら 緩やかにピッチを上げ、途中速度計に一度くらいは目を当てる
 - ・安全高度を確認するか。
- ・風の状態から、滑走路長で索切れ時の直進あるいは旋回など高度の取り決めはしているか。
 - ・離脱時、離脱操作がR/L-turnのCall-out

場周 進入 着陸

- ・サーマリングを終了する高度は。
 - ・進入する他機は目視・無線でおおむね把握できているかな。
 - ・滑走路の路面も把握して、どこで止まろうかまできめていてもよい。
- ・自分で順番を決めて、着陸の滑走路だって。PISTの指示と自分の意思が一緒ならなおさら良い。
 - ・チェックポイントの高度 風に合わせて。
 - ・風を考慮した進入速度を決めているか。
 - ・風に合わせた進入パス角のイメージは。
 - ・横風進入はいかに。

ASK21 飛行規程第三章 非常時操作に 規定されているものの確認

- きりもみからの回復
- キャノピーの放出 非常脱出
 - 雨中での飛行
 - WING DROP
 - グラウンドループ

その他のDiscussion

- 索切れ
- 滑翔時のロストポジション
 - 動翼の連結不良
- Dive BrakeのUnlock での離陸
- Canopy Unlock状態での飛行
 - 飛行中の体調不良
- 予定しない場外着陸 等等