

飛行機の知識まとめ


2019.08.21 辻本邦之





目次

1. 飛ぶしくみ(動画の紹介)
2. 揚力の発生のしくみ
3. 飛行機に加わる4つの力
4. 飛行機の基本構造
5. 飛行機の姿勢(回転運動)
6. 飛行機の姿勢安定と翼の関係
7. コクピット
8. 飛行機のピッチ運動
9. 飛行機のロール／ヨー運動
10. 飛行機の横滑り
11. 飛行機の旋回方法
12. 滑走路について
13. 飛行機の離陸
14. 飛行機の着陸
15. 飛行機の安全設計要素
16. 室内ラジコン機との比較(要求スペック)
17. 室内ラジコン機との比較(開発メーカーの部門)
18. ジェットエンジン
19. 旅客機の構造
20. 航空局型式証明(FAA/TC)
21. フライトシミュレータ
22. RedBull エアレースの機体
23. キーワード
24. 出典(参考リンクなど)



1. 飛ぶしくみ（動画の紹介）

飛ぶしくみ 第1話「飛ぶための4つの力」

<https://www.youtube.com/watch?v=xY5Oxl8t1KY>

飛ぶしくみ 第2話「揚力と翼」

<https://www.youtube.com/watch?v=h3cCSmaZ92o>

飛ぶしくみ 第3話「翼の種類」

<https://www.youtube.com/watch?v=5LMuiI8tokM>

飛ぶしくみ 第4話「作って飛ばしてみよう！」～ハイブリッドフリープレーン～

<https://www.youtube.com/watch?v=Bs7fKaFEXZ0>

2. 揚力の発生のかみ

飛行機の主翼を卓球ラケットに見た場合、ピンポン玉は、質量をもつ空気の粒子である。速度をもった粒子が、迎角 α のラケットに衝突するとき衝突面では、空気抵抗による作用／反作用が発生し、迎角 α によりベクトル分解される。上下方向のベクトル成分を、揚力、進行方向の成分を誘導抗力となる。

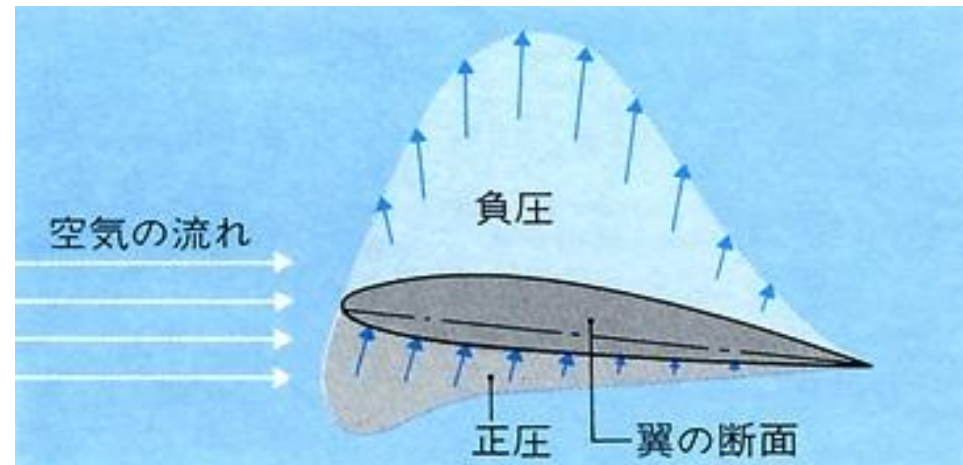
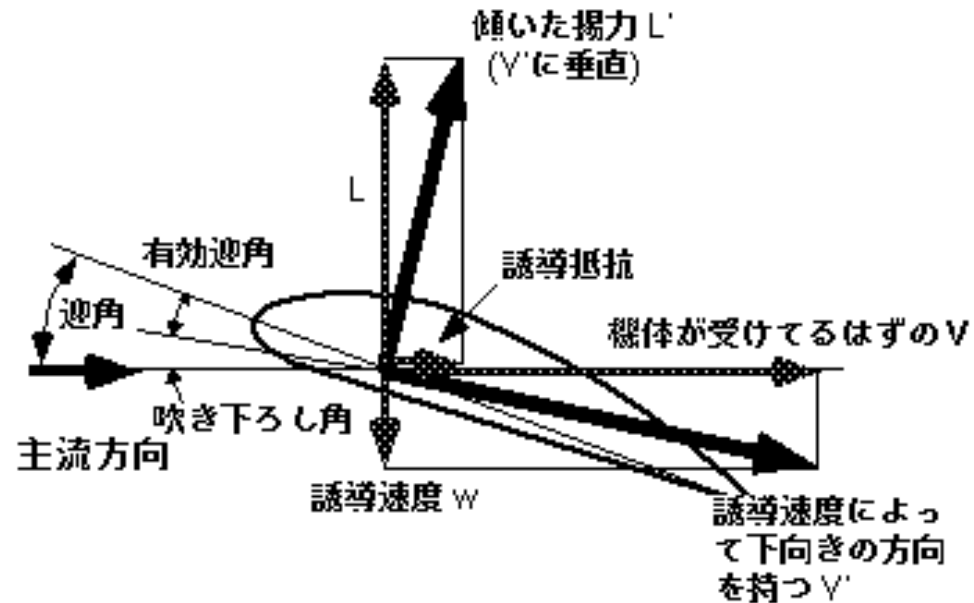
この揚力に加えて、主翼の翼断面形状が上面に膨らんだ紡錘形をしていることから、前方から風を受けると、主翼の下を流れる空気の速度より、主翼の上を流れる空気の速度の方が速くなる。(主翼回りの循環による速度加算)
これにより主翼の上が低気圧、主翼の下が高気圧の状態となり、主翼は上に浮き上がる力(揚力 ようりょく)を得る。

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho V^2 S$$

C_L : 揚力係数
 ρ : 流体の密度
 V : 物体と流体の相対速度
 S : 物体の代表面積
 L : 発生する揚力

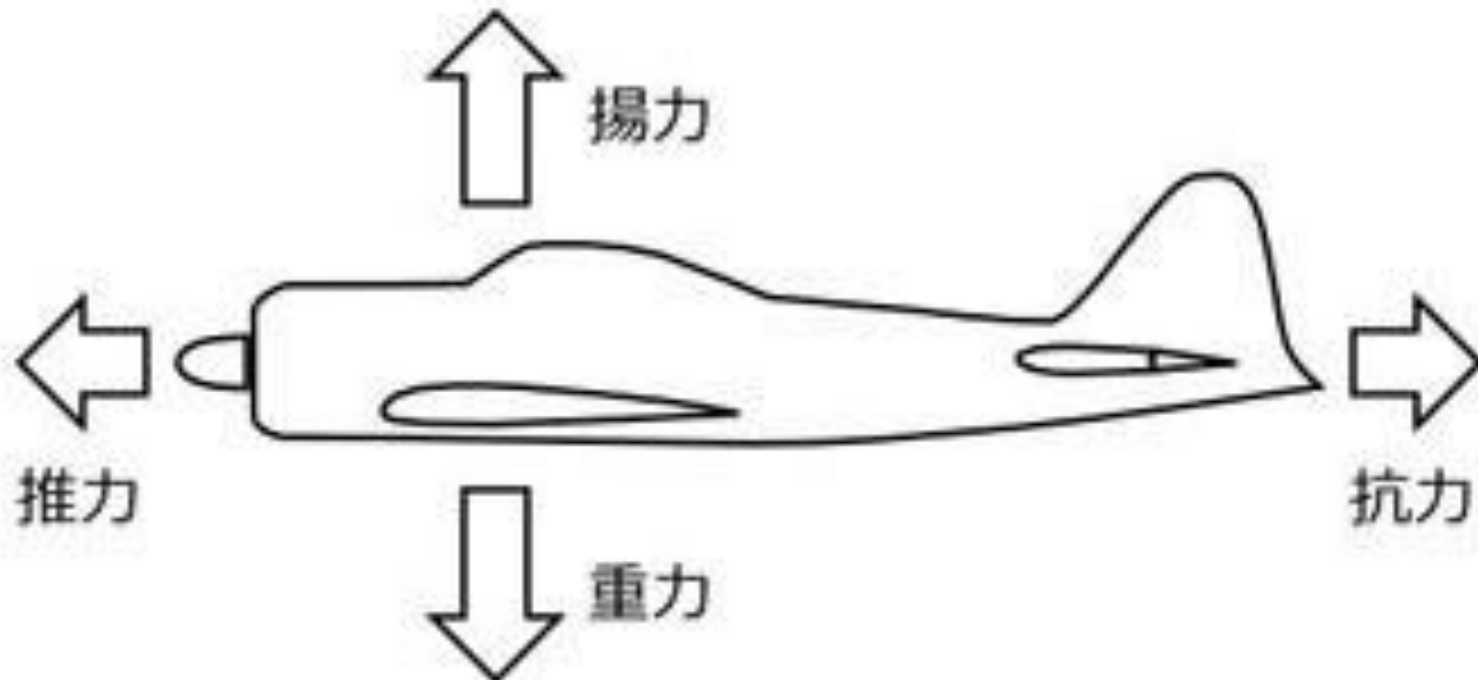
この式からわかるように、揚力は空気密度や翼面積、また速度の二乗に比例して大きくなるのがわかる。式中の揚力係数は、主翼の迎え角や翼型によって変化する。

速度ゼロでは揚力発生せず、一定の速度に達し揚力が機体重量以上になるときはじめて飛行機は浮く。迎角 α ゼロ(水平)は、機体重量に達する揚力は得られず、迎角 α をとって初めて上昇する。しかし α を大きくしすぎると、失速して揚力は失われてしまう。



3. 飛行機に加わる4つの力

飛行機に加わる4つの力推力、抗力、重力、揚力



4. 飛行機の基本構造

主翼: 機体重量を支える揚力の大半を発生する。

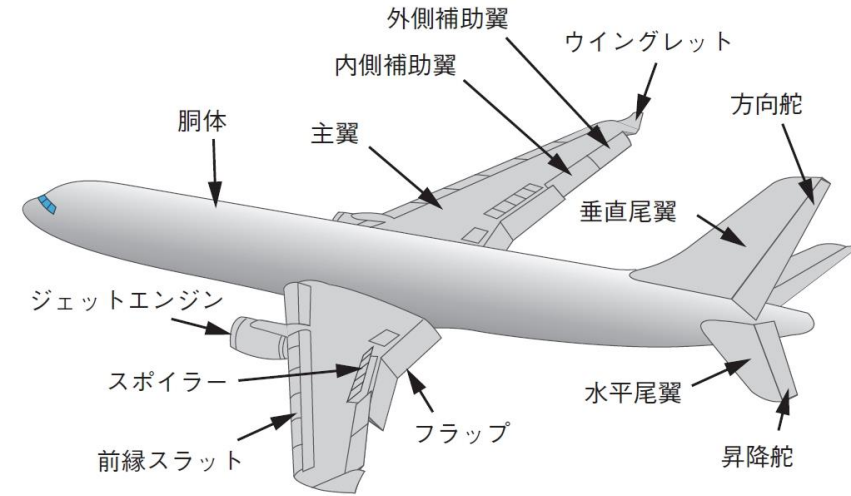
水平尾翼:
大きな主翼の他に後ろの方に小さな水平尾翼がある。

垂直尾翼:
後ろについている小さな翼の垂直な方。

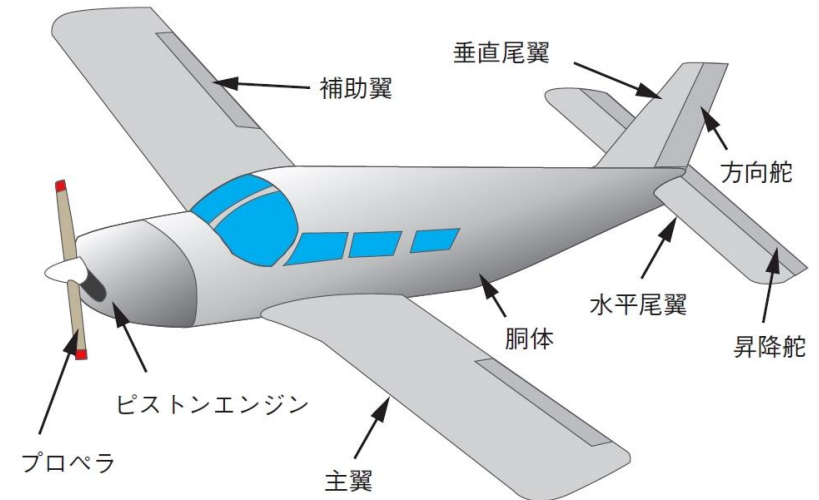
エレベーター(昇降舵):
水平尾翼の後縁の一部、あるいは水平尾翼の全部は、上下に傾く可動式になっている。
この可動部分をエレベーターと呼ぶ。

エルロン(補助翼):
左右の主翼後縁の一部は上下に傾く可動式になっている。
この部分をエルロンと呼ぶ。

ラダー(方向舵):
垂直尾翼の後縁は、一部が左右にひらひらする(尻が右や左にふりふりする)可動式になっており、この部分をとラダーと呼ぶ。

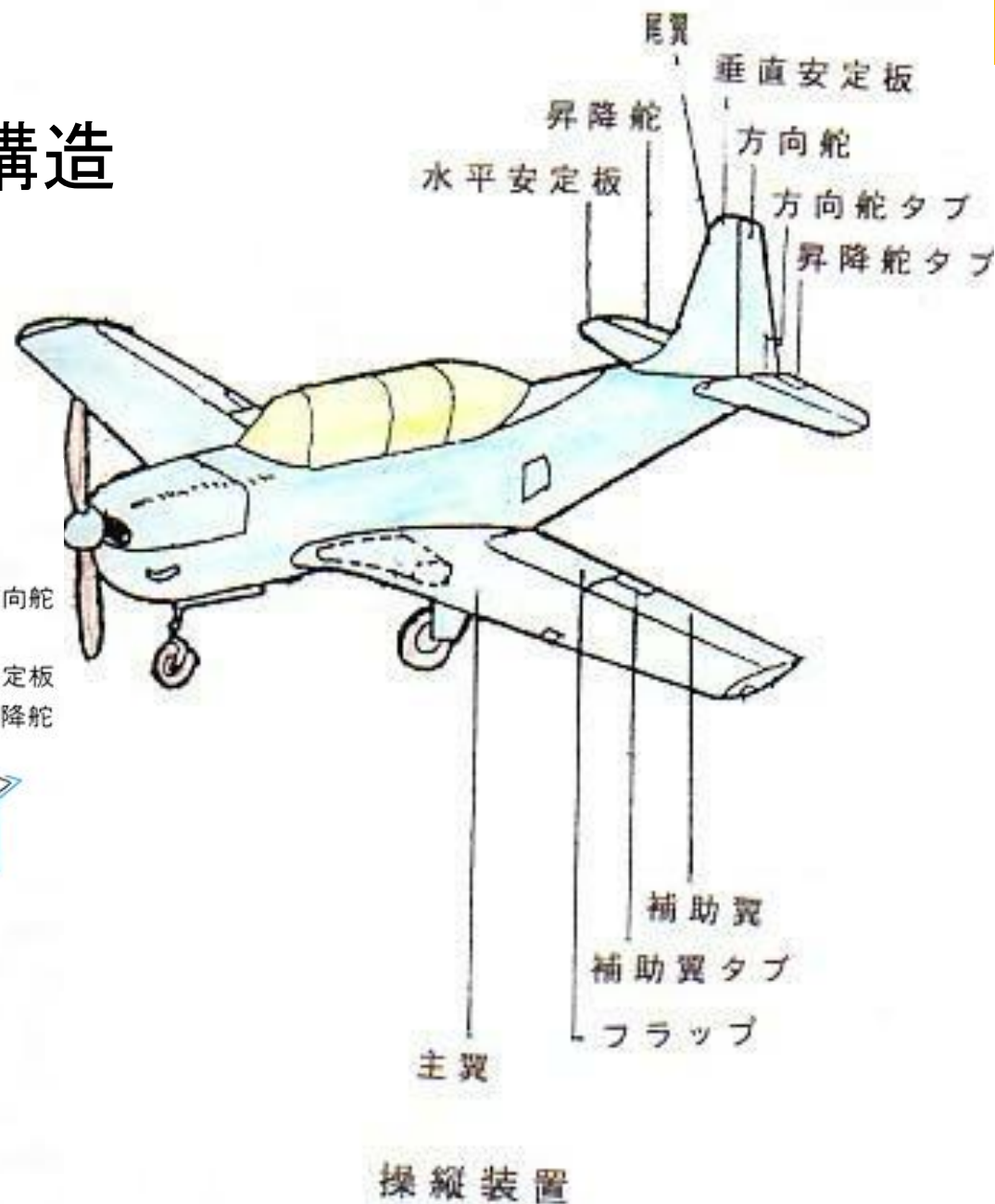
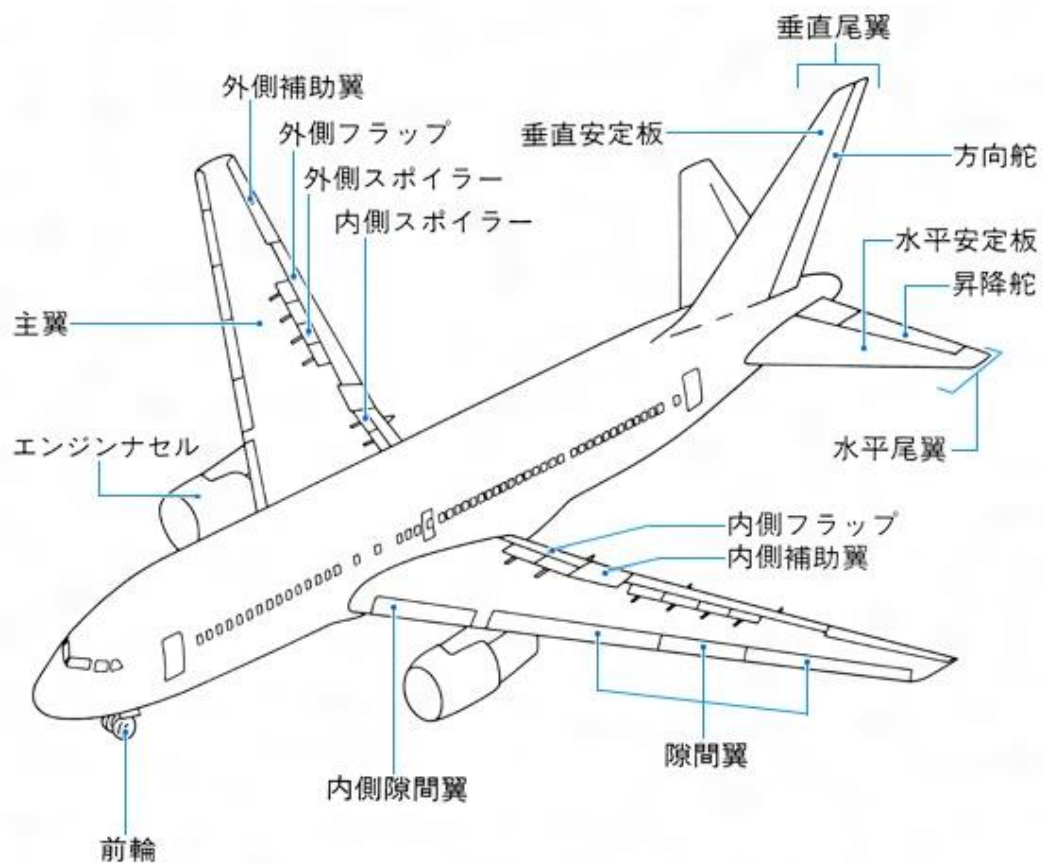


大型ジェット旅客機



小型プロペラ機

4. 飛行機の基本構造



5. 飛行機の姿勢(回転運動)

ピッチ、ロール、ヨー: 飛行機の運動に関する三つの軸を表す言葉

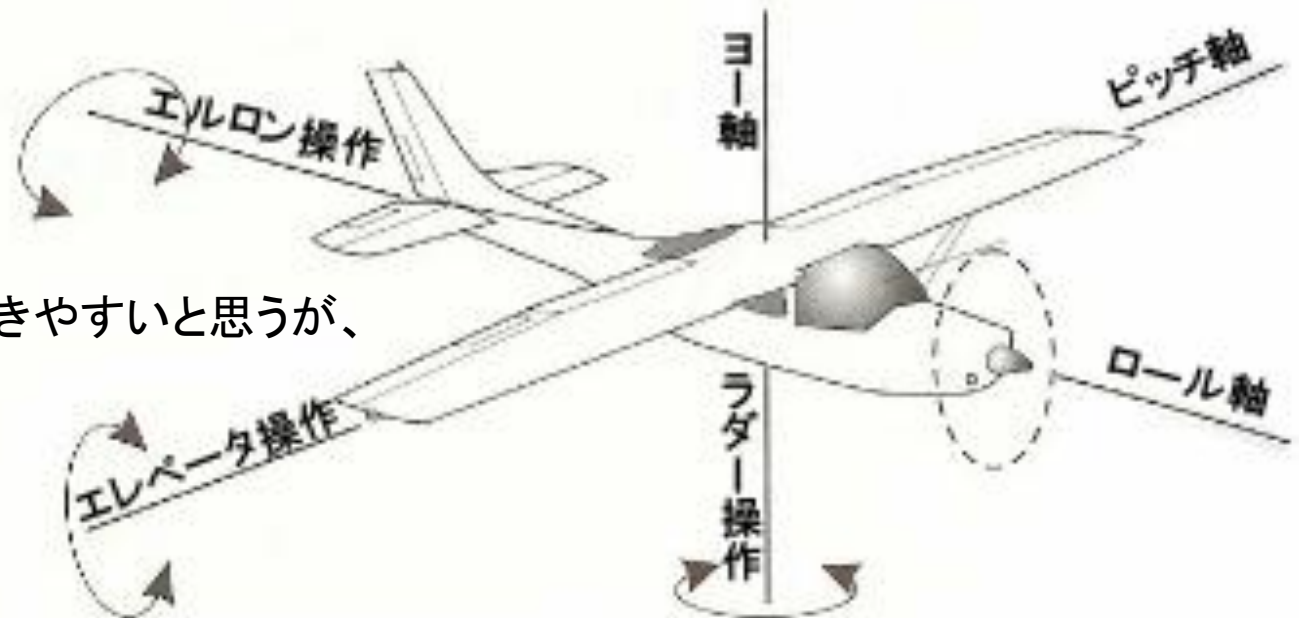
ピッチ: 前後方向の傾き

上昇するために上を向くことをピッチを上げるなどと言い、
降下するために下を向くことをピッチを下げると言う。

ロール: 左右横転方向の傾き

ヨー : 水平左右方向への傾き

ロールを「横転」と書くと区別が付きやすいと思うが、
ロールをヨーと混同しないこと。



6. 飛行機の姿勢安定と翼の関係

主翼の揚力の中心は機体の重心よりやや後ろに置かれていて、主翼だけでは機首が下がってしまうように（普通は）飛行機は作られている。そこで、水平尾翼を下向きの揚力を作るように設計して水平を保っている。水平尾翼によりピッチ安定性が得られる。

主翼と尾翼だけでは、「ピッチ安定性とロール安定性はあるが、ヨー安定性がない」

主翼、水平尾翼に続いて飛行機に必要なのは「垂直尾翼」である。

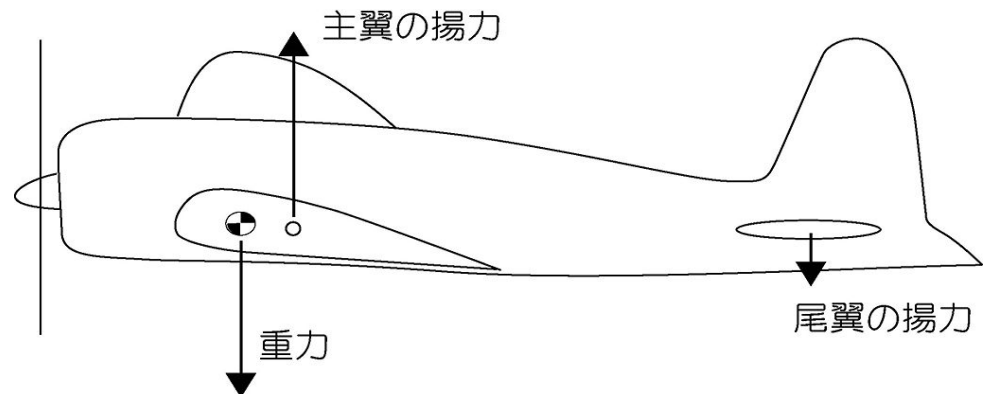
飛行機が飛行すると必然的に前から風を受ける。

垂直尾翼は、風が吹いている方を向いて安定する。

垂直尾翼によってヨー方向の安定性が得られる。

まとめ：飛行機の姿勢を安定させて飛ぶには次のもの／条件が必要である。

- ・主翼、水平尾翼、垂直尾翼
- ・十分な速度を出すこと





7. コクピット

速度計、高度計、姿勢儀を初めとしてPFD、MFDなど、無数の計器がある。

操縦桿、スロットルレバー、ラダーペダル

スロットルレバー: エンジン出力を調整するためのもの。
前後に倒すようになっていて、通常は、前に倒すと出力アップ、
後ろに倒すと出力ダウン。

操縦桿 : 前後左右に動いて水平尾翼の昇降舵、主翼の補助翼を上げ下げする。

ラダーペダル : 左右に押し出して垂直尾翼のラダー(方向舵)を左右に振る。
左右両足に対応して左右に一つずつあり、一方を踏み込むともう一方が
手前にせり出してくる構造になっている。

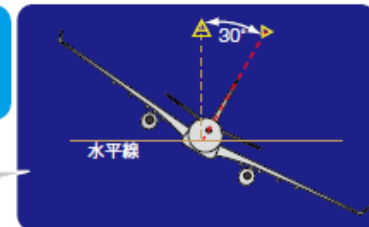
7. コックピット



バンク・ピッチ・ヘディング

旋回とは、飛行機が円を描きながら方向を変えることです。オートバイが曲がるときに傾くのと同様に、円を描くときに生じる遠心力に負けないように飛行機も傾く必要があります

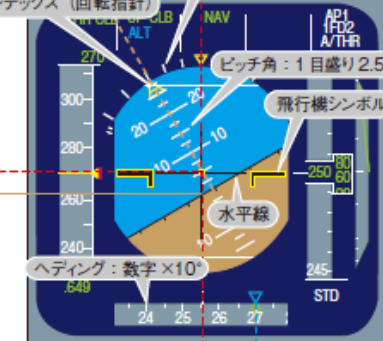
バンク：飛行機の左右の傾斜
この例では右にバンク角 30°



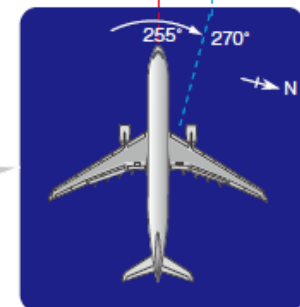
ロール・インデックス (回転指針) バンク角：1 目盛り 10°



ピッチ：機首の上下の傾斜
機首上げをピッチアップ、
機首下げをピッチダウン。
この例ではピッチアップ 5°



ヘディング：方位
一般的には磁方位を指しますが、地図上の方位「真方位」と区別する場合は、真方位を「True・ヘディング」磁方位を「Mag・ヘディング」。
この例ではヘディング 270°に向けて旋回中で 255°を通過



8. 飛行機のピッチ運動

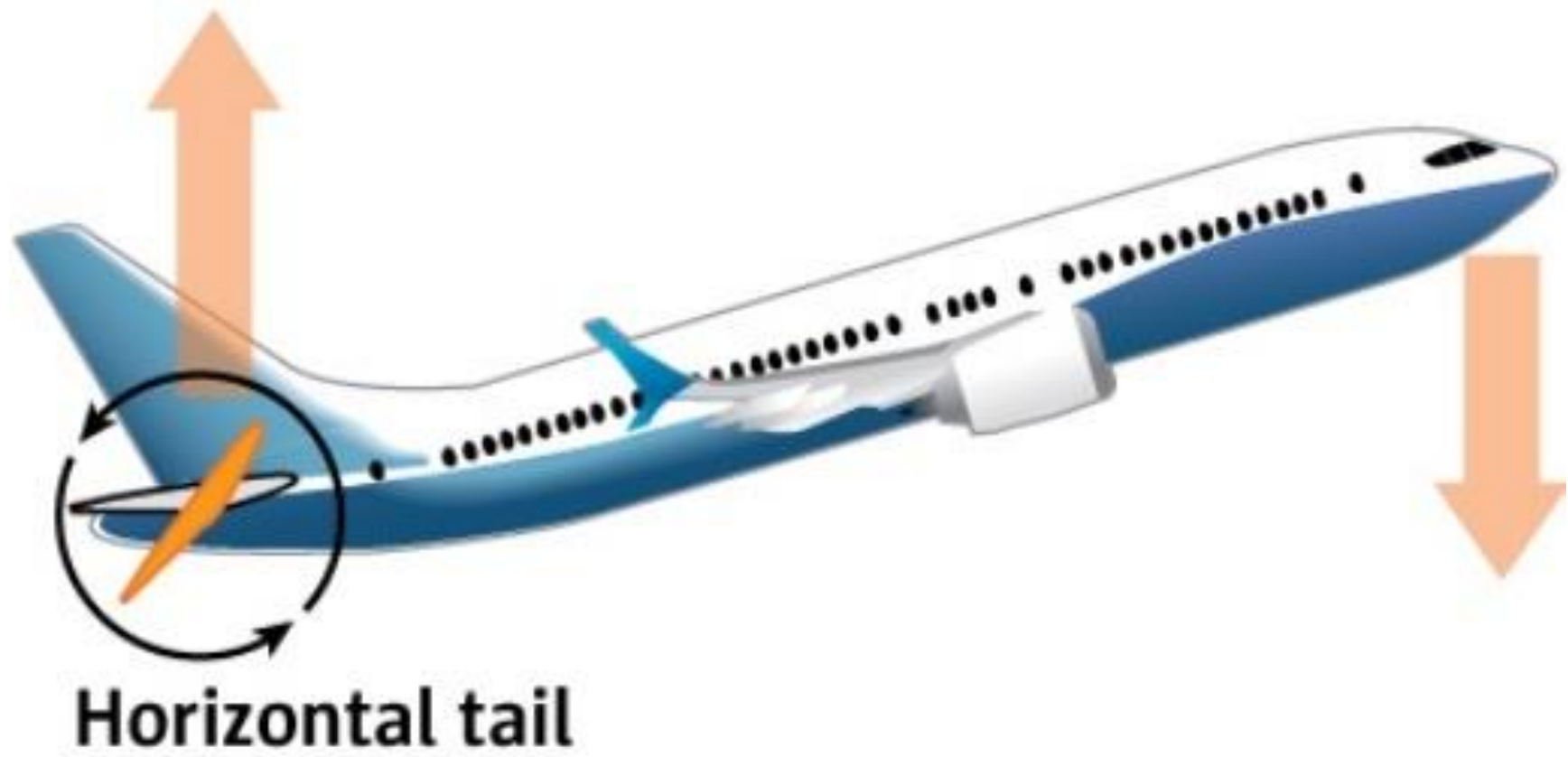
操縦桿を手前に引くと飛行機は機首を上げ、操縦桿を奥に倒すと飛行機は機首を下げる。
操縦桿を手前に引く→エレベーターが尻上がりになる→エレベーターは降下する
操縦桿を奥に倒す→エレベーターが尻下がりになる→エレベーターは上昇する

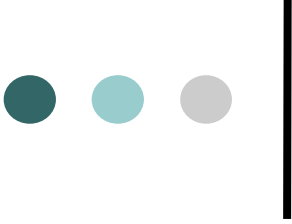
手前に引くと降下、奥に倒すと上昇、になっている。
混乱するかもしれないが、ちょっと注意が必要である。これは正しい。
降下したり上昇したりするのがエレベーターである、というのがミソ。
エレベーターは水平尾翼にある。先ほどの説明を補足するところなる。

操縦桿を手前に引く→エレベーターが尻上がりになる→飛行機の尾部が下がる
＝飛行機の機首が上がる
操縦桿を奥に倒す→エレベーターが尻下がりになる→飛行機の尾部が上がる
＝飛行機の機首が下がる

ここで、機体を上昇させるためには、スロットルで推力をアップしなければならない。

8. 飛行機のピッチ運動





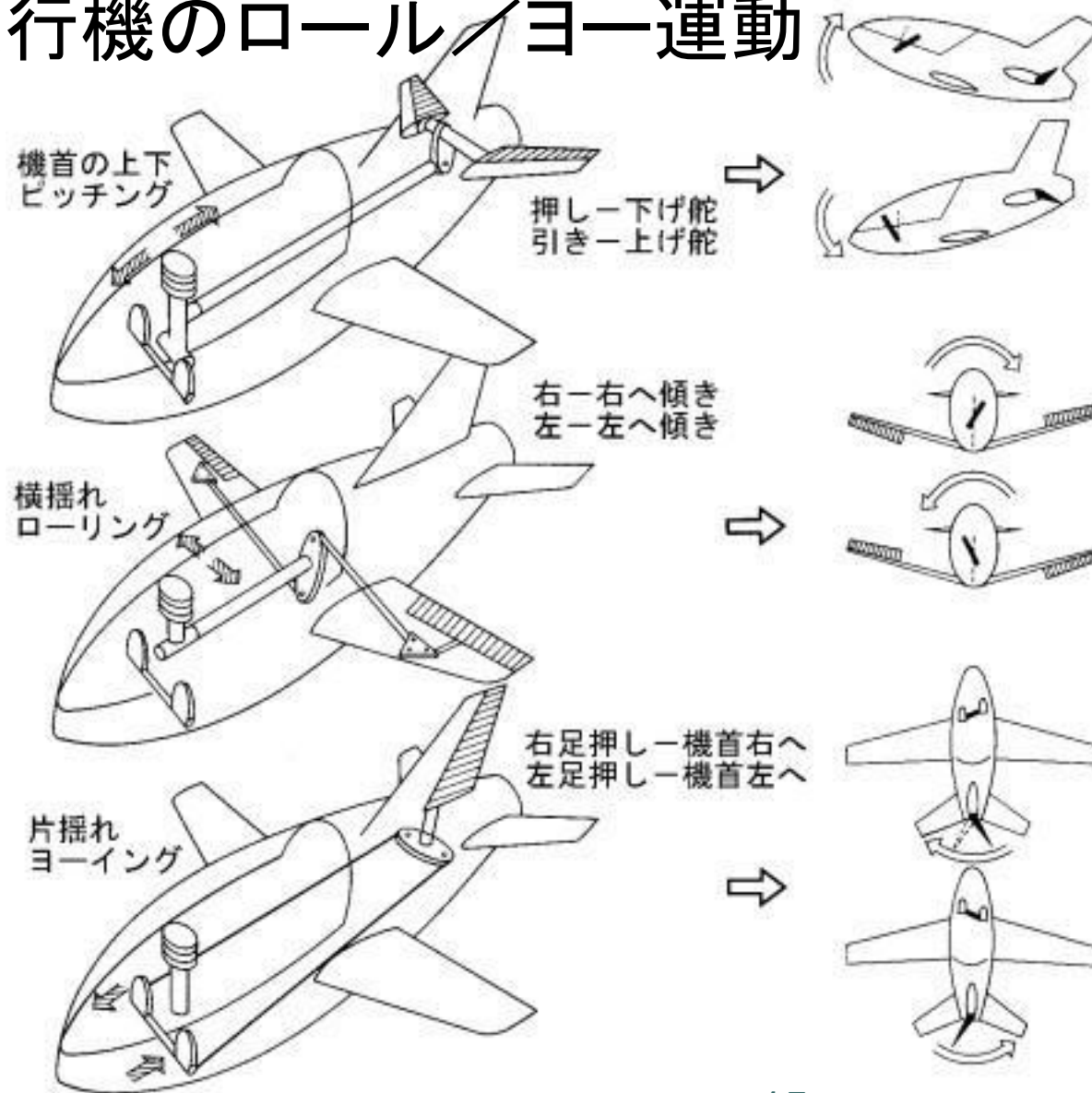
9. 飛行機のロール／ヨー運動

エルロン翼は尻下がりにになると揚力を得て、尻上がりにになると逆に揚力を失う

操縦桿を右に倒すと、主翼左が揚力を得て、主翼右が揚力を失うと機体は右にロール(横転)する。
操縦桿を左に倒すと、その逆に、機体は左にロールする。

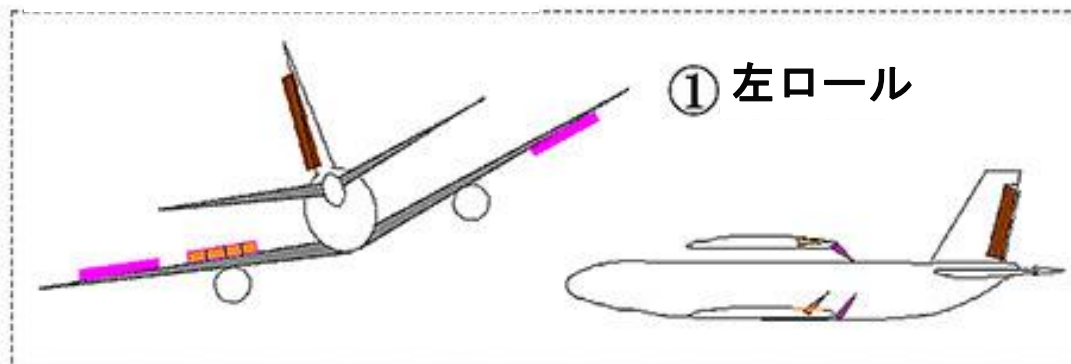
ラダーペダルを右に踏み込むと、ラダーの尻は右に振れる。
ラダーの尻が右に振れると、方向舵は右から左への力を受け 機首は右を向く(右ヨー)。
ラダーペダルを左に踏み込むと、ラダーの尻は左に振れる。
ラダーの尻が左に振れると、方向舵は左から右への力を受け機首は逆に左を向く(左ヨー)。

9. 飛行機のロール／ヨー運動

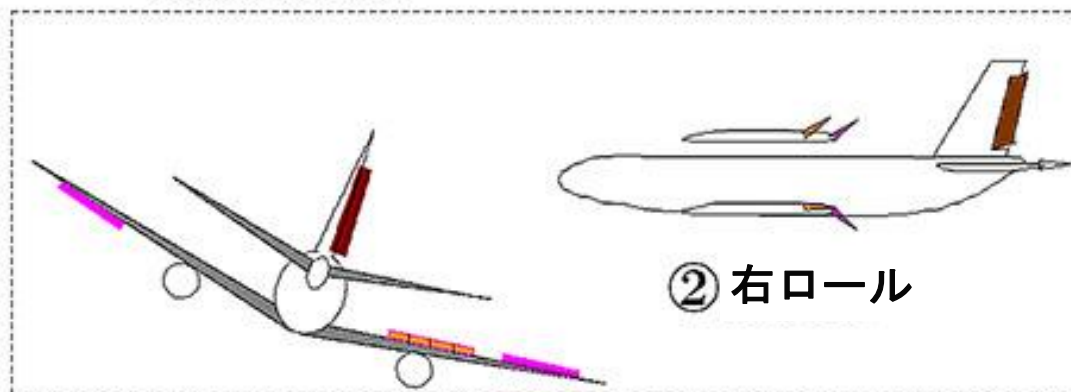


9. 飛行機のロール／ヨー運動

左右ロールのしくみ



(後方より見た図)



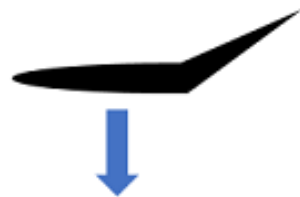
Response₁₁

9. 飛行機のロール／ヨー運動

エルロンの仕組み

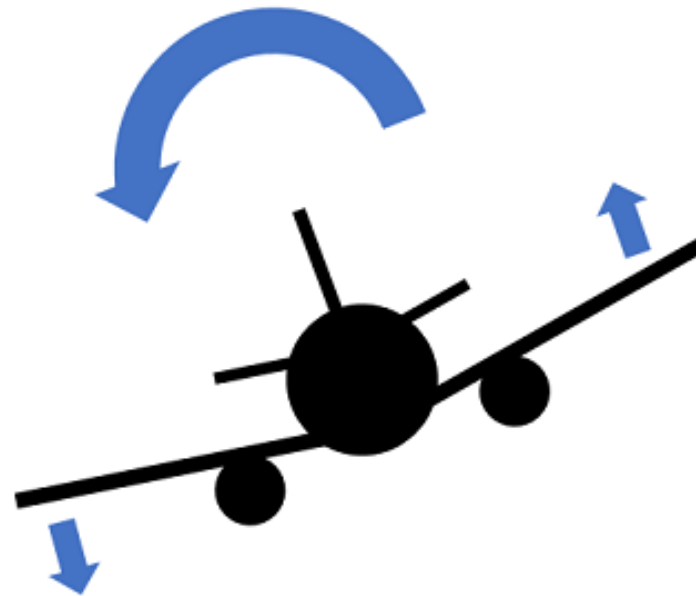


写真のエルロン
はこの状態



反対側はこう
なっている

後ろから見た図



翼の端っこだけ左右あべこべに曲げて
やれば揚力のアンバランスを作れるので
飛行機を傾けられる。(旋回の仕組み)



10. 飛行機の横滑り

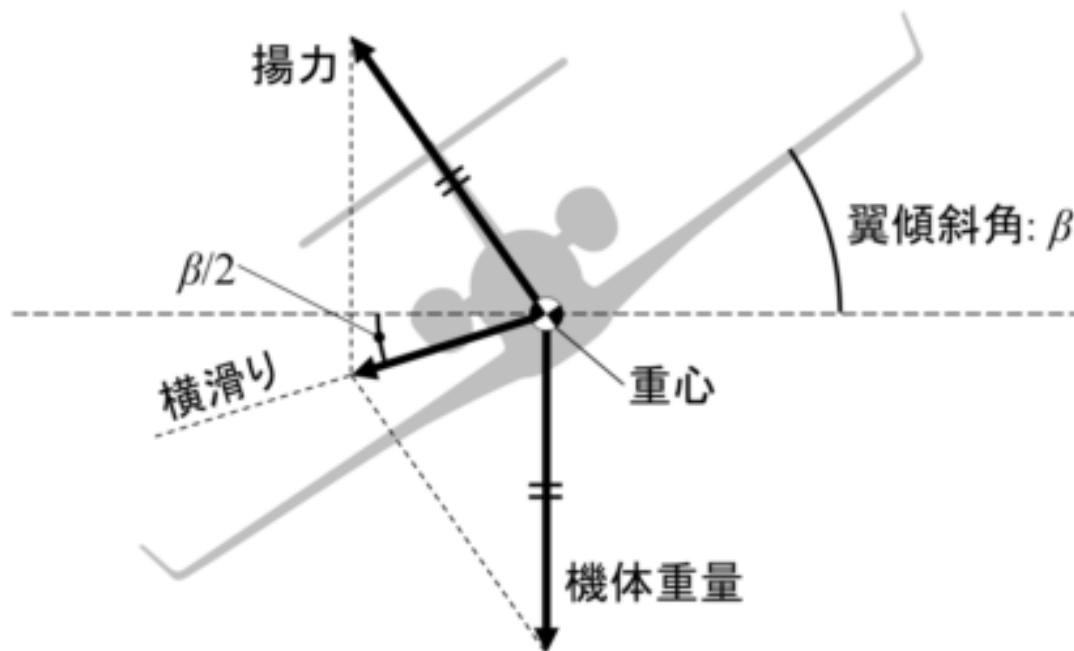
ここで「ふーん。じゃあ、右に旋回したい時は右ラダーを踏み込んで、左に旋回したい時は、左ラダーを踏み込めばいいんだね。簡単！」と、思われたかもしれないが、それは実は間違い。ラダーの動きは地上の自動車のハンドルの動きに近いから、ラダーを切れば左右に曲がれると考えるのは無理ない。しかし、ここは空中なのである。車輪は地面についていない。車輪が地面についていないと、何が違うのか。それは「横滑り」の発生である。

横滑りは、ラダーを踏み込んで機首の向きを変えても、飛行機の向きを効率よく変えることはできない。たとえば、0度の方向に飛行機が進んでいたとして、いまラダーを踏み込んで30度機首の向きを変えたとする。しかし飛行機には、まだ0度の方向に向かう力が残っている。なので、飛行機が実際に飛ぶコースは、斜めのコースとなる。これを「横滑り」と言う。しかし「横滑り」があるからといって、機首の向きを変えすぎると、飛行機は前から受ける風を失ってしまう。ラダーだけでは、効率よく曲がることができない、ということである。

室内ラジコン飛行機の仕様は、プロペラ出力のほか、ラダー制御の2chのみである。

したがって、効率よい旋回ができないことになるが、機体質量が軽く横滑りの影響を気にするほどではない。

10. 飛行機の横滑り



11. 飛行機の旋回方法

エレベーター、エルロン、ラダー、全てを使う必要がある。旋回の方法は以下の通り。(右旋回の場合)

右ロールした時点の力ベクトル1:

操縦桿を右に傾けて、十分右横転したところで操縦桿を戻す。すると主翼も右に傾く。この時、主翼から発生する揚力は、水平飛行している時は真っ直ぐ上なのに対し、やや右向きになる。すると、飛行機を浮かばせる力は減る。

このため、横転飛行中の飛行機は一般的に、少しずつ高度が下がる。また、揚力がやや右を向くので、これだけでも飛行機はゆっくり右に曲がり始める。

操縦桿を引いた時点の力ベクトル2:

高度低下を補うために、操縦桿を引いて、機首を上げる(この時、操縦桿を戻してしまうとすぐに高度は下がり始めるので、一定の力で引き続ける)。これにより機首が上がり上昇する。上手く力加減を調整してやると、上昇させる力と降下させる力が釣り合って、飛行機は高度を変えずに飛行できる。

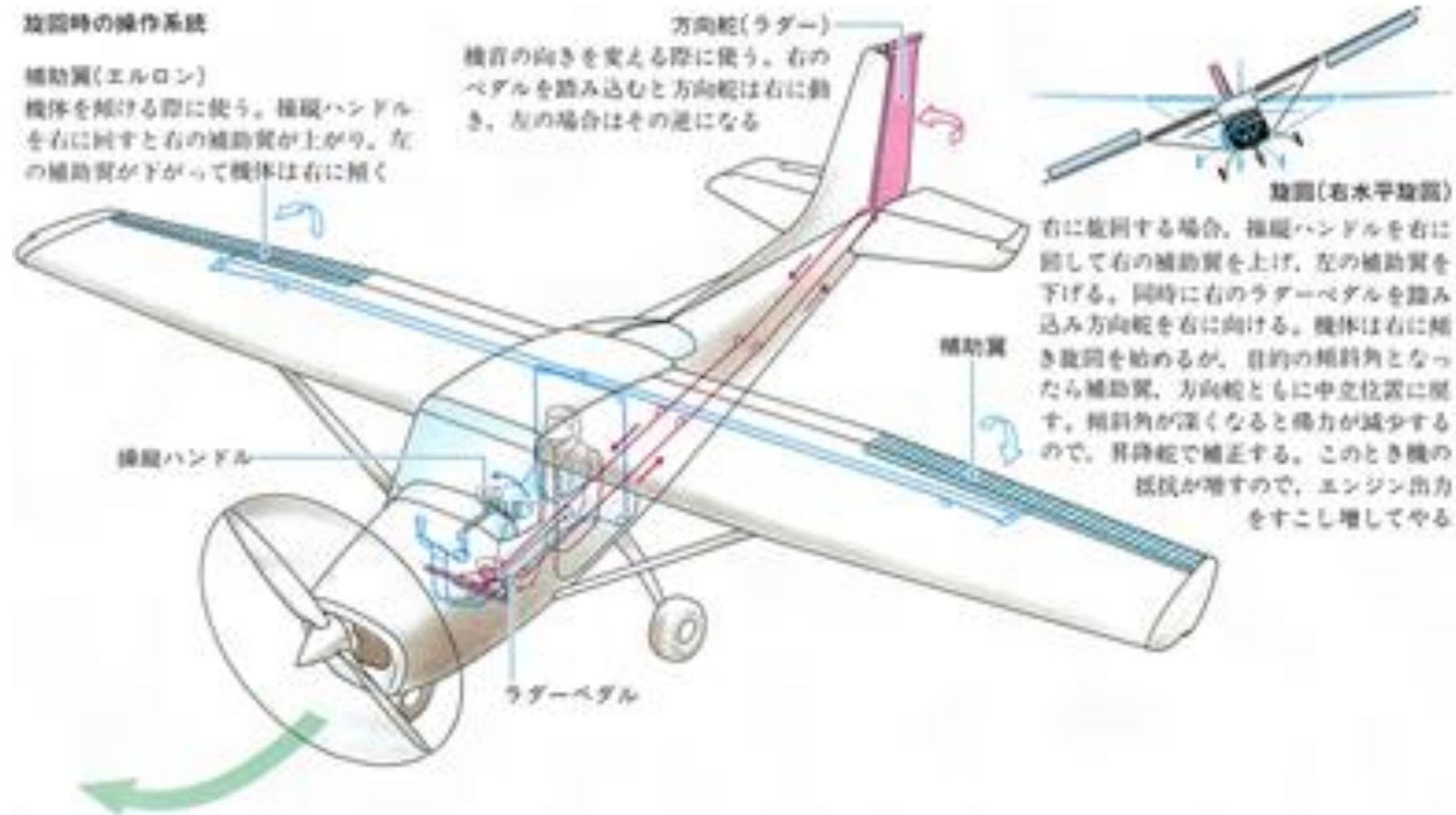
また、飛行機は既に右横転しているので、機首を上げることで右に曲がる力を生み出すこともできる。

アドバースヨーを打ち消す3:

このままでは、エルロンに対する空気抵抗の大きさが変わる関係で、機首が(この場合)左を向き、例の横滑り状態になってしまう。横滑りしながらの旋回は効率が悪く、また飛行機に乗っている人も不快な横向きの力を感じるので、

右方向にラダーを踏んで機首を右に振って調節する。

11. 飛行機の旋回方法





11. 飛行機の旋回方法

実際の操縦では、少しでも右ロールした瞬間から高度の低下などは始まる。なので、旋回の最初では操縦桿を右下に引きつつラダーペダルを少しずつ右に踏み込んでいき、ロールを終えた時点で操縦桿を引く向きを真下にしてラダーペダルを一定の力で踏み、旋回が終わるまでそれを続ける、という手順になる。

非常に操縦に熟練した人は、計器板の上に立てて置いたタバコの箱を倒れないようにしながら旋回できる。水平線は大きく傾いているのにタバコの箱は微動だにしないというすごい映像であった。これは、旋回中に飛行機にかかる縦横の遠心力を完璧に制御し、飛行機の中の重力加速度の方向を常に床方向に保つことによって可能になる。目を閉じていれば、機内の人には飛行機が傾いていることに気づかないだろう。すごい技術であった。



12. 滑走路について

飛行機が飛ぶには一定の速度が必要である。

地上で停止している状態から飛行に必要な速度に達するまで、地上を走って加速しなければならない。飛行機が離陸するには、地上を走って加速するために、地上に長い直線のスペースが必要である。機種にもよるが、現代の飛行機なら長い場合で三キロほど必要になる。

また、これも機種によるが、この直線のスペースは舗装されている必要がある。

この直線道路のことを「滑走路」(英語では「ランウェイ」)と呼ぶ。

飛行機はみんなこの滑走路を利用して加速し、大空へと飛び立つわけである。

また、滑走路は離陸だけでなく、着陸にも必要である。

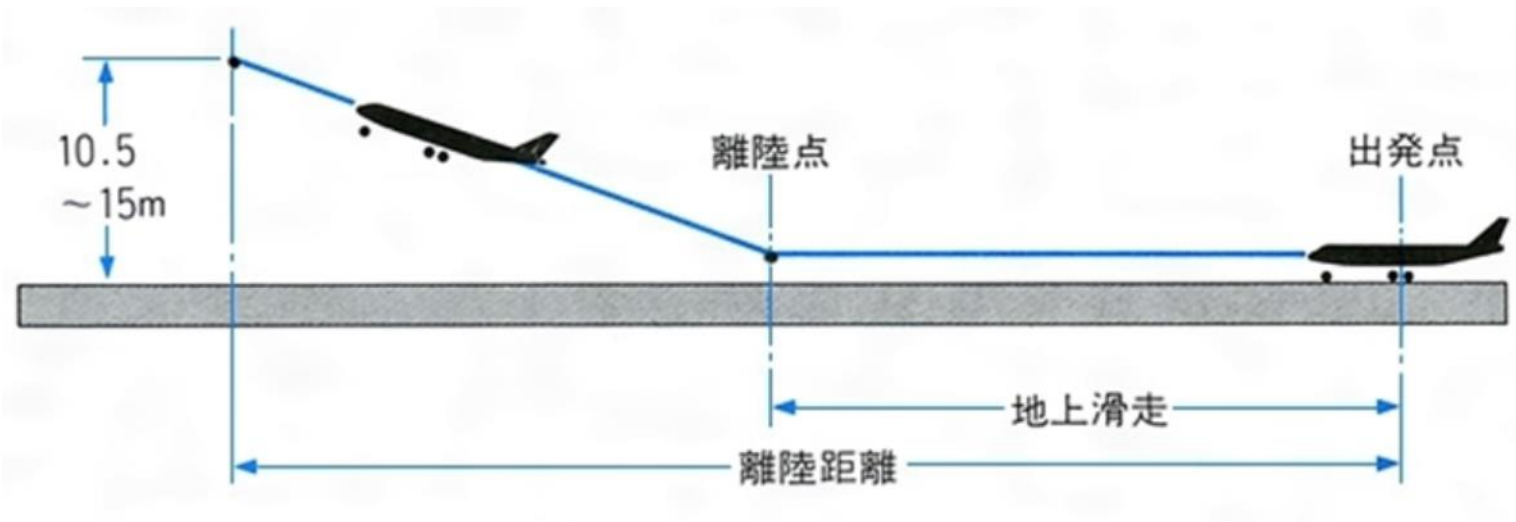
飛行機は一定の速度を下回ると墜落してしまうので、飛行にぎりぎりの速度まで減速してから地面に車輪を降ろし(接地し)、その後で減速しなければならない。

ここでも、減速用のスペースとして滑走路が必要となる。

13. 飛行機の離陸

滑走路を利用して一定の速度まで加速した後、上昇すればいい。

プロペラ式の小型機などは機体の尾部に取り付けた車輪が地面に接地している機種がある。この場合は十分に加速するか操縦桿を前に倒すことによって先に尾部を上げなければならない。単発のプロペラ機の場合はプロペラが回る反動で機体が左右にぶれることがあるので、ラダーペダルで調整しなければならない。



13. 飛行機の離陸

離陸時の操作系統

飛行機の操縦は、その機体の大小にかかわらず、三次元の方角性をもつ飛行運動の制御を三つの操縦面をコントロールすることによって行うものである。

ここでは、単発軽飛行機の代表的機種の一つを例にとって、飛行機の操縦法を解説した。実際には風の影響などによって、より複雑な操作が必要だが、図は無風状態を想定し、基本的な操作のみを解説したものである。

離陸

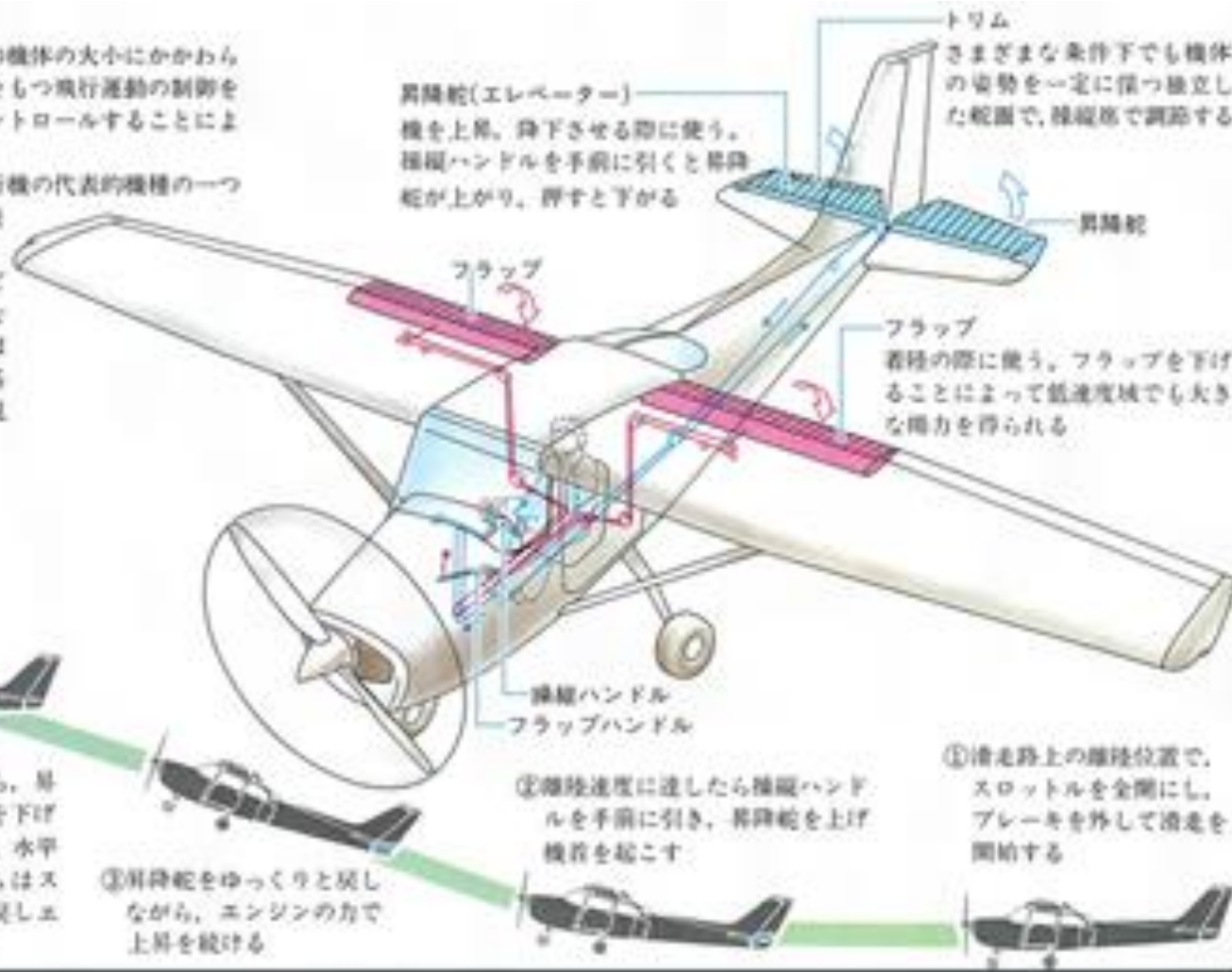


①飛行高度に達したら、昇降舵を使って機首を下げ機体を水平にする。水平飛行に移ってからはスロットルをすこし戻しエンジン出力を絞る

②昇降舵をゆっくりと戻しながら、エンジンの力で上昇を続ける

③離陸速度に達したら操縦ハンドルを手前に引き、昇降舵を上げ機首を起す

④滑走路上の離陸位置で、スロットルを全開にし、ブレーキを外して滑走を開始する



14. 飛行機の着陸

「機体の尾部に取り付けた車輪が地面に接地している機種」の場合、着陸時の操縦は難しいが、外から見ると理解は簡単である。

ゆっくりと降下しつつ減速して、最終的には減速による自然な揚力減によって接地する。ただし、この時に全ての車輪が同時に接地しなければならない。

(海軍のゼロ戦が空母に着艦するとき着艦フックをワイヤーに引っ掛ける技術で 三点接地という。陸軍の隼では、主脚接地後に尾輪接地した。)

機体の構造上、パイロットはかなり上を向くことになるのでかなり難しい。

また、降下速度が速すぎて機体を壊すことがないように注意しなければならない。

地面がほとんど見えない中でタイミングを合わせて減速・降下しなければならないので、操縦は難しい。



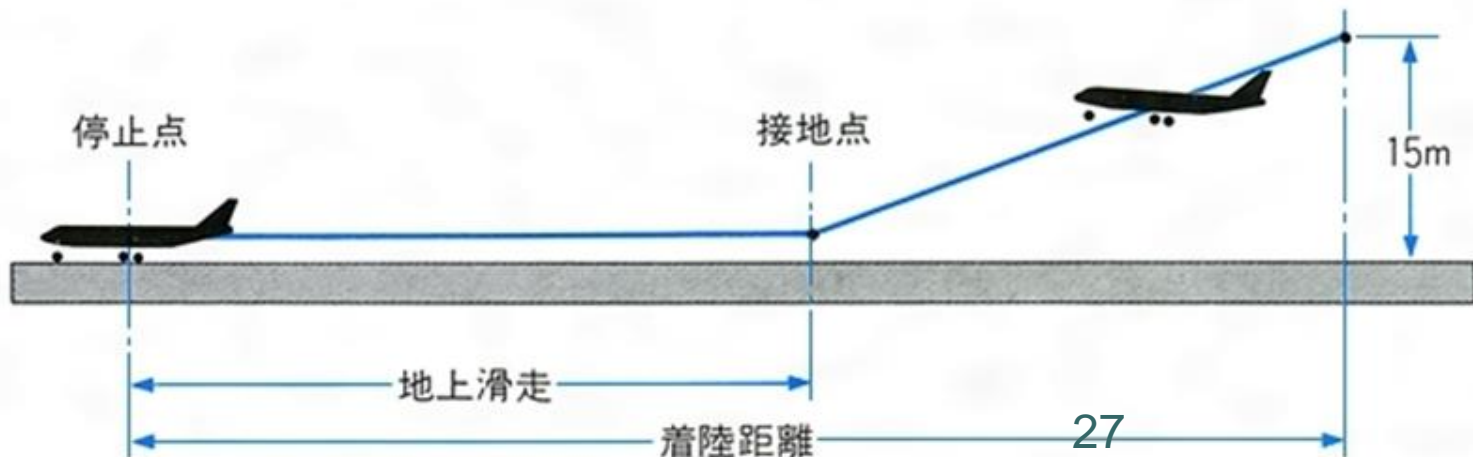
14. 飛行機の着陸

近年のジェット戦闘機などで主流な、機首に一つ、胴体後部に二つ(またはそれ以上)の車輪がある機種の場合、操縦は簡単になる。

機首をやや上に向けながらゆっくりと降下しながら滑走路に進入する。
降下が一定なら速度も一定でOK。

機首を上げたままで、先に後部の車輪を接地させ、その後で機首の車輪を接地させる。
基本的に一定のペースで降下してくればいい。

ここで記述したのは離着陸の操縦技術についてのみである。
実際には離着陸時には、たとえば管制塔との頻繁な無線交信などが必要である。



14. 飛行機の着陸





15. 飛行機の安全設計要素

飛行機の設計は、機体の目的用途に応じた要求スペックを満たすための実現可能なデザインを確定するものである。特に民間旅客機では、一度に多くの人命(500人以上)を危機にさらす可能性のあるシステムなので、人命優先の安全性設計が求められる。以下に実機の安全設計に求められるとなる要素を示す。

- ・ 冗長設計
3重系、4重系システム、(CPU、ネットワーク、センサー、油圧、電源など)
- ・ ロバスト設計(耐故障性向上)
一部故障時、生き残ったシステムで再構成し運用可能にする設計
- ・ 異常故障対応機能
機体の状態、運用の状況、環境の状態から、問題となる基準を判断し状況に応じた対策を行う機能を設計
- ・ シングルポイントエラー対策(油圧配管、電気装備艙装、リチウムバッテリー配置など)
一箇所のトラブルでシステム全体が危機に陥らない設計。1フェイルオペラティブ、2フェイルセーフの考え方
- ・ Nバージョン設計、IV&V検証評価
誤った設計の排除、信頼性向上設計
- ・ 最新の制御(PID制御から H_∞ 制御、ロバスト制御、その次の世代制御方式へ)
- ・ 飛行制御で不安定な機体を安定に飛行させる制御(CCV高運動機)
- ・ パイロットのいない自律飛行制御システム(無人化、UAV)

16. 室内ラジコン機との比較(要求スペック)

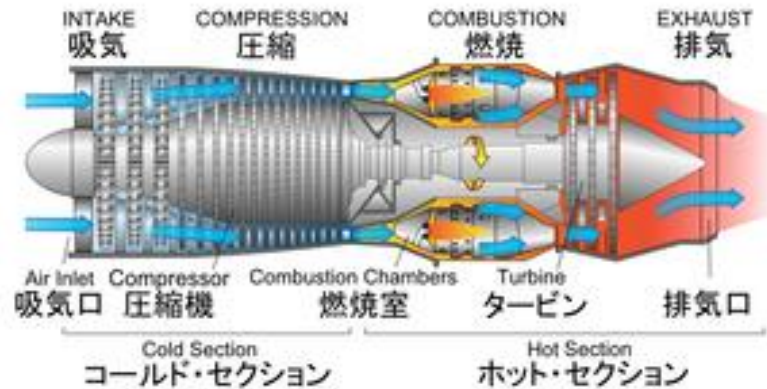
項目	実機開発	室内ラジコン機開発
安全性	99.999%信頼性	子供に怪我させない工夫がされていること
滞空時間	24h以上	3min以上
最低滑空速度	120km/h	6km/h
最大速度	Mach0.8	15km/h
離陸距離	3000m	2m
着陸距離	1500m	2m
飛行可能空域	高度100000m以下	体育館(会議室内での8の字旋回)
主翼長	50m	50cm
全長	30m	40cm
全高	10m	10cm
最大重量	300ton	30g
推進方式	ジェットエンジン	コアレスモータ
燃料	石油系	電気
構造材料	ジュラルミン、CFRP	スチレンシート、ストロー
飛行制御方式	4ch制御、推力、RPY	2ch制御、推力、Y(ラダー)
操縦方式	計器、フライバイワイヤー	目視、遠隔操作
製造コスト	数億円	2500円以下

17. 室内ラジコン機との比較（開発メーカーの部門）

項目	実機開発	室内ラジコン機開発
業務部門	受注開発契約	ボランティア／利用者に対するCSR活動
調達部門	国内／海外資材調達	通販、店頭購入（入手可能資材の検索、最小購入価格検索）
構造設計部門	機体設計	重心配置、主翼設計、尾翼設計、胴体設計、1mmスチレンシート、ストローフレーム、ブッシャー方式
装備設計部門	ファンジェット、ターボプロップ、油圧、配線、配管、降着装置、シングル、双発、多発	コアレスモータ、シングルプロペラ、コイルアクチュエータ、ラダー制御 or 2モータ制御
航空機技術部門	航法誘導制御システム、搭載計算機／ソフトウェア、GPS/ILS/ビーコン/IMU	ラジコン・システム/ラジコン通信プロトコルソフトウェア
電子システム技術部門	電子装備品設計	2. 4GHz、2ch、3. 7Vリチウムポリマー1セル蓄電池
部品製造部門	外板、ストリング、多頭NCマシン	スチレンシートカッティング、コイル製作、3Dプリンタなど
組立製造部門	溶接、リベット	電子部品の艦装、セロテープ、接着材での組立
品質保証部門	部品検査、組立検査	動作確認、重量バランス確認、ぐらつき、がたつき、強度剛性確認、突起物安全確認
	ロールアウト	出来上がり
飛行試験部門	テストパイロット	試験飛行、体育館、ホール、ラジコン操縦者
製品サービス部門	客先運用支援 故障修理	こどもラジコン飛行機教室@博物館など 製作指導、操縦指導、航空知識指導 破損時の補修、うまく飛ばないときの現象分析、改善対策

18. ジェットエンジン

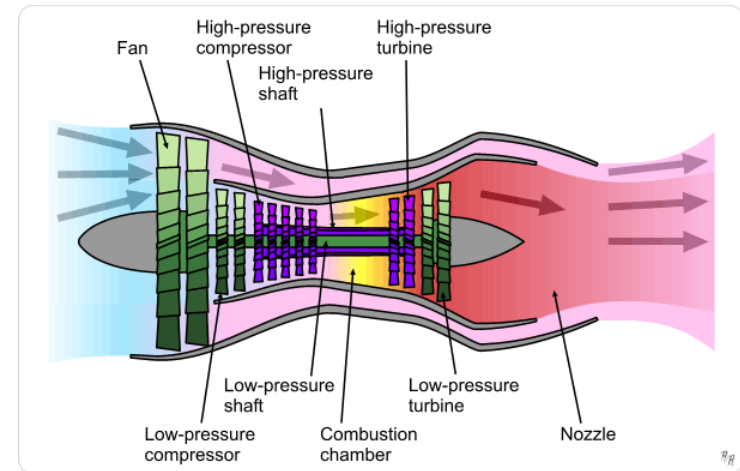
ジェット・エンジンの動作原理



ターボジェットエンジン

ターボジェットエンジンは、吸入空気をコンプレッサーで圧縮し、燃焼室に導き燃料と混合して点火、その爆発によって生じた排気流をそのまま推進力として用い、その推進力の一部をコンプレッサーの駆動へと還元する。最も基本的なジェットエンジンの形式である。

コアエンジン部を迂回したエアフローが設定されている。このエアフローにより、ジェットエンジン **推力** の増大および効率化が行われるのがターボファンエンジンである。



ターボファンエンジン

FOD (foreign object debris) とは、航空機もしくはその関連システムに損傷を及ぼす可能性のある物品または物質である。

ジェットエンジンは、ほんの小さな異物を吸い込んだだけでも、大きな損傷を生じる可能性がある。

旅行で旅客機に搭乗しようとした信心深いおばあちゃんが、旅の安全を祈って、ジェットエンジンに向かってコインを投げ入れ、機材交換になった事件もあった。

そのため、滑走路や格納庫、エプロンに、FODはあってはならない。そのため、作業者は、ペンやズボンのボタンなどが、落ちないように厳しく教育されている。定期的にエプロンの一斉FOD探しなども実施される。



18. ジェットエンジン

燃焼室とその後ろのタービン部分は、燃料を燃やして発生させた燃焼ガスが通る部分「ホット・セクション」のタービン部に入る直前の燃焼ガスが何度ぐらいになっているかが、ジェット・エンジンの性能を測る指標1つタービン入口温度である。約1000～1500度
タービン部を構成する部品は、その高温に耐えられないといけない。

ブレードの冷却方法

ブレードの中に空気が通る流路を作る。付け根の部分からブレード内部に冷却用の空気を送り込んで、それがブレードを冷やす仕組みである。タービン・ブレードはムクの金属ではなくて、内部に空洞がある。

冷却に使用する空気は、圧縮機からくすねてきた高圧の空気である。圧縮した分だけ温度が上がっているが、それでもタービン部の燃焼ガスに比べれば温度は低いから冷却に使える。圧力が高いということはそれだけ密度が高いということだから、冷却の効率が良い。

タービン・ブレードの内部を通して冷却する際に熱せられた空気は、再びブレードの付け根から外に出て行くこともあれば、ブレードの表面に開けられた小穴から外に出ることもある。後者の場合、その空気がブレードの表面を流れることで、外から冷やす効果と、燃焼ガスの熱から保護する効果を期待できる。



19. 旅客機の構造

(1) 強度部材

旅客機は一般的に約20年間、3-6万回ほどの飛行が経済的で安全な範囲で行えるように作られており、これを実現するためには余裕をみて6-12万回の飛行に耐える強度が求められる。

基本的に強度部材は軽量の[アルミニウム合金](#)で作られているが、21世紀現在では金属に比べて軽量で強度も高い[炭素繊維強化プラスチック](#) (CFRP) が、主な胴体や主翼の構造を除けば採用が始まっており、[1982年](#)に動翼から採用が順次始まり、[1985年](#)には[垂直尾翼](#)、[2006年](#)には尾部胴体部分まで採用が広がっている。リージョナルジェット機では主翼の端側に使われるものがある。旅客機の強度部材で最も考慮されるのは軽量であっても十分な強度を備えることであり、過去の教訓から強度部材の一部がたとえ破壊され強度を失っても、その破壊が進行することで大きな破壊につながらないように、[フェイルセーフ](#)構造を備えた設計がなされることである。GFRP、BFRP、CFRP、AFRPといった繊維強化樹脂も部分的な導入が進んでいる。

(2) 胴体構造

胴体にはセミモノコック構造 (Semi-monocoque structure、半はりがら構造) を採用している。セミモノコック構造ではスキン (Skin、外板) とフレーム (Frame、円きょう、助材)、ストリンガー (Stringer、縦通材)^[6] で構成され、スキンを15-25cm程の間隔で内側から支えるストリンガーと、その内側からさらに50-55cmほどのほぼ等間隔で支えるフレームが、開口部を除く円筒状の胴体全体に走っている。フレームとスキン、そしてストリンガーの間は、シェアタイ (Shear Tie) とストラップ (Strap、帯板) で結合する方法が主流である。翼なども同様であるが、各構造部材同士の結合はリベットと接着剤の併用によって行われることが多い。



19. 旅客機の構造

(3) 翼構造(主翼)

旅客輸送での経済性や利便性を考慮して設計された大型旅客機(ほとんどの機種)

- ・ 低翼で5-7度程の少し上反角のついた強い後退翼であり厚みのある先細翼
- ・ 胴体との結合部には翼面の不連続性に起因する渦の発生を抑えるために、フィレット (Fillet) と呼ばれる板状の整流板が備わり、結合部の形状を滑らかにつないでいる。
- ・ 高高度での亜音速飛行で良好な空力特性を得ながら同時に地上での離着陸時には十分な余裕を持って低速でも安定した揚力を得るために、多様な小型の翼が内蔵されている。
- ・ 翼の前後にはフラップやスラットといった高揚力装置や、操縦舵面としてのエルロンや、揚力削減と操舵の補助としてスポイラーが備わっている。機体の外板はアルミニウム合金で作られることが多く、主翼は特に上下方向への変形量が大きく設計されていて、上側の外板は縮みやすく下側の外板は伸びやすいようにできている。
- ・ 主翼を胴体部分と接合する構造は一般的な旅客機で共通する最も特徴的な部分であり、「中央翼」とも呼ばれる左右の翼の構造がそのまま中央まで伸びてつながり、大きな箱状の強度部材を構成している。
- ・ 主翼付近の外板は胴体部が主翼から受ける曲げモーメントや剪断力を引き受けるために厚みが増されている。
- ・ 中央翼部分は貨物の出し入れに不便なために燃料タンクなどに当てられており、高翼配置にされて円筒形の胴体全体が貨物室に使用される多くの軍用輸送機(C-130など)と大きく異なる点である。

19. 旅客機の構造

- 大型旅客機の主翼内には、前桁、後桁という2本や、多いものでは中央桁が加わり3本もの太い板状の構造部材が翼端から根元まで伸び、直角にリブ(小骨)がほぼ前後方向に走って翼の上下の外板を支えている。
 - 2-3本の桁材と平行に外板の裏面を支える細いストリンガー(縦通材)が多数走るマルチストリンガー構造になっているが、21世紀現在では新造されるほとんどの大型旅客機の翼の外板とストリンガーは厚みのある板からNC加工や化学的溶解によって削り出して一体で形成することで接合部を排除し、機械的強度を高めている。
 - 翼内を燃料タンクとして使用する部分では製造時と運用中の検査時に翼内よりシール作業やその点検作業が必要なため、人が通過できる開口部として円形のマンホールを上下面に設けている。
 - 主翼の先端後部に燃料投棄口が備わることが多い。
 - 多くの大型旅客機では、ウイングマウント形式と呼ばれる、主翼下面前方にパイロンによってエンジンを吊るす方式が採用されている。エンジンを主翼のやや前方に取り付けられれば、揚力のすぐ近くで支えられるため空中では有利であり、重心が前方になって直進性に寄与し、互いに離して取り付けることで火災時の安全性や地上での整備性も良くなる。
 - 騒音源であるエンジンは後方に取り付けるリアマウント形式のほうが客席を静かにできる一方で、重心が後方に寄ってしまい、また主翼との距離が離れると胴体の曲げ荷重が増して構造部材が太く重くなり、水平尾翼の位置もエンジン後流を避ける必要があるために都合が悪くなる。
- 小さな機体では、客室のすぐ横にエンジンが位置する弊害の方が無視できないため、客席数が100席以下の中小型旅客機やビジネスジェットの多くがリアマウント形式を採用している。
- エンジンが後方に取り付けられれば主翼の構造が単純になり、翼の全面に必要なだけ補助的な舵面を配置できる。



19. 旅客機の構造

(4) 水平尾翼

水平安定板とも呼ばれる水平尾翼は、乗客や貨物の搭乗/搭載位置によって変わる重心の変化に余裕をもって対応するためや音速近くでは小さな翼面の舵角を大きく取ると音速を超えた領域が生まれて衝撃波が発生し、舵の利きが不安定になるため、昇降舵のトリムタブだけではなく、水平尾翼全体の取り付け角が変わる全遊動式になっており、これは調整式安定板と呼ばれる。大型旅客機の水平安定板の構造には2つの形式が存在し、1つは主翼の中央翼に相当する構造部材が存在し、これはキャリスルやセンターセクションと呼ばれ、左右の水平尾翼を機体内でつないでいる。もう1つは左右の水平尾翼のトルクボックスを機体内部まで延長して中心線上で結合したものである。調整式安定板ではこの全体が前桁部分を中心に取り付け角が油圧で変更できる。水平尾翼もわずかに上反角が付いているが、主翼の後流の影響を避けるためと、地上での機体の引き起こし時に左右に少し傾いても接触しないためである。

(5) 垂直尾翼

フライ・バイ・ワイヤのような翼面の自動制御装置の採用によって、水平尾翼と垂直尾翼の面積が少し縮小できたとされている。コンピュータの援用による機体の操縦では、電子機器類が正常に機能している間はそれらが効果的に働いて小さな翼面でも十分な効果を発揮すると考えられているが、機能不全のような緊急時にも十分な空力的制御が行えるように、あまり過度の縮小は行えず、特に垂直尾翼は複数のエンジンを備えウイングマウント方式の大型旅客機では翼端のエンジン停止時に大きな回頭モーメントを打ち消してなお、空力制御が行えるだけの余力が求められるために、垂直方向舵の下部を2段折れにして操舵性能を増す工夫を行う機体もある。



19. 旅客機の構造

旅客機の構造としては、他にも左記の項目がある。

- | | |
|------------------|------------------|
| (6) 燃料タンク | (24) 通信・航法装置類 |
| (7) 脚 | (25) アンテナ |
| (8) 窓 | (26) 無線通信機 |
| (9) ドア | (27) 無線航法装置 |
| (10) 耐火性材料 | (28) IRS |
| (11) 操縦室 | (29) 高度計 |
| (12) 乗務員休憩室 | (30) AFCS |
| (13) 客室 | (31) オートスロットル |
| (14) 娯楽番組提供システム | (32) ATC |
| (15) 客室内衛星通信システム | (33) CADC |
| (16) ギャレー | (34) EFIS |
| (17) 化粧室 | (35) EICAS |
| (18) 床下 | (36) FMS |
| (19) タイヤとブレーキ | (37) モニタリング・システム |
| (20) 照明設備 | (38) 警報システム |
| (21) 機械設備 | |
| (22) 非常用設備 | |
| (23) その他の設備・装置 | |



20. 航空局型式証明(FAA/TC)

アメリカ連邦航空局：(Federal Aviation Administration、FAA)

アメリカ合衆国運輸省の下部機関で、航空輸送の安全維持を担当する部局。米国内での航空機の開発、製造、修理、運航の全ては、同局の承認無しには行えない。

民間および軍用航空機の航空管制システムの開発・運用、民間航空機の安全向上(航空機の設計、乗員の訓練、機体の整備計画)、民間航空技術の開発支援、民間及び国家宇宙航空に関する技術開発、パイロット資格の認定・はく奪など。

航空機(有翼機)を対象に審査を行うFAAと、ロケット・人工衛星を扱うFAA-AST(Administrator for Commercial Space Transportation)の二部門が存在する。宇宙飛行士に対して宇宙飛行士記章を授与しているのもFAAである。

なお、航空事故の調査などは独立した機関である国家運輸安全委員会(NTSB)が行っている。



20. 航空局型式証明(FAA/TC)

型式証明 (Type Certificates / TC)

ある[航空機](#)の型式（軍用機は除く）の設計が安全性及び環境適合性の基準を満たしていることを証明するものである。航空機の開発時に必要な証明で予め開発段階で設計や製造過程の検査を行っておくものである。型式証明には耐空証明検査で重複する部分の検査を省略できるようにする役割があり、そのため型式証明の基準は[耐空証明](#)の基準と同じものを用いることになる。

耐空性（Airworthiness）とは、狭義には強度・構造・性能についての基準をいい、広義にはそれに騒音の基準や発動機の排出物の基準を含む。また、適合性（Conformity）は「基準やその詳細項目に適合しているかどうか」という意味である。

型式証明の検査には、設計、製造過程、現状検査がある。このうち型式証明の現状検査は意図した設計や製造方法によって完成した機体が耐空性を満たすかを検査するもので、完成した個々の機体が耐空性を有しているかを検査する耐空証明の現状検査とは異なる。

国際的には型式証明の基準として、アメリカ[連邦航空局](#)（FAA）が定める基準と EASA (European Aviation Safety Agency : [欧州航空安全機関](#)・欧州航空安全庁) が定めている基準が広く通用しており、世界的にみてもどちらかの基準に準拠したものが使われている状況にある。日本では[国土交通省](#)が定める基準に基づき[国土交通大臣](#)が発行する。

また、航空機の輸出入における耐空性の検査の重複を避けるため耐空性互認協定 (BAA: Bilateral Airworthiness Agreement/Arrangement) が広く締結されている。日本は米国、カナダ、欧州、メキシコとの間で型式証明についての相互承認の協定を締結している。



20. 航空局型式証明(FAA/TC)

日本の型式証明検査

ある航空機の型式の設計での検査、その設計に係る航空機の1機の製造過程での検査、完成後に1機または数機を用いて実用機としてのあらゆる審査と試験を行い、航空法第10条第4項の**安全性基準、騒音基準、発動機の排出物基準**に適合していることを確認する。なお、これらの検査・審査・試験は本省航空局が行う。それにより同じ型式の航空機を生産する場合、同じ検査を行う必要が無くなる。耐空証明と異なる点は、有効期限が無く、ある航空機の型式の1機が取得すれば良いという点である。新たに航空機を設計して製造する場合において取得することが多く、必ずしも取得する必要はないのだが、国産航空機の場合は、原則して取得しなければならない。型式証明を取得した航空機が、航空の用で使用する場合には、耐空証明を受けなければならないが、それを受ける際には、設計・製造過程の検査において一部が省略される。また、耐空証明検査における、航空会社などの航空機使用者の負担軽減を図るため、輸入航空機に対しても型式証明の取得を行っている。

国内で型式証明を取得した国産航空機で、国土交通大臣の認定を受けた**認定事業場**（航空機製造検査認定事業場）の事業者において、製造および完成後の検査を行なった場合と、国内で型式証明を受けた輸入航空機において、**国際民間航空条約**の締結国が、耐空性と環境適合性をわが国の同等以上の基準及び手続きにより証明したと国土交通省大臣が認めた場合、設計・製造過程・完成後の現状において、一部の検査を省略できる。

型式証明を取得した航空機が、その設計について変更をしようとする場合は、国土交通省大臣の承認を受けなければならない。これは、型式設計変更と呼ばれており、この際に適用される基準は、型式証明の際に適用される基準となる。また、型式証明を受けた航空機が、安全性及び環境適合性の基準に適合しなくなったと国土交通省大臣が認めた場合には、それに対して設計の変更の命令をすることができる。

21. フライトシミュレータ



フライトシミュレータ とは、[航空機](#)などの飛行の操縦訓練、搭乗体験をするために飛行状況を模擬すること。

ヨーロッパの民間航空機の認証を行う[合同航空当局](#)ではFlight Simulator (FS)、Flight Training Device (FTD)、Flight and Navigation Procedures Trainer (FNPT)、Other Training Device (OTD)の4種に分類している。



21. フライトシミュレータ

模擬飛行装置：

特定の航空機の操縦室を模し、操縦装置の操作信号を元に機体の反応をコンピュータで計算し、結果を操作パネル表示、視界画像、動揺装置による動き、音響などで出力することで、航空機の動作を高度に再現する装置はフル・フライトシミュレータ(Full Flight Simulator、FFS)と呼ばれる。日本では模擬飛行装置と呼ばれる。

航空機乗組員の訓練、試験、審査などに使用される装置であり、通常の操縦訓練とともに事故など考えられる事象の対応訓練などに使用される。特定の型式の航空機の操縦室をそのまま使用したものが多く、航空機メーカーが自社の各機体専用に製造している。

現在では航空機の開発段階においても想定される機体の数式モデルを構築し、風洞試験データ等を反映させたFFSをテストパイロットに操縦させて問題を洗い出し、開発の効率化に貢献している。

国際民間航空機関では動揺装置などにより第1種(さらに3段階)～第4種の合計で6段階に分けている。厳密には「飛行時間」とは違うものの、多くの国では承認した機種の場合は航空日誌(ログブック)に記録できる欄があり(日本では国土交通大臣が承認)、操縦士資格取得訓練の一部を成している。たとえば計器飛行証明であれば、「…時間以上の計器飛行練習(ただし模擬飛行装置によるものは～時間まで)」となる。また装置の動作についても当局の認証が必要となる。

FFSは非常に高価で整備や電気代などの維持費も別途かかり、航空当局の認証手続きが複雑で定期検査が必要などハードルが高く導入できるのは大手に限られており、中小や格安航空会社では所有する会社にパイロットを派遣して訓練したり、導入したFFSをリースバックに変更するなどしている。例としてボーイング737用は約2億1550万円、エアバスA330用は約7億9700万円である。

F-35はFFSに武装使用など実戦的な訓練の機能を搭載したフルミッション・シミュレータ(FMS)を用意し、復座型による訓練を不用としている。

近年では動揺装置として大型のロボットアームを使用するFFSも登場している。

コックピット内部を整備する航空整備士の訓練にも使用されており、各種エラーの表示を任意で発生させる整備士向けのモードを搭載した装置もある。

21. フライトシミュレータ

飛行訓練装置：

フライトトレーニングデバイス（Flight Training Device、FTD）は一般的な航空機の操縦室の必要な部分を模擬しており、通常航空機に装置されている計器類を搭載もしくは模倣し、計器飛行状態で飛行中の状況表現できるものとされる。機体の動きを体感できるまでの機能は要求されない。日本では飛行訓練装置やフライトトレーナと呼ばれる。

具体的には、操縦桿やスロットルやレバーやスイッチ類は必須であるが、計器パネルなどは画面上に模倣されていれば良い。FFSとの違いが動揺装置の有無という物もあるが、ソフトウェアのみを開発しハードウェアには市販のパソコンや液晶ディスプレイ、ゲーム用のジョイスティックを使用することで価格を抑える、さらにソフトウェアにX-PlaneやMicrosoft Flight Simulatorを使用することで個人でも購入可能な価格とするなど商用オフザシェルフにより低コスト化が進んでいる。

動揺装置がないため多くの国では航空当局の認証手続きも簡素であり、高価なFFSを導入できなかった中小の航空会社や民間フライトスクールへの導入が進んでいる。また装置が小型化できるため、V-22にはFSSよりも10億円ほど安価で移動可能なコンテナ型のFTDが用意されている。飛行時間の取り扱いに関しては模擬飛行装置と同じであるが、再現の度合いにより充当できる飛行時間が異なる。

飛行方式訓練装置：

飛行方式訓練装置（Cockpit Procedure Mockup、CPM）は特定の機種 of 操縦室を正確に模倣している点は模擬飛行装置と同じであるが、窓に画面は付いていないものが多く、映像や音声による飛行そのものの模倣はできない。交信の模擬や計器類を通しての様々な状況やスイッチ操作による計器表示（たとえば火災や故障、フラップのスイッチを下げたらフラップの角度計器も下がるなど）が模倣できる程度である。中には計器類の写真を貼った板の前に椅子を並べただけの装置もある。

航空機はエンジンを始動するまでの手順が多いため、操縦とは別に機器の取り扱いやスイッチの位置を把握するためチェックリストが存在するが、このためだけに実機を占有するのは不経済である。そこで地上学習において手順を理解するための訓練に使われる。FSSやFTDと比較すると極めて安価であり、この装置での初期訓練や機種転換の事前訓練は経済的でもある。

近年普及している[グラスコックピット](#)を採用した機種では、画面の切り替えが必要であるためFTDを使用するか、機能を動作手順と画面表示の再現に絞った廉価版FTDを使用する。



21. フライトシミュレータ

フライトシミュレータに関する要素技術

(1) 飛行機のモデリング

- ・ 機体の物理特性、空力特性に基づく、3次元6自由度運動方程式の構築
金沢工業大学、片柳遼二博士のKMAPなど

(2) 飛行環境のモデリング

- ・ 地球モデル、大気モデル、気象条件、異常故障模擬

(3) 運用などヒューマンインタフェースのモデル化

- ・ コクピット模擬(ジョイスティック、フライトヨーク、ラダーペダル、スロットル、スイッチ類、視界、座席)

(4) コンピュータ・グラフィックス(CG)モデリング

- ・ 飛行機形状の3次元数値モデル化
CG以外にも、3Dプリンタによる機体製造や、CATIA設計データからNC生産システムへの接続に
応用される。
- ・ 地形マップ、建物、構造物の3次元数値モデル化

(5) 飛行解析の為に数学的シミュレーション解析

- ・ 機体の安定性解析、動特性解析
- ・ 縦横安定性(短周期運動の減衰特性)
- ・ 操縦制御不能になるような不安定特異点/極などの存在や危険性を予測する。

21. フライトシミュレータ

全国のフライトシミュレータ

フライトシミュレーター スカイアートジャパン

<https://skyart-japan.tokyo/>

TryAir

<https://www.tryair.co.jp/>

LUXURY FLIGHT

<http://www.737flight.com/index.html>

えいとアビエーション

<http://pilot-salon.info/>

フライトシミュレーション沖縄

<https://www.fso.co.jp/>

神戸フライトシミュレーターセンター テクノバード

<http://technobird.jp/>

PDエアロスペース株式会社

<http://pdas.co.jp/pp/>

787 Simulator | FLIGHT OF DREAMS | 中部国際空港セントレア

<https://flightofdreams.jp/fp/09>

あいち航空ミュージアム

<https://aichi-mof.com/>

岐阜かがみがはら航空宇宙博物館

<http://www.sorahaku.net/>

<http://www.sorahaku.net/guide/1000646/1000716.html>

工学院大学

<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000006.000027245.html>

金沢工業大学のフライトシミュレータ

<http://r-katayanagi.air->

nifty.com/a2/files/y060807n.pdf#search=%27%E9%87%91%E6%B2%A2%E5%B7%A5%E6%A5%AD%E5%A4%A7%E5%AD%A6+%E3%83%95%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%88%E3%82%B7%E3%83%9F%E3%83%A5%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%82%BF%27

朝日航空(株)飛行訓練装置(FTD)「GTX-MAX」

<https://www.asahi-air.com/pilot/machine/detail.php?id=5>

岡山航空(株)操縦訓練

<https://www.air-oas.co.jp/sikaku/>



21. フライトシミュレータ

パソコン版フライトシミュレータ

MicroSoft Flight Simulator (2020年)

https://ja.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Flight_Simulator

MicroSoft Airplane Flight Sim 2019

<https://www.microsoft.com/ja-jp/p/airplane-flight-sim-2019/9n27zgzzdjvt?activetab=pivot:overviewtab>

<https://www.microsoft.com/ja-jp/p/airplane-flight-sim-2019/9n27zgzzdjvt?activetab=pivot:overviewtab>

Lockheed Martin PrePar3D

<https://www.prepar3d.com/>

Free X-Plane 11

<https://www.x-plane.com/>

Free FlightGear

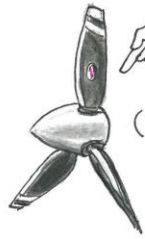
<http://www.flightgear.jp/>

YS FLIGHT SIMULATOR Version 20181124

<http://ysflight.in.coocan.jp/>

22. RedBull エアレースの機体(参考紹介)

【コーヒーブレイク】空のF-1 ともいわれる Redbull
エアレースに使われる機体の特徴が説明されています。



プロペラは
ハーツェル社製。
3枚のハネ
(「ブレード」と呼ぶ)は
カーボン製の「7690」

エンジンはライミング社製
空冷水平対向6気筒
AEIO-540-EXP
「サンダーボルト」。
排気量は約8.9L。
熟練エンジニアが
1基ずつ手作りで
製造。性能に
差が出ないように
入念にチューンされる。

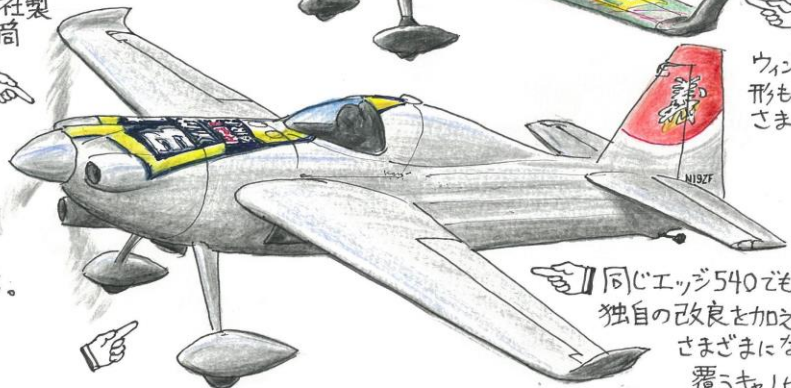


水平対向6気筒
だから、シリンダー配置は
こんな感じ。

新興MXエアクラフト社製のMXS-R。主翼も胴体も全て
カーボン製。主流のエッジ540に対して、新技術で
挑戦している。この機体は、本当は表面は
「ツルツル」なのに、わざと外板の
つぎ目らしい線を描いている。



主翼の端を立てる
「ウィングレット」。
抵抗を減らす
効果がある。
ウィングレットの大きさや
形もチームによって
さまざま。



同エッジ540でも、各チーム・各パイロットが
独自の改良を加えていて、細部は
さまざまになっている。操縦席を
覆うキャノピーの大きさや形も
チームごとにいろいろ
違っている。

マティアス・ドルダー選手のエッジ540。2017年の第1戦
アブダビでは4位に入賞している。



翼立端に立ち上がっているのが
「ウィングレット」。

ダブルエアレース機を
3から見ると、翼端渦は
くりこんな感じにできる。
渦を小さくして、抵抗を
減らすのが「ウィングレット」だ。



でも、翼の端のところでは
圧力の高い下面から低い
上面へと気流が流れて
渦を作ってしまう。
この渦を
「翼端渦」といって、
抵抗(誘導抵抗)
となるのだから。

ウィングレットで抵抗を
減らせば、同じ速さで
より距離を飛んでも、
燃料が少なくて
いい。
なので、
ウィングレットは
客機にも
採用されている。



フシの翼の
先端の羽根は、
自然のウィングレット。
抵抗が少なければ、
獲物を探して長い間
飛んでいても、体力を温存できる。

ボーイング737旅客機のウィングレット。
長距離をじっくり飛ばす旅客機では、
ウィングレットによる抵抗軽減=燃費改善で、
運航コストを減らすことができる。
ウィングレットをつけると
燃料消費が4~5%
ぐらいい減るという。

23. キーワード

以降に示すキーワードは、ここまでの説明にはありませんが、
飛行機関係の情報としてよくでてきそうな言葉を拾いあつめました。
出典 Wikipedia等

キーワード	定義	備考
上反角	dihedral angle 飛行機の主翼を前から見たとき、主翼が取り付け部から翼端に向かって上がっている場合、翼の基準面と水平面のなす角をいう。上反角は機体が傾いたとき、もとの姿勢に戻す働きをする。その作用は、機体が傾くと飛行機は傾いた方へ横すべりする。このとき上反角があると、傾いた方の翼の迎え角が増し、反対側の迎え角が減るため、機体の姿勢を元に戻すモーメントが発生することになる。なお、主翼が胴体の上についている高翼機、あるいは後退翼機では、胴体との干渉によって同じ効果が得られるため、上反角をつける必要はない。	
リフティングボディ	Lifting body 極超音速での巡航を前提とした航空機、ないしはスペースプレーン等のような大気中を飛行することがある一部の宇宙機に使われる、機体を支える揚力を生み出すように空気力学的に工夫された形状を有する胴体のことである。遷音速から超音速域での飛行時に特に大きな抗力発生源となる通常の固定翼機型の翼を廃し、その分必要になる浮揚力を胴体から賄うために利用されることが多く、1960年代に開発されたアメリカの実験機M2シリーズやX-24などが本形態を採用した代表的機体である。	
テーパー翼	翼端に行くに従い翼弦長が線形に変化(一般には減少)する翼平面形状をテーパー翼と呼び、直線先細翼とも呼ばれる。構造重量、構造強度、揚力分布、製造効率の観点から、楕円翼に代替する翼平面形状として広く適用されている。失速状態に近付くと、翼端から流れが剥離する特性がある。揚力に起因する翼付け根に掛かるモーメントを減少させるのに都合が良く、たとえば、海鳥の平面形は楕円翼ではなくテーパー翼となっている。	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
後退翼	<p>翼を左右にまっすぐ伸ばすのではなく、後退角を持たせることで、翼上面に超音速領域が生ずるマッハ数(臨界マッハ数)[2]を高めることができる。後退角は翼弦長の25%をつなぐ線と機体の左右軸との後方のなす角度で定義される。</p> <p>後退角をつけると、翼型に平行な方向を流れる空気の速さは、理論上、機体の速さに後退角の余弦を乗じた程度に減少させることができる。その分衝撃波の発生を遅らせることができ高亜音速-遷音速領域での抵抗減少や臨界マッハ数を上げることができる。</p>	
前進翼	<p>前進翼とは、主翼に前進角を付けた翼で、後退翼と同等の効果に加え以下の特徴を持つ。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 翼の根元あるいは機体の重心位置で失速が始まっても、まだ翼端には気流が残っているため、後退翼と比較して、原理的に失速限界が高い。2. 後退翼とは逆にロール方向に対しての静安定が負であるため不安定である。3. 後退翼の風見安定効果とは逆の効果が働き、ヨー方向に対して不安定である。4. 上記2の特徴により、揚力と迎え角が相互に増加し続けるダイバージェンス(発散)により翼にねじる方向の力がかかるため、最悪の場合翼が破壊されてしまう。また、それに耐えうる強度を持たせようとすると翼の重量が増える。5. ステルス性が低い。	
三角翼	<p>ギリシャ文字のΔ(デルタ)と似た平面型を持つ翼をデルタ翼(三角翼)と呼ぶ。低アスペクト比(高翼幅荷重)で、低速巡航時は低揚抗比となりやすいが、後退翼と比べて風圧中心の移動が少ない。後退翼は機体の胴体側の結合部分の翼付根がねじられる短所があり構造的に不利であるが、デルタ翼は翼厚に対して翼弦長が長く、胴体側の結合部分の翼付根はもっとも長い翼弦長の部分で結合されるため構造的に有利である。前縁後退角を大きくすることにより、後退翼よりも衝撃波の発生を遅らせることができるので、さらに速い飛行が可能である。翼面積を大きく取れることから翼面荷重を小さく出来る。結果として加速性・高速域での運動性に優れた特性を持ち、一般には高亜音速から超音速飛行に向くとされる。</p>	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
エンテ型	<p>エンテ型は、主翼の前方に前翼(カナード)を持つ固定翼機的设计である。先尾翼機[1]あるいはカナード機とも言う。</p> <p>エンテ (Ente) とはドイツ語で鴨のことで、鴨が飛ぶ姿に似ていることからこう呼ばれる。</p> <p>ちなみに、前翼と通常の水平尾翼を共に持つ航空機は三翼機と言ひ、主翼が前後に2枚ある航空機はタンデム翼機と言う。エンテをフランス語に直訳したのがカナール (canard) で、これを英語読みしたのがカナードである。このようにエンテとカナードは同じ語源であるが、カナードは通常、(三翼機のものも含め)前翼自体を意味する。</p>	
プッシャー方式／トラクター式	<p>推進式(すいしんしき、またはプッシャー式、Pusher configuration)とは、航空機においてプロペラやダクトッドファンが機体後部に設置されている形式[1]。プロペラの回転によって生ずる空気の流れは機体を“押し出す”形になる。これに対して牽引式(トラクター式、Tractor configuration)では、プロペラが機体前部に設置されるため機体を“引っ張る”形になる。</p>	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
SAS	stability augmentation system 安定増大装置 航空機の固有の 安定性 の不足を補い、動揺の 減衰 を強めるために設けられる 自動操縦装置 。 ジャイロ計器 や 加速度計 などで機体の動きを検知、その信号によって自動的に操縦舵面を動かし、運動を制御する。ジェット輸送機の尾部がひねられるように揺れる ダッチロール は操縦士の操縦だけで減衰するのが難しいが、これを制御するヨーダンパなどが安定増大装置の例である。	
INS	Inertial Navigation System 慣性航法装置 外部から 電波 による支援を得ることなく、搭載する センサ (IMU) のみによって自らの 位置 や 速度 を算出する。	
IMU	Inertial Measurement Unit 慣性計測装置 運動を司る3軸の角度(または角速度)と加速度を検出する装置 基本的には、3軸の ジャイロ と3方向の 加速度計 によって、3次元の 角速度 と 加速度 が求められる。信頼性向上のために圧力計、流量計、GPSなど別種類のセンサが搭載されることがある。通常は、搭載する移動体の 重心 に置く。	
Gyro	gyroscope ジャイロスコープ 物体の角度(姿勢)や角速度あるいは角加速度を検出する計測器ないし装置。ジャイロと略されることもある(ジャイロセンサと呼ばれることもある)。船や航空機やロケットの自律航法に使用される。最近ではカーナビゲーションシステムや自動運転システム、慣性航法装	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
IRS	<p>Inertial Reference System</p> <p>従来の3軸の回転変位と2方向(または3方向)の直線加速度を計測するセンサ部を備えたINS(Inertial Navigation System、慣性航法装置)はIRS(Inertial Reference System、慣性基準装置)に置き換わっている。</p> <p>内部に可動部を持っていた従来型のINSとは異なり、IRSは可動部を持たず、3軸の回転変位と3方向の直線加速度を計測するセンサを乗せたプラットフォームが機体軸方向に合わせて正確に固定されていて、空間座標の変換はデジタル演算によって行われる。出発時には基準となる緯度と経度がFMSのデータから読み込まれて設定される。また、静止状態で重力加速度を受けない方向が水平面方向でありレベル調整は自動的に行われる。15分間停止している間に地球自転率が東西軸ジャイロ(イースト・ジャイロ)で受感されない方向から地球自転軸での北が自動設定される。</p> <p>回転変位量は、地球自転率や移動率を修正する必要がある。直線加速度もコリオリの力や重力変化を補正する必要がある。機体の姿勢方向を補正し続けながら補正された直線加速度を積分することで速度が求められる。</p> <p>速度と移動方向から移動量を知り、常に自らの座標を得ることができる。GPSによる航法支援が得られるようになり、位置データと時刻が修正されるが、航空機はGPSのデータが得られなくなっても良いように、INSやIRSは必要な装置となっており、磁気コンパスも搭載される。</p> <p>回転変位の検出には半導体レーザーと光ファイバを組み合わせた光ファイバ・リングレーザー・ジャイロが用いられる。</p>	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
AFCS	<p>Automatic Flight Control System 自動操縦装置 飛行姿勢の安定化／飛行高度と方向の変更／航法誘導を自動的に行う装置システムである。</p> <p>(1) 飛行姿勢の安定化 機体が外力を受けることでロール、ピッチ、ヨーの各方向に対して揺れが発生する。この揺れを最小限に抑える。また、推力の不均衡やダッチロールといった内的要因に対する是正もこの機能が担う。</p> <p>(2) 飛行高度と方向の変更 操縦士や航法装置の指令に従って、機体を上昇・下降・旋回させる。旋回時にはヨー制御だけでなく釣合旋回と呼ばれるロール制御も同時に要求される。</p> <p>(3) 航法誘導 電波や慣性運動の変異を測るセンサーなどで飛行方向や位置、それらの変位量等を知り、設定値と照合しながら自ら判断して誘導を行う。 大型旅客機のAFCSには一般的に、 Gyroモード、Turn-Knobモード、HDG SELモード、ALT Holdモード、GAモード、 VOR/LOCモード、ILSモード、INSモード、FMSモード、LANDモードがある。</p>	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
AFCS	<ul style="list-style-type: none">◆ Gyroモード(Attitude Hold Mode、姿勢保持モード)では、ロール角を中立に戻す以外はピッチ角と機体の方位をモード設定時のまま保つように働く。◆ Turn-Knobモード(Attitude Control Mode、姿勢制御モード)ではターン・ノブとピッチ・ノブの設定値になるようにそれぞれロール角とピッチ角が変更・維持されることで機体の姿勢が変更され維持される。◆ HDG SELモード(Heading Select Mode、機首方向設定モード)では、あらかじめ水平位置指示計でHDGノブで変更すべき方位を設定してからHDG SELモードスイッチを入れることで、設定方向へ旋回し、水平飛行状態を維持する。◆ ALT Holdモード(Attitude Hold Mode、高度保持モード)では、同じ高度を維持する。◆ GAモード(着陸復行モード)は着陸復行を行うモードである。 以降は航法情報に基づいた誘導に従った飛行を行うモードである。	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
AFCS	<ul style="list-style-type: none">◆ VOR/LOCモードでは、あらかじめ水平位置指示計のHDGノブで変更すべき方位を設定しておき、VOR局が受信できたらVOR/LOCモードスイッチを入れることで、設定した角度でVOR局へ飛行できるまで直進してから設定方向へ旋回しVOR局へ向って飛行を維持する。VOR局を越えても方位を保つ。◆ ILSモードでは、あらかじめ水平位置指示計のHDGノブで変更すべき方位を設定しておき、ILS信号が受信できたらILSモードスイッチを入れることで、ローカライザ・ビームを受信して自動的に誘導され滑走路方向へ近づく。やがてグライドスロープ・ビームによる誘導に従って自動的に降下する。飛行士は200フィートなどの一定高度まで降下すると、AFCSを停止して手動操縦を行う。◆ INSモードは慣性誘導装置による誘導である。◆ FMSモードは飛行管理コンピュータであるFMSを使用した誘導である。◆ LANDモード(自動着陸モード)は自動着陸を行う。 <p>フライト・ディレクタ (Flight Director) は、設定した飛行姿勢を保つのに必要なロール軸とピッチ軸の操縦操作を姿勢指示計 (Attitude Director Indicator; ADI) に表示するシステムである。</p>	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
ATC	Air Traffic Control 機上のATCトランスポンダと地上の2次レーダーとから構成される。厳密には航法装置ではなく、地上の管制官に滞空中の航空機の情報を機械が自動的に知らせることで管制業務を支援して安全性を高めるものである	
CADC	Central Air Data Computer 機体周囲の気圧や温度を測る多数のセンサ類(ピトー管、静圧孔センサ、客室差圧計、客室圧センサ、全温度センサ)からの情報を一括して受け取り、統合処理を行い、気圧高度計やIAS/MACH計(Indicated Air Speed / Mach、指示対気速度とマッハ数)、TAS/SAT計(True Air Speed / Static Air Temperature、真対気速度と静温度)やオートスロットル・システム等のセンサ情報を必要とするシステムに情報を提供する。電力喪失などCADCの機能停止時に備えて、ダイヤフラム式の気圧高度計と指示対気速度計が操縦席のパネルに備わっている	
EFIS	Electric Flight Instrument System 電子式飛行計器システム 航法装置類やEICAS等の情報を主にFMSを経由して、操縦席の計器パネルに表示するシステムであり、操縦士の負担軽減や視認性向上のために操縦に必須な計器を大きく常時表示し、他の表示を随時切り替えるようになっている。21世紀からはカラー液晶による複数面表示が採用され、Primary Flight Display (PFD) と、Navigation Display (ND) の主要な2つの画面をそれぞれの操縦者ごとに座席正面に備える形式になっている	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
PFD	Primary Flight Display プライマリ・フライト・ディスプレイ コクピットにある計器表示システム 姿勢(機首の上げ下げ、傾斜角)、高度計規正值(気圧補正值)、速度、高度、昇降率、ILS(着陸装置)の状況などが表示される。	
MFD	Multi Function Display マルチファンクションディスプレイ コクピットにある計器表示システム 多種のデータを表示可能な ディスプレイ 機材で、ボタンで様々な機能が切り替えられる。	
PID制御	Proportional-Integral-Differential Controller 航空機の飛行制御システムに使われる。 制御工学 における フィードバック 制御の一種であり、入力値の制御を出力値と目標値との偏差、その 積分 、および 微分 の3つの要素によって行う方法のことである ^[1] 。 制御理論 の一分野をなす 古典制御論 の枠組みで体系化されたもので長い歴史を持っている。フィードバック制御の基礎ともなっており、様々な制御手法が開発・提案され続けている今に至っても、過去の実績や技術者の経験則の蓄積により調整を行いやすいため、産業界では主力の制御手法であると言われている。	
クォータニオン	quaternion 四元数は 複素数 を拡張した 数体系 である。四元数についての最初の記述は、1843年にアイルランドの数学者 ウィリアム・ローワン・ハミルトン によってなされ ^{[1][2]} 、 三次元空間の力学 に応用された。四元数の特徴は、二つの四元数の積が 非可換 となることである。ハミルトンは、四元数を三次元空間内の二つの有向直線の商として定義した ^[3] 。これは二つのベクトルの商と言っても同じである ^[4] 。四元数を スカラー と三次元の ベクトル との和として表すこともできる。 H-IIロケットなど航法計算時の座標変換によく使われる。最近ではCGの3Dモデルの座標変換にもよく使われる。	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
EICAS	Engine Indication and Crew Alerting Systemエンジン計器・乗員警告システム EFISによって実現したエンジン計器類の表示システムで、エンジンや燃料系統など 航空機関士 が担当していた監視業務を自動化し、 降着装置 や任意の機器情報の表示を行う。 加えて各機器の異常発生時には故障箇所を自動的に特定し表示、警告する機能も有する	
FMS	Flight Management System 飛行管理システム 機上に搭載された飛行に関わる多数のコンピュータ群と飛行状態センサ群、航法センサ群、エンジン・センサ群、燃料センサ群など多数のサブシステムから構成され、これらを統括制御するFMC (Flight Management Computer、フライト・マネジメント・コンピュータ) が中心となって、主に航法、性能・経済性管理、誘導といった飛行全般の機能を司り、操縦席のEFISを経由することでこれらのサブ・システムと操縦士との仲立ちとなる。 航法支援／性能・経済性支援／誘導支援	

23. キーワード


キーワード	定義	備考
EICAS	Engine Indication and Crew Alerting Systemエンジン計器・乗員警告システム EFISによって実現したエンジン計器類の表示システムで、エンジンや燃料系統など 航空機関士 が担当していた監視業務を自動化し、 降着装置 や任意の機器情報の表示を行う。 加えて各機器の異常発生時には故障箇所を自動的に特定し表示、警告する機能も有する	
FMS	Flight Management System 飛行管理システム 機上に搭載された飛行に関わる多数のコンピュータ群と飛行状態センサ群、航法センサ群、エンジン・センサ群、燃料センサ群など多数のサブシステムから構成され、これらを統括制御するFMC (Flight Management Computer、フライト・マネジメント・コンピュータ) が中心となって、主に航法、性能・経済性管理、誘導といった飛行全般の機能を司り、操縦席のEFISを経由することでこれらのサブ・システムと操縦士との仲立ちとなる。 航法支援／性能・経済性支援／誘導支援	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
ADF	自動方向探知機、Automatic Direction Finder	
VOR	超短波全方位式無線標識、VHF Omni-direction Range	
DME	距離測定装置、Distance Measuring Equipment	
ILS	計器着陸装置、Instrument Landing System	
MLS	マイクロ波着陸装置、Microwave Landing System	
GPS	全地球測位システム Global Positioning System	
ACMS	飛行性能モニター・システム Airplane Condition Monitor System	
CMCS	中央整備コンピュータ・システム Central Maintenance Computer System	
TCAS	衝突防止装置 Traffic alert and Collision Avoidance System	
GPWS	対地接近警報装置 Ground Proximity Warning System	

23. キーワード

キーワード	定義	備考
警告システム	離陸警報システム(Take-off warning system) ブーブーブーという断続警報音	
	着陸警報システム(Landing warning system) ブーという持続警報音	
	着陸装置警報システム(Landing gear warning system) 赤色警報灯が点灯	
	自動操縦システム開放警報システム(Auto-pilot disengage warning system) ワウワウワウという警報音と共に警告灯を点滅	
	最大運用速度警報システム(Max air-speed warning system) カタカタと音を鳴らして操縦士に知らせる。	
	失速警報システム(Stall warning system) 操縦桿をガタガタと揺らせて失速の危険を操縦士に知らせる。	
	ウインドシア警報システム(Wind-shear warning system) 警告灯と警報メッセージを発して機首上げを指示する。	
	高度警報システム(Altitude warning system) ドミソの和音による警報音を発し、警告灯を点灯、または点滅させて操縦士に知らせる。	
	低高度警報システム(Decision height aural warning system) ドミソの和音による警報音を3度鳴らして、デシジョンハイト灯を点灯させて操縦士に知らせる。	
	火災警報システム(Fire warning system) 大きなベル音と場所を示すランプで知らせる。	
	客室与圧異常警報システム(Cabin altitude warning system) 断続的な警報音で知らせる。	
	ドア警報システム(Door warning system) オレンジ色の警報表示版が点灯する	



23. キーワード

キーワード	定義	備考
UAV	Unmanned aerial vehicle 人が搭乗しない(無人機 である) 航空機 のこと。通称として、短く ドローン (drone)と呼ばれることもある。	
ドローン	drone 遠隔操縦 あるいは自律式の 無人航空機 一般を指して使われている。 英語圏では単に無人航空機のことを指すこともあるが特に無線機と区別して自立性を持っている機体を指して使われる。	
マルチコプター	multicopter ヘリコプター の一種であり、3つ以上のローターを搭載した 回転翼機 のことである。	

24. 出典(参考リンクなど)

(1) 飛行機講座記事一覧 本資料の出典

<http://shinshibunsei.com/index.php/blog/15-aerial>

(2) 飛行機は飛ぶ原理が解明されていない怪物?! 身のまわりのモノの技術(5)【連載】

<https://mainichigahakken.net/life/article/post-24.php>

(3) 「飛行機がなぜ飛ぶか」分からないって本当?

<https://business.nikkei.com/atcl/seminar/19/00059/061400036/>

(3) 【オタク目線コラム】エアレース機の機動力は世界イチ?

<https://www.redbull.com/jp-ja/red-bull-air-race-planes-specification>

(4) 【オタク目線コラム】翼端にある小さなハネの大きな秘密

<https://www.redbull.com/jp-ja/red-bull-air-race-planes-winglet>

(5) 航空機の技術とメカニズムの裏側 井上孝司 .

https://news.mynavi.jp/series/aero_tech

(第1回から第183回までである。)

(6) なぜ、旅客機は高速で飛ぶ必要があるのか?

<https://online.sbcr.jp/2015/07/004091.html>

(7) T.F.S [ThreeFlightSim] 3次元モデル簡易シミュレータ

<http://zero1962.world.coocan.jp/t/ThreeFlightSim.html>

(JavaScript で航空機モデルの運動表示を見ることができます。)

(8) VRMLエアクラフト博物館

<http://zero1962a.world.coocan.jp/v/index.html>

(VRMLで各種航空機の3Dモデルを見ることができます。)



24. 出典(参考リンクなど)

(9) 九州大学鳥人間チーム公式サイト

<http://www.aero.kyushu-u.ac.jp/birdman/introduction/theory.html>

(10) 空の飛び方

<https://www.nagano-c.ed.jp/seiho/intro/risuka/2008/2008-06.pdf>

(11) 揚力の発生原理 — 飛行機はなぜ空を飛べるのか？

<https://pigeon-poppo.com/lift-theory/>

(12) 片柳亮二博士のホームページ

<http://r-katayanagi.air-nifty.com/>

(13) ウィキペディア フリー百科事典