

# 飛行機の話

2021.02.28 Kuniyuki.Tsujimoto



# 目次

1. プロローグ
2. 空へのあこがれ
3. 飛行機までの歴史
4. 飛行機の開発者
5. 飛ぶしくみ(動画の紹介)
6. 翼の構造
7. 揚力発生のしくみ
8. 飛行機に加わる4つの力
9. 飛行機の基本構造
10. 飛行機の運動
11. 飛行機の姿勢安定と翼の関係
12. 飛行機の操縦
13. 離着陸
14. 飛行機の安全設計要素
15. 飛行機の要求スペック
16. 開発部門の担当分担
17. ジェットエンジン
18. 旅客機の構造
19. 航空局型式証明(FAA/TC)
20. フライトシミュレータ
21. RedBull エアレースの機体(参考紹介)
22. キーワード
23. 出典(参考リンクなど)
24. 飛行機の楽しみ方
25. 折り紙飛行機
26. ペーパークラフト
27. ゴムリリース・クラフト・プレーンの作り方
28. 室内ラジコン飛行機
29. エピローグ(自己紹介)



# 1. プロローグ

飛行機の話を通じて、皆さんに感じてもらいたいことがあります。

みなさんは、飛行機のどんなところに、興味がありますか？

風を感じたことがありますか？

飛行機は、どうやって飛ぶのか知っていますか？

飛行機に乗ったこと、ありますか？乗ってみたいですか？

飛行機に乗ると、海を越えて遠くの国まで行けます。

飛行機を操縦してみたいですか？

飛行機は、車と違って、左右だけでなく上下左右、回転など空中を自由自在に飛べます。（3次元空間の運動）

飛行機はどんな風に発明され、どんなふうに発達してきたかしっていますか？

飛行機は過去の戦争でどんなふうに使われたか知っていますか？

飛行機は、未来、どんな風になると思いますか？

飛行機の飛ぶ仕組みから、物理、数学の勉強ができます。

飛行機の通信や資料から、英語など外国語の必要性がわかります。

飛行機の使われ方から、世界の社会事情もわかります

飛行機の自由な運動から、人間の能力が拡大されます。

飛行機の歴史から、時代の背景、世界の歴史がわかります。

皆さんは、飛行機から、いろんなことを学んで、飛行機を楽しんでください。

## 2. 空へのあこがれ

人間が飛行機を使う以外に、自然界には、飛ぶものがたくさんあります。  
人間は、それらを見て、自分も大空を飛んでみたいなあと思い始めました。

神話イカロスの話、太陽に近づき過ぎて、落ちてしまった話

鳥(ハト、ツバメ、ハヤブサ、カモメ、コンドル、アホウドリ、ハチドリ、コウモリ等)

昆虫(トンボ、チョウ、ガ、カナブン、ハチ、クモ等)、魚のトビウオ、

みんな気持ちよく飛んでいます。

植物の種子(タンポポ、モミジ、マツ)、花粉は、風に乗って遠い場所で発芽します。

なんで飛べないのか?

物は、高いところから、低いところに落ちます。

ガリレオ・ガリレイ（自由落下の法則）重力の存在を発見し、

物理学者ニュートンの万有引力の発見しました。

重力は、地球が持つ「万有引力」と地球の自転による「遠心力」を合わせた力のことです。引力は「様々な物体の間で、互いに引き合う力」のことです。一方、重力は「地球と地球上の物体の間ではたらく力」に限定されています。

雲の流れ、風、そよ風、暴風、木の葉、旗、吹き流し、うちわ、扇風機などからも空気を感じるときがあります。

空気は、酸素、窒素、二酸化炭素、水蒸気などの分子が空中に漂っています。

風速、つまり空気の移動速度が大きくなるにつれ、衝突する空気の総量が増え、

大きな風圧が生じます。帆船、ヨット、ウィンドサーフィンなどはこれをを利用して大きな推力を得ているわけであるし、台風などでは巨大な破壊力となります。

また、空気は流体であり、空気の中を進む物体には揚力や抗力（空気抵抗）が生じます。鳥や飛行機の翼は大きな揚力を得ることで空気中を飛揚することができます。

これら自然界の観察から、飛ぶには、4つの力が関係していることがわかりました。

**重力、揚力、抗力、推力**

空気や、重力がないとき紙飛行機とばしたら、どうなるか？ 知ってる？



# 3. 飛行機の歴史

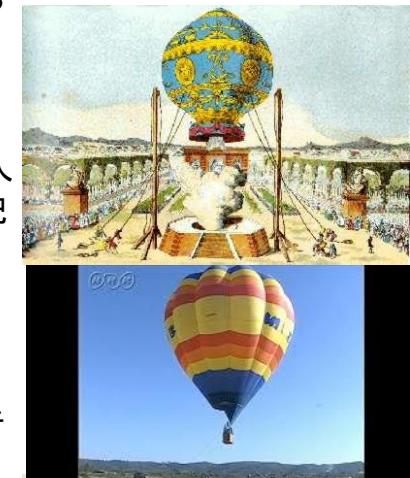


## 【凧】

凧の歴史は非常に古く、伝説では紀元前4世紀頃に中国で凧が作られたといわれています。また、日本では平安時代中期には凧に関する記述が見つかっており、この頃にはすでに、竹の骨組みや和紙を用いた伝統的な和凧が利用されていたと考えられています。

## 【気球】

史上初の無人熱気球については、モンゴルや中国などで現代も使われる天灯があります。1709年にポルトガル人バルトロメウ・デ・グスマントが実験を成功させた可能性など複数の伝承・記録があります。明確な有人飛行の記録としては、1783年にフランスのモンゴルフィエ兄弟が発明した熱気球で有人飛行を成功させました。



## 【グライダー】

オットー・リリエンタールの飛行実験は、1891年の実験を開始した時点で、飛行距離は約25m程度でした。丘の上から写真家に一番よいポジションで写真を撮るよう怒鳴り、毎秒10mの向かい風の上昇気流を捉えて飛行しました。1893年にはリノウの丘で250mの飛行距離を達成しています。



## 【回転翼】

ヘリコプターの研究は遠く紀元前の中国の竹トンボに始まって、15世紀、レオナルド・ダ・ヴィンチのスケッチさらには18世紀 - 19世紀のジョージ・ケイリー、ヤーコブ・デーゲンらの模型を経て、何人かの実験家による蒸気機関を積んだ試作機製作と進められましたが、実際にパイロットを乗せローターを使って地上を離れたのは20世紀になってからの事です。1901年にドイツのヘルマン・ガンズヴィントは現在のヘリコプターに相当する動力で回転する回転翼を装備した航空機に2名を乗せて15秒間の浮上を実演しました。

ライト兄弟飛行機の初飛行より2年早かった。



### 3. 飛行機の歴史（つづき）

#### 【飛行機】

アメリカのライト兄弟は、1903年12月17日に飛行機（動力を備えた重航空機）「ライトフライヤー号」による世界初の本格的な有人飛行を行いました。第二次世界大戦を境に、複葉機から単葉機、プロペラ機からジェット機と進化しました。



#### 【音速から超音速機】

1947年10月に実験機ベルX-1(チャック・イエガー)によってマッハ1が突破された後、1953年11月にはD-558-2によってマッハ2級に達しました。一方で、マッハ3を超えると大気の断熱圧縮によって加速度的に機体表面温度が上昇する（熱の壁）ため、最高速度がマッハ3以上の超音速機(SR-71)は極僅かです。



#### 【マルチコプター】

電動の小型マルチコプターは1980年代に名古屋大学等の研究機関や一部の愛好家の間では細々と開発が進められてきましたが、当時は軽量、高容量のバッテリーや高出力の電動機の入手が困難で尚且つ、姿勢の変化に応じた連携制御が必要だったため、一般の愛好家が飛ばすことは困難でした。

1989年7月にキーエンスからジャイロソーラーが発売され、これが契機となり、これまで垂直離着陸機を飛ばした経験のない者でも容易に飛ばせるようになりました。この当時、搭載されていたジャイロスコープはモーターでコマを回転させる形式でした。その後、改良され、2000年代以降はスマートフォン等に使用されるMEMSジャイロスコープや加速度センサーが大量生産されて廉価になり、これらを搭載したマルチコプターが普及しました。



#### 【無人機UAV】

無人航空機（unmanned aerial vehicle、UAV）は、人が搭乗しない（無人機である）航空機のことです。通称としてドローン（drone）と呼ばれることもあります。遠隔操縦と自律飛行があります。





### 3. 飛行機の歴史(つづき)

#### 【飛行機】ヨーロッパ

- メッサーシュミット bf109
- Spirit fire
- A380
- A320
- A300
- Concorde
- Rafel
- EuroFighter
- mirage
- A-88

#### 【飛行機】ロシア

- Su-27,35,47
- Mig-17,25,
- Tu-144

#### 【飛行機】中国

- J-11

#### 【飛行機】アメリカ

- P-51 ムスタング
- T-38
- F-86
- F-104
- F-4
- A-10
- F-14
- F-15
- F-16
- F-18
- F-20
- B-1
- B-2
- F-22
- V-22
- F-35ABC

#### 【悲しい記憶】

- ヒンデンブルグ号炎上
- 第一次世界大戦
- 第二次世界大戦
- ベトナム戦争
- よど号B727ハイジャック
- 霽石空中衝突
- 大韓航空機撃墜事故 向田邦子
- ブルーアインパルス墜落 浜松
- 羽田沖機長逆噴射墜落
- 日航機墜落事故 B747 御巣鷹山
- 金賢姫大韓航空機爆破テロ
- A320名古屋空港墜落
- 9.11同時航空機テロ
- MH-2000飛島村墜落
- F-2離陸失敗
- スペースシャトル打上失敗
- スペースシャトル空中分解
- HOPE開発凍結
- F-35A三陸沖墜落 空間識失調
- B737MAX墜落
- MSJ開発中断



# 3. 飛行機の歴史(つづき)



## 【日本の航空機開発】

- ・二宮カラス式飛行器
- ・赤とんぼ
- ・ゼロ戦飛燕二式大艇
- ・F-86
- ・F104
- ・F-4
- ・YS-11
- ・MU-2
- ・MU-300
- ・T-2
- ・F-1
- ・F-15
- ・CCV
- ・C-1
- ・PS-1
- ・SH-60J



## 【航空機開発の今後】

- ・H-2
- ・H-2A
- ・OREX
- ・SH-60K
- ・J-1
- ・HYFLEX
- ・MH-2000 佐倉PJ
- ・ALFLEX
- ・自律飛行制御
- ・3重冗長系システム
- ・H $\infty$ 制御則 ロバスト制御  
高浜 畑
- ・HOPE-X開発
- ・F-2
- ・C-2/P-2
- ・H-2B
- ・MRJ 初飛行 安村パイロット
- ・F-35A ロールアウト
- ・X-2 心神
- ・MSJ
- ・H-3
- ・XF-3
- ・e-Plane Vehicle
- ・空飛ぶクルマ SkyDrive テトラ
- ・安全に自由に空を飛べる飛行機を作りたい。
- ・未来を創るのはキミたち
- ・多くの子どもたちに読んでもらって感化したい。



# 4. 飛行機の開発者、パイロット

① リンドバーグ 1927年5月20日大西洋単独無着陸飛行 セントルイス号

② アメリア・イアハート ロッキード ベガ1932年5月20日女性として初めての大西洋単独横断飛行

③ チャック・イエーガー 有人超音速飛行ベル X-1

④ 兵頭精 女性パイロット

⑤ 岩本徹三 A6M3等パイロット

⑥ 坂井三郎 A6M2等パイロット

⑦ 土井武夫 Ki-61設計者

⑧ 堀越二郎 A6M設計者

⑨ ロック岩崎 アクロバット飛行パイロット

⑩ 藤明里 女性機長

⑪ 室屋義秀 エアレースパイロット

⑫ 安村佳之 MRJ初飛行テストパイロット

⑪



⑫



⑦



⑧



⑨



⑩



①



②



③



④



⑤



⑥



## ● ● ● | 5. 飛ぶしくみ(動画の紹介)

航空学園の水野宏一さんがプロデュースした動画を紹介しておきます。

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=5LMuil8tokM>

飛ぶしくみ 第4話「作って飛ばしてみよう！」～ハイブリットフリープレーン～

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

## 6. 翼の構造

飛行機の仕組 「飛行機はどうやって飛んでいるの？」

### 翼の構造

飛行機の翼の中でも最も大きいものを「主翼」と言います。

この主翼は特殊な構造（特に断面図）を持っていて、この主翼が「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ります。こうなると、主翼の上が低気圧、主翼の下が高気圧の状態となり、主翼は自然と、上に浮き上がる力（揚力 ようりょく）を得ます。この揚力によって、飛行機は飛びます。

揚力にプラスして、空気抵抗の効果も加わって飛んでいます。

飛行機の翼ほど特殊な構造をしていない、普通の板のような（あるいは、手のひらでもい）ものでも、前方から来る風に対して上り坂の角度をつけると、空気抵抗によって浮き上がります。重要なのは、前方から風を受けることです。

強力なエンジンで前進して、前方から風を受けなければ飛行機は飛べません。

## 7. 揚力の発生のしくみ

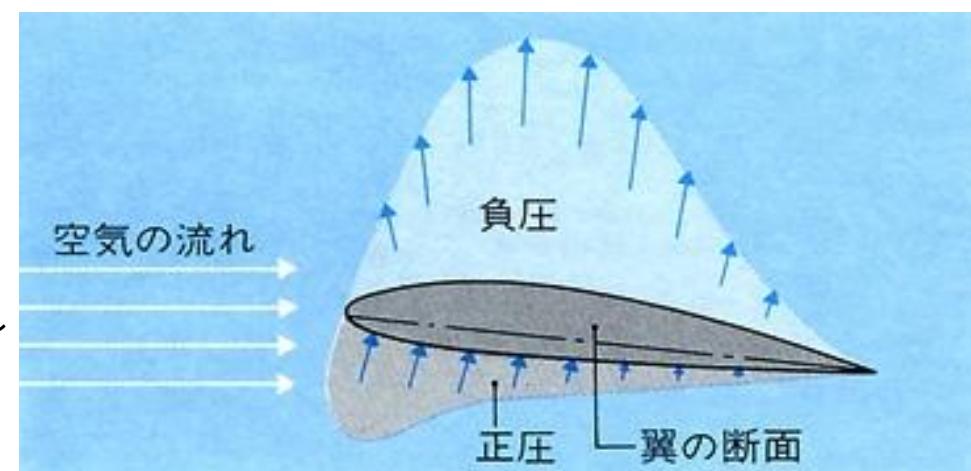
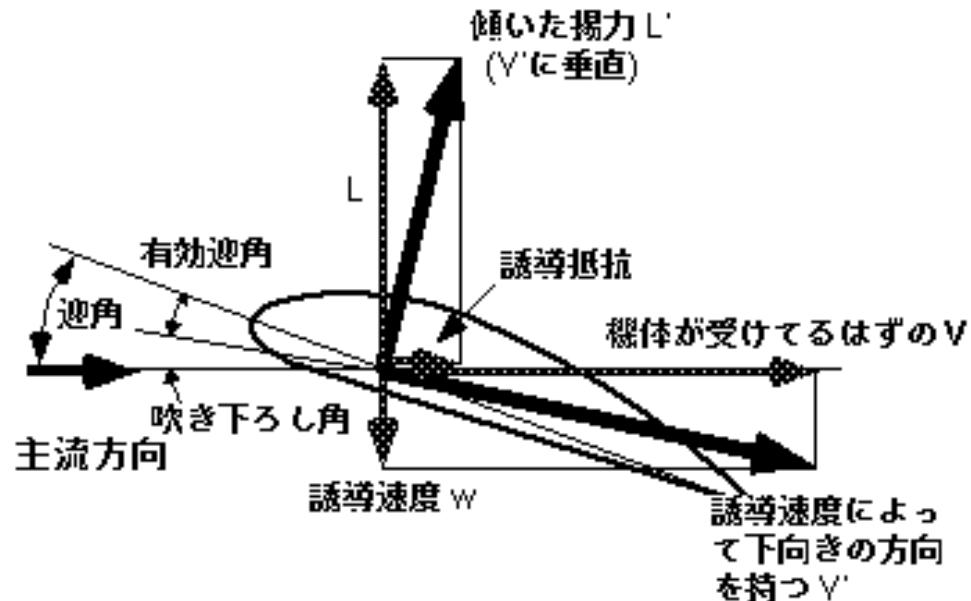
飛行機の主翼を卓球ラケットに見たてた場合、ピンポン玉は、質量をもつ空気の粒子です。速度をもった粒子が、迎角  $\alpha$  のラケットに衝突するとき衝突面では、空気抵抗による作用／反作用が発生し、迎角  $\alpha$  によりベクトル分解されます。上下方向のベクトル成分を、揚力、進行方向の成分を誘導抗力となります。

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ります。(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 ようりよく)を得ます。

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

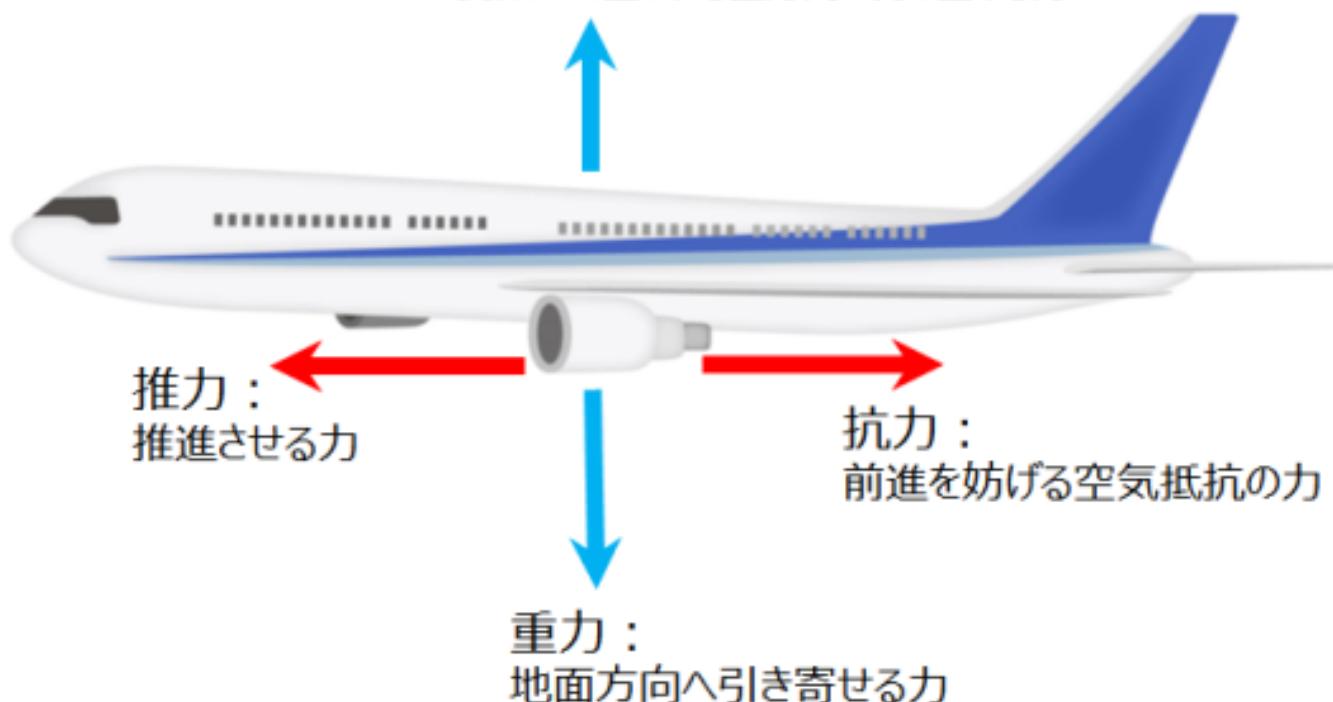
この式からわかるように、揚力は空気密度や翼面積、また速度の二乗に比例して大きくなることがわかります。式中の揚力係数は、主翼の迎え角や翼型によって変化します。

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きます。迎角  $\alpha$  ゼロ(水平)は、機体重量に達する揚力は得られず、迎角  $\alpha$  をとって初めて上昇します。しかし  $\alpha$  を大きくしそぎると、失速して揚力は失われてしまいます。



## 8. 飛行機に加わる4つの力

飛行機に加わる4つの力とは、推力、抗力、重力、揚力です。



## 9. 飛行機の基本構造

飛行機の飛行機たるゆえんは、燃料が続く限り、人間が操縦して好きなところへ行けるという点にあるのです。だから、風任せの熱気球は飛行機とは呼びません（航空機ではあります）。

「翼は一つじゃない」

主翼だけで飛行機が飛ぶのは困難だ、ということです。  
飛行機を見ると、大きな主翼の他に、後ろの方に小さな水平の翼がついています。  
それが水平尾翼です。

# 9. 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します。

水平尾翼：大きな主翼の他に後ろの方の小さな水平な翼。

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）：

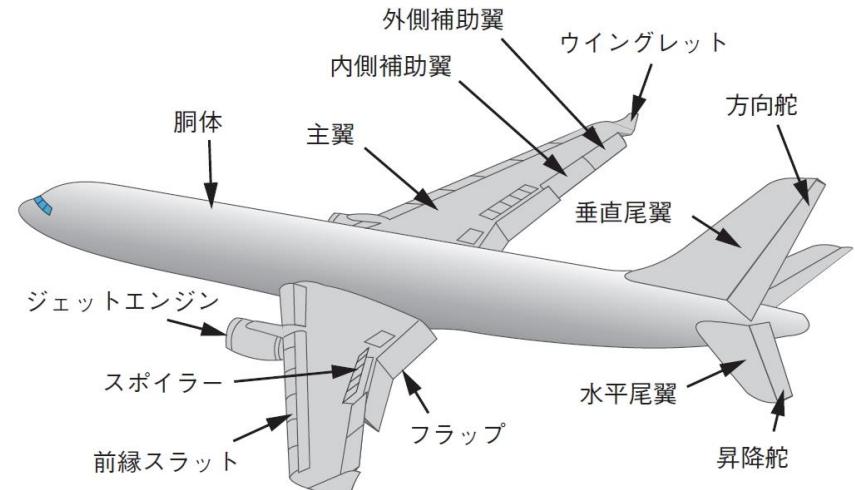
水平尾翼の後縁の一部、あるいは水平尾翼の全部は、上下に傾く可動式になっています。この可動部分をエレベーターと呼びます。

エルロン（補助翼）：

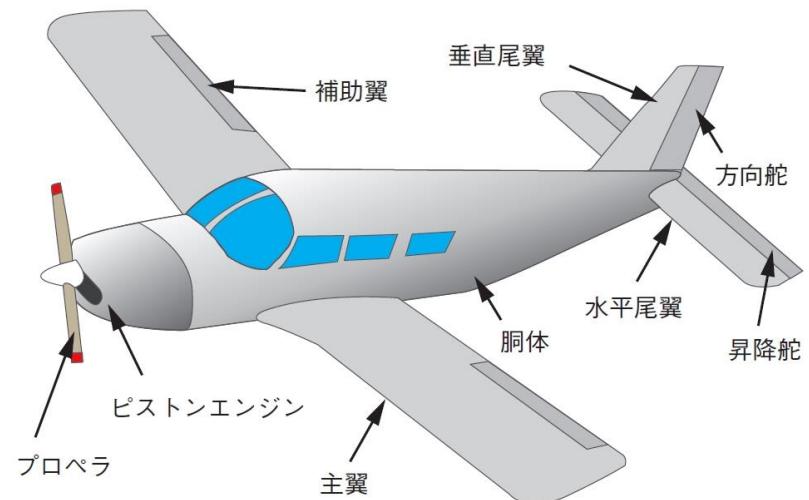
左右の主翼後縁の一部は上下に傾く可動式になっていて、この部分をエルロンと呼びます。

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可動式になっており、この部分をラダー呼びます。



大型ジェット旅客機



小型プロペラ機



## 10. 飛行機の運動

「飛行機の運動も一つじゃない」

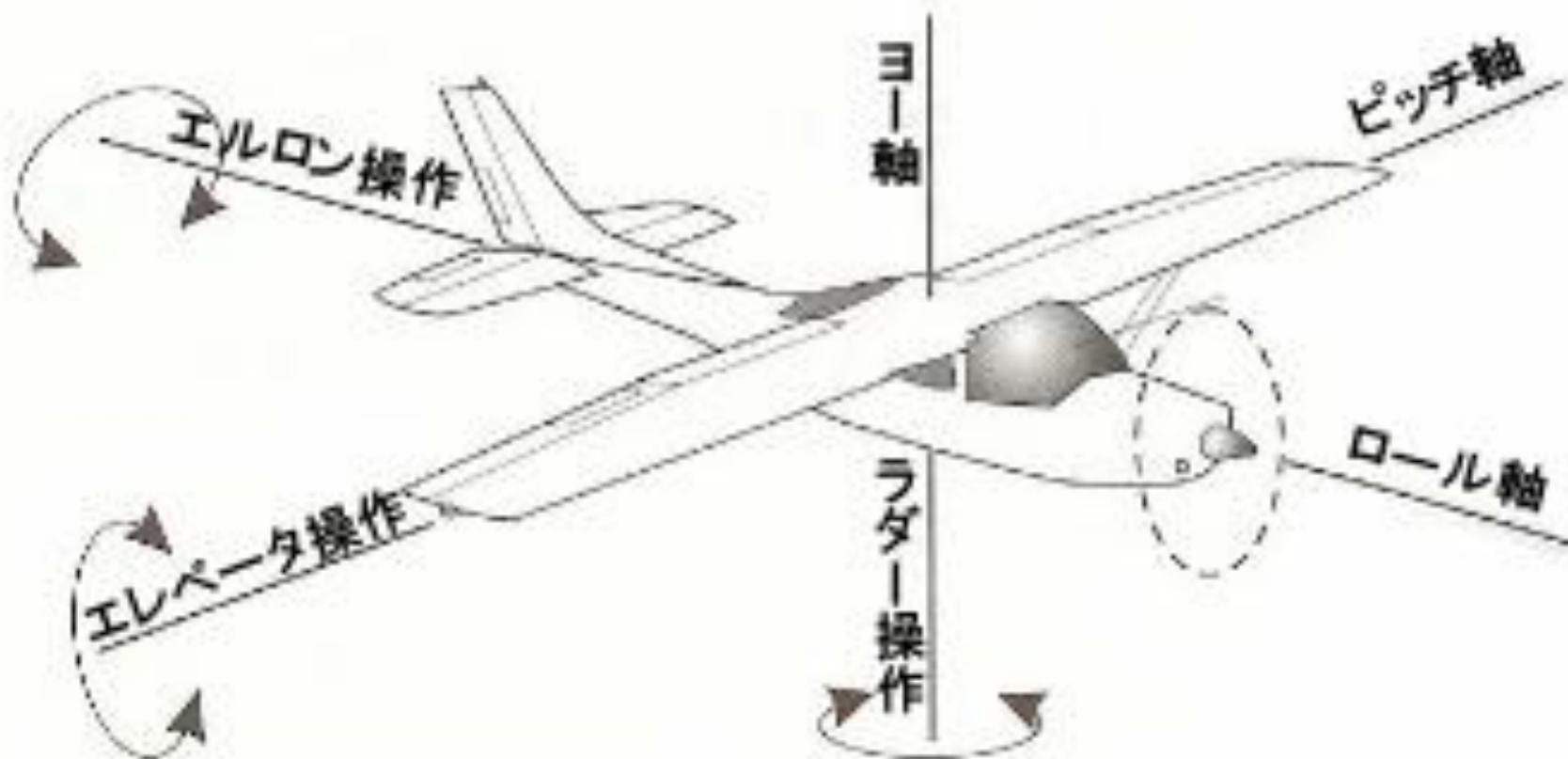
ピッチ、ロール、ヨーという三つの言葉について説明します。  
飛行機の運動に関する三つの軸を表す言葉です。

ピッチは、飛行機の前後方向の傾きを表します。  
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、  
下降するために下を向くことをピッチを下げると言います。

ロールは横転方向の傾きを、ヨーは水平左右方向への傾きを表します。

ロールを「横転」と書くと区別がつきやすいと思いますが、実際に出てくる時は右ロール  
と右ヨーや左ロールと左ヨーが混在して出てくるので、非常にややこしいです。  
ロールをヨーと混同しないように気をつけてください。

## 10. 飛行機の運動(回転運動)



## 11. 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飛行機は作られています。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つようにしています。このように水平尾翼によりピッチ安定性が得られています。

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」です。

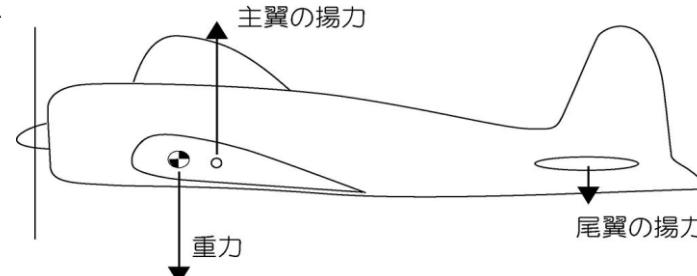
飛行機が飛行すると必然的に前から風を受けます。

垂直尾翼は、風が吹いている方を向いて安定します。

垂直尾翼によってヨー方向の安定性が得られています。

まとめ：飛行機の姿勢を安定させて飛ぶには次の翼と条件が必要です。

- ・主翼、水平尾翼、垂直尾翼
- ・十分な速度を出すこと





## 12. 飛行機の操縦

コクピットについて解説します。

自動車の運転席に速度計があるように、飛行機のコクピットにも計器があります。計器の数は自動車より多く、速度計、高度計、姿勢儀を初めとして、特に軍用機ともなれば無数の計器があります。

自動車の運転席には、自動車を運転するためのハンドルやシフトレバーやアクセルペダル、ブレーキペダル、クラッチペダルなどがあります。

飛行機には、操縦桿、スロットルレバー、ラダーペダルです。

スロットルレバーは簡単で、エンジン出力を調整するためのものです。前後に倒すようになっていて、例外はあるようですが普通は、前に倒すと出力アップ、後ろに倒すと出力ダウンです。

# 12. 飛行機の操縦

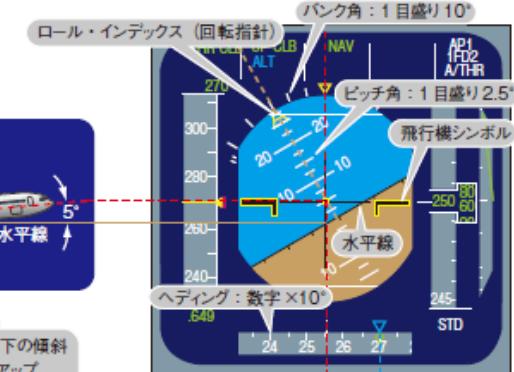
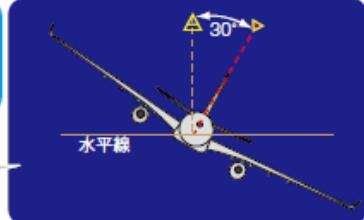
## コクピット例



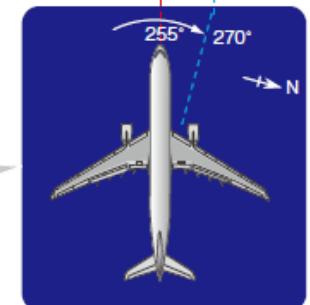
### バンク・ピッチ・ヘディング

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じように、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°



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「ヅルー・ヘディング」  
磁方位を「マグ・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

## 12. 飛行機の操縦

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ます。  
この可動部分をエレベーター（昇降舵）と呼びます。

操縦桿を手前に引くと、エレベーターは尻上がりに傾きます。

操縦桿を奥に倒すと、エレベーターは尻下がりに傾きます。

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のです。

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（機首は上昇）

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（機首は下降）

手前に引くと降下、奥に倒すと上昇、になっています。

混乱するかもしれません、ちょっと注意が必要です。これは正しいのです。

降下したり上昇したりするのがエレベーターである、というのがミソです。

エレベーターは水平尾翼にあるのです。

上昇と降下先ほどの説明を補足するところになります。

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

このようにして、飛行機は上昇・降下を行います。

● ● ● | 12. 飛行機の操縦(ピッチ運動)



**Horizontal tail**

## 12. 飛行機の操縦（ロール／ヨー）

操縦桿は、前後左右に動くようになっています。操縦桿を左右に倒すとどうなるかについて説明します。

左右の主翼後縁の一部は上下に傾く可動式になっていて、この部分をエルロン（補助翼）と呼びます。エルロンは「補助」翼どころか極めて重要な舵なのですが、慣習的にこう訳します。主翼は当然左と右に分かれますので、エルロンも左と右に分かれます。操縦桿の左右の動きは、このエルロンの動きにつながっています。具体的には、操縦桿を右に倒すと、左のエルロンは尻下がりになり、右のエルロンは尻上がりになります。操縦桿を左に倒した場合は、その逆です。エルロン翼は尻下がりになると揚力を得て、尻上がりになると逆に揚力を失います。

つまり、操縦桿を右に倒すと、主翼左が揚力を得て、主翼右が揚力を失います。  
すると機体は右にロール（横転）します。操縦桿を左に倒すと、その逆に、機体は左にロールするのです。

ラダーペダルは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ます。

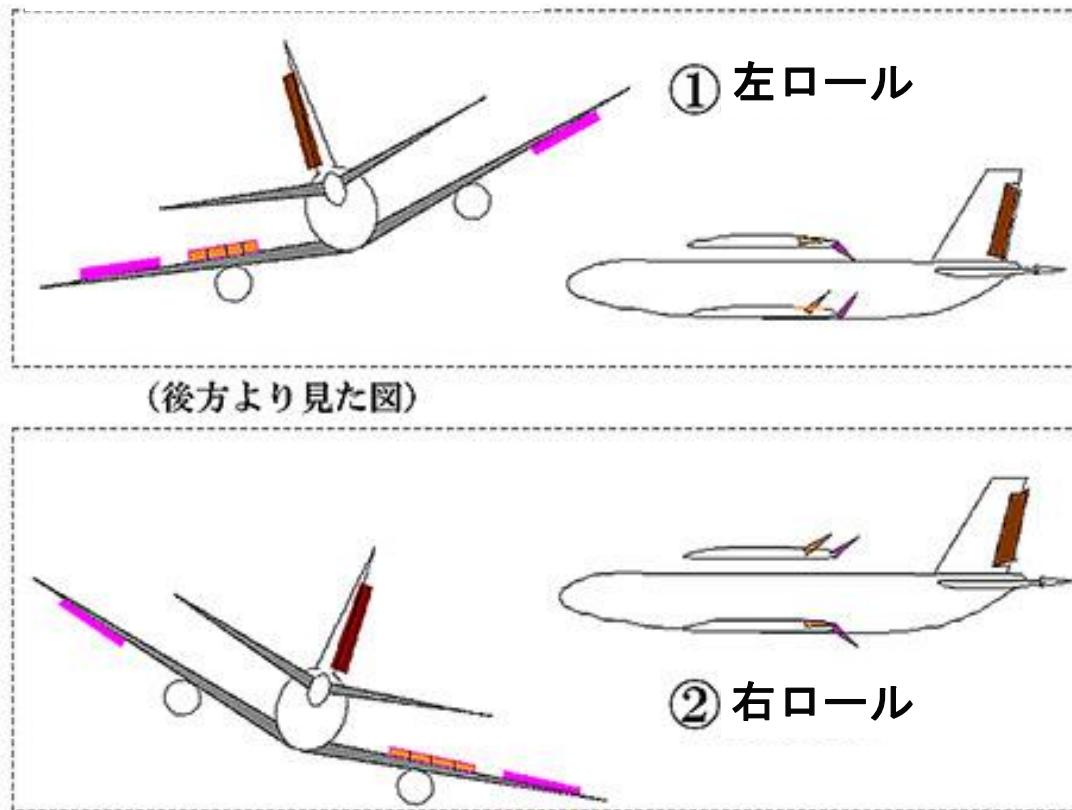
垂直尾翼の後縁は、やはり一部が左右にひらひらする可動式になっており、この部分をラダー（方向舵）と呼びます。ラダーペダルは、ラダーにつながっています。

ラダーペダルを右に踏み込むと、ラダーの尻は右に振れます。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ます。すると、機首は右を向きます（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、機首は逆に左を向くのです（左ヨー）。

## 12. 飛行機の操縦(ロール／ヨー)

### 左右ロールのしくみ



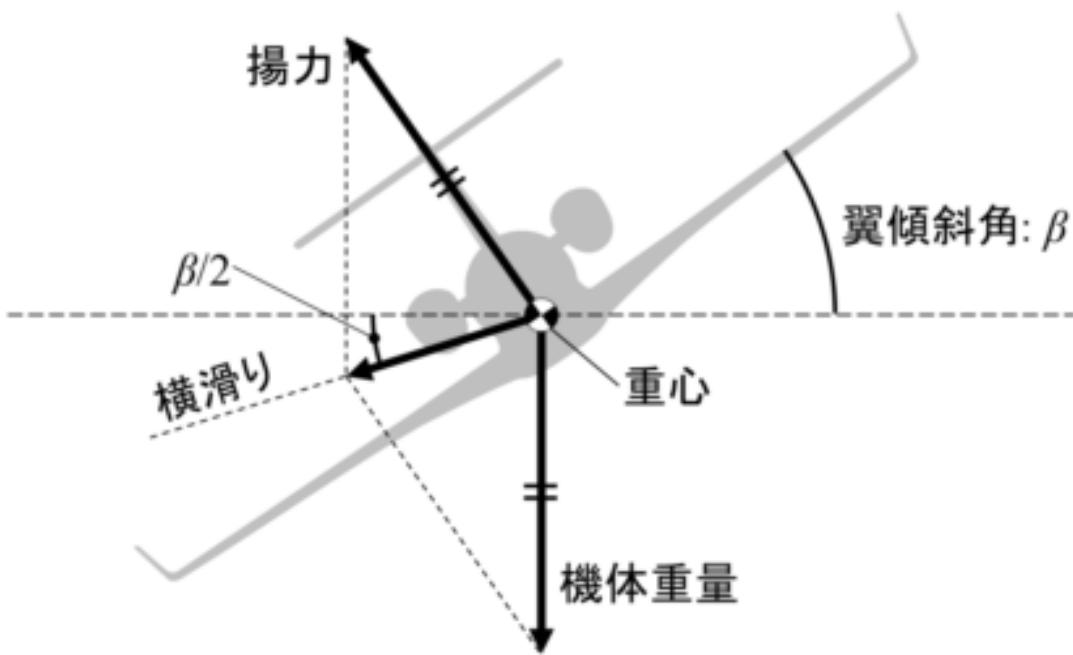
## 12. 飛行機の操縦(横滑り)

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、思われたかもしれません、それは実は間違いなのです。ラダーの動きは地上の自動車のハンドルの動きに近いですから、ラダーを切れば左右に曲がれると考えるのは無理ありません。しかし、ここは空中なのです。車輪は地面についていないのです。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」の発生です。

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ません。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しましょう。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ます。なので、飛行機が実際に飛ぶコースは、0度の方向に向かう力と、30度の方向に向かう力を合わせた、斜めのコースなのです。これを「横滑り」と言います。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墜落してしまいます。ラダーだけでは、効率よく曲がることができない、ということです。

## 12. 飛行機の操縦(横滑り)



## 12. 飛行機の操縦

左右に曲がりたい時は、どうすればいいのでしょうか。

実はそれには、今まで説明した、エレベーター、エルロン、ラダー、全てを使う必要があります。  
実際の旋回の方法は以下の通りです。右旋回の場合で書きます。

右ロールした時点の力ベクトル1：

まず、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します。

すると当然、主翼も右に傾きます。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、やや右向きになります。すると当然、飛行機を浮かばせる力は減ります。このため、横転飛行中の飛行機は一般的に、少しづつ高度が下がります。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ます。

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、機首を上げます（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ます）。これにより機首が上がり上昇するわけです。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ます。  
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ます。

アドバースヨーを打ち消す3：

実はこのままで、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います。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愉快な横向きのを感じるので、右方向にラダーを踏んで機首を右に振って調節します。

## 12. 飛行機の操縦

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ります。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づ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、という手順になります。

非常に操縦に熟練した人（その人は戦争中から飛行機を飛ばしていたそうです）は、計器板の上に立てて置いたタバコの箱（だったかな？）を倒れないようにしながら旋回できます。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した。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状態を常に地上と同じに保つことによって可能になります。目を閉じていれば、機内的人は飛行機が傾いていることに気づかないでしょう。すごい技術です。

## 13. 離着陸(滑走路について)

飛行機が飛ぶには一定の速度が必要です。

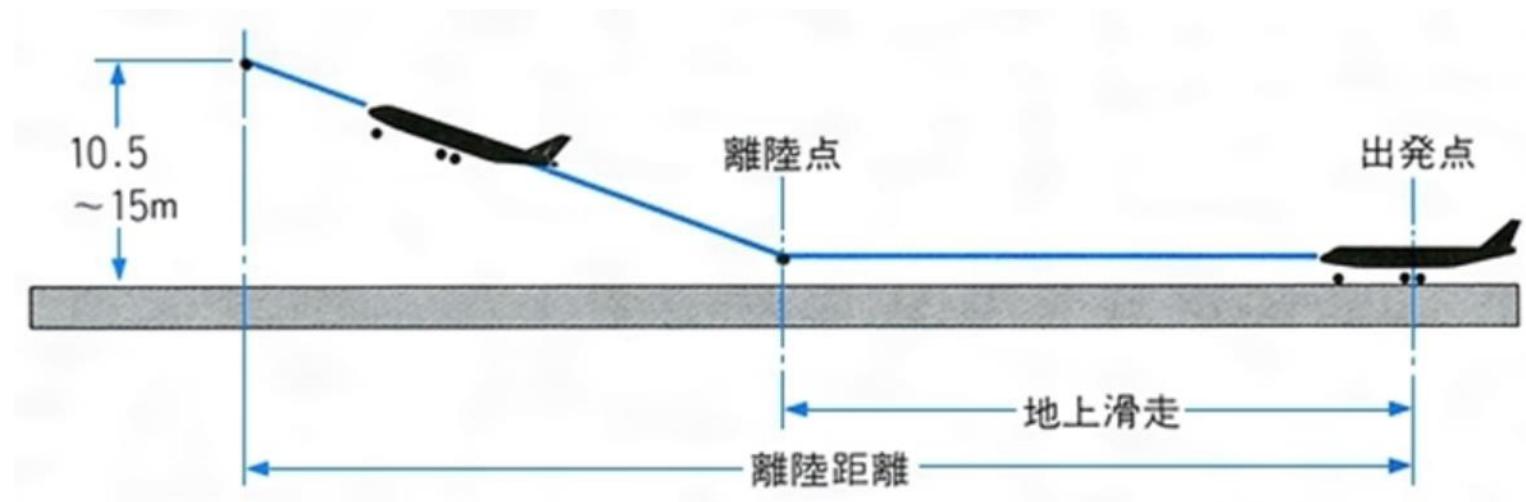
地上で停止している状態から飛行に必要な速度に達するまで、地上を走って加速しなければなりません。飛行機が離陸するには、地上を走って加速するために、地上に長い直線のスペースが必要です。機種にもよりますが、現代の飛行機なら長い場合で3000mほど必要になります。

また、これも機種によりますが、この直線のスペースは舗装されている必要があります。この直線道路のことを「滑走路」(英語では「ランウェイ」といいます。飛行機はみんなこの滑走路を利用して加速し、大空へと飛び立つのです。また、滑走路は離陸だけでなく、着陸にも必要です。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りません。ここでも、減速用のスペースとして滑走路が必要となります。

## 13. 離着陸(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ります。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りません。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りません。



## 13. 離着陸(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ですが、外から見ると理解は簡単です。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します。ただし、この時に全ての車輪が同時に接地しなければなりません。(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います。陸軍の隼では、主脚接地後に尾輪接地しました。)

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難しいです。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りません。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、操縦は難しいです。

### 離陸

④機体を水平に保ちながら、ブレーキをかけ、地上滑走速度まで減速する



⑤失速速度に近い速さで主脚から先に接地、ついで前輪を接地させる



⑥高度約10mくらいで、操縦ハンドルをすこし引き昇降舵を上げて機首を起こす。スロットルを開いてエンジンはアイドル状態で減速、フラップはフル・ダウンにする



⑦エンジン出力を戻ると下降を開始する。このときフラップをすこし下げて揚力を確保する



## 13. 離着陸(着陸)

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、操縦は簡単になります。

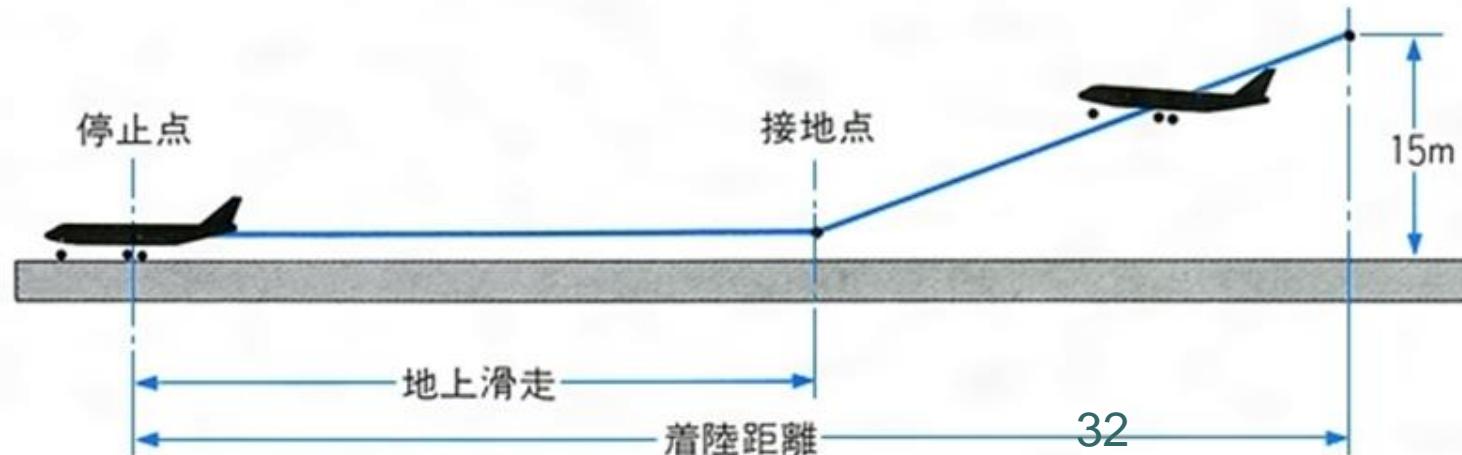
機首をやや上に向けながらゆっくりと降下しながら滑走路に進入します。

降下が一定なら速度も一定でOK。

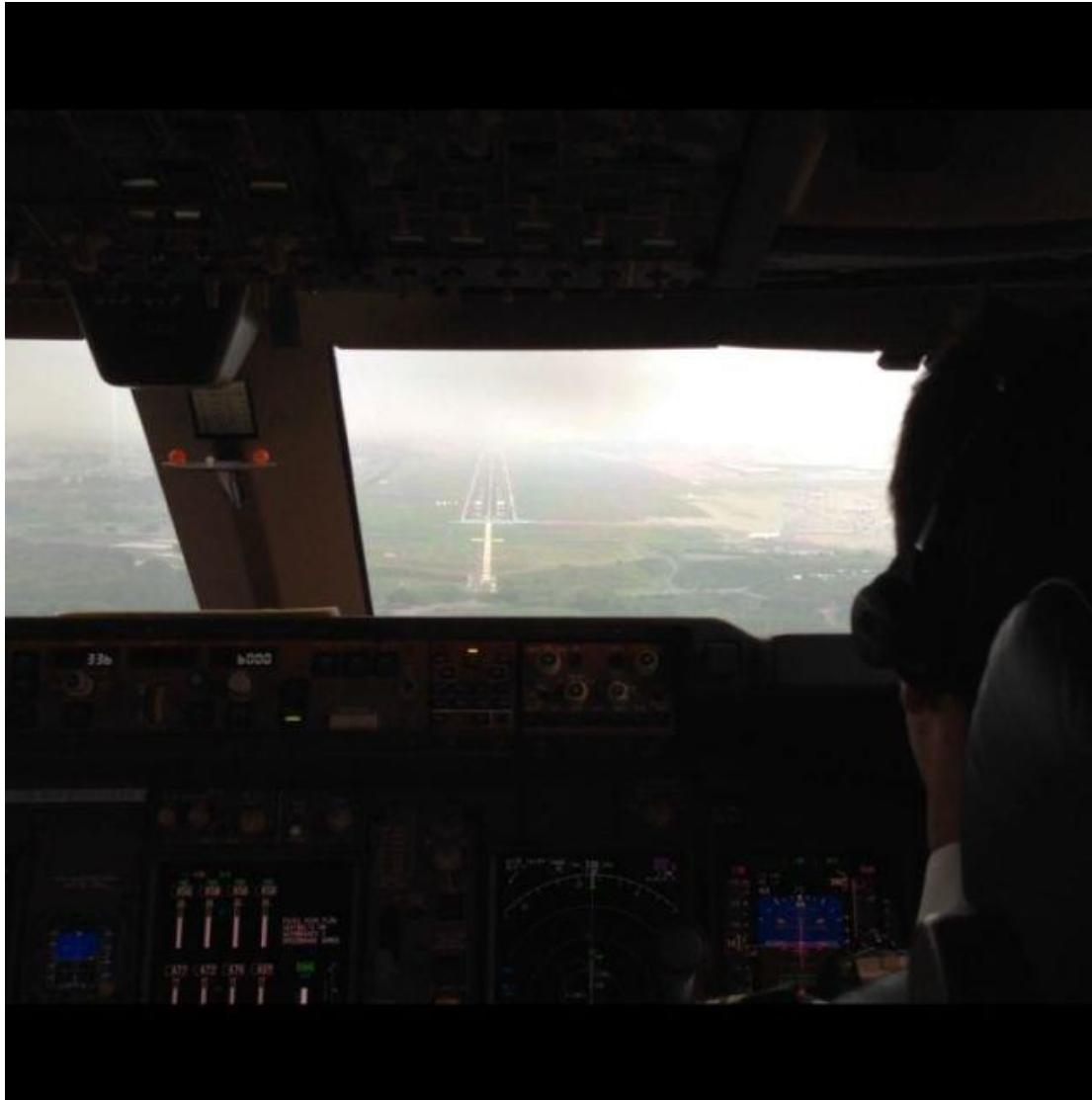
機首を上げたままで、先に後部の車輪を接地させ、その後で機首の車輪を接地させます。基本的に一定のペースで降下してくれれば良いです。

ここで記述したのは離着陸の操縦技術についてのみです。

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す。



● ● ● | 13. 離着陸(着陸)



# 14. 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す。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ます。以下に実機の安全設計に求められるとなる要素を示します。

- ・ 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、電気装備艤装、リチウムバッテリ配置など): 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)

# 15. 飛行機の要求スペック

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、フライハイワイヤー	目視、遠隔操作
製造コスト	数億円	2500円以下

# 16. 開発部門の担当分担

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、フッシャー方式
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、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 シングル、双発、多発	
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、ストリンガ、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	電子部品の梱装、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

# 16. 開発部門の担当分担

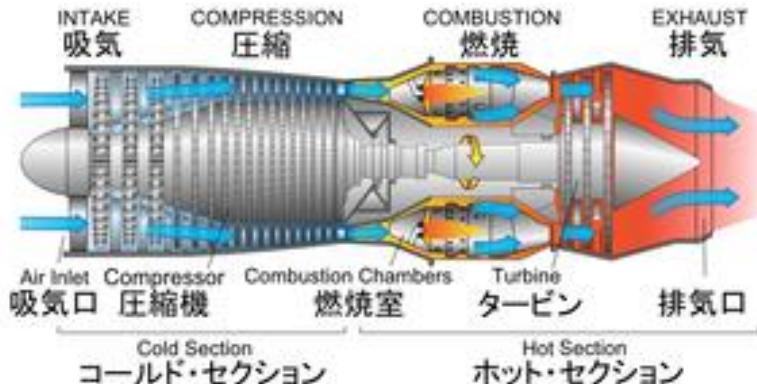
主な航空機開発メーカーを紹介します。

(1) ロッキード・マーチン	Lockheed Martin
(2) ボーイング	The Boeing
(3) ノースロップ・グラマン	Northrop Grumman
(4) レイセオン・テクノロジーズ	Raytheon Technologies
(5) ガルフストリーム・エアロスペース	Gulfstream Aerospace
(6) ホンダ エアクラフト	Honda Aircraft
(7) ボンバルディア	Bombardier
(8) 統一航空機製造会社	OAK
(9) エアバス	Airbus
(10) BAEシステムズ	BAE Systems plc
(11) ダッソー	Dassault
(12) ピラタス・エアクラフト	Pilatus Aircraft
(13) サーブ	SAAB
(14) エンブラエル	EMBRAER
(15) スペースX Space Exploration Technologies Corp.	
(16) 川崎重工株式会社	KHI
(17) SUBARU	FHI
(18) 三菱重工株式会社	MHI
(19) 新明和工業株式会社	ShinMaywa

<https://www.lockheedmartin.com/>  
<https://www.boeing.com/>  
<https://www.northropgrumman.com/>  
<https://www.rtx.com/>  
<https://www.gulfstream.com/>  
<https://www.hondajet.com/#3>  
<https://bombardier.com/en>  
<https://www.uacrussia.ru/ru/>  
<http://www.airbus.com>  
<http://www.baesystems.com>  
<http://www.dassault.fr/>  
<https://www.pilatus-aircraft.com/>  
<https://www.saab.com/>  
<http://www.embraer.com/>  
<https://www.spacex.com/>  
<https://www.khi.co.jp/>  
<https://www.subaru.co.jp/>  
<https://www.mhi.com/jp/>  
<http://www.shinmaywa.co.jp>

# 17. 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します。最も基本的なジェットエンジンの形式です。

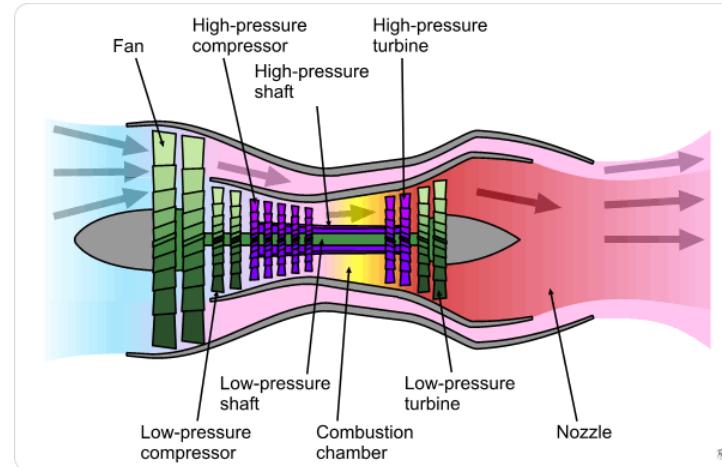
コアエンジン部を迂回したエアフローが設定されています。このエアフローにより、ジェットエンジン **推力** の増大および効率化が行われるのがターボファンエンジンです。

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す。

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ります。

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りました。

そのため、滑走路や格納庫、エプロンに、FODはあってはなりません。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ます。定期的にエプロンの一斉FOD探しなども実施されます。



### ターボファンエンジン

## 17. 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す。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ません。

### 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ります。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す。タービン・ブレードはムクの金属ではなくて、内部に空洞があります。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す。圧縮した分だけ温度が上がっていますが、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ます。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ですから、冷却の効率は良いです。

タービン・ブレードの内部を通っ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ります。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ます。

# 18. 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ます。

基本的に強度部材は軽量なアルミニウム合金で作られていますが、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います。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ります。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充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す。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ます。

## (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) を採用しています。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) 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ます。フレームとスキン、そしてストリンガの間は、シェアタイ (Shear Tie) とストラップ (Strap、帶板) で結合する方法が主流です。翼なども同様ですが、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です。

# 18. 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ぎます。
- ・ 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ます。
- ・ 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spoilerが備わっています。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ます。
- ・ 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ます。
- ・ 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ます。
- ・ 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す。

# 18. 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ます。
- ・ 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ますが、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ます。
- ・ 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です。
- ・ 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ます。エンジンを主翼のやや前方に取り付ければ、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ります。
- ・ 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ます。  
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ります。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ます。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ます。

# 18. 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ます。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ぎます。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す。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ます。水平尾翼もわずかに上反角が付いていますが、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す。

## (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ましたとされています。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ますが、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ります。

# 18. 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ります。

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| (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   |                  |

## 19. 航空局型式証明(FAA/TC)

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

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ません。

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・はく奪などを行います。

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)の二部門が存在します。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です。

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)が行っています。

# 19. 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す。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す。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用いることになります。

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みます。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」という意味です。

型式証明の検査には、設計、製造過程、現状検査があります。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ります。

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です。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します。

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ます。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ます。

# 19. 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します。なお、これらの検査・審査・試験は本省航空局が行います。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ります。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す。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ですが、国産航空機の場合は、原則して取得しなければなりません。型式証明を取得した航空機が、航空の用で使用される場合には、耐空証明を受けなければならないが、それをする際には、設計・製造過程の検査において一部が省略されます。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に、輸入航空機に対しても型式証明の取得を行っています。

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ます。

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りません。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ります。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つ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ます。

## 20. 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です。

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種に分類しています。

# 20. 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、動搖装置による動き、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)と呼ばれます。日本では模擬飛行装置と呼ばれています。

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ます。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ます。

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ます。

国際民間航空機関では動搖装置などにより第1種(さらに3段階)～第4種の合計で6段階に分けています。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ます。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)」となります。また装置の動作についても当局の認証が必要となります。

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ダ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ます。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7億9700万円です。

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ます。

近年では動搖装置として大型のロボットアームを使用するFFSも登場しています。

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ります。

# 20. 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を表現できるものとされます。機体の動きを体感できるまでの機能は要求されません。日本では飛行訓練装置やフライトトレーナと呼ばれます。

具体的には、操縦桿やスロットルやレバー、スイッチ類は必須ですが、計器パネルなどは画面上に模倣されれば良いです。FFSとの違いが動搖装置の有無という物もありますが、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ます、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ます。

動搖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ます。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が用意されています。飛行時間の取り扱いに関しては模擬飛行装置と同じですが、再現の度合いにより充当できる飛行時間が異なります。

飛行方式訓練装置:

飛行方式訓練装置(Cockpit Procedure Mockup、CPM)は特定の機種の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すが、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擬はできません。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す。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ります。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しますが、このためだけに実機を占有するのは不経済です。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ます。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もあります。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を使用します。

# 20. 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ー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生産システムへの連接に応用される。
- ・地形マップ、建物、構造物の3次元数値モデル化

### (5) 飛行解析の為の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。

# 20. 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

TryAir

LUXURY FLIGHT

えいとアビエーション

フライトシミュレーション沖縄

神戸フライトシミュレーターセンター テクノバード

PDエアロスペース株式会社

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

あいち航空ミュージアム

岐阜かがみがはら航空宇宙博物館

工学院大学

金沢工業大学のフライトシミュレータ

朝日航空(株)飛行訓練装置(FTD)「GTX-MAX」

岡山航空(株)操縦訓練

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

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

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

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

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

<http://technobird.jp/>

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

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

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

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

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

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

<http://r-katayanagi.air-nifty.com/a2/cat2041119/index.html>

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

<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](https://ja.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Flight_Simulator)

Lockheed Martin PrePar3D

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

X-Plane11

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

FlightGear

<http://www.flightgear.jpn.org/>

YS FLIGHT SIMULATOR

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

# 21. 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。



エンジンはライカミング社製  
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  
念入にチューンされる。



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、新技术で  
挑戦している。この機体は、本当は表面は  
「リレンジ/レンジ」なのに、わざと外板の  
つぎ目らしい線を描いてる。



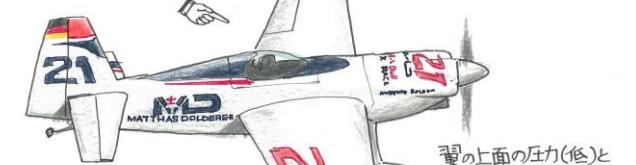
主翼の端を立てて  
「ウイングレット」。  
抵抗を減らす  
効果がある。  
ウイングレットの大きさや  
形もチームによって  
さまざまだ。

同じエッジ540でも、各チーム・各パイロットが  
独自の改良を加えている。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  
違う。

室屋選手をはじめ、多くのパイロットが使っている、アメリカの  
ジヴコ社製エッジ540。胴体は鋼鉄チューブの骨組みに  
カーボンの外皮をはって、主翼はカーボン製。

マティアス・ドルダーラ選手の  
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。

翼端に立ち上がるところのか  
「ウイングレット」。



ダブル・エアレース機を  
3から見ると、翼端渦は  
くりこんな感じに見える。  
翼端を小さくして、抵抗を  
減らすのが「ウイングレット」だ。



ウイングレットで抵抗を  
減らせば、同じ速さで  
同じ距離を飛んで、  
う燃料を少なくて  
じ、という  
ナギ、  
ウイングレットは  
客機に  
採用されてる。



## 22. キーワード

以降に示すキーワードは、ここまで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貯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。	
テーバー翼	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ィーバー翼と呼び、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、橿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、海鳥の平面形は橿円翼ではなくティーバー翼となっている。	

## 22. 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"><li>1.翼の根元あるいは機体の重心位置で失速が始まても、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。</li><li>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。</li><li>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。</li><li>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すると翼の重量が増える。</li><li>5.ステルス性が低い。</li></ol>	
三角翼	ギリシャ文字の△(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事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。	

## 22. 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)を持つ固定翼機の設計である。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い、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 자체を意味する。</p>	
プッシャー方式／トラクター式	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テ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。	

## 22. 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 <a href="#">安定性</a> の不足を補い、動搖の <a href="#">減衰</a> を強めるために設けられる <a href="#">自動操縦装置</a> 。 <a href="#">ジャイロ計器</a> や <a href="#">加速度計</a> 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 <a href="#">ダッチロール</a> は <a href="#">操縦士</a> 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 <a href="#">電波</a> による支援を得ることなく、搭載する <a href="#">センサ</a> (IMU)のみによって自らの <a href="#">位置</a> や <a href="#">速度</a> を算出する。	
IMU	Inertial Measurement Unit <a href="#">慣性計測装置</a> 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 <a href="#">ジャイロ</a> と3方向の <a href="#">加速度計</a> によって、3次元の <a href="#">角速度</a> と <a href="#">加速度</a> 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 <a href="#">重心</a> に置く。	
Gyro	gyroscope <a href="#">ジャイロスコープ</a> 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	

## 22. 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ヂ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>	

## 22. キーワード

キーワード	定義	備考
PFD	Primary Flight Display プライマリ・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。 <a href="#">制御工学</a> 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 <sup>[1]</sup> 。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。	
クオータニオン	<a href="#">quaternion</a> 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イリアム・ローワン・ハミルトンによってなされ <sup>[1][2]</sup> 、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 <sup>[3]</sup> 。これは二つのベクトルの商と言っても同じである <sup>[4]</sup> 。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。	

## 22. キーワード

キーワード	定義	備考
EICAS	<p>Engine Indication and Crew Alerting System エンジン計器・乗員警告システム</p> <p>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<u>航空機関士</u>が担当していた監視業務を自動化し、<u>降着装置</u>や任意の機器情報の表示を行う。</p> <p>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、警告する機能もある</p>	
FMS	<p>Flight Management System 飛行管理システム</p> <p>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、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。</p> <p>航法支援／性能・経済性支援／誘導支援</p>	

## 22. 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	

## 22. 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( <a href="#">無人機</a> である) <a href="#">航空機</a> のこと。通称として、短く <a href="#">ドローン</a> (drone)と呼ばれることがある。	
<a href="#">ドローン</a>	drone <a href="#">遠隔操縦</a> あるいは自律式の <a href="#">無人航空機</a> 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 <a href="#">ヘリコプター</a> の一種であり、3つ以上のローターを搭載した <a href="#">回転翼機</a> のことである。	

## 23. 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」分からなって本当？

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

(4) 【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>

(5) 【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>

(6) 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](https://news.mynavi.jp/series/aero_tech)

(第1回から第183回まである。)

(7) なぜ、旅客機は高速で飛ぶ必要があるのか？

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

## 23. 出典(参考リンクなど)

(8) 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。)

(9) 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。)

(10) 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>

(11) 空の飛び方

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

(12) 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/>

(13) 片柳亮二博士のホームページ

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

(14) ウィキペディア フリー百科事典

## 24. 飛行機の楽しみ方

(1) 折り紙飛行機

(航空少年団活動)

(2) ペーパークラフト、紙飛行機

(かがみがはら紙飛行機クラブ、アンドリュー・デュアーさん)

(3) ゴムリリース・クラフト・プレーン

(HIFC はしもとindoor Flight Club )

ゴムリリース・クラフト・プレーンの作り方

(4) 室内ラジコン飛行機

(SSFC、HIFC はしもとindoor Flight Club )

2モータ方式室内ラジコン飛行機の作り方

(5) 屋外ラジコン飛行機

(貞弁RCクラブなど)

(6) フライトシミュレータ

岐阜かがみがはら航空宇宙博物館

あいち航空ミュージアム

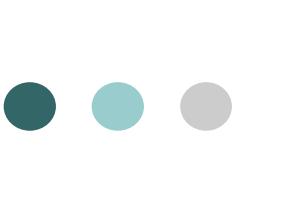
(7) パソコンでのフライトシミュレータ zoomと併用してマルチフライトでPlayできます。

市販品 (Prepar3D, MicroSoft Flight Simulator)

フリーソフト(FlightGear, YS Flight Simulator) : リモートでサポートいたします。

(8) 3D CGプログラミング : リモートでサポートいたします。

JavaScript/Three.js blender, Unity, VRML, BlueImpulse3D開発キット (山川総司著)



## 25. 折り紙飛行機

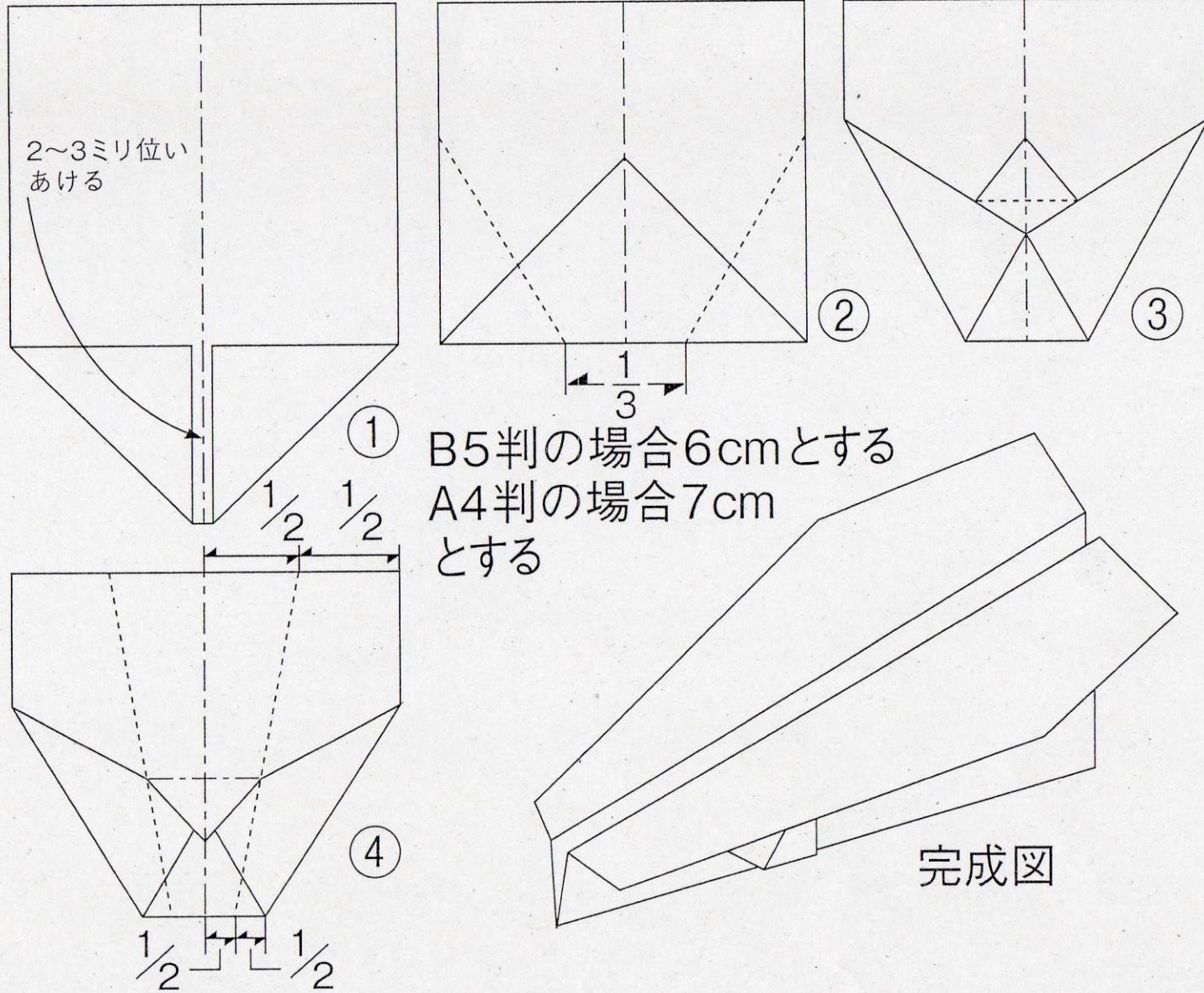
折り紙飛行機は、日本航空少年団が、次ページの説明書に従って、指導してくれます。イベント開催希望の要望がある場合は以下に連絡してください。

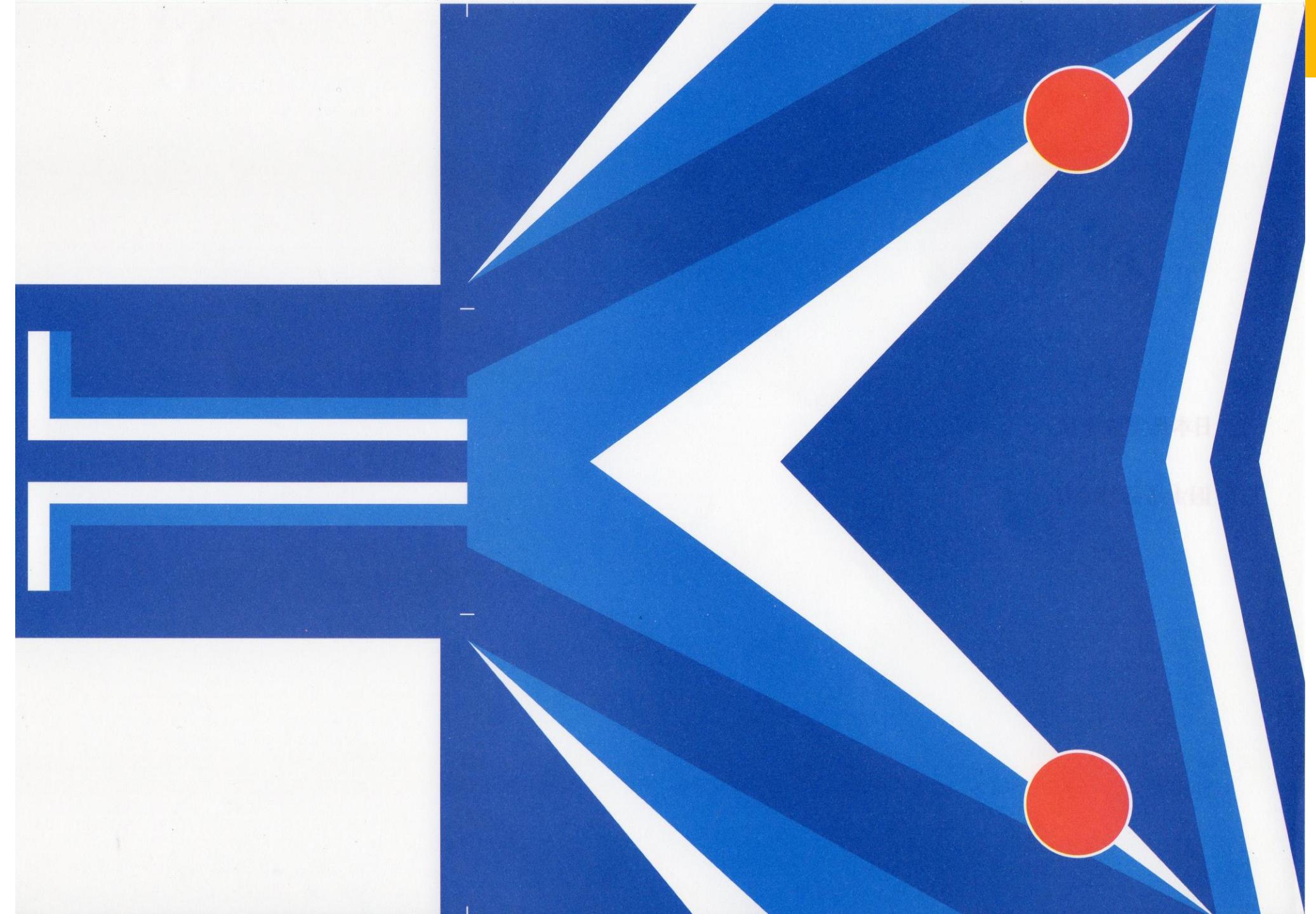
櫻井団長

携帯電話 : 090-6354-5641

メール : [sakura\\_44700815@me.ccnw.ne.jp](mailto:sakura_44700815@me.ccnw.ne.jp)

# ●折り紙飛行機







## 26. ペーパークラフト

ペーパークラフトは、かがみがはら紙飛行機クラブ、アンドリュー・デュアさんが、次ページの説明書に従って、指導してくれます。イベント開催希望の要望がある場合は以下に連絡してください。

アンドリュー・デュア

メール：[fadewar@gmail.com](mailto:fadewar@gmail.com)

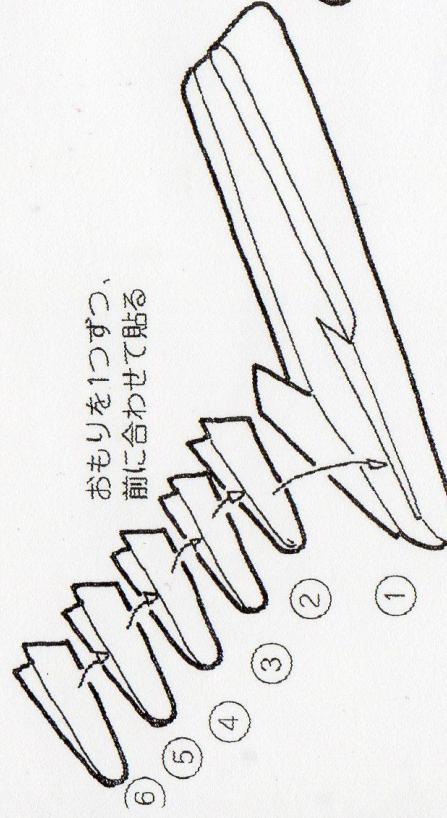
かがみがはら紙飛行機クラブ

[kakamigahara.paperplane2019@gmail.com](mailto:kakamigahara.paperplane2019@gmail.com)

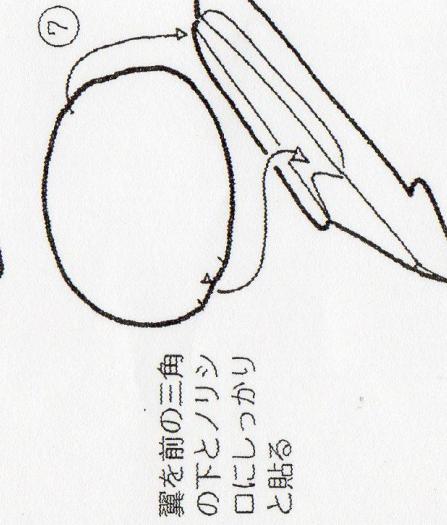
<https://m.facebook.com/kakamigahara.kamihikouki/>

# てんとう虫

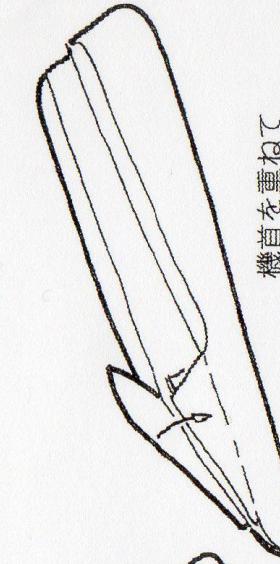
部品を切りとつて組み立てる前に、好きな絵を描いてください。ノリはクレヨンにつかないで、ねばねばした面をかけてください。ノリを使いすぎるとヒコーキはきたなくなる。そしてこのページをとっておいて、部品の型紙に使ってんとう虫をたくさん作ってください。



おもりを1つずつ、  
前に合わせて貼る



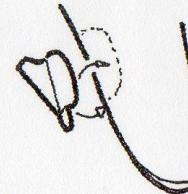
翼を前の三角  
の下とノリシ  
口にしつかり  
と貼る



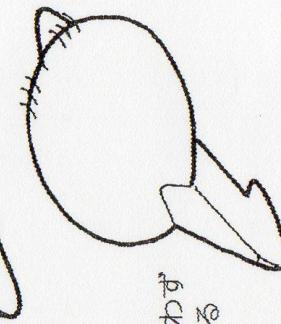
機首を重ねて  
貼り合わせる



胴体のうしろを  
貼り合わせる



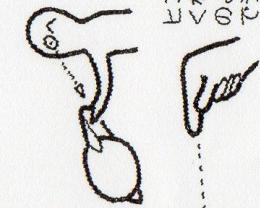
⑧ フックを貼りあ  
わせて、胴体の  
下にとりつける



翼のうしろをわす  
かに上に曲げる

## テスト飛行

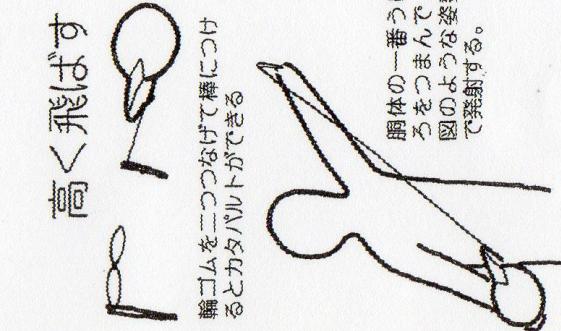
機体が曲がっていないな  
いことを確認し、あ  
れば直す



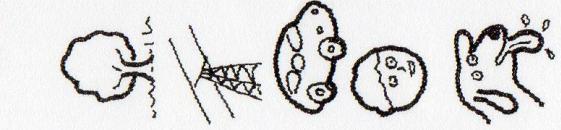
ちようどいい  
主翼のうしろを回  
のよに曲げて方  
向を調整する

## 高く飛ばす

輪ゴムを二つつなげて棒につけ  
るとカタハルトができる

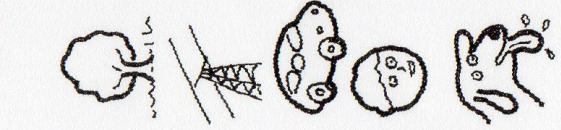


胴体の一番うし  
ろをまんんで、  
団のよくな勢  
で発射する。

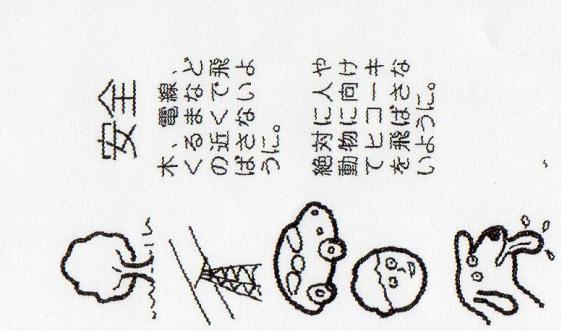


## 安全

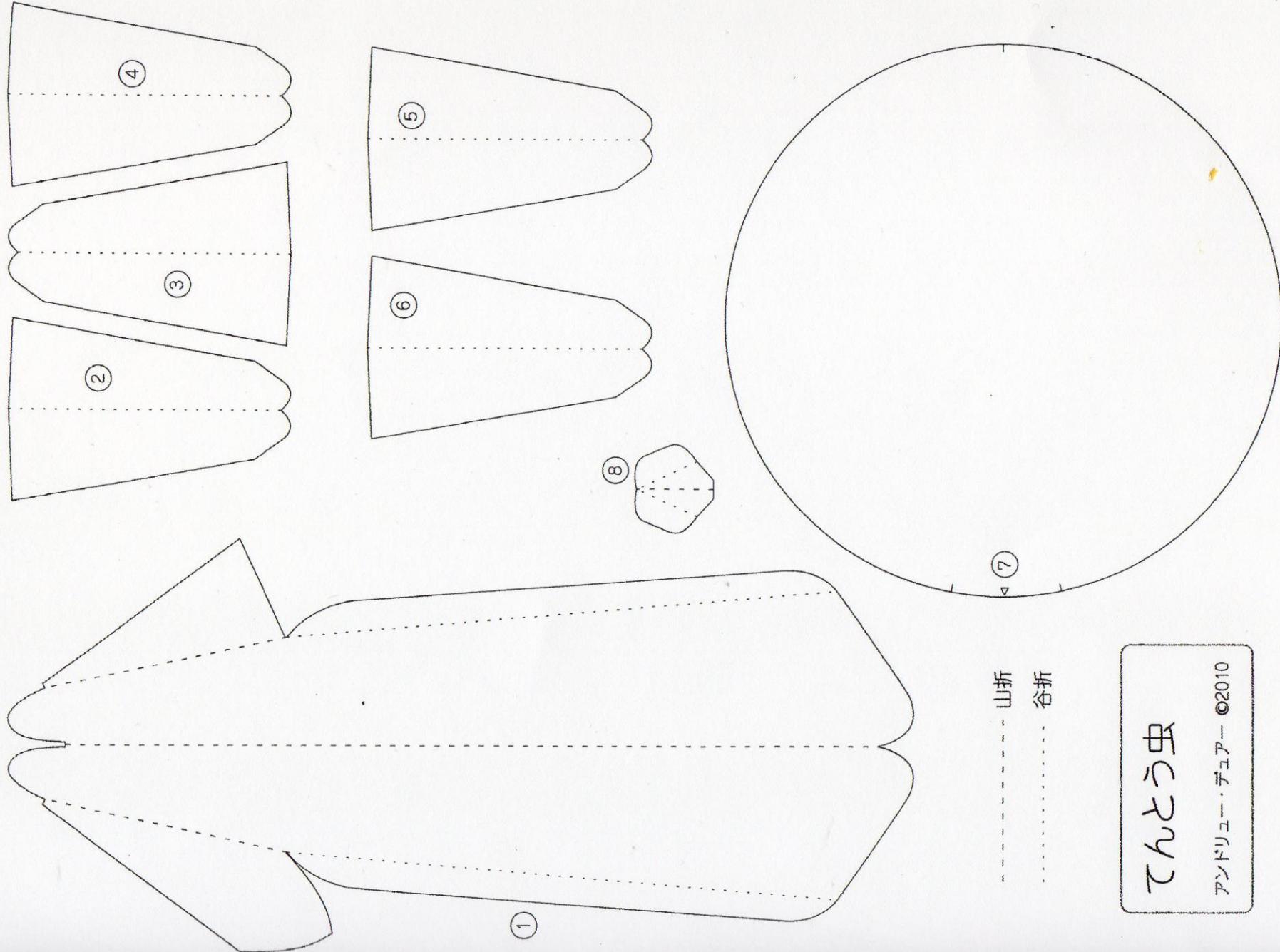
木、電線、じ  
くらまなよ  
の近くで飛  
ばさないよ  
うに。



絶対に人や  
動物に向け  
てヒコーキ  
を飛ばさな  
いように。



左が上、右が下へ 左が下、右が上へ



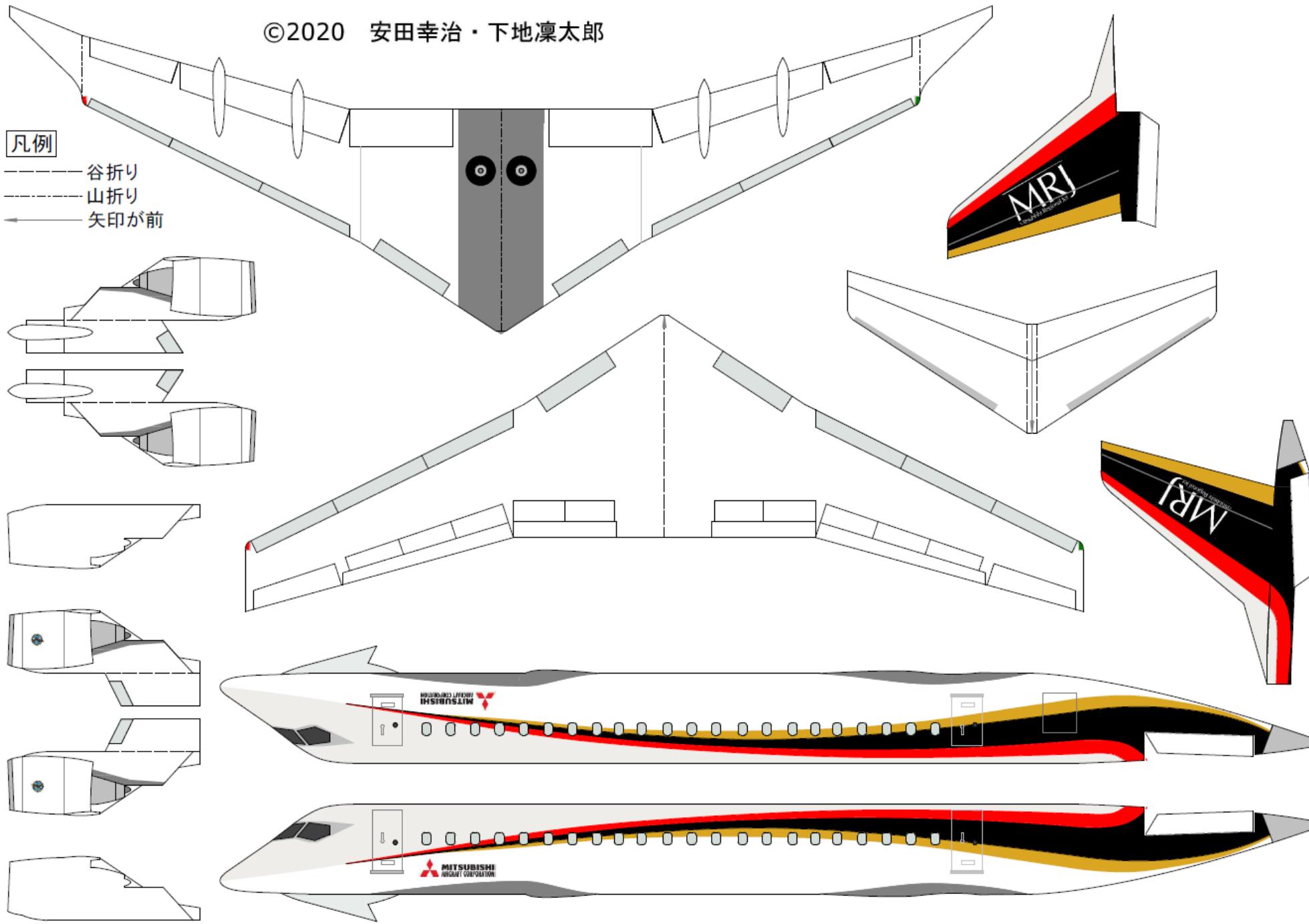
てんとう虫

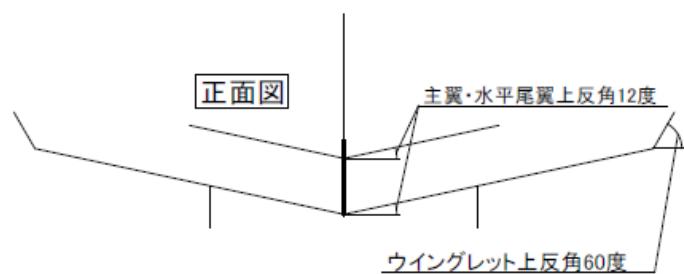
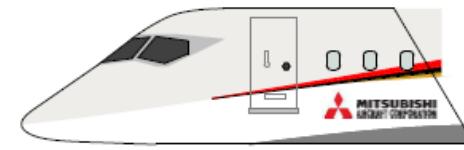
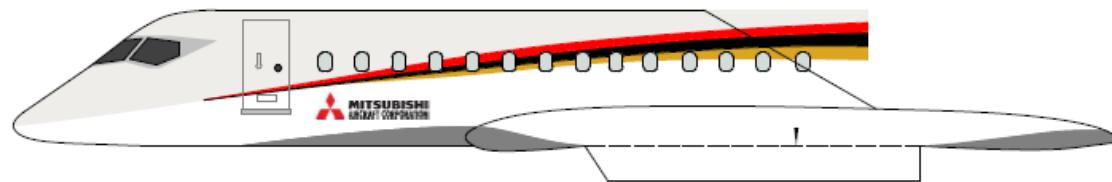
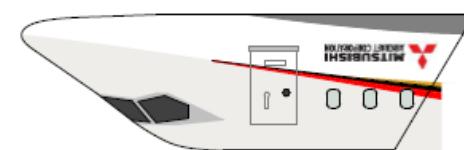
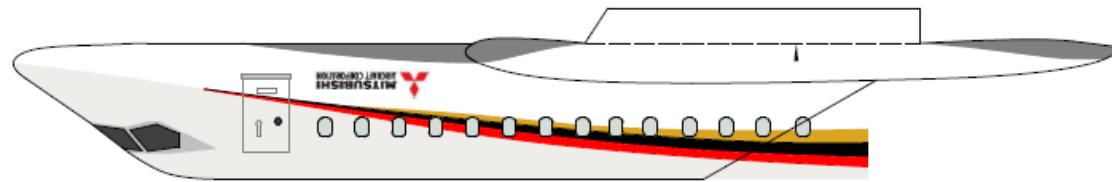
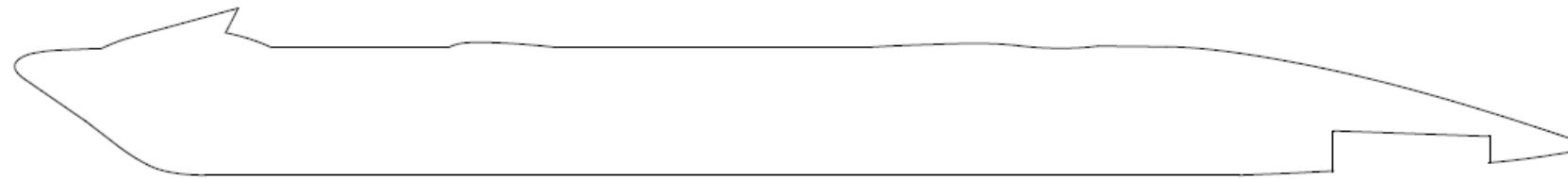
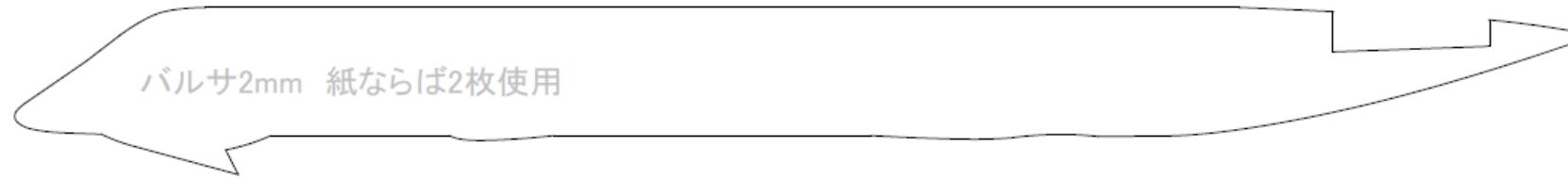
アンドリュー・デュアーラ ©2010

©2020 安田幸治・下地凜太郎

凡例

- 谷折り
- 山折り
- 矢印が前



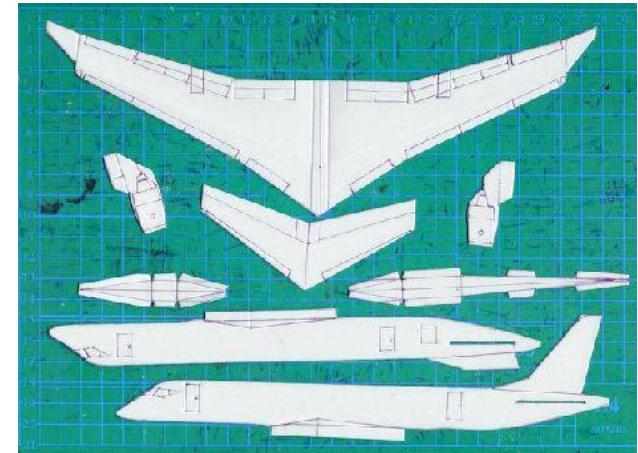


● ● ● | 27. ゴムリリース・クラフト・プレーンの作り方

2. 必要な道具

## ● ● ● | 27. ゴムリリース・クラフト・プレーンの作り方

- (1) 型紙コピー印刷  
パソコン、プリンタ、データ
- (2) 型紙切り抜き  
カッター、マット、金属定規  
ハサミ
- (3) 素材に転写  
(素材: 食品トレイ、発泡スチロールシート)  
ボールペン、サインペン
- (4) 素材からパーツ切り出し  
カッター、マット、金属定規  
ハサミ
- (5) 翼の前縁、後縁削り、やすりかけ
- (6) ペイント  
マジック、絵具、プラカラー
- (7) ストローボディに部品取り付け  
両面テープ、セロハンテープ  
木工用ボンド
- (8) 重心調整、バランス確認  
粘土
- (9) 滑空調整  
エレベーター、エルロン、ラダーの角度調整
- (10) ゴムカタハルト作成  
割りばし、輪ゴム
- (11) 飛行  
水平飛行で、5m先のターゲットの紙コップにあてる  
45度斜め上にリリースして滞空時間を記録する。



## 28. 室内ラジコン飛行機(目次)

- 28-1. ゆっくり飛行する室内飛行機に期待すること
- 28-2. ラジコンの基礎知識と用語
- 28-3. ラジコンのマナーと航空法
- 28-4. 室内ラジコン飛行機のしくみ
- 28-5. 室内ラジコン飛行機の製作
- 28-6. 室内ラジコン飛行機の操縦
- 28-7. 室内ラジコン飛行機で苦労した点
- 28-9. 共通のRCモジュール
- 28-10. 必要な道具
- 28-11. KT-02B Type-MRJ
- 28-12. KT-12 My Standard
- 28-13. KT-20 My Type-A6M2
- 28-14. KT-27B Straw Plane
- 28-15. RCモジュールの抽出
- 28-16. 注意事項

# 28-1. ゆっくり飛行する室内飛行機に期待すること

## 「遊びから学ぶ」

### (1) 室内飛行機から得されること

- ・ デザイン、製作、試験、操縦、分析の一連の工程が具体的に体験できます。
- ・ 授業で学んだ物理事象の具体的な観察ができます。
- ・ 単純な模型をいかに意図通りに飛行させることの難しさと、解決することの価値がわかります。
- ・ 意図通り模型が飛行することが、いかに楽しいことか体感できます。

### (2)なぜ室内飛行機か？

- ・ 折り紙飛行機、ペーパープレーン、ゴム動力飛行機、フリープレーン では、いかに滑空／滞空するかまでしか体感できません。
- ・ フライト・シミュレータでは、ディスプレイ上の視界、外観表示、数値情報、グラフからの体感までです。
- ・ 本格ラジコン飛行機は、飛行速度が速く、飛行範囲が広く、観察／操縦が困難。エンジン機／電動機は実機のみにハイリスクです。
- ・ マニアック・ラジコンクラブで、気難しい職人気質の方に弟子入りするような方法でしかなされていない：絶滅危惧種です。

### (3) ゆっくり飛ぶ室内飛行機

- ・ 限られた空間、比較的ゆっくり飛行、操縦に応じた物理現象を観察できます。 操縦も短時間で習得できます。
- ・ 航空機の電動化の潮流を体験できます。
- ・ 電子システム(リチウム電池、送受信機／ESC、サーボ、モータ、ソレノイドアクチュエータなど)の取り扱いが体験できます。
- ・ 安全に天候に左右されません。
- ・ 多くの子供たちに丁寧に飛行の仕組みを伝えることができます
- ・ 技術の進歩は、おもちゃや業界が、積極的に実験してくれます。
- ・ 将来に発展するものがたくさんあります。(宝の山です。)

## 28-2. ラジコンの基礎知識と用語

出展: <http://www.shintani-1.co.jp/shop/kiso.html>

ラジコンはなぜ、実機のように複雑な操作ができるのでしょうか？

プロポーショナルシステムという、「おもちゃ」ではなくラジコンに搭載されている制御システムがあるから。

この制御システムと操縦者が一体となった時、ラジコンは実機以上のパフォーマンスを発揮することができます。

### プロポーショナルシステム

ラジコンの基本は電波を利用して模型をコントロールするが、なぜ複雑なコントロールができるのでしょうか？

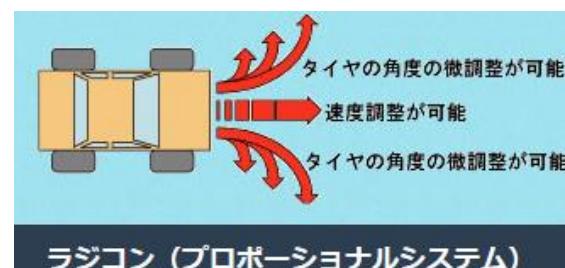
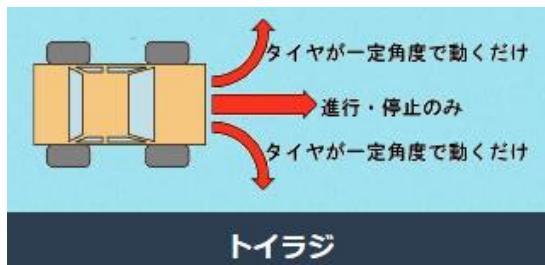
スピードや方向をコントロールするために、必要なのが「送信機」「受信機」「サーボ」ですが、もし「走る」「止まる」「右」「左」だけの動作だけであれば「送信機」「受信機」があればできます。方向やスピードを調整する場合に、コントロールする人間の意志を伝える役割が「送信機」「電波」その意志を反映させるのが、「受信機」と「サーボ」になります。このシステムを「プロポ」または、「プロポーショナルシステム」といいます。

プロポーショナルシステムの最大の特徴は「送信機」の操作量に比例してスムーズに操作できることです。

ここがいわゆる「トイラジ」といわれる「おもちゃ」との最大の違いです。

トイラジ プロポーショナルシステムを採用していないラジコンで、安価であるため、「おもちゃ」としての要素が強い。

ラジコン プロポーショナルシステムを採用している為、送信機からの複雑操作に対応できるので実車や実機のような動きができると共に、場合によっては実車や実機を超えるパフォーマンスを発揮することもできます。



## 28-2. ラジコンの基礎知識と用語

### サーボについて

受信機で受け取った「電波」を機械的な動きに変えるのがサーボの役割です。

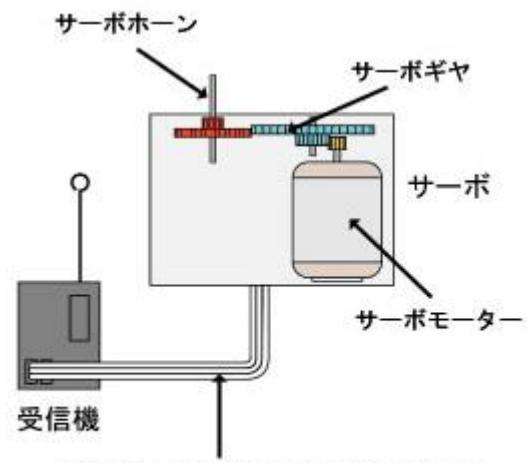
アンテナで受信した電波を解析して、サーボに内蔵されている「サーボモーター」を動かします。

モーターから、いくつかのギヤ(歯車)を介して、「サーボホーン」を動かします。

「サーボホーン」はスロットル(エンジンやモーター調整)や、ステアリング(方向を変える)にワイヤなどで繋がっていて、その動きで調整します。

### 用語解説

受信機	送信機から発信された電波を受信して、その命令を、サーボに伝える装置
サーボ	電気信号を機械的な動き(実際の操作)に変えるための装置の名称(名前)
サーボモーター	受信機から送られた命令を機械的な動き(実際の操作)に変えるために、ギヤ(歯車)に伝達する役割 (回転数や速度の変化)
サーボギヤ	モーターから伝達された動きを、調整してサーボホーンに伝える役割
サーボホーン	サーボギヤから送られた動きを実際に、エンジンやモータ、ステアリング、ラダー(方向)、エレベータ(上昇・下降)へ 伝える役割



## 28-2. ラジコンの基礎知識と用語

### 電波について

送信機から電波が発信されて受信機で受け取りサーボでコントロールするわけですが、模型をコントロールするために、ラジコンカーであれば「動力の調整」と「方向の調整」が必要になります。また「ラジコン飛行機」や「ラジコンヘリ」では、「動力の調整」「方向の調整」のほかに「高度の調整」「傾きの調整」が必要になります。一般的に「ラジコンカー」は2ch、「ラジコン飛行機」「ラジコンヘリ」は3ch以上の電波を使います。「1ch／1サーボ」が基本です。したがって、操作する機能が多くなれば、コントロールに使用するch数とサーボ数が多くなります。

### 用語解説

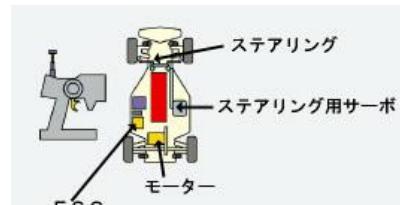
電動ラジコンカー	モーターの力で走行するラジコンカー
ステアリング	タイヤの方向を変え、曲がる方向を制御します
ステアリングサーボ	送信機からの命令を、ステアリングに伝えるサーボ
ESC	電気式スピードコントローラの略で、電圧、電流の変化で直接モーターを制御します
エンジンラジコンカー	エンジンの力で走行するラジコンカー
スロットル	エンジンの出力(スピード)は、燃料の多さで決まるので、その燃料を調節する装置
ラダー	飛行機の垂直尾翼にあり、飛行機の方向を制御する。船でいうと「舵」と同じ働き
エレベーター	水平尾翼にあり、飛行機の上昇、降下を制御します
エルロン	入門機にはないが、実機や上級者向けのラジコン飛行機の主翼にある。飛行機を左右に傾ける働きをします

### 飛行機

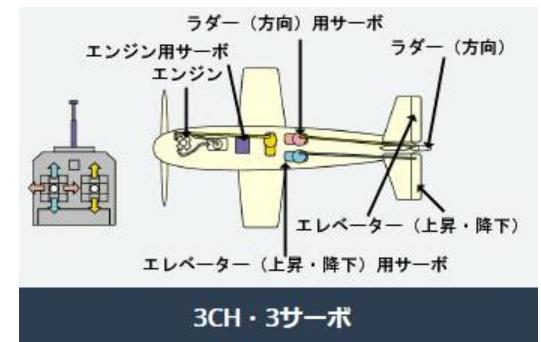
- 2ch スピード／ラダー 制御
- 3ch スピード／ラダー／エレベータ 制御
- 4ch スピード／ラダー／エレベータ／エルロン 制御

### ヘリコプター

- 6ch スピード／ラダー／エレベータ／エルロン／ピッチ／ジャイロ 感度設定 制御



2CH・1サーボ・1ESC  
(電動ラジコンカー)



3CH・3サーボ

## 28-2. ラジコンの基礎知識と用語

利用されている電波は、AM方式・FM方式・PCM方式があります

AMよりFM、FMの信号をデジタル化したPCMの方がより正確に信号を受信機を介してサーボに伝えることができます。

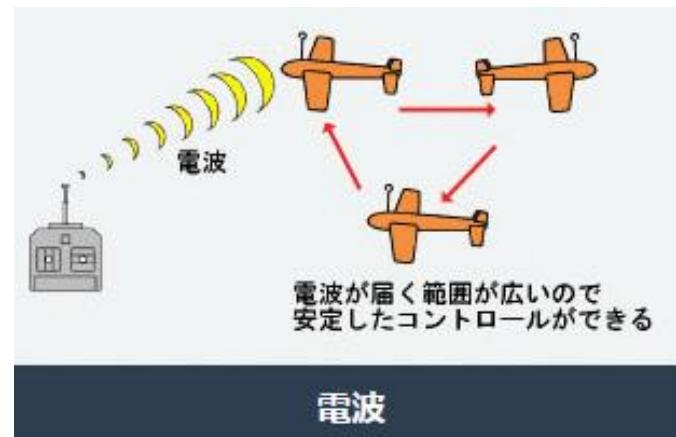
### 用語解説

AM方式 電波の振幅でラジコンに命令をする方法。一般のAMラジオと同じ電波方式。

FM方式 電波の周波数の変動を利用して、ラジコンに命令をする方法。一般のFM放送ラジオと同じ方式

PCM方式 電波はFM方式で、その内容をデジタル化した方式

最近主流の2.4GHzは、PCM方式で、AM/FMのような混信防止のバンド管理が、不要で、バインド／認証方式により、送信機／受信機のカップリング後は、混信する心配がありません。このメリットは、同じ2.4GHzで複数の機体を運用することができます。  
(バインドとは2.4GHz無線を使うラジコンシステムで、送信機と受信機の間で連絡を取り合って空きチャネルなどを合わせる手順のこと)



## 28-2. ラジコンの基礎知識と用語

### 送信機について

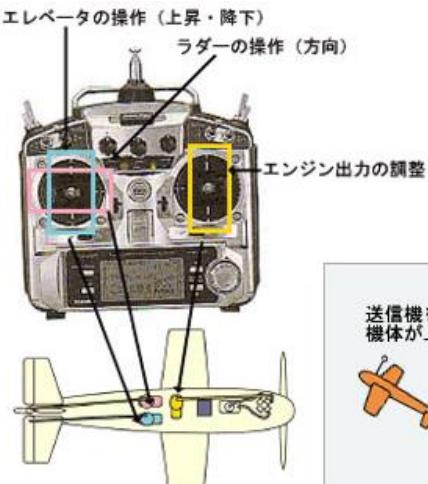
送信機には、使用する電波のch数で、2chは「ラジコンカー」用、3chは「ラジコン飛行機」「ラジコンヘリ」用と分けることができます  
また、形から「ホイールタイプ」と「スティックタイプ」に分けることができます。

「ホイールタイプ」はラジコンカー用、「スティックタイプ」は、「ラジコンカー」「ラジコン飛行機」「ラジコンヘリ」と、万能です。

「ラジコン飛行機」「ラジコンヘリ」用のスティック式は「右スティック」でエンジンを操作し、「左スティック」で上昇・下降・方向を操作します。  
この操作を電気信号に変え、さらに電波に変換されて受信機へ送られます。

ラジコンヘリ・飛行機用送信機 (モード1／2で左右スティックの機能定義が違う。)

- |                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| 右スティック 上に傾ける: エンジン回転数UP | エレベータの操作 (上昇・下降) |
| 下に傾ける: エンジン回転数DOWN      | ラダーの操作 (方向)      |
| 左スティック 上に傾ける: 機体上昇      | エンジン出力の調整        |
| 下に傾ける: 機体下降             |                  |
| 左に傾ける: 左へ曲がる            |                  |
| 右に傾ける: 右に曲がる            |                  |



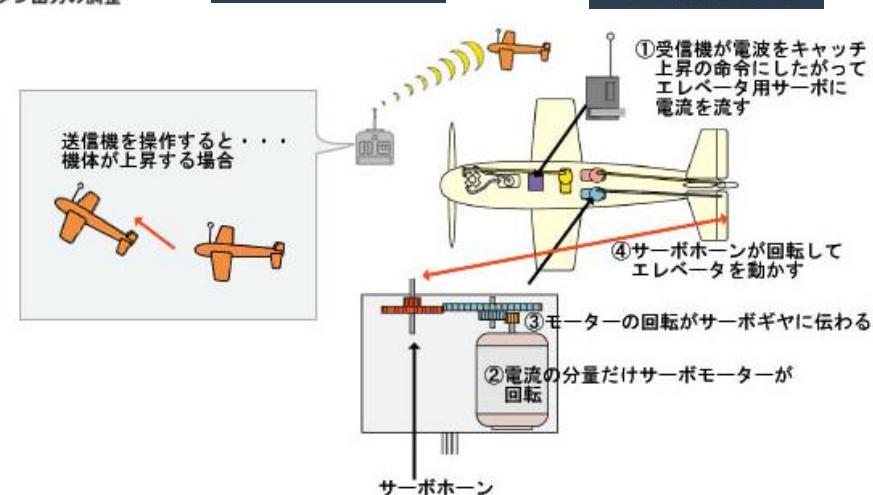
ラジコン操作の流れは以下となります

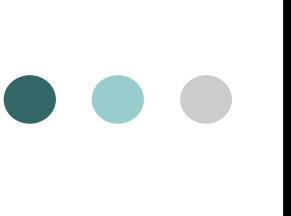
- 1 送信機を操作します。
- 2 送信機の集積回路で電波に変換します
- 3 電波を受信機が受信します
- 4 サーボモーターが動き、各機器を操作します



ラジコンカー用送信機

ヘリ・飛行機用送信機





## 28-2. ラジコンの基礎知識と用語

<送信機のモード1とモード2>

モードは送信機のスティック機能 の割り当ての違いです

モード1:右スティックの縦がスロットル、横がエルロン(左右)、左スティック の縦がエレベータ(前後)、横がラダー(機体の向き)

モード2:左右スティックが 入れ替わっています

一旦モード1で操縦がなれると、モード2に移行するのはかなり難しいです。

日本ではモード1が多く、海外ではモード2が多いです。

安物の送信機でない場合、改造でモード1と2 を変換できる物が多いです。

海外製品を輸入する場合、改造できるか事前にチェックしておく必要があります。

## 28-2. ラジコンの基礎知識と用語

### 「エンジン」と「モーター」について

エンジンやモーターは、さまざまな種類があります。

#### 用語解説

モーター ほとんどのモーターが、直流モーターです。

サイズは540と呼ばれる大型のものから、130と呼ばれる小型のものまで6種類あります。

主流は540と呼ばれる大型のものですが、搭載する車体や機体のサイズに合わせたり、バッテリーのパワーなどに合わせて選びます。



エンジン エンジンは「2サイクルエンジン」と自動車と同じ「4サイクルエンジン」、高価だが「ジェットエンジン」もあります。

メンテナンスの点から、初心者は「2サイクルエンジン」が良い。

自動車の場合は、エンジンのサイズを「排気量」で表すが、ラジコンの場合はエンジンの大きさによってクラス分けをします。

10クラスから140クラスまでです。

ラジコンカーの場合は、21クラスのエンジンが一番大きなものになります。

ラジコン飛行機やラジコンヘリは、30クラス以上のエンジンが主流です。

この違いは、エンジンを搭載する車体や機体によります。

大型のエンジンを搭載するのには、大型の車体や機体が必要になるからです。(写真は90クラス)



## 28-3. ラジコンのマナーと航空法

### ラジコンのマナー

ラジコンは自分の思いのままに操作する(動かせる)というのが、魅力ですが動くということは、「危険を伴う」ということを忘れてはなりません。操作ミスや故障で「他人に怪我をさせてしまった」「他人の物を壊してしまった」などの事故が発生する場合があるからです。ラジコンのマナーの1つとして「ラジコン保険」の加入して、万が一に備えるということもあります。また、エンジンなどの騒音など回りに配慮することも大切です。ホビーショップによっては、「ラジコンカー用の専用サーキット」「専用ラジコン飛行場」を持つショップもあります。そのようなところで、安心して走行・フライトができます。

### 航空法

出展: [https://rck.or.jp/safety/sa\\_aeriallaw.html](https://rck.or.jp/safety/sa_aeriallaw.html)

日本ラジコン電波安全協会

ドローンの急速な普及に伴ってドローンの危険な飛行や墜落事故等が増加したことから、国土交通省は、無人航空機の飛行による危害の発生を防止するため、航空法に無人航空機の規定を追加するなどの航空法改正を行い、2015年12月10日に施行されました。改正航空法により、ドローンやラジコン機に対する規制が強化され高さ150m以上で飛行させるとときは、事前に航空法の許可が必要となりました。飛行ルールの対象となる機体

対象となる無人航空機は、「飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって構造上人が乗ることができないもののうち、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるものの(200g未満の重量(機体本体の重量とリポバッテリーの重量の合計)のものを除く)」です。いわゆるドローン(マルチコプター)、ラジコン機、農薬散布用ヘリコプター等が該当します。

航空法の「無人航空機」とは、

- ①航空の用に供することができる
- ②飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船(その他はまだ規定なし)
- ③構造上人が乗ることができない
- ④遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができる
- ⑤重量(機体本体の重量とバッテリーの重量の合計)が200g以上に該当するものです。

## 28-3. ラジコンのマナーと航空法

### 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域について

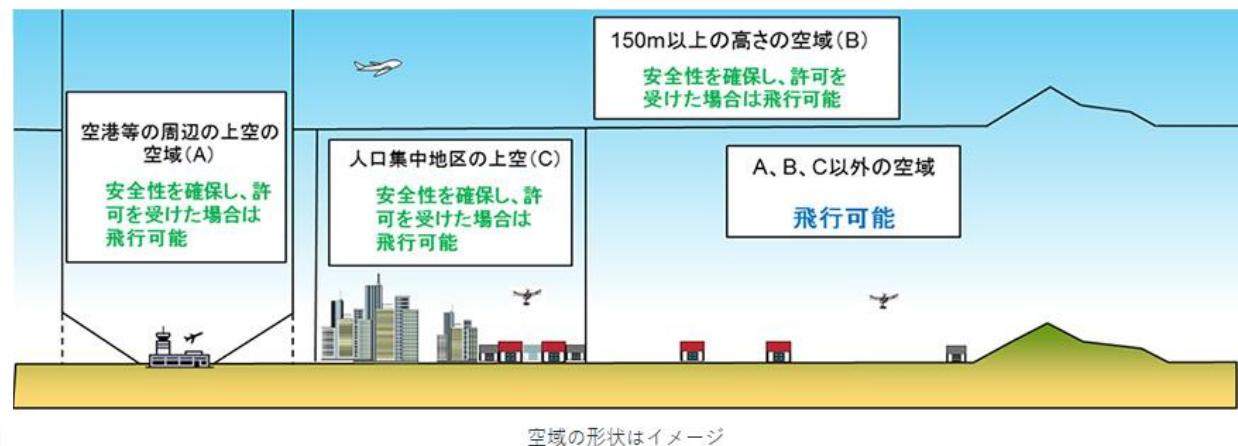
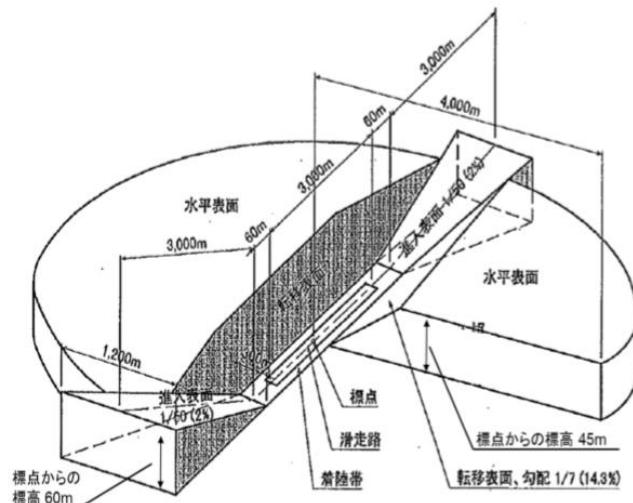
以下の(A)～(C)の空域のように、航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域や、落下した場合に地上の人などに危害を及ぼすおそれが高い空域において、無人航空機を飛行させる場合には、あらかじめ、国土交通大臣の許可を受ける必要があります。

航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域

- (A) 空港等の周辺の空域
- (B) 地表又は水面から150m以上の高さの空域
- (C) 国勢調査の結果による人口集中地区の上空

無人航空機を飛行させる場合は、飛行させようとしている空域が、空港周辺の空域か、地表又は水面から150m以上の空域か、人口集中地区的上空かを確認し、必要に応じて許可を受けること。また、その際には、許可申請の前に、民間訓練試験空域や進入管制区など、所要の管制機関との事前調整が必要な場合があるので、無人航空機を飛行させる空域がどれに該当するか、十分に確認し、必要な調整を行った上で許可の申請を行うこと。

全ての空港における進入表面等の例  
滑走路長3000mで精密進入の空港の場合



## 28-3. ラジコンのマナーと航空法

### 無人航空機の飛行の方法

次に、無人航空機の飛行ルールの2つ目ですが、これは、無人航空機の基本的な飛行の方法を定め、それによらない場合は「承認」を必要とするものです。国土交通省航空局のホームページには、次のように掲載されています。

飛行させる場所に関わらず、無人航空機を飛行させる場合には、以下のルールを守っていただく必要があります。

- (1)アルコール又は薬物等の影響下で飛行させないこと
- (2)飛行前確認を行うこと
- (3)航空機又は他の無人航空機との衝突を予防するよう飛行させること
- (4)他人に迷惑を及ぼすような方法で飛行させないこと
- (5)日中(日出から日没まで)に飛行させること
- (6)目視(直接肉眼による)範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること
- (7)人(第三者)又は物件(第三者の建物、自動車など)との間に30m以上の距離を保って飛行させること
- (8)祭礼、縁日など多数の人が集まる催しの上空で飛行させないこと
- (9)爆発物など危険物を輸送しないこと
- (10)無人航空機から物を投下しないこと

上記(5)～(10)のルールによらずに無人航空機を飛行させようとする場合には、あらかじめ、地方航空局長の承認を受ける必要があります。

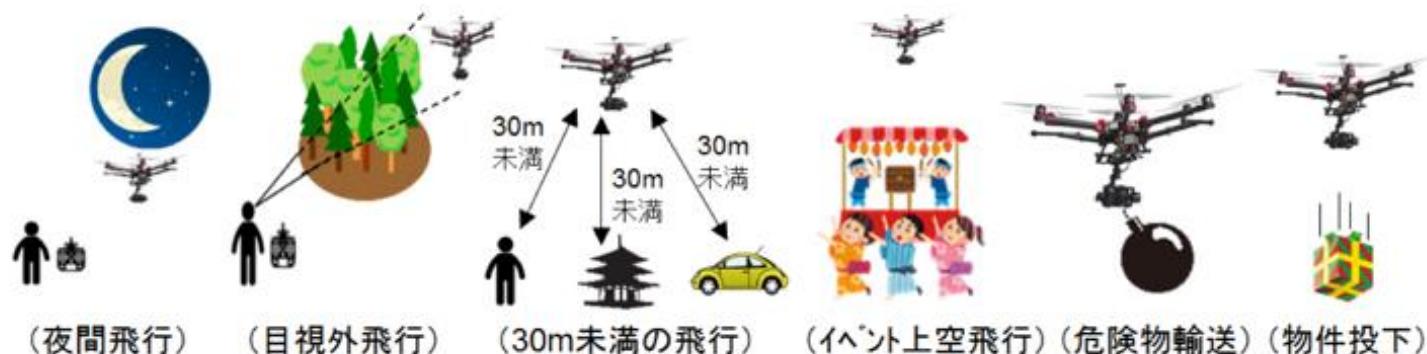
## 28-3. ラジコンのマナーと航空法

### 無人航空機の飛行の方法

#### 遵守事項となる飛行の方法



#### 承認が必要となる飛行の方法



## 28-3. ラジコンのマナーと航空法

出展 <http://www.mlit.go.jp/common/001303818.pdf>

国土交通省 無人航空機(ドローン、ラジコン機等)の 安全な飛行のためのガイドライン

ただし、マルチコプターやラジコン機等であっても、重量(機体本体の重 量とバッテリーの重量の合計)200 グラム未満のものは、無人航空機ではなく「模型航空機」に分類されます

(2)模型航空機とは ゴム動力模型機、重量(機体本体の重量とバッテリーの重量の合計)200 グラム未満のマルチコプター・ラジコン機等は航空法上「模型航空機」として扱われ、無人航空機の飛行に関するルールは適用されず、空港周辺や一定の高度以上の飛行について国土交通大臣の許可等を必要とする規定(第 99 条の2)のみが適用されます。

国土交通大臣の許可等を必要とする規定(第 99 条の2)とは?

航空法

第九十九条の二 何人も、航空交通管制圏、航空交通情報圏、高度変更禁止空域又は航空交通管制の特別管制空域における航空機の飛行に影響を及ぼすおそれのあるロケットの打上げその他の行為(物件の設置及び植栽を除く。)で国土交通省令で定めるものをしてはならない。ただし、国土交通大臣が、当該行為について、航空機の飛行に影響を及ぼすおそれがないものであると認め、又は公益上必要やむを得ず、かつ、一 時的なものであると認めて許可をした場合は、この限りでない。2 前項の空域以外の空域における航空機の飛行に影響を及ぼすおそれのある行為(物件の設置及び植栽を除く。)で国土交通省令で定めるものしようとする者は、国土 交通省令で定めるところにより、あらかじめ、その旨を国土交通大臣に通報しなければならない。

## 28-3. ラジコンのマナーと航空法

### 他の航空機に影響を与えるものとしての規制



(飛行に影響を及ぼすおそれのある行為) --- 航空法第99条の2 ---

航空交通管制圏、航空交通情報圏、高度変更禁止空域又は航空交通管制区内の特別管制空域

→航空機の飛行に影響を及ぼすおそれのあるロケットの打上げその他の行為を行うには国土交通大臣の許可が必要

その他の空域

→航空機の飛行に影響を及ぼすおそれのある行為は国土交通大臣に通報が必要



航空機の飛行に影響を及ぼすおそれのある行為

- ロケット
- 花火
- 気球
- 模型航空機
- 航空機の集団飛行
- ハンググライダー又はパラグライダー 等

許可(通報)で求められる情報

- 氏名、住所及び連絡場所
- 実施目的(通報では不要)
- 実施内容、実施日時及び場所
- その他参考となる事項

## 28-4. 室内ラジコン飛行機のしくみ

### ゆっくり飛ぶ室内飛行機ってどんなもの？

#### (1) Corsair f4 1/4 scale indoor. No Helium inside!

<https://youtu.be/5BgpIH8GnLM> 図 1

F4U Corsair scale 1/4 indoor ultralight from build to flight, no space for helium

<https://youtu.be/9aV9vEL-Fug> 図 2

#### (2) 模型航空競技のカテゴリクラスF3P – 室内曲技

2019 信州インドアフェスタ in 松本空港やまびこドーム( F3Pクラス世界選手権出場の麻和博さん主催)

<https://youtu.be/eyM6l6djqeQ> 図 3

#### (3) 模型航空競技のカテゴリクラスF1D級 室内模型航空機 セロファンと竹ひご超ゆっくり飛行する模型

F1D indoor free flight, Aeromodelismo indoor F1D 室内飛行機

<https://youtu.be/5pOhbJPtPXM> 図 4

#### (4) 通販購入できる市販品

図5 KFPLAN KF606 2.4Ghz 2CH EPPミニ屋内RCグライダー飛行機内蔵ジャイロRTF ¥2,633円

[https://jp.banggood.com/KFPLAN-KF606-2.4Ghz-2CH-EPP-Mini-Indoor-RC-Glider-Airplane-Built-in-Gyro-RTF-p-1442115.html?rmmds=myorder&cur\\_warehouse=CN](https://jp.banggood.com/KFPLAN-KF606-2.4Ghz-2CH-EPP-Mini-Indoor-RC-Glider-Airplane-Built-in-Gyro-RTF-p-1442115.html?rmmds=myorder&cur_warehouse=CN)

図6 JJRC ZSX-280 2.4GHz 280mm翼幅EPPフルスケール電磁サーボ屋内複葉機RC飛行機RTF - モード2(左ハンドスロットル)¥2,397円

[https://jp.banggood.com/JJRC-ZSX-280-2.4GHz-280mm-Wingspan-EPP-Full-scale-Electromagnetic-Servo-Indoor-Biplane-RC-Airplane-RTF-p-1501651.html?rmmds=myorder&ID=42482&cur\\_warehouse=CN](https://jp.banggood.com/JJRC-ZSX-280-2.4GHz-280mm-Wingspan-EPP-Full-scale-Electromagnetic-Servo-Indoor-Biplane-RC-Airplane-RTF-p-1501651.html?rmmds=myorder&ID=42482&cur_warehouse=CN)

図7 大空へ羽ばたけ ラジコン 鳥型 2.4GHZフライング 空飛ぶ 鳥型ラジコン パタパタバード E-Bird Pigoen ¥2,067

[https://www.amazon.co.jp/gp/product/B01GG02021/ref=ppx\\_yo\\_dt\\_b\\_asin\\_title\\_o04\\_s00?ie=UTF8&psc=1](https://www.amazon.co.jp/gp/product/B01GG02021/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o04_s00?ie=UTF8&psc=1)

## 28-4. 室内ラジコン飛行機のしくみ



Corsair f4 1/4 scale indoor. No Helium inside!

図 1



F4U Corsair scale 1/4 indoor ultralight from build to flight, no space for helium

図 2

## 28-4. 室内ラジコン飛行機のしくみ



信州インドアフェスタ 2019（インドアプレーン編）

図 3 -1



信州インドアフェスタ 2019（インドアプレーン編）

図 3 -2

● ● ● | 28-4. 室内ラジコン飛行機のしくみ



F1D indoor free flight, Aeromodelismo indoor F1D 室内飛行機

図 4

## 28-4. 室内ラジコン飛行機のしくみ



図 5



図 6



図 7

## 28-4. 室内ラジコン飛行機のしくみ

### 自作できる室内ラジコン飛行機

制御方式:ラダー制御 20g級 6mmコアレスモータ x1、コイルアクチュエータ(ラダー制御用)プッシャー推進方式

(1) KT-01 MyBasic 図3.2-1 主翼は養生テープ固定組立式

制御方式:2モータ制御 10g級 4mm コアレスモータ x2プッシャー推進方式

(2) KT-02 New-MRJ 図3.2-2 MRJの3面図画像を参考

(3) KT-07 Type-Yukikaze 図3.2-3 逆ガル、前進翼、先尾翼(カナード)機 特殊形状

(4) KT-12 My Standard 図3.2-4 オリジナルデザイン ストローーボディ

(5) KT-20 Type-A6M2 図3.2-5 ゼロ戦 21型(A6M2)の3面図を参考

制御方式:2モータ制御 20g級 6mm コアレスモータ x2プッシャー推進方式

(6) KT-10 Type-F22 図3.2-6 F-22 立体構造の胴体

(7) KT-11 EPP Kite-Plane 図3.2-7 EPPシートで作ったカイトプレーン

(8) KT-13 Concorde 図3.2-8 コンコルドの図面の翼幅を拡張した。

## 28-4. 室内ラジコン飛行機のしくみ



図3.2-1

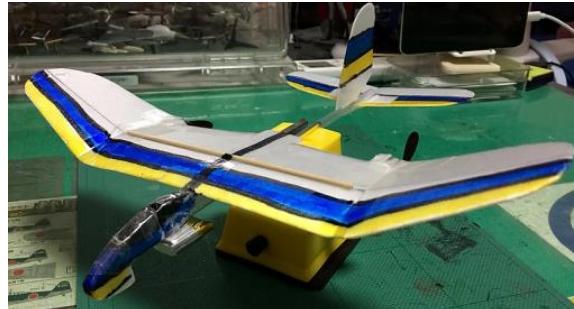


図3.2.4



図3.2-6



図3.2-2



図3.2-5



図3.2-7



図3.2-3



図3.2-8

# 28-5. 室内ラジコン飛行機の製作

## 設計要素

- (0) 製作予算(材料費): 3000円程度
- (1) 機体運用用途 : 航空教育用(初級)、操縦訓練用(中級)、曲技飛行／アクロバット機(上級)
- (2) 飛行環境 : 体育館／大ホール／大きな会議室／6帖程度の部屋／屋外芝生広場など／ラジコンクラブなど屋外滑走路
- (3) 飛行制御対象
  - ・初級: 2ch:スピード、ラダー(方向舵)制御
  - ・中級: 3ch:スピード、ラダー、エレベータ制御
  - ・上級: 4ch:スピード、ラダー、エレベータ、エルロン制御
- (4) サイズ／重量
  - ・A4程度 / 10g前後 屋内旋回できるが、屋外で風があると飛行困難。
  - ・A3程度 / 20g前後 旋回は体育館必要
  - ・これ以上になると屋内飛行は限界で、屋外飛行用になります。
- (5) 飛行速度
  - ・高速機:モータに直接差し込んだ小さなプロペラ径を高回転で回す場合、高速になります。(2モータ方式に多い)
  - ・低速機:モータ回転をギアダウンして大きなプロペラ径を低回転まで落としてトルクのある推力の機体は低速で飛行できます。
  - ・最低滑空飛行速度は、翼面積:質量比で決まります。(質量が軽く、揚力発生翼面積が大きいほど、低速で滑空できます)
  - ・翼幅が長いと、空気抵抗が大きく、大きな推進力が必要(小さいモータでは、最低滑空速度が出ないため飛べません)

## 28-5. 室内ラジコン飛行機の製作

### 製作工程

設計に基づき決めたサイズ・形状に従って、素材を加工・組み立てます。

- (1) 構造素材:スチレンボード1mm/2mm/5mm、低密度発泡スチロール、EPP、バルサ材、ストロー、カーボンロッド、竹ひご
- (2) 配線素材:エナメル線、リード線
- (3) 接着方法:スチロールのり、ボンドGP プラスチック用、グルーガン、セロハンテープ、ハンダ
- (4) 道具:カッターマット、金属定規、カッター、デザインナイフ、ハサミ、ラジオペンチ、ニッパー、半田ごて
- (5) 安全注意:
  - ・回転するプロペラに指を突っ込まない
  - ・カッターで手を切らない
  - ・半田ごてでやけどしない。
  - ・Liop電池を過充電しない。
  - ・人に向かって飛行させない。
  - ・整理、整頓、安全

## 28-6. 室内ラジコン飛行機の操縦

機体ができたら、まっすぐ滑空ことを確認しよう。  
動力飛行は以下のポイントに注意しての操縦練習してください。

- 1、左右操作でまっすぐ、スロットル調整して高度を維持しましょう。
- 2、右旋回の場合、右操舵ボタンを押します。押し続けると、ひねりこんで、墜落してしまいます。チヨンチヨンと、少しずつ、操舵するのがコツです。
- 3、急旋回で巻き込み高度がさがる場合、当て舵、車でいう逆ハン、反対方向の操舵で回復することができます。
- 4、安定した旋回ができるようになったら、180度旋回したところで旋回をやめて直進すると、もとの場所に戻ってこれます。
- 5、4ができたら、また、旋回し、オーバルの飛行を、繰り返して練習しましょう。
- 6、最後は、直線飛行で自分に近づいてきたとき、スロットルをオフして着地させます。

## 28-6. 室内ラジコン飛行機の操縦

【テスト飛行の標準フライトパス】バスケット・コート 1面を基準とする。

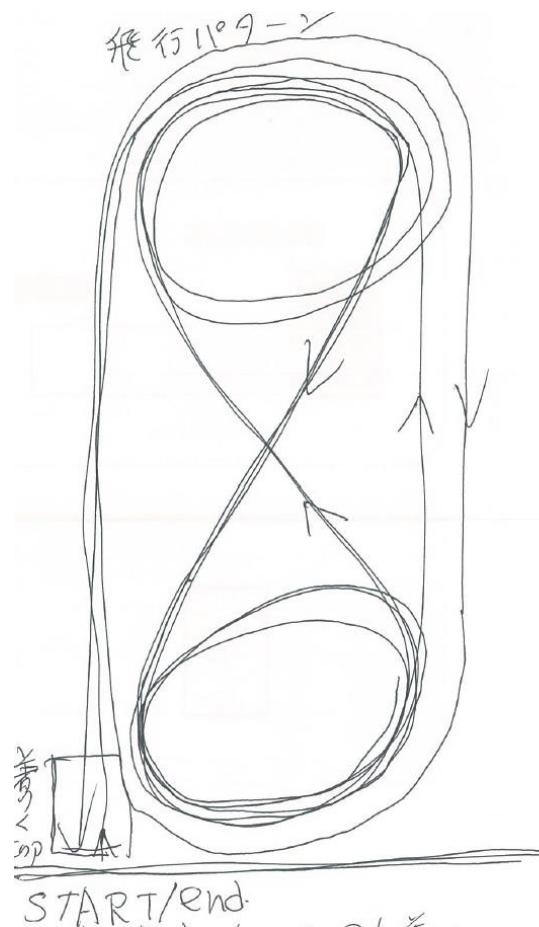
課題 : ポイント

直進	: 10p
右オーバル	: 10p
右旋回	: 10p
8の字	: 10p
左旋回	: 10p
左オーバル	: 10p
直進帰投	: 10p
着陸	: 10p

80p

滞空時間は、長いことを評価する。

練習用標準機体: KT-12 My Standard



## ● ● ● | 28-7. 室内ラジコン飛行機で苦労したポイント

### (1) 飛行環境の確保

体育館／多目的ホール／博物館のイベントスペース／大き目の会議室や教室借用するには、安全性認知度の低さで、理解を得るのに苦労しました。風の穏やかな日の芝生公園では、結構楽しめます。

### (2) 国土交通省航空法、建設省、自治体条例、施設規則等

航空法が改正され200g以上無人航空機の飛行制限が厳しくなった(マルチコプターの台頭)200g未満の室内ラジコン飛行機は、模型飛行機で対象外。守るべきマナーをしっかり守って人格形成につながることを期待できます。

### (3) 機体仕様: こどもが安全／簡単に操縦できること。

=> 2ch、プッシュヤー推進方式にした。

トラクタ推進方式は、プロペラ破損、モータシャフトの破損で費用がかさみます。

2ch であるがゆえの難しさ

- ・エレベータがないので、モータ出力で速度を増減させることで、上昇下降を制御します。
- ・上昇させるには、速度方向に対して主翼に迎え角をつけます。迎え角が大きすぎると失速します。
- ・エルロンがないので、上反角をつけることで、旋回時のヨー、ロールを発生させ旋回させます。

## 28-7. 室内ラジコン飛行機で苦労したポイント

### (4) 上昇しない原因対策 機体重量の軽量化

市販品 KF606 MiniGlider(オリジナル 11g) の2モータ(4mm)では、10g前後の機体重量

#### 【構造材質】

- ・ スチレンボード、低密度発砲スチロール、EPP、ディプロン、ディプロンエアー他
- ・ 密度の違いで、軽さや剛性が異なる。軽さ、剛性が変化し、目的に応じて使い分けることが必要
- ・ ディプロンエアーは、発砲気体にヘリウムを使ってさらに軽い
- ・ 梱包用の低密度発砲スチロールを2mmにニクロム線スライスしている例もありました。

#### 【接着剤】

- ・ スチレンボードは有機溶剤を使った接着剤は溶けるのでつかえません。
- ・ スチのりや、ボンドGPのようなポリプロピレン対応の接着剤が必要です。
- ・ 試作では、セロハンテープが一番効率的だと思いました。
- ・ グルーガンも接着剤として便利ですが、本来モールド素材なので重量が重くなりました。

## ● ● ● | 28-7. 室内ラジコン飛行機で苦労したポイント

### (5) まっすぐ飛行しない！！

機体正面からみて、胴体の曲がり、主翼／尾翼のソリ、ねじれ、傾きがないかを十分チェックしましょう。  
動力飛行する前にまっすぐ滑空するように調整しましょう。

#### プッシャー推進方式のモータマウント：

モータマウント方法決定にかなり苦労しました。  
問題はプロペラ推進軸と機体重心との関係で迎え角を持って上昇する力学を考慮する必要がありました。  
機体デザインから重心点を考慮して持ち上げられるように配置します。

#### トラクター推進方式のモータマウント：

機首にあるモータプロペラは、主翼が相対的に迎え角を持つように、若干下向きに取り付ける必要がありました。

#### 単発機：1モータ／プロペラの場合：

プロペラ回転モーメントとプロペラ後方うず気流によって、まっすぐ飛びませんでした。

#### 対策：カウンターオフセット角

2モータの場合、左右のプロペラを逆回転することでプロペラ回転モーメント、後方うず気流は打ち消しあってまっすぐ飛ぶしくみになっています。

(2モータのRC受信機は、ヨージャイロセンサ自動的に左右のモータ出力を調整しています)

## 28-7. 室内ラジコン飛行機で苦労したポイント

### (6)ピッキング(長周期運動)

機体の重心位置が最適ポイントより後方にあると前方が軽く、紙飛行機やゴム動力機でもご存知のように上昇しては、失速して下降します。モータ／プロペラの推進力がある場合、この現象が繰り返し続けます。このピッキング運動(長周期運動)を改善するには、重心調整してバランスを調整することで改善しますが、動的なピッチ制御(エレベータ操舵)の無い2ch機では、上昇力を得るために若干、前方を軽めにするか、エレベータを若干機首上げに固定しておきます。これで概ね飛行できるのですが、飛行条件によってはピッキング運動が顕著に発生してしまい安定させる操縦が難しくなってしまいます。2ch機を飛行させるときは、ピッキング運動から回避する操縦方法を覚えておく必要があります。

### (7)機体のデザイン

実在機の模型の場合は、できるだけオリジナルの雰囲気を持ったデザインにしたいものです。そのためにインターネットから三面図などを検索してプリントしたものを元に紙飛行機やラジコン飛行機を作ってもまず上手く飛行しませんでした。たとえば、零戦や、MRJの場合、そのままの比率の主翼では、重量を支えることができないため、広めにデフォルメします。また、尾翼も主翼と同じ比率で作った場合、ピッチが不安定になります。これは、空気の粘性抵抗は、オリジナルの大きな機体でも模型の小さな機体でも変わらないため尾翼の効きが主翼に対して相対的に異なってしまうということです。小さな機体では、尾翼は大きめに作らないと十分な安定効果が得られないことを知りました。つまり、機体の大きさを同じ比率で単純に大きくしたり小さくしたりすれば良いわけではないことです。機体重心位置は、主翼から得られる揚力で支えられるのだから、主翼の揚力発生の中心上になければならないと思っていましたが、先尾翼機の模型を作ってみると主翼のちょっと前あたりにありました。先尾翼でも揚力を発生させて主翼と分担している比率で持ち上げる機体の重心位置が決まることを知りました。極端な話主翼と先尾翼の大きさが同じだったり揚力発生が同じぐらいの場合ちょうどその中間に機体重心があるのでしょう。つまり、機体重心は、機体全体の揚力発生のバランス中心にあるのが効率的だということだと思います。

## 28-7. 室内ラジコン飛行機で苦労したポイント

### (8) 主翼のアスペクト比は、どのような飛行速度、旋回性能に適しているのか？

主翼長さが、U-2みたいに長いと燃料効率のよい滞空性能は得られるが、慣性モーメントが大きくで狭い範囲での旋回ができない。主翼幅が広いと、翼面積が広く取れて揚力発生が期待できる一方進行方向の空気抵抗(誘導抵抗)が大きく、非力なモータでは、速度がです、結局揚力も得られない。モータと飛行速度、翼幅はトレードオフで、準備できるモータサイズと期待する飛行速度で翼形状を考える必要がある。

### (9) 前進翼先尾翼カーナード機は、低速失速性能がよく、狭い室内で旋回飛行できる可能性がある

SFアニメ戦闘妖精雪風 にててくる機体 メイブ雪風のような機体をイメージして作ってみました。

脱線：インテリジェンスをもった乗り物といえば、わたし（57歳）では、スーパージェッターに出てくる流星号ですが、他に、ナイトライダーのナイト2000、そしてこの雪風は高度な人口インテリジェンスをもち、自律かつ人とコラボしてオペレーションナルな飛行機です。いつかみなさんはこのような機体に乗る日がくるのでしょうか？

### (10) 先尾翼の場合、先尾翼の大きさとピッチ感度

尾翼が後ろにあるのと先尾翼では大きさが全く異なる（後の尾翼をそのまま前に持ってくると効きすぎる。不安定性が大きくなる）

### (11) 逆ガルのメリットって何？

宮崎駿のアニメ映画「風立ちぬ」にててくる紙飛行機を動力飛行させてみましたが、なかなか上手く飛びませんでした。なにがいけないのでしょうか？

### (12) ねじり下げの位置、大きさ、角度

ねじり下げって、ご存知ですか？零戦設計者：堀越二郎は、ねじり下げを主翼に取り入れることで、高迎角着陸時や低速旋回時の翼端失速を防ぎ揚力を維持するメリットがありますが、このねじり下げの位置、範囲の大きさ、角度などは、飛ばしてみて試行錯誤で調整する必要がありました。

## 28-9. 共通のRCモジュール

(1) RCモジュールは以下で構成される

- ・送信機
- ・受信機
- ・モーター／プロペラ
- ・バッテリー

もともと受信機とモータ  
はリード線で繋がっているが  
再利用、汎用性のために  
切断してコネクタで接続  
できるようにしておく。

以下は、オリジナル4mmモータ使用

4. KT-12 My Standard
6. KT-27B Straw Plane

以下は、増強6mmモータ使用

3. KT-02B Type-MRJ
5. KT-20 My Type-A6M2

オリジナル  
4mmモーター



増強  
6mmモーター



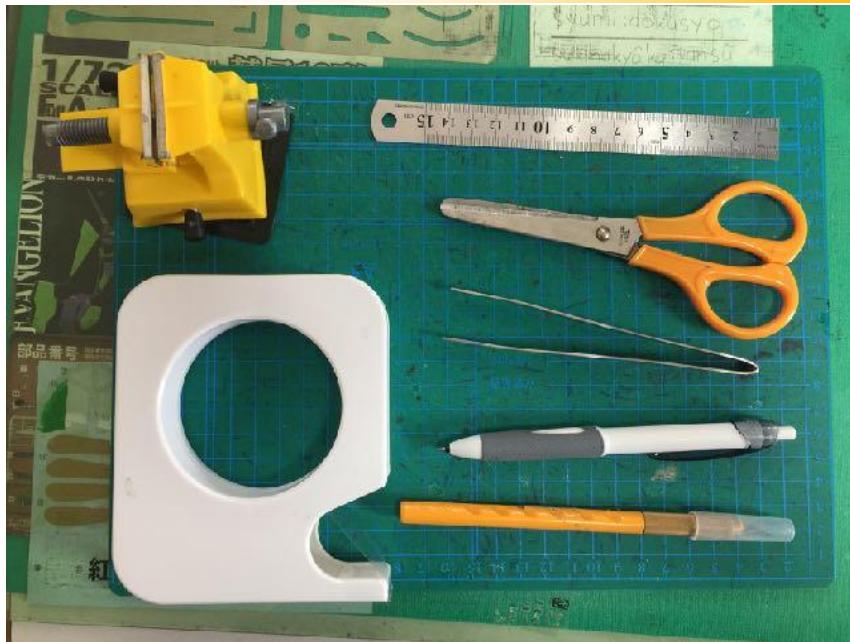
## 28-10. 必要な道具

### (1) 主な道具

- ・金属定規
- ・はさみ
- ・ピンセット
- ・ボールペン
- ・デザインナイフ
- ・セロハンテープ
- ・卓上万力
- ・カッターマット

### (2) 配線変更用

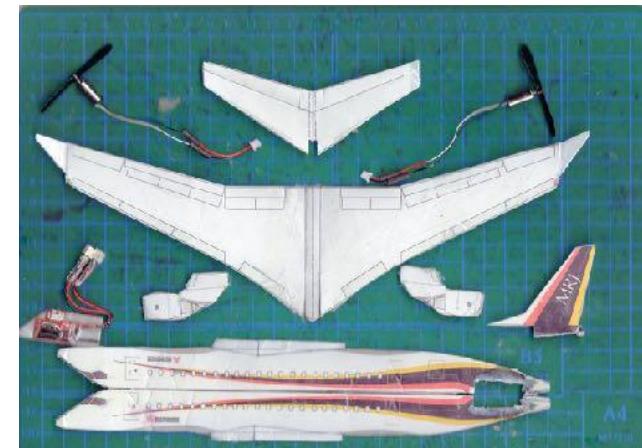
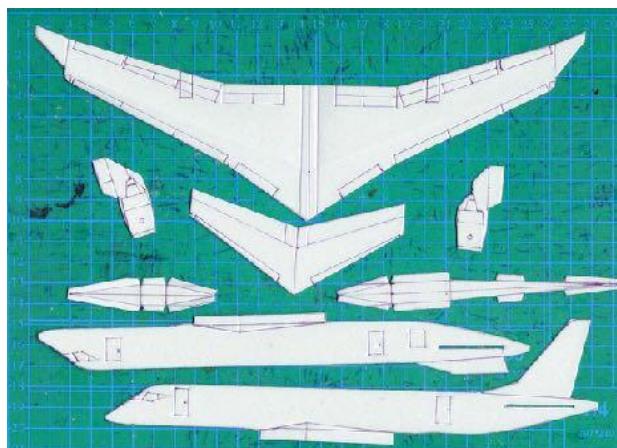
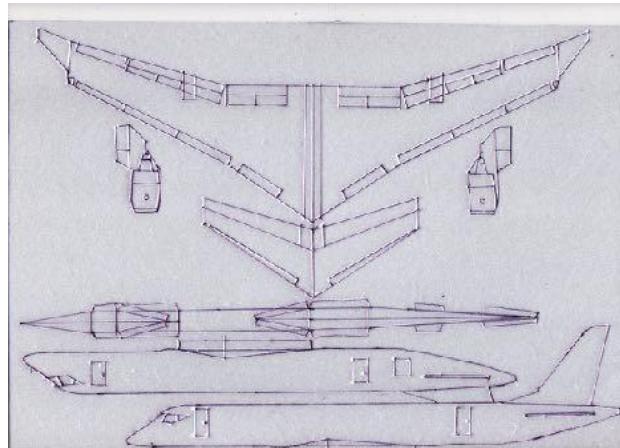
- ・ハンダゴテ
- ・ハンダ
- ・ニッパー
- ・ボールペン
- ・ラジオペンチ



## 28-11. KT-02B Type-MRJ

### (1) パーツ作成

KT-02B Type-MRJ の型紙のけがきと着色例を以下に示します。



- ・ 主翼、水平尾翼、胴体、エンジン、底蓋は、1mmスチレンシートにボールペンでけがきしてデザインナイフできり出します。
- ・ これらを次の(2) 完成写真をもとにセロハンテープ、両面テープを使って組み立てます。

## 28-11. KT-02B Type-MRJ

### (2) 完成写真

KT-20 My Type-A6M2の完成状態写真を以下に示す。



概観



正面



側面



後方



背面



腹面

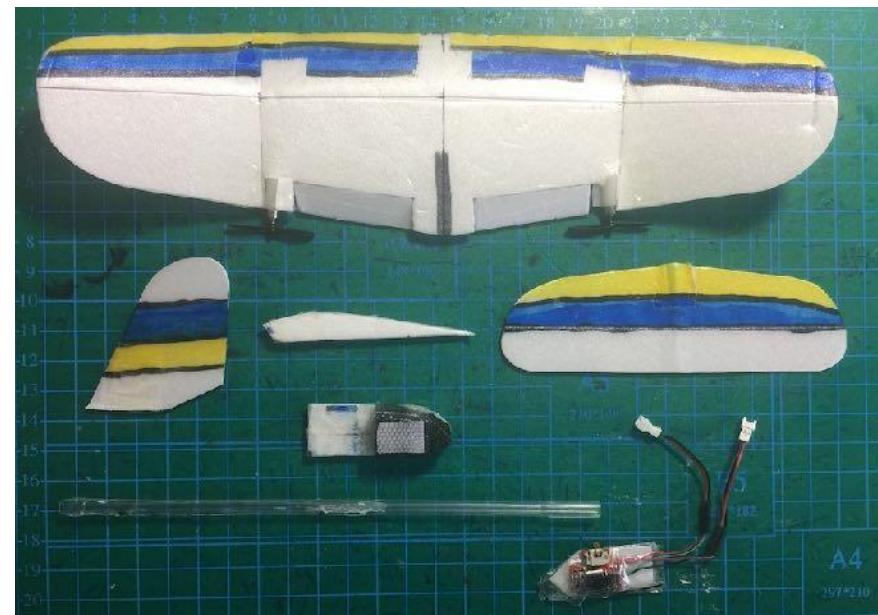
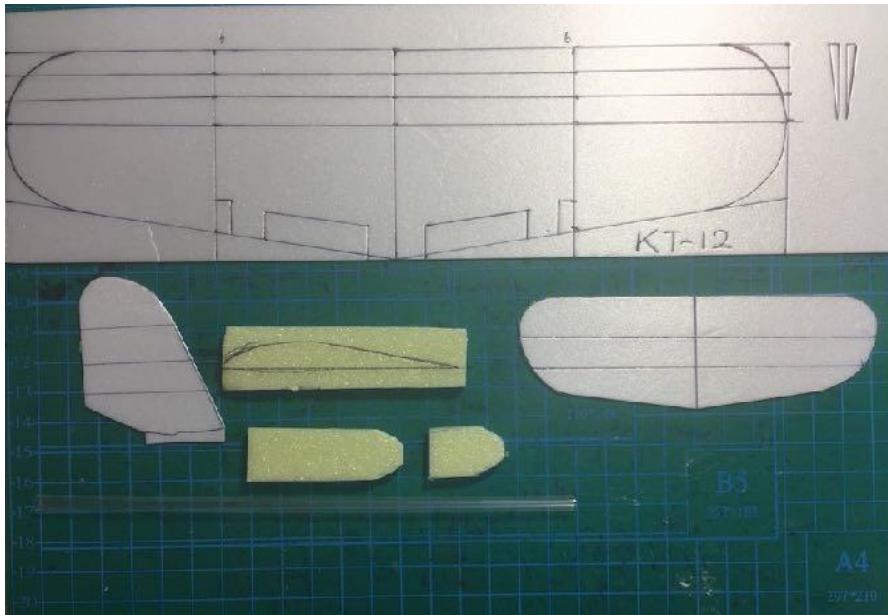


RCモジュール取り付け状態

## 28-12. KT-12 My Standard

### (1) パーツ作成

KT-12 My Standard の型紙のけがきと着色例を以下に示します。



- ・ 主翼、水平尾翼、垂直尾翼は、1mmスチレンシートにボールペンでけがきしてデザインナイフできり出します。
- ・ 胴体はストロー
- ・ 主翼のリブと機首の保護コーンは、5mmの発泡材をカットして作ります。
- ・ これらを次の(2) 完成写真をもとにセロハンテープ、両面テープを使って組み立てます。

## 28-12. KT-12 My Standard

### (2) 完成写真

KT-12 My Standardの完成状態写真を以下に示す。



概観



正面



側面



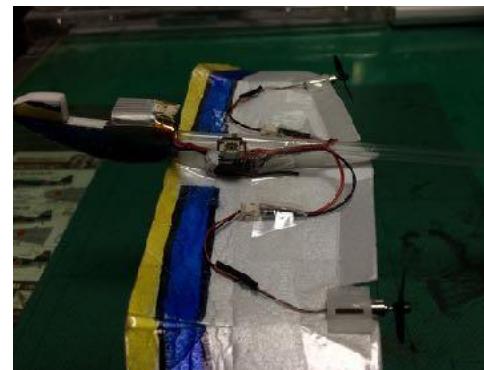
後方



背面



腹面

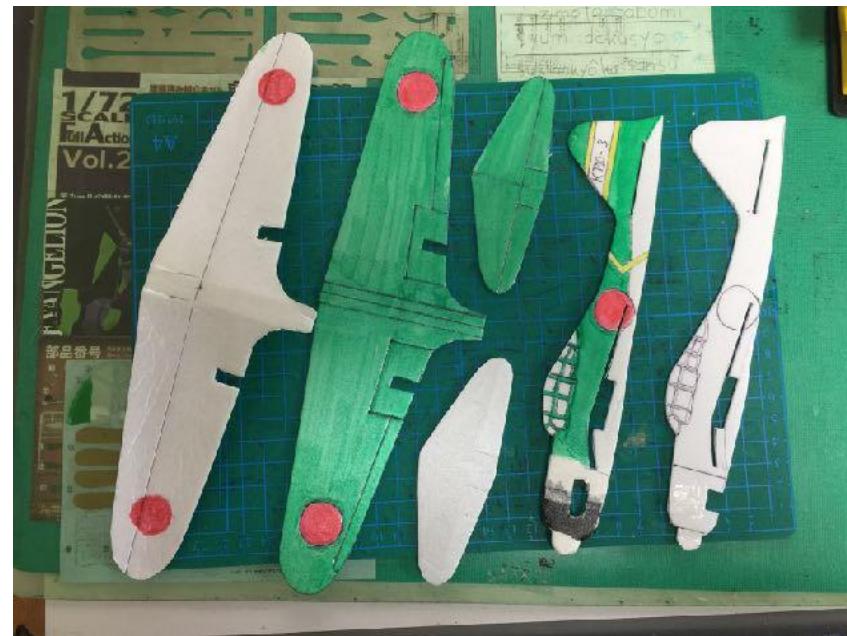
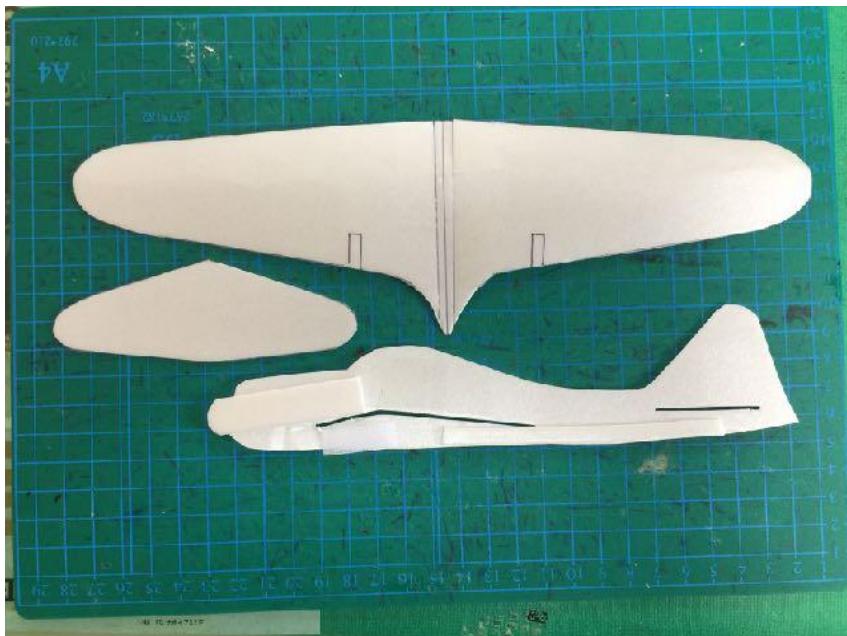


RCモジュール取り付け状態

## 28-13. KT-20 My Type-A6M2

### (1) パーツ作成

KT-20 My Type-A6M2 の型紙のけがきと着色例を以下に示します。



- ・ 主翼、水平尾翼、胴体は、1mmスチレンシートにボールペンでけがきして  
デザインナイフできり出します。
- ・ これらを次の(2) 完成写真をもとにセロハンテープ、両面テープを使って組み立てます。

## 28-13. KT-20 My Type-A6M2

### (2) 完成写真

KT-20 My Type-A6M2の完成状態写真を以下に示す。



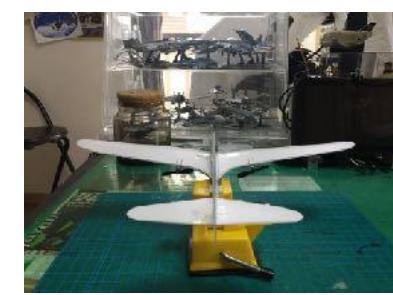
概観



正面



側面



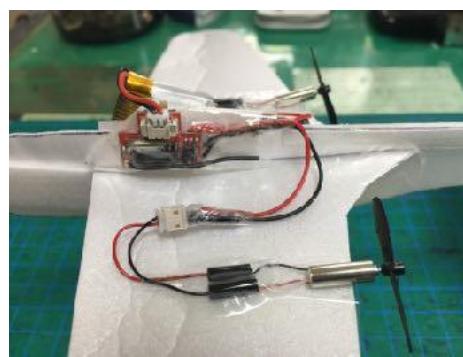
後方



背面



腹面

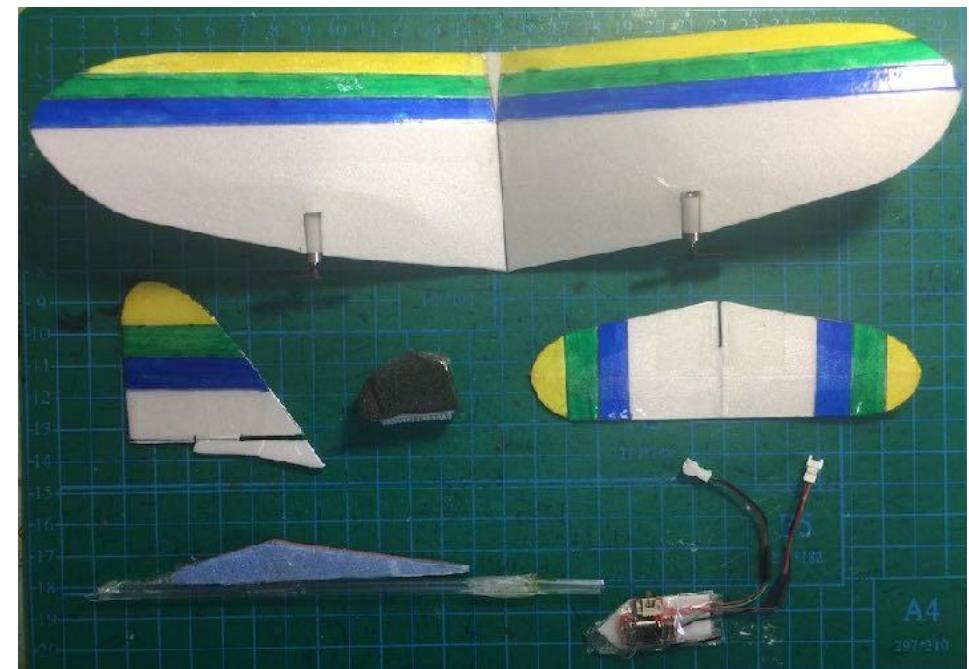
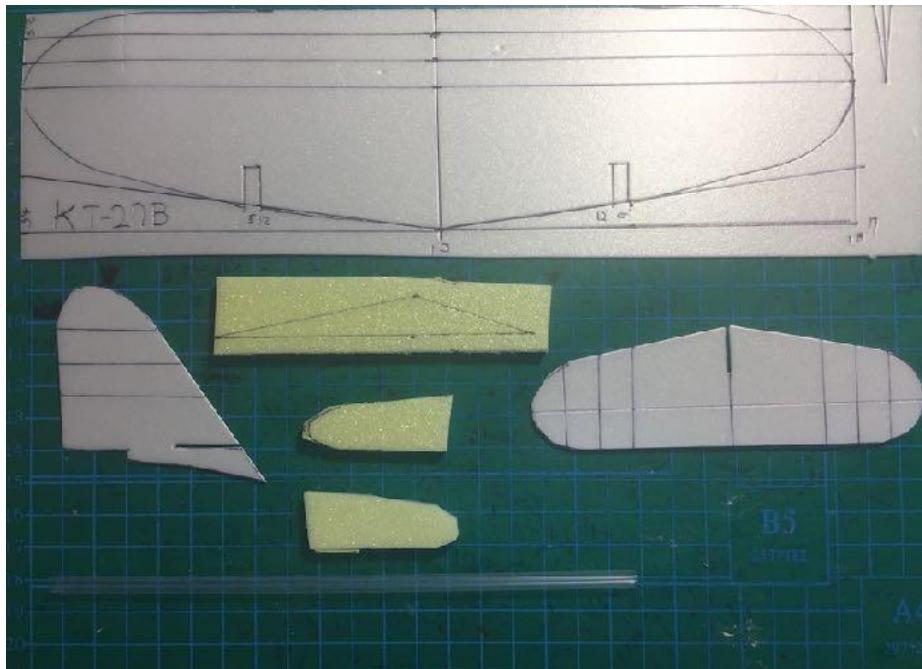


RCモジュール取り付け状態

## 28-14. KT-27B Straw Plane

### (1) パーツ作成

KT-27B Straw Plane の型紙のけがきと着色例を以下に示します。



- ・主翼、水平尾翼、垂直尾翼は、1mmスチレンシートにボールペンでけがきしてデザインナイフできり出します。
- ・胴体はストロー
- ・主翼のリブと機首の保護コーンは、5mmの発泡材をカットして作ります。
- ・これらを次の(2) 完成写真をもとにセロハンテープ、両面テープを使って組み立てます。

## 28-14. KT-27B Straw Plane

### (2) 完成写真

KT-27B Straw Plane の完成状態写真を以下に示す。



概観



正面



側面



後方



背面



腹面



RCモジュール取り付け状態

## 28-15. RCモジュールの抽出

### (1) オリジナル製品

RCモジュール部品を流用するトイラジコンは以下の商品を用いました。

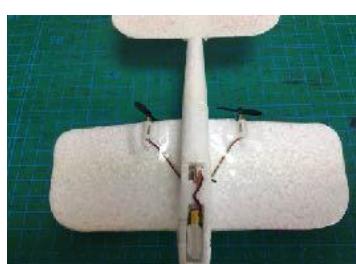
KFPLAN KF606 2.4Ghz 2CH EPPミニ屋内RCグライダー飛行機内蔵ジャイロRTF  
[https://jp.banggood.com/KFPLAN-KF606-2\\_4Ghz-2CH-EPP-Mini-Indoor-RC-Glider-Airplane-Built-in-Gyro-RTF-p-1442115.html?rmmds=myorder&cur\\_warehouse=CN](https://jp.banggood.com/KFPLAN-KF606-2_4Ghz-2CH-EPP-Mini-Indoor-RC-Glider-Airplane-Built-in-Gyro-RTF-p-1442115.html?rmmds=myorder&cur_warehouse=CN)



### (2) オリジナル製品

この商品を裏返しお魚をさばくようにお腹から切り裂きます。

そして中から、バッテリ、RC受信機、モータ／プロペラを取り出します。



## 28-16. 注意事項

### (1) 送信機

送信機は以下を使用する必要があります。

[技適対応品・Hall・Mode2（左スロットル）] RadioMaster T16S Hall マルチプロトコル 2.4G プロポ送信機

[https://www.amazon.co.jp/gp/product/B08B39PRN3/ref=ppx\\_yo\\_dt\\_b\\_asin\\_title\\_o00\\_s00?ie=UTF8&psc=1](https://www.amazon.co.jp/gp/product/B08B39PRN3/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00_s00?ie=UTF8&psc=1)





## 29. エピローグ（自己紹介）

いかがだったでしょうか？

飛行機の飛ぶ仕組みと歴史を知った上で、クラフトプレーン  
や室内ラジコン飛行機を操縦してみてはいかがでしょうか？

知識だけでなく体験してみることで、飛行機に対する気持ちが  
より深くなっていただければ、幸いです。

ご意見、ご感想、ご質問は、以下までメールください。

辻本邦之(ツジモトクニユキ) zero1962

Facebook フォローしてください。

[Kuniyuki.tsujimoto1182@nifty.com](mailto:Kuniyuki.tsujimoto1182@nifty.com)

<https://kuniyukitsujimoto1.wixsite.com/indoorflightclub>

<http://zero1962.world.coocan.jp/>