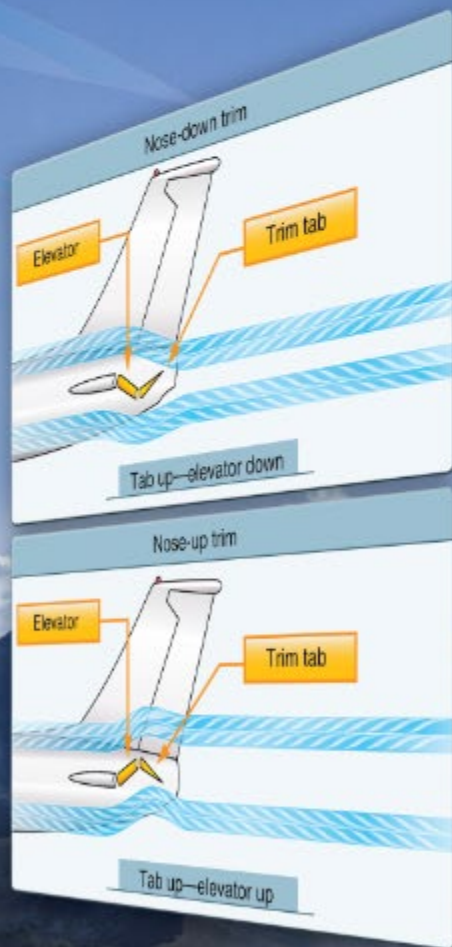
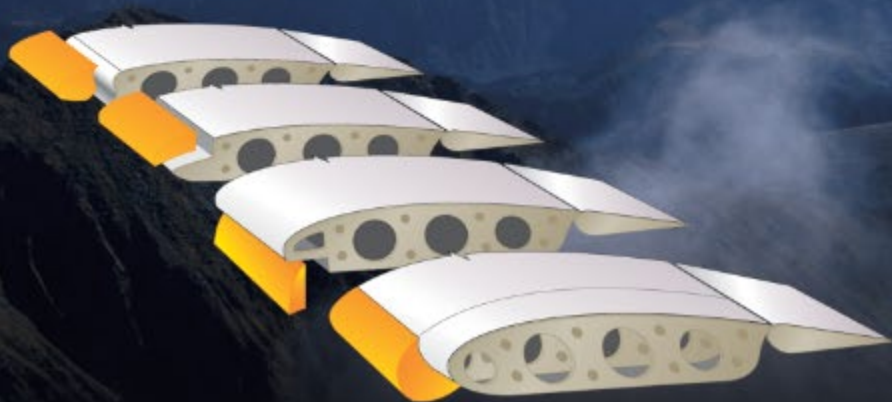


操縦装置

序論

この章では、パイロットが飛行の力と航空機の方向と姿勢を制御するために使用する飛行制御システムに焦点を当てる。飛行制御システムと特性は、飛行する航空機の種類によって大きく異なる可能性があることに注意が必要である。最も基本的な飛行制御システムの設計は初期の航空機と同じ機械式である。これらは、ロッド、ケーブル、プーリー、時にはチェーンなどの機械部品の集合体で動作し、操縦室の制御の力を操縦面に伝達する。機械的な飛行制御システムは、空力が過度に大きくない一般的な小型およびスポーツカテゴリの航空機で現在も使用されている。[図6-1]



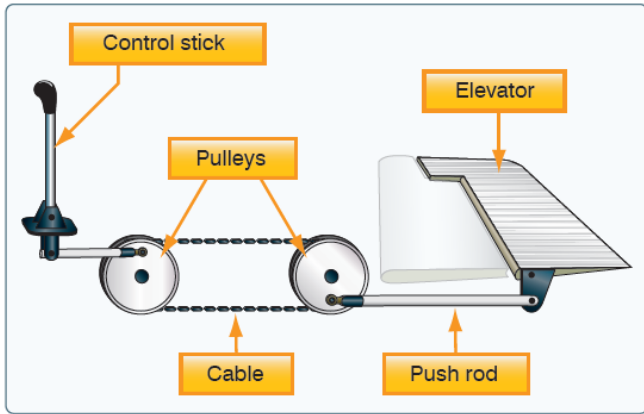


図6-1. 機械的な飛行制御システム

航空業界が成熟し、航空機の設計者が航空力学についてより多くを知るにつれて、業界はより大きくより高速な航空機を生産した。したがって、操縦翼面に作用する空力は指数関数的に増加した。パイロットに必要な制御力を管理しやすくするために、航空機の技術者はより複雑なシステムを設計した。当初は、機械的な飛行制御システムの複雑さ、重量、および制限を軽減するために、機械回路と油圧回路で構成される油圧機械設計が使用されていた。[図6-2]

航空機がより高度なものになると、操縦面は電気モーター、デジタルコンピュータ、または光ファイバケーブルに操作されるようになった。「フライバイワイヤ」と呼ばれるこの飛行制御システムは、パイロットの操作と飛行制御面との物理的接続を電気的インターフェースに取って代えた。さらに、大型で高速の航空機においては、油圧または電気が制御するシステムによって飛行制御が強化される。フライバイワイヤ制御とブースト制御の両方のおかげで、操縦感覚がシミュレートされパイロットにその感覚はフィードバックされる。

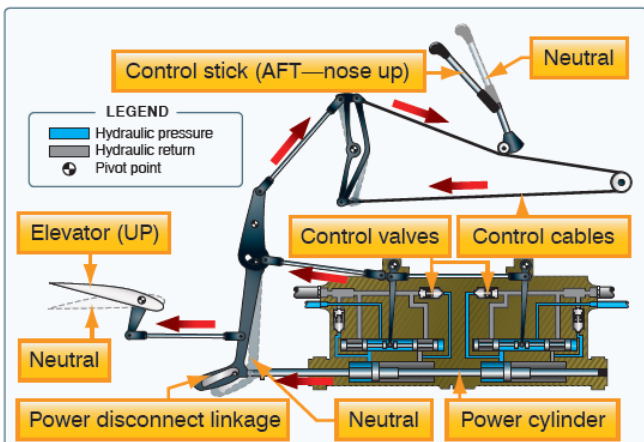


図6-2. 油圧機械式飛行制御システム

米国航空宇宙局（NASA）ドライデン飛行研究センターでの現在の研究には、インテリジェント操縦装置（IFCS）が関係している。このプロジェクトの目標は、適応型ニューラルネットワークベースの飛行制御システムを開発することである。飛行制御システムのフィードバックエラーに直接適用されるIFCSは、通常の飛行とシステム障害の両方で航空機の性能を改善する調整を提供する。IFCSを使用すると、パイロットは操縦を維持し、操縦翼面の障害または機体の損傷を受けた航空機を安全に着陸させることができる。また、ミッション機能が向上し、飛行の信頼性と安全性が向上し、パイロットの作業負荷が軽減される。

今日の航空機はさまざまな飛行制御システムを採用している。たとえば、スポーツパイロットカテゴリの一部の航空機は、気球が標準的な燃焼技術を使用している一方で、重量シフト制御に頼って飛行する。ヘリコプターは、サイクラーを使用してローターを所望の方向に傾け、ローターピッチとアンチトルクペダルを操作してヨーを制御する。[図6-3]

飛行制御システムに関する追加情報については、適切なハンドブックを参照し、飛行制御システムおよび特定のタイプの航空機の特性に関する情報を入手すること。

飛行制御システム

操縦装置

航空機の飛行制御システムは、一次システムと二次システムで構成されている。補助翼、昇降舵（またはスタビライザー）、そして方向舵は飛行中に航空機を安全に制御するための主たる機構であり、フラップ、スラット、スポイラー、およびトリムシステムは、飛行機の性能特性を改善したりパイロットへの過剰な制動を抑制する為の補助的な機構である。

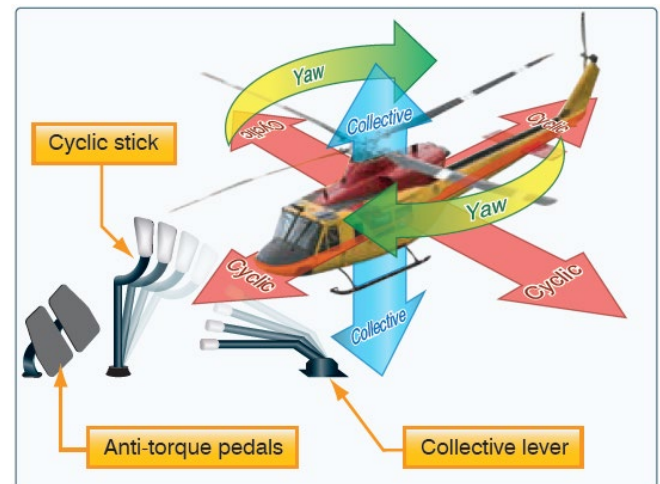


図6-3. ヘリコプター飛行制御システム

一次操縦装置

航空機の制御システムは、自然な感触を実現しながら、制御入力に十分な応答性を提供するように慎重に設計されている。低速時は、通常、操作に対する反応は柔らかく緩慢となり、航空機は入力に対してゆっくりと応答し、高速時は、操作の際、舵が重く感じ、航空機の応答はより機敏となるように設計される。

3つの主要な飛行制御面補助翼、昇降舵、スタビライザー、方向舵)のいずれかを動かすと、翼全体および周囲の気流と圧力分布が変化する。これらの変化は、翼型と操縦翼面の組み合わせによって生じる揚力と抗力に影響を与え、パイロットが3つの回転軸を中心に航空機を制御できるようにする。

設計上の特徴により、飛行制御面のたわみの量が制限される。たとえば、制御停止機構を飛行制御リンク機構に組み込むか、制御コラムおよび/または方向舵ペダルの動きを制限することができる。これらの設計上の制限の目的は、通常の操縦中にパイロットが誤って航空機を過剰に制御し、過度のストレスをかけることを防ぐことである。

適切に設計された航空機は安定しており、通常の操縦中に簡単に制御できる。操縦翼面の入力により、3つの回転軸を中心とした動きが生じる。航空機が示す安定性のタイプは、3つの回転軸にも関連している。[図 6-4]

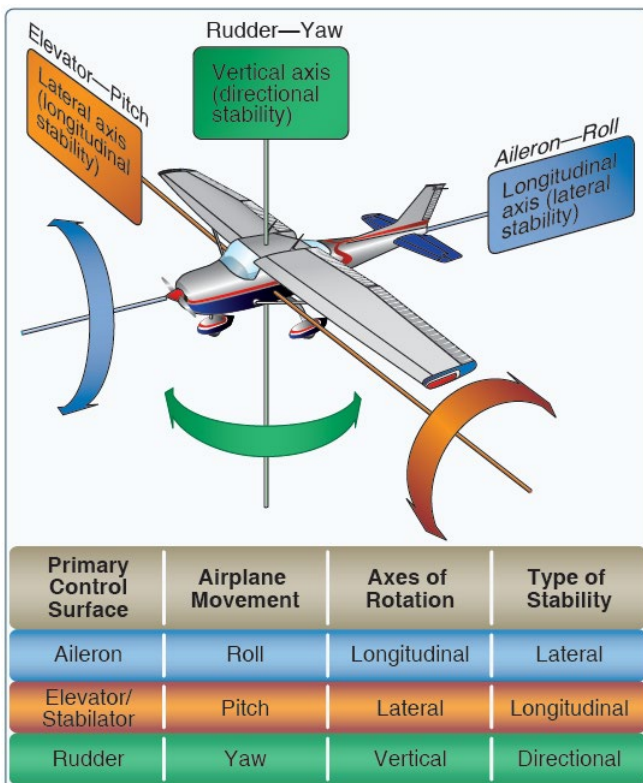


図 6-4. 飛行機の制御、動き、回転軸、および安定性のタイプ。

補助翼

補助翼は、縦軸を中心にロールを制御する。補助翼は各翼の後縁に取り付けられ、互いに反対方向に作動する。補助翼は、ケーブル、ベルクランク、プーリー、および/またはプッシュプルチューブでコントロールホイールまたはコントロールスティックに接続される。

コントロールホイールまたはコントロールスティックを右に動かすと、右補助翼が上に、左補助翼が下になる。右補助翼の上方への動きによりキャンバーが減少し、その結果右翼の揚力が減少する。対応する左補助翼の下向きの動きによりキャンバーが増加し、結果として左翼の揚力が増加する。したがって、左翼の揚力が増加し、右翼の揚力が減少すると、航空機は右に回転する。

アドバースヨー

翼が上がることから明らかのように、補助翼が下向きに動くとき揚力は大きくなる。しかし抵抗も新たに発生する。この旋回の際に生じる抗力により、旋回と反対側の翼の進行速度はわずかに遅くなる。航空機は旋回の際、この旋回の反対側の補助翼にて生じる抗力の増加により、旋回とは反対側に少しヨーイングしてしまう。アドバースヨーとは、左右の翼の抗力差から生じるバンクとは反対方向に働くヨーのことである。

[図 6-5]

アドバースヨーは低速時に顕著である。これらの低速の対気速度では、操縦翼面にかかる航空力学的圧力は低く、航空機を効果的に操縦するにはより大きな制御入力が必要である。結果として、補助翼の変位の増加は、アドバースヨーの増加を引き起こす。ヨーは、翼幅が長い航空機で特に顕著である。

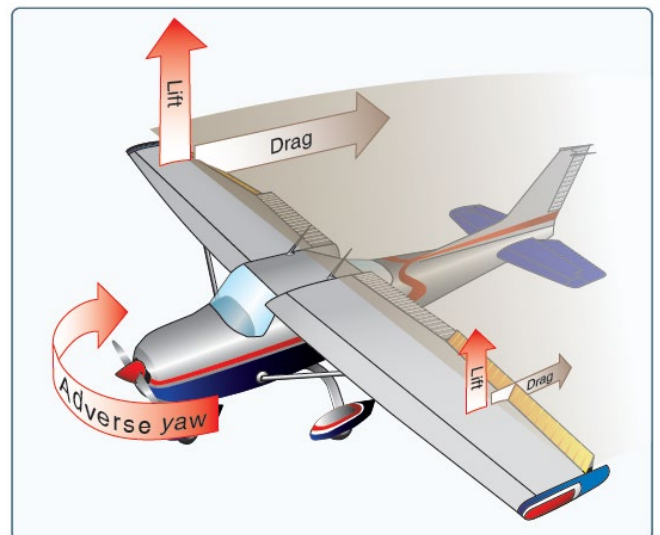


図 6-5. アドバースヨーは、外側の翼の抗力が高くなり、揚力が増加するために発生する。

アドバースヨーを打ち消すために方向舵が使用される。必要な方向舵の量は、低速時に大仰角で飛行中に、補助翼の操舵量が大きい場合に最大となる。より低速になればなるほど、他の操縦翼面同様、垂直尾翼と方向舵の効きは悪くなるため、アドバースヨーに関連する操縦上の問題を拡大する。

すべての旋回は、補助翼、方向舵、昇降舵をバランスよく使用して行う。航空機を所望のバンク角で旋回するには補助翼を操作する必要があるが、結果として生じるアドバースヨーに対抗するには方向舵を同時に操作する必要がある。さらに、旋回中は直線水平飛行よりも多くの揚力が必要になるため、昇降舵のバックプレッシャーをかけることで迎え角（AOA）を大きくしなければならない。旋回が急になるほど、必要な昇降舵のバックプレッシャーが大きくなる。

所望のバンク角が確立されたら、補助翼と方向舵の操舵力を緩める。これにより、補助翼と方向舵の操縦翼面がニュートラルで合理化された位置にあるため、バンクの角度が増加しなくなる。昇降舵のバックプレッシャーは、高度を維持するために一定に保つ必要がある。旋回からのロールアウトはロールインに似ているが、飛行制御が反対方向となる点異なる。補助翼と方向舵は、ロールアウトの方向に使用する。バンクの角度が小さくなるに従い、高度を維持する為に昇降舵のバックプレッシャーを緩めていく。

アドバースヨーの影響を減らす対策として、メーカーは次の4つのシステムを考案した：差動補助翼、フリーズエルロン、補助翼と方向舵の結合、およびフラッペロン。

差動補助翼

差動補助翼では、操縦輪または操縦桿の操作に対して旋回方向の補助翼の上方への変位量を、反対側の補助翼の下方への変位量よりも大きくする。これにより、旋回方向の翼の抵抗は増加する。旋回側の翼の補助翼の角度を、反対側の補助翼の角度よりも大きくすることから生じる抗力の差によってアドバースヨーは減少するが、完全に相殺されるわけではない。[図6-6]

フリーズ型補助翼

フリーズ型の補助翼では、操縦輪または操縦桿から補助翼に操舵力が加えられると、オフセットしたヒンジを中心に補助翼が動く。これにより、補助翼の前縁が気流にあたり、抗力が発生する。これは、反対側の翼の補助翼を下げて生じる抗力を均等にし、アドバースヨーを低減する。[図6-7]

また、フリーズ型の補助翼はスロットを形成するため、下がった補助翼上をスムーズに空気が流れ、高い迎角でより効果的になる。フリーズ型の補助翼は、差動的

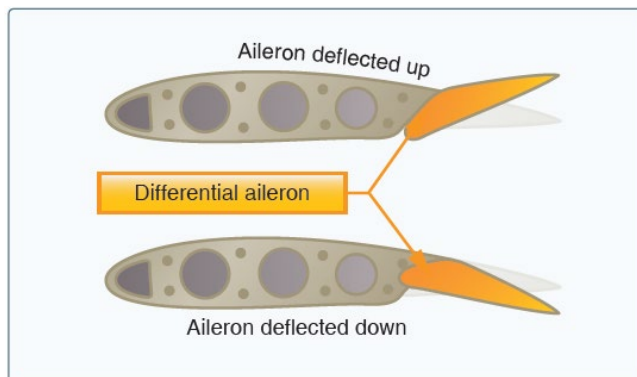


図6-6. 差動補助翼

に機能するように設計することもできる。差動補助翼と同様に、フリーズ型の補助翼は、アドバースヨーを完全には除去しない。補助翼が適用される場合、調整された舵アプリケーションが依然として必要である。

補助翼と方向舵の結合

補助翼と方向舵の結合はリンクされた制御である。これは、補助翼の変位と同時に方向舵を自動的に変位することにより、補助翼の抵抗を補正するのに役立つ、方向舵と補助翼の相互接続スプリングで実現される。たとえば、操縦輪または操縦桿を動かして左ロールを生成すると、相互接続ケーブルとスプリングが、航空機の機首が右にヨーイングするのを防ぐのに十分なだけ左方向舵ペダルを前方に引っ張る。航空機を滑らせることが必要になった場合、ばねによって方向舵に加えられた力は取り消されるになる。[図6-8]

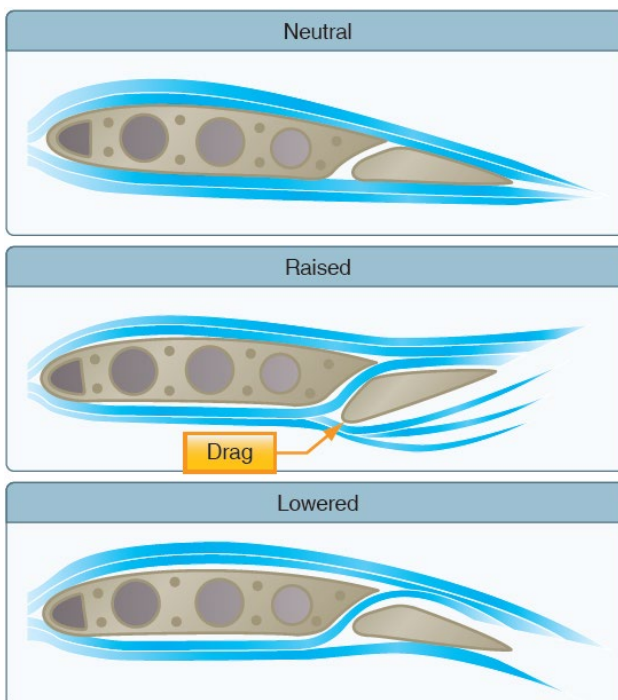


図6-7. フライ型補助翼

フラップペロン

フラップペロンは、フラップと補助翼の両方の側面を兼ね備えている。従来の補助翼のように航空機のバンク角を制御することに加えて、左右のフラップペロンを同時に下げて、フラップとほぼ同じように機能させることもできる。パイロットによるフラップペロンの操作は、複数の操作機構を通じて伝達され、ミキサーと呼ばれる機械装置により混合される。フラップペロンは機体の迎え角が大きい場合や対気速度が遅い場合の空気流を安定させるため、制御面を翼から離して設計される。

[図6-9]

昇降舵

昇降舵は横軸周りのピッチを制御する。小型航空機の補助翼と同様に、昇降舵は一連の機械的リンクによって操縦室の制御コラムに接続されている。制御コラムの後方への動きは、昇降舵表面の後縁を上にも下にも動かす。これは通常、上方位置と呼ばれる。[図6-10]

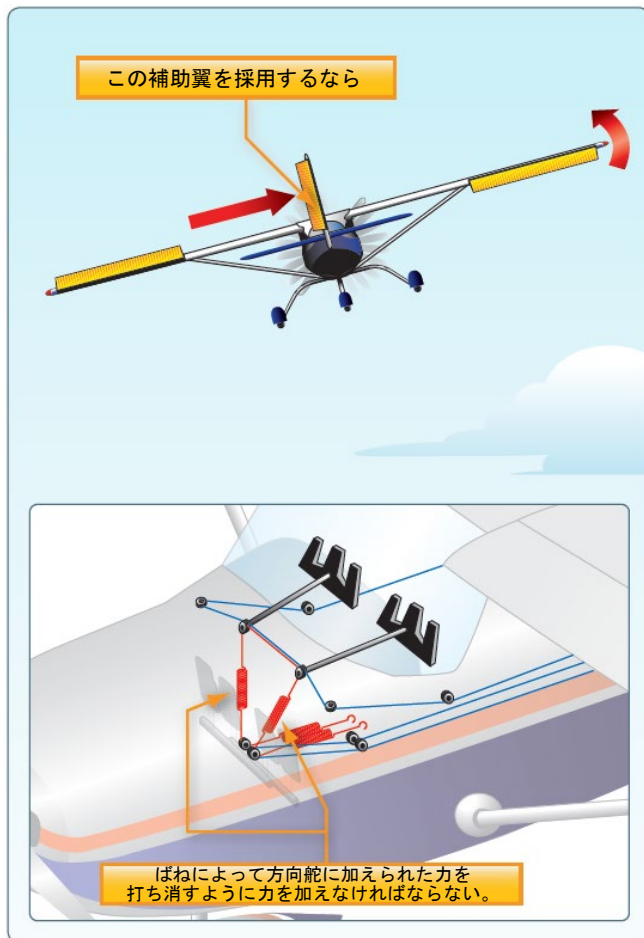


図6-8. 補助翼と舵の結合



6-9. Skystar Kitfox MK 7のフラップペロン

上方位置では、昇降舵のキャンバーが減少し、下向きの空力が発生する。この力は、直線水平飛行で発生する通常の尾部ダウンフォースよりも大きくなる。全体的な効果により、航空機の尾が下がり、機首が上がる。ピッチングモーメントは、重心 (CG) の周りに発生する。ピッチングモーメントの強さは、CG と水平尾翼表面の間の距離と、水平尾翼表面の航空力学的効果によって決まる。制御コラムを前方に移動させると、逆の効果がある。この場合、昇降舵のキャンバーが増加し、水平尾翼/昇降舵の揚力が増加する (尾部下げ力が小さくなる)。これにより、尾部が上方に移動し、機首が下方にピッチする。繰り返しになるが、ピッチングモーメントはCGについて発生する。

前述のように、安定性、出力、推力線、尾翼上の水平尾翼表面の位置は、ピッチを制御する昇降舵の有効性の要因となる。たとえば、水平尾翼表面は、垂直尾翼の下部近く、中点、または T 型尾翼の設計のように高点に取り付けられる。

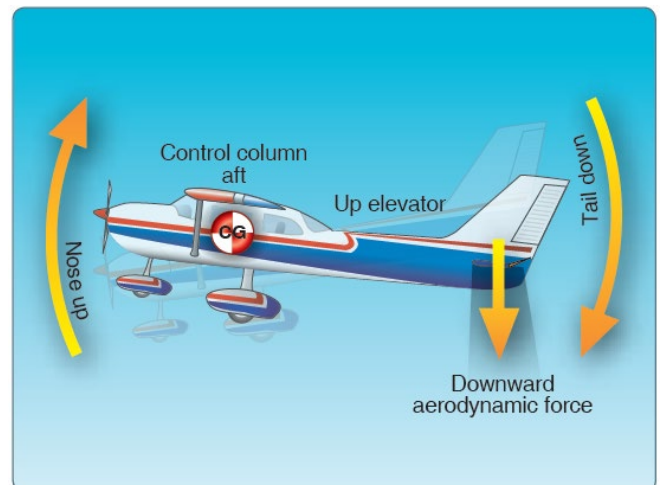


図6-10. 昇降舵は、航空機のピッチ姿勢を変更するための主要な制御である。

T 型尾翼

T 型尾翼構成では、昇降舵は、胴体および/または翼の周りの気流と同様に、通常の飛行状態でのプロペラからの吹き下ろしのほとんどの影響のより上部にある。この邪魔されない空気の中で昇降舵を操作すると、ほとんどの飛行状況で一貫した制御動作が可能になる。T 型尾翼構成は、エンジンの排気送風から尾部をはずしているため、多くの軽量で大型の航空機、特に機体後部にエンジンを搭載した航空機で T 型尾翼の設計が普及している。水上飛行機と水陸両用機には、水面をできるだけ水から遠ざけるために T 型尾翼が付いていることがよくある。追加の利点は、航空機内部の騒音と振動が減少することである。

従来型尾部の航空機と比較して、T 型尾翼航空機の昇降舵は、低速で飛行する場合に所定の量だけ機首を上げるために、より大きく舵面を動かさなければならない。これは、従来型尾部の航空機では、プロペラによる吹き下ろしが尾部を押し下げて機首を上げる効果があるためである。

航空機の操縦装置は操舵力を大きくするために操舵量を増やす必要がある。T 型尾翼航空機の機首を上げるのに必要な力は、従来型尾部の航空機の機首を上げるのに必要な力よりも大きい。トリミングされた航空機の縦方向の安定性は、両方のタイプの構成で同じだが、パイロットは、離陸、着陸、または失速中の低速では、従来型の尾部を備えた同様のサイズの航空機よりも必要な制御力が大きいことに注意しなければならない。

T 型尾翼航空機には、フラッターの問題に対処するために、追加の設計上の考慮事項も必要である。水平安定板の重量は垂直安定板の上部にあるため、生じるモーメントアームによって垂直安定板に大きな負荷がかかり、フラッターが発生する可能性がある。技術者は、垂直安定板の設計剛性を高めることでこれを補う必要があり、通常、従来の尾部設計よりも重量の不利が生じる。

これらの事件の原因となることが多いことに注意する必要がある。[図 6-11] ディープストールはどの航空機でも発生する可能性があるが、AOA が高いと翼の気流が尾部の水平面の経路に流れる可能性が高くなるため、「T 型」尾翼を備える航空機で発生する可能性が高くなる。さらに、翼と尾部の間の距離、エンジンの位置（尾部に取り付けられているなど）により、ディープストール事象の影響を受けやすくなる。そのため、一般的な航空機よりも輸送機でディープストールがより一般的に見られる。

低い対気速度と後部 CG 位置での高い AOA での飛行は危険な場合があるため、多くの航空機はこの状況を補うシステムを備えている。システムの範囲は、制御停

止から昇降舵ダウンスプリングまでである。輸送 (T 類) カテゴリのジェット機では、スティックプッシャーが一般的に使用される。ディープストールが発生するのは、適切にトリミングされた飛行機が、昇降舵を後縁ダウン位置で飛行し、尾部を上げ、機首を下げるためである。この不安定な状態で、航空機が乱気流に遭遇し、さらに減速すると、トリムタブは昇降舵を機首下げ位置に配置しなくなる。その後、昇降舵が流線形になり、航空機の機首が上方向に傾斜し、失速する可能性がある。



図 6-11. 高AOAおよび後部CGのT型尾翼デザインの航空機

昇降舵ダウンスプリングは、昇降舵に機械的負荷をかけ、バランスが取れていない場合は機首下げ位置に向かって動く。昇降舵トリムタブは、昇降舵ダウンスプリングのバランスを取り、昇降舵をトリミング位置に配置する。トリムタブが無効になると、ダウンスプリングが昇降舵を機首下げ位置に動かす。航空機の機首が下がり、速度が上がり、失速が防止される。[図 6-12]

昇降舵には、着陸のラウンドアウト中に航空機の機首を持ち上げる十分な制御力も備えていなければならない。この場合、前方の CG が問題を引き起こす可能性がある。着陸フレア中、出力は通常減少し、尾翼上の気流が減少する。これは、着陸速度の低下と相まって、昇降舵の効率を低下させる。

この議論が示すように、パイロットは、特に CG の位置に関して、適切な積み込み手順を理解し、従わなければならない。航空機の積載と重量と重心位置の詳細については、第 10 章「重量と重心位置」を参照。

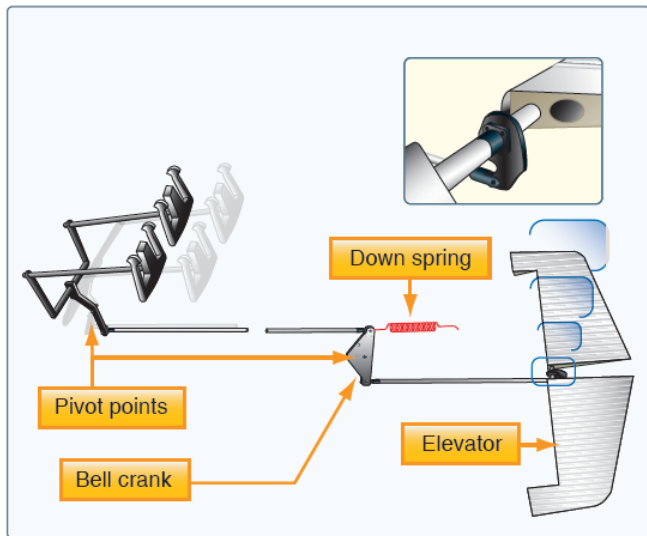


図 6-12. 後尾CG状態のために水平尾翼面の空力効率が不十分な場合、昇降舵ダウンスプリングを使用して機械的負荷を供給し、機首を下げることができる。

水平尾翼

第 3 章「航空機の構造」で説明したように、水平尾翼は本質的に、中央のヒンジポイントから回転するワンピースの水平な安定板である。制御コラムが引かれると、水平尾翼の後端を持ち上げ、航空機の機首を上がる。制御コラムを前方に押しすと、水平尾翼の後縁が下がり、航空機の機首が下がる。

水平尾翼は中央のヒンジポイントを中心に動くため、制御入力と空力荷重に非常に敏感である。アンチサーボ・タブは、感度を下げるために後縁に組み込まれている。水平尾翼と同じ方向に変位する。これにより、水平尾翼を動かすのに必要な力が増加し、パイロットによるオーバーコントロールが起こりにくくなる。さらに、通常、主桁の前にバランスウエイトが組み込まれている。バランスウエイトは尾部から突き出ているか、水平尾翼の先端の前方部分に組み込まれる。[図 6-13]

先尾翼

先尾翼の設計は、2 つの持ち上げ面の概念を利用している。能する。実際には、先尾翼は、従来の後部尾翼設計の水平面に似た翼型である。違いは、機首が下向きに回転するのを防ぐために尾部に下向きの力を加える後尾設計とは対照的に、先尾翼が実際に揚力を生成して機首を持ち上げることである。[図 6-14]

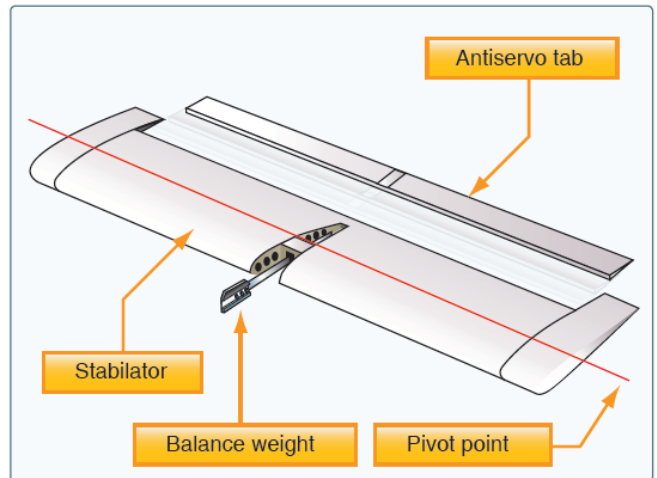


図 6-13. 水平尾翼は、中央のヒンジポイントを中心に上下に回転するワンピースの水平尾翼表面である。

先尾翼の設計は、航空のパイオニア時代にまでさかのぼる。最も注目すべきは、先尾翼の設計がライトフライヤー号で使用されたことだ。最近、先尾翼構成が人気を取り戻し、新しい航空機に登場している。先尾翼のデザインには、通常の後部尾翼設計とほぼ同じサイズの水平面を持つものと、タンデム翼構成として知られる、後部に取り付けられた翼とおおよそ同じサイズで翼型も同じ先尾翼を持つものの 2 種類がある。理論的には、水平面を使用して航空機の重量を持ち上げるのに役立つため、先尾翼はより効率的であると見なされる。



図 6-14. Piaggio P180には、横軸周りの縦方向の安定性を提供する可変スweep先尾翼設計が含まれている。

方向舵

方向舵は、垂直軸を中心とした航空機の動きを制御する。この動きはヨーと呼ばれる。他の主制御面と同様に、方向舵は、この場合は固定面、垂直安定板またはフィンにヒンジで固定された可動面である。方向舵は左右の方向舵ペダルで制御される。

方向舵が空気流の中で変位すると、水平方向の力が反対方向に作用する。[図 6-15] 左ペダルを押すと、方向舵は左に向く。これにより、垂直尾翼/方向舵の周りの気流が変化し、尾部を右に動かし、飛行機の機首を左にヨーする横方向の揚力が発生する。方向舵の有効性はスピードとともに増加する。したがって、望ましい反作用を得るには、低速での大きな変位と高速での小さな変位が必要になる場合がある。プロペラ駆動の航空機では、方向舵上を流れるプロペラ後流が有効性を高める。

V尾翼

V尾翼設計では、2つの傾斜した動翼面は、従来の昇降舵および方向舵面と同じ機能を持つ。固定面は、水平および垂直の両方の安定板として機能する。[図 6-16]

通常、ラダーペーターと呼ばれる可動面は、操縦輪が両方の面を同時に動かすことができる特別な連動を介して接続されている。一方、方向舵ペダルの変位は、表面を差動的に動かし、それにより方向制御が生まれる。

パイロットが方向舵と昇降舵の両方の制御を動かすと、制御ミキシングメカニズムが各表面を適切な量だけ動かす。V尾翼の制御システムは、従来の尾部の制御システムよりも複雑である。さらに、V尾翼の設計は、従来の尾部よりもダッチロール傾向の影響を受けやすく、抵抗による減衰は少ない。

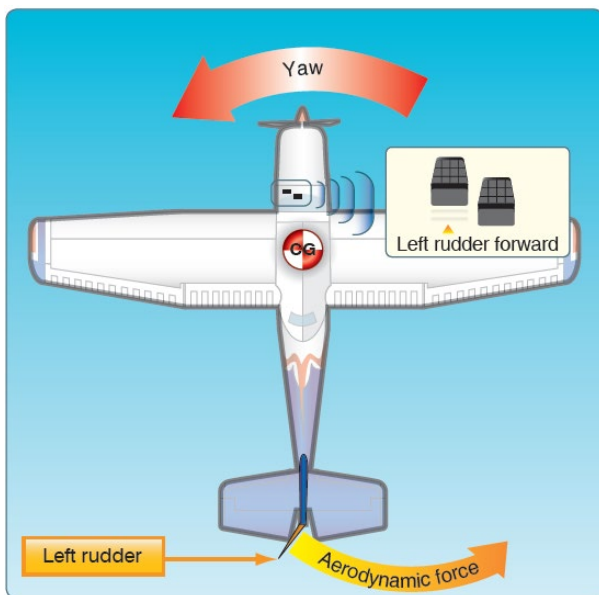


図 6-15. 左方向舵圧力の影響



図 6-16. Beechcraft Bonanza V35.

二次操縦装置

二次飛行制御システムは、翼フラップ、前縁装置、スポイラー、およびトリムシステムで構成される。

フラップ

フラップは、航空機で使用される最も一般的な高揚力装置である。翼の後縁に取り付けられたこれらの表面は、揚力とどんなAOAであっても発生する誘導抗力の両方を増加させる。フラップは、必要に応じて下げ、不要な場合に翼の構造に格納されるため、高い巡航速度と低い着陸速度の間の折り合いを可能にする。一般的なフラップには、プレーンフラップ、スプリットフラップ、スロット付きフラップ、ファウラーフラップの4種類がある。[図 6-17]

プレーンフラップは、4つのタイプの中で最も単純である。翼型のキャンバーが増加し、特定のAOAで揚力係数 (C_L) が大幅に増加する。同時に、抗力が大幅に増加し、翼の圧力中心 (C_p) が後方に移動し、機首下げピッチングモーメントが発生する。

スプリットフラップは、翼の下面から伸び、プレーンフラップよりもわずかに大きな揚力の増加を生成する。翼型の後ろに乱気流パターンが生成されるため、より多くの抵抗が発生する。完全に伸ばすと、プレーンフラップとスプリットフラップの両方が、わずかに揚力がわずかに大きくなるが、大きな抗力も生成する。

今日の航空機で最も人気のあるフラップは、スロット付きフラップである。このデザインのバリエーションは、小型機だけでなく大型機にも使用される。スロット付きフラップは、プレーンフラップまたはスプリットフラップよりも揚力係数を大幅に増加させる。小型航空機では、ヒンジはフラップの下面の下にあり、フラップを下げると、翼のフラップウェルとフラップの前縁の間にダクトが形成される。スロット付きフラップを下げると、下面からの高エネルギーの空気がフ

フラップの上面に送られる。スロットからの高エネルギーの空気は、上部表面境界層を加速し、気流の剥離を遅らせ、より高い C_L を提供する。したがって、スロット付きフラップは、プレーンフラップまたはスプリットフラップよりも最大揚力係数 (C_{L-MAX}) が大幅に増加する。スロット付きフラップには多くの種類があるが、大型の航空機には多くの場合、ダブルスロットおよびトリプルスロットフラップがある。これらにより、フラップ上の気流が剥離して発生する揚力を抑えることなく、抗力を最大限に高めることができる。

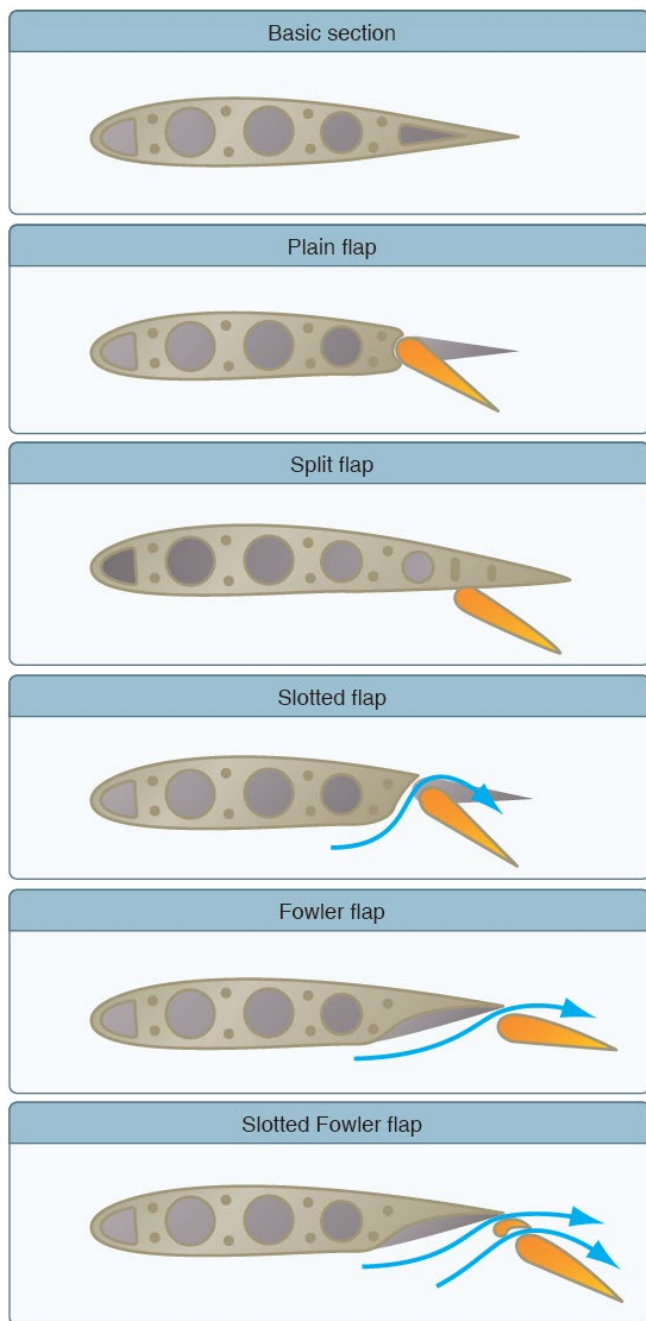


図 6-17. 5 種類の一般的なフラップ

ファウラーフラップは、スロット付きフラップの一種である。このフラップのデザインは、翼のキャンバーを変えるだけでなく、翼の面積も増やす。ヒンジで回転する代わりに、トラック上で後方にスライドする。延長部分の最初の部分では、抗力はほとんど増加しないが、面積とキャンバーの両方が増加するため、揚力が大幅に増加する。パイロットは、通常はトリムによりこれを調整するが、航空機のタイプに応じて、フラップの延長が機首上げまたは下降ピッチングモーメントを引き起こす可能性があることに注意する必要がある。延長が続くと、フラップは下向きにたわむ。移動の最後の部分で、フラップは揚力をほとんど増加させることなく抵抗を増加させる。

最先端の装置

高揚力装置は、翼の前縁にも適用できる。最も一般的なタイプは、固定スロット、可動スロット、前縁フラップ、およびカフである。 [図 6-18]

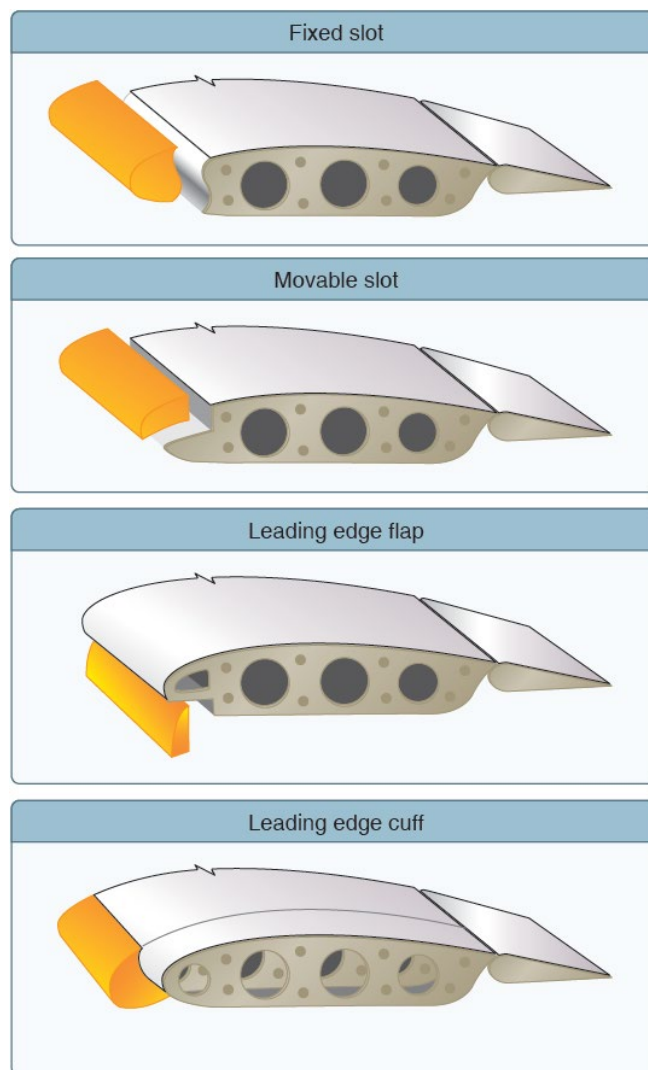


図 6-18. 前縁の高揚力装置

固定スラットは気流を上部翼面に導き、より大きな迎え角で気流の分離を遅らせる。スラットは翼のキャンバーを増加させないが、翼がより大きなAOAに到達するまで失速が遅延するため、最大 C_L を高くすることができる。

可動スラットは、トラック上を移動する前縁セグメントで構成される。低迎え角では、翼の前縁に生じる高圧により、各スラットは翼の前縁に対して平らに保持される。AOAが増加すると、高圧領域が翼の下面より後方に移動し、スラットが前方に移動できるようになる。しかし、一部のスラットはパイロット操作であり、どのAOAでも展開できる。スラットを開くと、翼の下の空気が翼の上面に流れ、気流の剥離が遅れる。

前縁フラップは、後縁フラップと同様に、 C_{L-MAX} と翼のキャンバーの両方を増加させるために使用される。このタイプの前縁装置は、後縁フラップと組み合わせて頻繁に使用され、後縁フラップによって生じる機首下げピッチングの動きを減らすことができる。後縁フラップの場合と同様に、前縁フラップがわずかに延びている時は抗力より揚力の増大が大きい。さらに延びると、抗力が揚力よりも大きく増加する。

前縁フラップや後縁フラップなどの前縁カフは、 C_{L-MAX} と翼のキャンバーの両方を増加させるために使用される。前縁フラップおよび後縁フラップとは異なり、前縁カフは固定された空力装置である。ほとんどの場合、前縁カフは前縁を下へ前へ延ばす。これにより、高い迎え角で気流が翼の上面により良く付着し、航空機の失速速度が低下する。前縁カフの固定された性質により、最大巡航対気速度のペナルティが課されるが、設計と技術の最近の進歩により、この不利益は軽減された。

スポイラー

一部の固定翼機では、スポイラーと呼ばれる高抗力装置が翼から展開され、スムーズな空気の流れを乱し、揚力を減らして抗力を増加させる。グライダーでは、スポイラーが最も頻繁に使用され、正確な着陸のために降下速度を制御する。他の航空機では、ロール制御にスポイラーがよく使用されるが、その利点は、アドバンスヨーの除去である。たとえば、右に曲がるには、右翼のスポイラーを上げて、揚力の一部を減少させ、右側の抵抗を増やす。右翼が下がり、航空機の右バンクとヨーが起こる。両方の翼にスポイラーを同時に展開すると、速度を上げることなく航空機を降下させることができる。着陸後の滑走距離を減らすためにもスポイラーは使われる。揚力を減少させることにより、車輪に機体荷重がかかり、ブレーキ効果を向上させる。
[図6-19]



図6-19. スポイラーは、降下時および着陸時の揚力を低下させ、抗力を増加させる。

トリムシステム

航空機は、さまざまな姿勢、対気速度、出力設定で操作できるが、これらの変数の非常に限られた組み合わせでのみハンドオフを行えるように設計できる。トリムシステムは、パイロットが操縦装置に一定の圧力を維持する必要性を軽減するために使用され、通常、操縦室制御と、1つ以上の一次飛行操縦翼面の後縁に取り付けられた小さなヒンジ付き装置で構成される。パイロットの作業負担を最小限に抑えるように設計されており、システムを航空力学的にトリムして、取り付けられている操縦翼面の動きと位置を補助する。一般的なタイプのトリムシステムには、トリムタブ、バランスタブ、アンチサーボタブ、地面調整可能タブ、および調整可能安定板が含まれる。

トリムタブ

小型航空機で最も一般的な設置方法は、昇降舵の後縁に取り付けられた単一のトリムタブである。ほとんどのトリムタブは、小型の垂直に取り付けられた操縦輪によって手で操作される。しかし、一部の航空機ではトリムクランクが見つかる場合がある。操縦室制御には、トリムタブ位置計器が含まれている。トリムコントロールを機首下げの完全な位置に配置すると、トリムタブが最大のアップ位置に移動する。トリムタブを上上げて気流に入れると、水平尾翼表面の気流が昇降舵の後端を押し下げる傾向がある。これにより、航空機の尾部が上に動き、機首が下に動く。
[図6-20]

トリムタブが完全に機首上げ位置に設定されている場合、タブはフルダウン位置に移動する。この場合、水平尾翼表面の下を流れる空気がタブに当たり、昇降舵の後端を押し上げて、昇降舵のAOAを減らす。これにより、航空機の尾部が下に移動し、機首が上に移動する。

トリムタブと昇降舵の反対方向の動きにもかかわらず、トリムの制御はパイロットにとって普通の動作である。パイロットが制御コラムに一定のバックプレッシャー

をかける必要がある場合、機首上げトリムの必要がある。通常のトリム手順は、機体のバランスが取れ、機首が重い状態を感じられなくなるまでトリムをとり続ける。パイロットは通常、最初に希望の出力、ピッチ姿勢、およびコンフィギュレーションを確立し、次にその飛行条件に存在する制御圧力を緩和するために航空機をトリムする。出力、ピッチ姿勢、またはコンフィギュレーションが変更されると、新しい飛行条件の制御圧力を緩和するために再トリミングが必要になる。

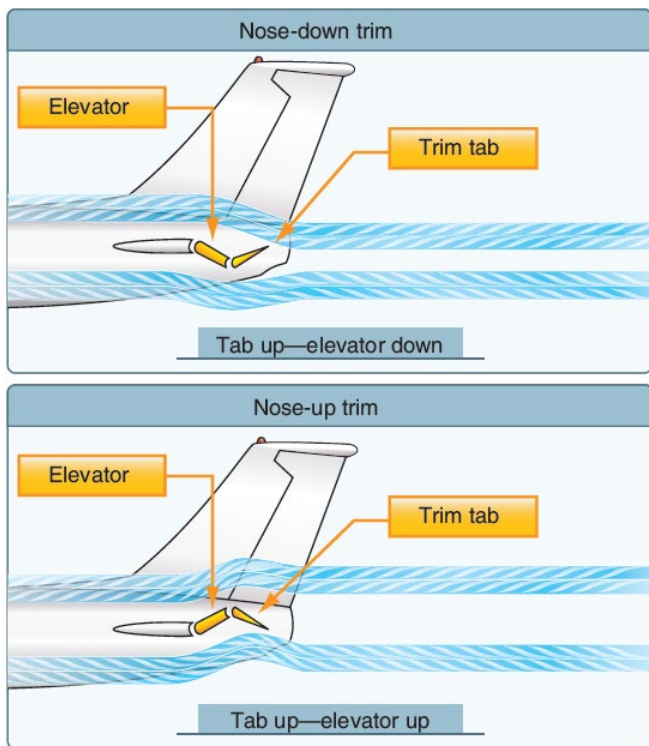


図 6-20. 昇降舵の動きは、昇降舵トリムタブの動きの方向と反対である。

バランスタブ

一部の航空機では、操舵力が極端に必要な場合があり、それらを減らすために、製造業者はバランスタブを使用する場合がある。これらはトリムタブのように見え、トリムタブとほぼ同じ場所でヒンジで固定されている。2つの基本的な違いは、バランスタブは操縦翼面ロッドに連結されているため、一次操縦翼面が任意の方向に動くと、タブが自動的に反対方向に動くことである。タブに衝突する気流によって、主制御面に作用する空気圧の一部を相殺し、パイロットの操舵力を軽減し、制御面の保舵力も軽減する。

バランスタブと固定面間のリンクが操縦室から調整可能な場合、タブは、希望の角度に調整できるトリムとバランスタブの組み合わせとして機能する。

サーボタブ

サーボタブの動作と外観は、前述のトリムタブと非常に似ている。サーボタブは、操縦制御面の小さな部分であり、パイロットが進みたい方向に操縦翼面全体を動かすのを補助できるように使われる。サーボタブは、パイロットの作業負担を減らして航空機を不安定にするために使われる動的な装置である。サーボタブはフライトタブと呼ばれることもあり、主に大型航空機で使用される。パイロットが操縦翼面を動かし、希望の位置に保持するのを助ける。パイロットの飛行制御の動きに応じてサーボタブのみが動き、その後、サーボタブ上の気流の力が主制御面を動かす。

アンチサーボタブ

アンチサーボタブは、バランスタブと同じように機能するが、反対方向に動く代わりに、水平尾翼の後縁と同じ方向に動く。水平尾翼の感度を下げることに加えて、アンチサーボタブは、制御圧力を緩和し、水平尾翼を希望の位置に維持するトリム装置としても機能する。連結の固定端は、タブのホーンとは反対側の表面にある。水平尾翼の後縁が上に向くと、連動してタブの後縁を押し上げる。水平尾翼が下に向くと、タブも下に向く。逆に、昇降舵のトリムタブは操縦翼面の反対側に向く。[図 6-21]

接地調整可能なタブ

多くの小型航空機には、方向舵に動かない金属製のトリムタブがある。このタブは、地上で方向舵にトリム力を加えるために、一方向または他方向に曲げられる。正しい変位角は試行錯誤して決定される。

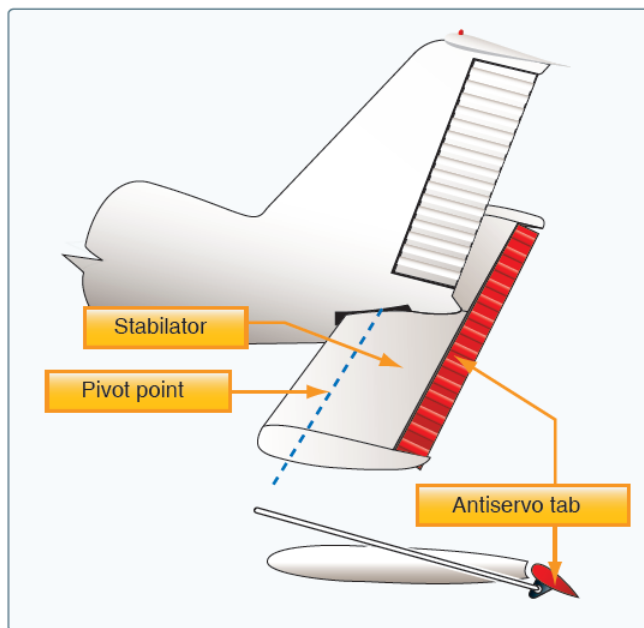


図 6-21. アンチサーボタブは、操縦翼面を流線形にしようと、パイロットによって加えられる力に対抗することにより水平尾翼の感度を下げるために使用される。

通常の巡航飛行中に航空機が左右に滑らなくなるまで、小さな調整が必要である。[図 6-22]

調整可能な安定装置

昇降舵の後端に可動タブを使用する代わりに、一部の航空機には調整可能な安定装置がある。この装置では、連結機構が水平尾翼を後桁の周りを回転させる。これは、水平尾翼の前縁に取り付けられたジャックネジを使用することで行われる。[図 6-23] 小型航空機では、ジャックねじはトリムホイールまたはクランクでケーブル操作される。大型の航空機では、モーター駆動である。調整可能な安定板のトリミング効果と操縦室の表示は、トリムタブの表示と似ている。

自動操縦装置

自動操縦装置は、航空機を水平飛行または所望のコースを維持する自動飛行制御システムである。パイロットが指示することも、無線航法信号に同調することもできる。自動操縦装置は、パイロットの身体的および精神的なタスクを軽減し、安全性を高める。自動操縦装置で維持できる一般的な機能は、高度と機首方位である。

最も単純なシステムは、ジャイロスコープの水平儀と磁気コンパスを使用して、飛行制御システムに接続されたサーボを制御する。[図 6-24] システムの複雑さによってこれらのサーボの数と位置は変わる。たとえば、単軸の自動操縦装置が航空機を縦軸の周りに制御する場合はサーボは補助翼を作動させる。3 軸の自動操縦装置は、縦、横、および方向軸を中心に航空機を制御する。3 つの異なるサーボが補助翼、昇降舵、および方向舵を作動させる。より高度なシステムには、多くの場合、垂直速度や指示対気速度保持モードが含まれる。高度な自動操縦システムは、飛行指令装置を介して航法補助装置に結合される。



図 6-22. 痴情調整可能なタブは、多くの小型飛行機の方向舵に使用され、胴体が相対風とわずかにずれて飛行する傾向を修正する。

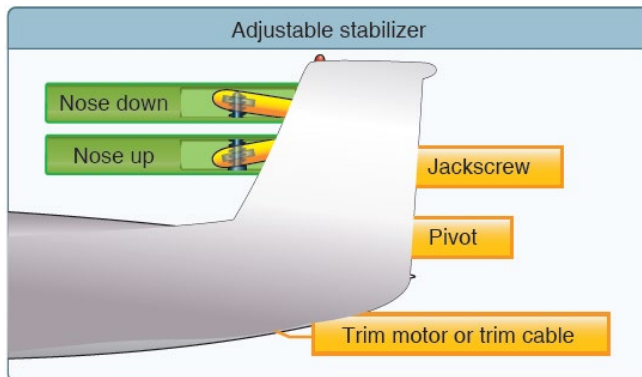


図 6-23. ほとんどのジェット輸送機を含む一部の航空機では、調整可能な安定板を使用して、必要なピッチトリム力を提供している。

自動操縦システムには、システムを自動または手動で解除する安全機能も組み込まれている。これらの自動操縦装置は、慣性航法システム、全地球測位システム（GPS）、および飛行コンピュータと連携して航空機を制御する。フライバイワイヤシステムでは、自動操縦装置は統合された構成要素である。

さらに、自動操縦は手動でオーバーライドできる。自動操縦システムの動作は機体によって大きく異なるため、飛行規程（AFM）またはパイロット操作ハンドブック（POH）の自動操縦操作手順を参照すること。

章のまとめ

飛行制御システムと航空力学的特性は航空機によって大きく異なるため、パイロットは飛行中の航空機の一次および二次飛行制御システムに精通することが不可欠である。この情報の主なソースは、AFMまたはPOHである。さまざまな製造業者および所有者グループの Web サイトも、追加情報の貴重な情報源になる。



図 6-24. 飛行制御システムに統合された基本的な自動操縦システム