

第1章 ヘリコプタの概要

概要

この章では、ヘリコプタの用途、耐空性審査要領におけるヘリコプタの定義、ヘリコプタの分類とその特性、耐空類別、飛行方式などについて示す。またヘリコプタに近い新しい型式の航空機についても触れる。

1-1 ヘリコプタの発達

大空を飛ぶという人類の夢は飛行機によって実現されたが、さらに進んで(1)空中で自由に飛行したり停止したりしたい、(2)狭い場所から自由に発着したい、という願望はヘリコプタの出現によって初めてかなえられた。

ヘリコプタの発想は遠く中国の竹トンボや15世紀のレオナルド・ダ・ビンチのスケッチ(図1-1)などにさかのぼることができるが、実際にパイロットを乗せ、ロータを使って地上を離れたのは20世紀に入ってからである。

人力の助けなしに初めて地上から浮き上がったのは、ライト兄弟の初飛行の僅か4年後の1907年、ポール・コルニュのヘリコプタ(図1-2)であった。このヘリコプタは“うちわ”の様なブレードを持つ2つのロータを持ったヘリコプタで、20秒ほど地上から30センチ浮上したといわれている。しかしこのヘリコプタは現代のヘリコプタの形態とはほど遠く、その後約30年間実用ヘリコプタへの模索が続いた。

この間、1930年代にオートジャイロが実用化され、このオートジャイロによりヘリコプタのロータの基礎が確立され、ヘリコプタの実用化への道が開かれた。

1937年にドイツのフォッケ・アハゲリス Fa61ヘリコプタが数々の記録を樹立して、実用ヘリコプ

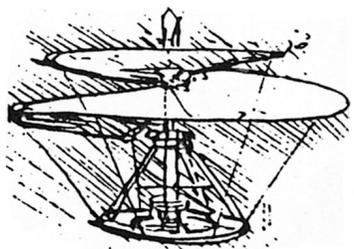


図1-1 レオナルド・ダ・ビンチのスケッチ

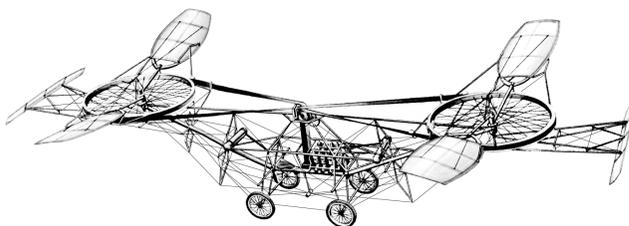


図1-2 ポール・コルニュのヘリコプタ

タの扉を開き、1939年イゴール・シコルスキのVS-300ヘリコプタ（図1-3）により、現代のヘリコプタの原型が姿を現した。そして1942年にはその後継機VS-316（軍名称R-4）の量産が開始され、ここに実用ヘリコプタの歴史が始まった。

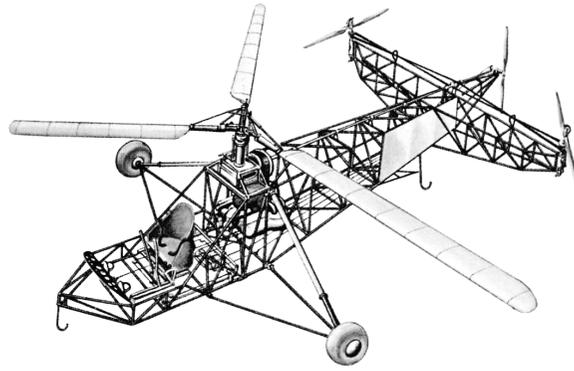


図1-3 シコルスキ VS-300

当初軍用として発達してきたヘリコプタであるが、その価値が認められるとともに、民間用としても広く用いられるようになった。

この間、ヘリコプタの技術も長足の進歩を遂げている。主なところでは、

- ・ピストン・エンジンに代わる小型軽量大出力のガスタービン・エンジンの採用による性能の画期的な向上。
- ・自動操縦装置の開発によるパイロットの負担の軽減。
- ・ロータや胴体構造に対する複合材料の適用による軽量化と安全性の大幅な向上。
- ・コンピュータを利用したアビオニック・システムの適用による操作性の向上、多様な用途への適合。

等が挙げられる。

ヘリコプタは飛行機に比べて、空気力学的に、また構造、強度や機構の点からも非常に複雑である。いわば、高度な知識を要するシステムであり、まだまだ多くの未知の点や課題が残されている。

ヘリコプタはホバリングと垂直離着陸という他の追随を許さぬ能力で、次々と用途拡大が進みつつあるが、それと共に、低騒音、全天候性、飛行管制などの新しい要求も次々と課されつつあり、今後もヘリコプタ技術の進歩、向上が強く期待されている。

ヘリコプタの語源

1863年フランスのホントン・ダメクールは蒸気機関で駆動する二重反転ヘリコプタの模型の飛行に成功した。彼はこの模型にギリシャ語の Helix（らせん）と Pteron（つばさ）を合成して Helicoptere（エリコプテール）と名付けた。これがヘリコプタとなった。しかし、この中の Helix は、更にレオナルド・ダ・ビンチにさかのぼる。ダ・ビンチは彼のスケッチに Helical Screw の意味のギリシャ名を付けている。

1-2 ヘリコプタの用途

ヘリコプタは現在幅広い用途に用いられている。表1-1にヘリコプタの用途例を示す。特に注目されることは、海上や山岳地における人命救助、急病や事故における救急患者輸送、山小屋や海上石油掘削リグへの人員や物資の輸送、あるいは上空からのTV撮影、送電塔建設、送電線監視、木材搬出など、ヘリコプタの出現によって初めて可能になった、あるいは今までよりはるかに容易になり現実的になった用途が多いことである。これはヘリコプタが離着陸に場所を取らず、しかも空中に停止できるという、他にない能力を有しているからである。また最近では病院等に配置され、医師や看護師が同乗して現場に向かい、運び込んだ患者に機内で救命医療を行うことのできるドクター・ヘリコプタが、死亡率の低下、回復の早さ、後遺症の減少等、大きな効果があることで注目されている。これからも人間の社会生活の広がりに合わせて、ヘリコプタに対して、新しい運用が要請されたり、あるいは新しい用途が作りだされたりして、活躍の場がどんどん広がっていくことであろう。本当の意味で、ヘリコプタは空を人間の活躍の場としたといえる。

一方、軍用においては、ヘリコプタはすでに重要な地位を占めている。もともと、ヘリコプタは軍用としてその技術を発展させてきた。初めは連絡用であったが、その優れた能力に着目され、技術進歩も図られ、今では輸送用、偵察用、地上攻撃用、対潜水艦攻撃用、機雷掃海用、救難用など、幅広い運用がなされている。

表1-1 ヘリコプタの用途

人員輸送	旅客輸送 遊覧輸送 海上石油掘削リグ・サービス 救難 救急患者輸送 救急医療(ドクター・ヘリコプタ) 災害地救助隊派遣	報道・広報	TV撮影、中継 電波中継 広報・宣伝
	貨物・資材輸送	貨物輸送 郵便・証券輸送 建設資材運搬 木材搬出 救急資材輸送 海上リグ・離島物資輸送	監視・巡視
農林			その他

1-3 ヘリコプタの定義

「耐空性審査要領」第1部「定義」によると、ヘリコプタは重要な揚力を1個以上の回転翼から得る回転翼航空機（Rotorcraft）の一つであり、回転翼航空機には、ヘリコプタの他、ジャイロブレン、ジャイロダインも含まれる。

ヘリコプタ、ジャイロブレン、ジャイロダインは以下のように区別される。

- (1) **ヘリコプタ**：ほぼ垂直な軸まわりに回転する1個以上のエンジン駆動の回転翼により、揚力および推進力を得る回転翼航空機。
- (2) **ジャイロブレン**：起動時のみエンジン駆動により、飛行中は、空気力の作用によって回転する1個以上の回転翼により揚力を得、推進力はプロペラによって得る回転翼航空機。
- (3) **ジャイロダイン**：ほぼ垂直な軸まわりに回転する1個以上のエンジン駆動の回転翼によって揚力を得、推進力はプロペラによって得る重航空機。

ジャイロブレンはオートジャイロやジャイロコプタなどを含む総称であり、スペインのシェルバによって発明された（オートジャイロはシェルバの登録商標名である）。ジャイロブレンは飛行機の主翼の代わりにロータを用い、前進速度によってロータが回転することで揚力を得るもので、飛行機とヘリコプタの中間的な形態である。上記(2)のジャイロブレンの定義にある、「起動時のみエンジン駆動」とあるのは後期のオートジャイロの形態であり、離陸前にエンジンでロータを回転させておき、離陸距離をより短くしようとするものである。ジャイロブレンは離着陸距離が極めて短くてすむが、ホバリング能力はないので、ヘリコプタの発達により現在はほとんど姿を消し、軽量なスポーツ機として残っている程度である。

ジャイロダインは一般には複合ヘリコプタ（Compound Helicopter）とよばれ、ヘリコプタの垂直離着陸能力と飛行機の高速度性能を狙ったものである。

また同じく垂直離着陸能力と高速性能を狙った航空機として、転換型航空機（Convertible Aircraft, Convertiplane）の実用化が進められている。複合ヘリコプタと転換型航空機については1-7節に示す。

1-4 ヘリコプタの分類と特性

巻末に現在用いられている主なヘリコプタの諸元を示した。

図1-4に現在最も多く用いられているシングル・ロータ式ヘリコプタの構成例を示す。

しかし、ヘリコプタにはこの他いろいろな型式のものが用いられている。

ヘリコプタの型式を分類する方法としては、次のようなものがある。

1-4 ヘリコプタの分類と特性

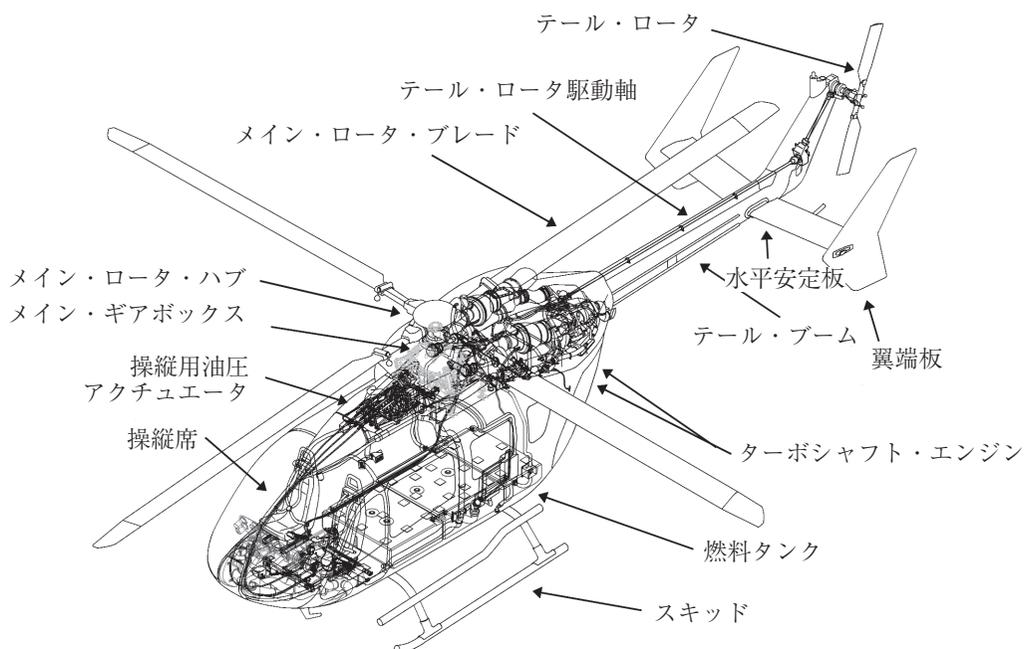


図 1-4 ヘリコプタの構成 (川崎 BK117C-2)

1-4-1 ロータ (Rotor: 回転翼) の駆動方法による分類

ロータの駆動方法には次の2つがある。

- ・エンジンの出力を伝動軸によってロータに伝え、ロータを回転させる機械的軸駆動法
- ・ブレードの先端から空気または燃焼ガスを吹き出して、ロータを回転させる翼端駆動法

翼端駆動法にはさらに、胴体に取り付けられた圧縮機の空気を翼端に導く方法と、翼端に直接ジェット・エンジンを取り付ける方法がある。これらはかつていろいろ試作されたが、実用化されたのは、前者の方法を用いたシュド・ジン (Sud Djinn) 1 機種 (図 1-5) だけである。シュド・ジンは胴体にエンジンで駆動する空気圧縮機をもち、その圧縮空気をブレード内部を通してブレード先端に導き、ブレード後縁から吹き出すことでブレードを駆動する。方向の操縦は、エンジンの排気の後



図 1-5 翼端駆動式 (シュド・ジン)

方に大きな可変垂直尾翼をもうけ、その角度を変えて行う。

翼端駆動法は、動力伝達のためのギアボックス、伝動軸、クラッチ等を必要とせず、反トルク装置も不要等の利点があるが、効率が悪く、燃料消費量が大である。

1-4-2 使用原動機による分類

原動機として、ピストン・エンジン（レシプロ・エンジン）を用いるか、あるいは、ターボシャフト・エンジン（タービン・エンジン）を用いるかで分類する方法である。

ほとんどのヘリコプタは、小型・軽量で大出力が得られるターボシャフト・エンジンを用いている。しかし、小型ヘリコプタでは、安価なことからピストン・エンジンも用いられている。

また、原動機の数によって分類する場合もある。

すなわち、原動機が一つの場合、単発エンジン・ヘリコプタ（またはシングル・エンジン・ヘリコプタ）、原動機が複数の場合、多発エンジン・ヘリコプタとする分類である。また、2、3個の場合、それぞれ双発エンジン・ヘリコプタ、3発エンジン・ヘリコプタともよぶ。

1-4-3 メイン・ロータの数と配置による分類

メイン・ロータの数と配置による分類であり、これには、ロータのトルクをどう打ち消すか、および操縦を何によって行うかが関係する。

a. シングル・ロータ式（Single Rotor：単回転翼式）

メイン・ロータが1個のもので、ロータのトルクを打ち消すために、**図1-6**に示すように尾部に反トルク・ロータ（Antitorque Rotor：一般にテール・ロータとよばれる）を持つ型式である。なお、

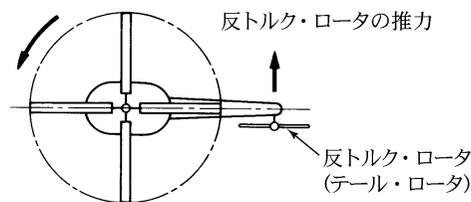


図1-6 シングル・ロータ式の反トルク・ロータ



図1-7 シングル・ロータ式の縦と横の操縦

尾部に反トルク・ロータを配置する代わりに、尾部後端から横方向に空気を噴出して反トルクを得るものもある。

この型式の操縦は、次の方法によって行う。

垂直方向の操縦：メイン・ロータの推力を増減する。

方向の操縦：反トルク・ロータの揚力を増減する。(図 1-6)

縦の操縦と横の操縦：メイン・ロータ面を傾ける。(図 1-7)

現在、ほとんどのヘリコプタが採用している型式であり、メイン・ロータの部品が少なく、駆動系統もシンプルであるので、構造が簡単で重量が軽くてすむ。また、方向の操縦を反トルク・ロータで行うので方向操縦力が高い、重心から離れた位置に尾翼を配置できるので、安定化しやすい、などの利点がある。一方、反トルク・ロータを駆動するためのパワーが消費される。また、重心移動の範囲が狭い、総重量の大きなヘリコプタではメイン・ロータの寸法が大きくなるなどの不利な点がある。

b. ツイン・ロータ式 (Twin Rotor: 双回転翼式)

2 個のロータを持ち、それぞれ反対の方向に回転させることによってロータのトルクの影響を打ち消している型式で、配置によってさらに次のように分類される。

(1) 同軸反転ロータ式 (Coaxial Rotor)

回転方向が異なるロータを同軸に配置する型式。図 1-8 にカモフ (現ロシアン・ヘリコプターズ) Ka-115 を示す。ロータのトルクは互いに打ち消しあうので、反トルク・ロータは不要である。また、操縦方式は方向の操縦以外はシングル・ロータ式と同じであり、方向の操縦は図 1-9 に示すように 2 つのロータ間でトルクの差を作り出すことで行う。

この型式はテール・ロータがないので全長が小さくてすみ、反トルク・ロータによるパワー消費がない、などの利点を持つが、ロータ、出力伝達装置、操縦装置などが複雑となる。また、方向の操縦を 2 つのロータのトルク差で行うため、オートローテーション中では方向の操縦が逆効きになってしまう。そのため、大きな可動垂直尾翼カラダを装備する必要がある。



図 1-8 同軸反転ロータ式 (Ka-115)

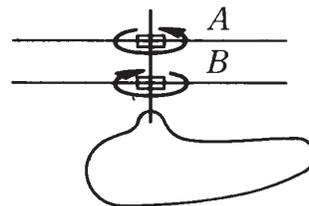


図 1-9 同軸反転ロータ式の方角の操縦



図 1-10 タンデム・ロータ式 (CH-47)



図 1-11 タンデム・ロータ式の縦の操縦

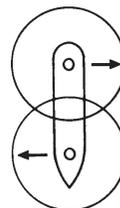


図 1-12 タンデム・ロータ式の方向の操縦

(2) タンデム・ロータ式 (Tandem Rotor)

2つのロータを前後に配置した型式である。図 1-10 にボーイング CH-47ヘリコプタを示す。縦の操縦は図 1-11 に示すように前後のロータの推力を増減させて行う。このため大きな操縦力が得られ、また前後方向の重心位置範囲が広くとれる。方向の操縦は図 1-12 に示すように前後のロータの推力を左右反対方向に傾けて行う。

この型式は上述した、縦の操縦力が高く、前後の重心範囲が広いという利点の他、ヘリコプタの重量に比べてロータが小さくてすむ、胴体のほとんどを客室あるいは貨物室に有効に活用できる、などの利点を持つが、一方で駆動系統が複雑となり、尾翼がつけられない、あるいはつけてもその効きが悪いので安定性が低いなどの不利な点を持つ。

(3) サイド・バイ・サイド・ロータ式 (Side by Side Rotor)

ロータを左右に配置した型式。世界最大のヘリコプタ ミル (現ロシアン・ヘリコプターズ) Mi-12 (図 1-13) が唯一この型式である。横の操縦は図 1-14 に示すように左右のロータの推力を増減して行う。方向の操縦は図 1-15 に示すように左右のロータの推力を前後に反対方向に傾けて行う。

この型式は横の操縦性がよく、ヘリコプタの重量に比べてロータが小さくてすむ、左右の車輪間隔を大きくとることができるので地上安定性がよい、などの利点を持つが、駆動系統が複雑化し、ロータを支持する張り出しなどにより、構造重量が増える。また空気抵抗が大などの不利な点を持つ。

なお、ティルト・ロータ機やティルト・ウイング機などの転換型航空機 (1-7 節 参照) は、主翼にロータを配置するためこの形態となる。



図 1-13 サイド・バイ・サイド・ロータ式 (Mi-12)

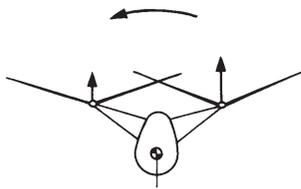


図 1-14 サイド・バイ・サイド・ロータ式の横の操縦

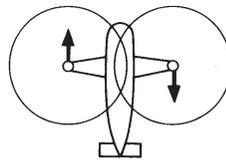


図 1-15 サイド・バイ・サイド・ロータ式の方角の操縦

(4) 交差ロータ式 (Intermesh Rotor)

二つのロータ軸をごく近接させて配置し、ロータが互いに交差して回転する型式。泡立て器 (Eggbeater) と回転の仕方が似ていることから、エッグビータの名もある。

図 1-16 にカマン H-43を示す。操縦方法は同軸反転ロータ式と同じであり、その得失も同様である。

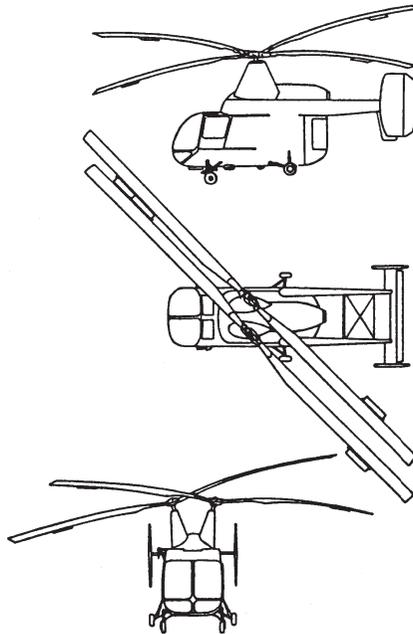


図 1-16 交差ロータ式 (H-43)

1-5 耐空類別

ヘリコプタに関する耐空性審査要領には、耐空類別として回転翼航空機普通 N および回転翼航空機輸送 T の規定がある。またこれらに含まれないものとして、特殊航空機 X という区分がある。

耐空類別普通 N（以下 N 類と略す）のヘリコプタは、最大離陸重量が3,175kg 以下の小型のヘリコプタである。

耐空類別輸送 T（以下 T 類と略す）のヘリコプタは、旅客輸送、貨物輸送などの航空運送事業に用いるのに適しており、それに対応して N 類に比べてより厳しい安全性の要求が課されている。すなわち、乗客に対する安全性がより重視されていたり、各系統の設計および試験方法がより厳しく規定されていたり、指示器、警報装置がより多く要求されているなどである。

T 類はさらに TA 級と TB 級に分類される。TA 級は TB 級に比べてより一層安全性が重視され、エンジンを 2 基以上装備し、しかも 1 基のエンジンの故障が他のエンジンの故障につながらないこと（エンジンの独立性）などが要求される。一方、TB 級は最大離陸重量が9,080kg 以下に限定され、エンジンは必ずしも多発である必要はない。

T 類（TA 級および TB 級）のヘリコプタは、離着陸時に 1 基のエンジンが停止（OEI:One Engine Inoperative）しても、安全に離着陸を継続もしくは中止する飛行経路および操作手順を定めることが要求されている。離着陸時の経路の例を図 1-17 に示す。TB 級のヘリコプタの運航では、離着陸時エンジンが停止しても安全なように広いヘリポートが必要になる。一方、TA 級のヘリコプタでは 1 基のエンジンが停止しても残るエンジンによって、運航上の制限が軽減され、屋上ヘリポートなど狭いヘリポートを用いた運航が可能になる。

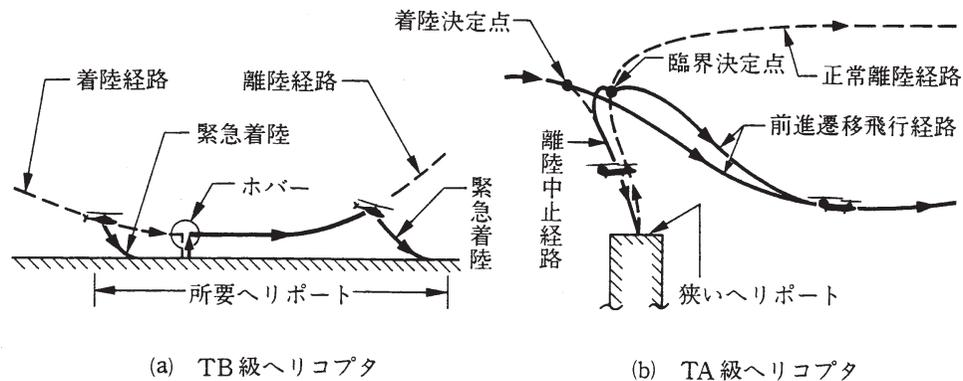


図 1-17 T 類の運航における離着陸経路

N 類および T 類で型式証明を得ているヘリコプタの例を表 1-2 に示す。なお、現在用いられている主なヘリコプタの諸元を巻末の「ヘリコプタ諸元表」に示した。

1-6 ヘリコプタの飛行方式

表 1-2 耐空類別

耐空類別	摘 要	制限荷重倍数	ヘリコプタ例
回転翼航空機 普通 N 類	最大離陸重量3,175 kg以下の回転翼航空機	3.5～1.0	ロビンソン R22/R44/R66 ベル 206/429 エアバス・ヘリコプターズ AS350/AS355/H135 レオナルド AW109 MDヘリコプターズ MD900/902
回転翼航空機 輸送TA級	航空運送事業の用に適する多発の回転翼航空機であって、臨界発動機が停止しても安全に航行できるもの	3.5～1.0	川崎 BK117 エアバス・ヘリコプターズ H145/AS365/H215 レオナルド AW139 ベル 412/430 シコルスキ S-76
回転翼航空機 輸送TB級	最大離陸重量9,080 kg以下の回転翼航空機であって、航空運送事業の用に適するもの		

注：外国においては、耐空性審査の規定として、米国の Federal Aviation Regulations (FAR) とヨーロッパの Joint Aviation Requirements (JAR) が基準となり一般的に使用されている。N 類は FAR の Part27 と JAR の JAR-27 に、T 類は FAR Part29 と JAR-29 に、それぞれ同一であるので、本表はこの類別を参考にしている。

特殊航空機 X は、耐空性基準には一部で適合しないところがあるが、その運用限界について適当な制限を付けることにより、十分な安全性を確保できる航空機、または研究および開発などを目的とし、機体製造会社あるいは公的研究機関により製造された航空機である。

1-6 ヘリコプタの飛行方式

航空機の飛行方式には、有視界飛行方式 (VFR: Visual Flight Rules) と計器飛行方式 (IFR: Instrument Flight Rules) とがある。VFR とは「良好な視界のなか (表 1-3) をパイロットが他の航空機や障害物を目で見えて衝突を自分で避けながら飛ぶ方式であり、混雑した飛行場周辺を飛ぶとき

表 1-3 VFR での飛行に必要な視程

	航空機の区分	視程	
1	3,000 m 以上の高度で飛行するもの	飛行視程 8,000 m 以上	
2	3,000 m 未満の高度で飛行するもの	管制区又は管制圏内	飛行視程 5,000 m 以上
		管制区及び管制圏以外	飛行視程 1,500 m 以上
3	管制区及び管制圏以外の空域を地表又は水面から 300 m 以下の高度で飛行するもの	飛行視程 1,500 m 以上 (他の物件との衝突を避けることができる速度で飛行するヘリコプタを除く。)	
4	管制圏内にある飛行場及び管制圏外にある国土交通大臣が告示で指定した飛行場において、離陸・着陸しようとする航空機	地上視程 5,000 m (当該飛行場が管制圏内にある飛行場であって国土交通大臣が告示で指定したものである場合にあっては、8,000 m) 以上	

注：VFR での飛行を行える気象状態には上表の視程条件のほか、雲からの距離の条件がある。

外は航空管制を受けずに飛ぶことの出来る方式」であり、IFRとは「視界の良し悪しに関係なく航空管制官の指示に常時従い管制空域内を飛ぶことが義務付けられている飛行方式」である。

定時性と安全性を重んじる定期旅客機のほとんどすべてがIFRで飛んでいるが、ヘリコプタはIFR飛行を行えるものの、ほとんどがVFRでの飛行を行っている。

これは、

- (1) 前記表1-1に示す“ヘリコプタの用途”のうちヘリコプタ運航実績の約70%を占める農林、報道、広報、監視、巡視、および輸送のうちでも遊覧飛行、救難、救急などは基本的には良好な視界のもとでのVFR飛行が求められる用途であること。
- (2) 現在航空法に制定されているIFRでの飛行の方法（飛行経路や空港での離着陸方法）はどちらかといえば固定翼機に適するように制定されたものであって、ヘリコプタでは利用し難い。等の理由からである。

しかし、ヘリコプタの活用を図るためには、IFR飛行が不可欠である。近年、GPS等により比較的軽易に高精度な航法が可能になったことから、ヘリコプタで利用可能なIFR飛行の実現が強く期待されている。

1-7 新型式の機体

ヘリコプタはホバリングや低速時には高い効率を有するが、高速になるにつれて、第2章で示すように、ブレードの失速や衝撃波などによって効率が低下する。また速度にも限界がある。このため高速時にも効率がよく、かつ速度性能の優れた型式の航空機が試みられてきた。

一つは、複合ヘリコプタ（Compound Helicopter）とよばれる回転翼航空機である。複合ヘリコプタは前進方向の推進力を増強するため、ヘリコプタにプロペラやファンまたはジェット・エンジンを装備した型式である。高速時にはロータの揚力が低下するが、それを補うため、固定翼を用いてロータの負担を軽減させる方法、あるいは同軸反転ロータを用い、高速時は回転数を減少させ、それぞれのロータの前進側で揚力を受け持つ方法などが用いられている。これらの複合ヘリコプタは実用化に向けて試験が行われている。

もう一つは、飛行機とヘリコプタの両者の機能を持った、転換型航空機（Convertiplane）である。転換型航空機は垂直離着陸および低速飛行は回転翼によってヘリコプタと同じ原理で飛行し、一方、高速時には普通の飛行機と同じように翼で揚力を発生し、プロペラあるいはジェット・エンジンで推進力を発生する型式である。

転換型航空機は「耐空性審査要領」第1部「定義」では、パワードリフト（Powered-Lift）に分類される。

転換型航空機として、次の型式が考えられている。

- (1) ティルト・ロータ機：左右の主翼にロータを取り付け、高速時にはロータを前傾してプロペラと

して作動させ推進力を得る型式。

- (2) **ティルト・ウィング機**：ティルト・ロータ機とほぼ同じであるが、ロータは主翼に固定して取り付けられ、ロータを前傾させる場合は主翼ごと傾ける型式。
- (3) **Xウィング機**：高速時はロータの回転を止め、固定翼として揚力を発生させ、推進力のため、プロペラまたジェット・エンジンを装備する型式。
- (4) **格納ロータ機**：高速時にはロータを止め、胴体に格納してしまい、全く普通の飛行機として飛行する型式。

この中で、ティルト・ロータ機が軍用のベル・ボーイング V-22オスプレイで実用化されており、民間機も実用化に向けての開発が進められている。図 1-18にティルト・ロータ機オスプレイのホバリング時、転換飛行時、高速飛行時を示す。

複合ヘリコプタと転換型航空機は、飛行機やヘリコプタより複雑で重量大という欠点はあるが、ヘリコプタにない高い速度性能と長い航続距離を有し、一方、飛行機と比べると離着陸のための場所が狭くてよい、という特徴があり、ヘリコプタと飛行機の間を埋めるものとして期待されている。



図 1-18 ティルト・ロータ機 (V-22)

(以下、余白)