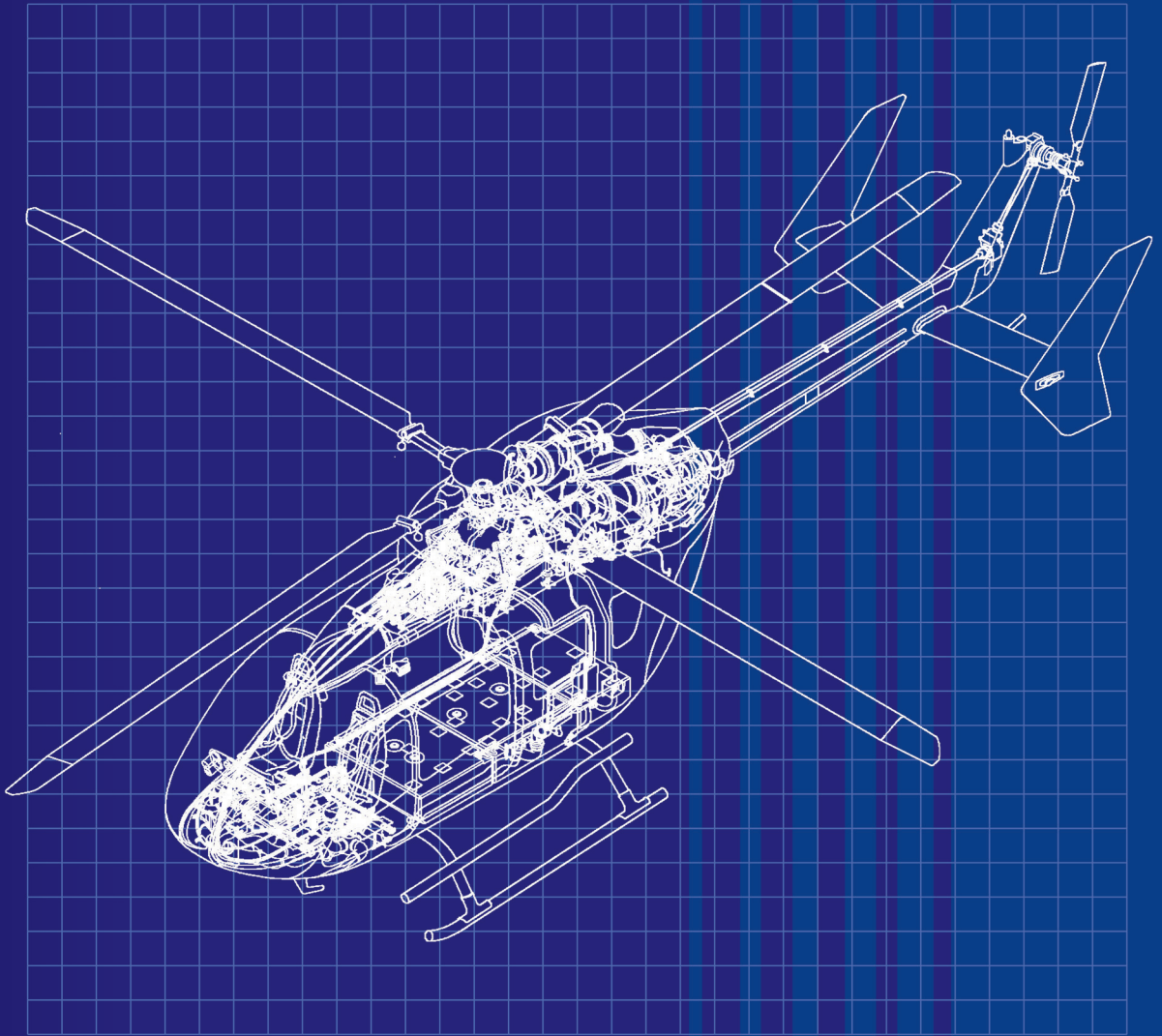


航空工学講座 11

ヘリコプタ

Helicopter



公益社団法人 日本航空技術協会

航空工学講座

[11]

ヘリコプタ

公益社団法人

日本航空技術協会

まえがき

2011年、不幸にも大きな震災が東日本を襲い、多くの方が犠牲になった。誠に哀悼の念にたえない。しかし、この中でヘリコプタは、孤立した人々の救助、地上交通の途絶した地域への補給、救助隊員や医師の派遣など、困難な状況下において大きな活躍をした。

大昔から、垂直に空に飛び上がるためには、竹トンボにみられるように翼を回転させればよいということが分かっていた。

しかしそれを実際に操縦可能で安定した飛行ができるようにすることは非常に困難を極めた。

現在のヘリコプタの原型とも言うべきものが初飛行したのは、ライト兄弟の飛行機の初飛行に遅れること36年の1939年、ロシア生まれのアメリカ人イゴール・シコルスキによるものであった。

イゴール・シコルスキは、次のように述べている。

「何処にも行くことができ (go anywhere)、何でもできる (do anything) ヘリコプタは、明日の社会にとって、および将来の軍事政策にとって、なくてはならないものになるだろう。」

シコルスキの言葉がまさに現在、実現しつつある。

ヘリコプタによって、空は単に移動する場所ではなく、仕事をする場所、活躍する場所に変わったのである。今後もヘリコプタに対するニーズが広がっていくであろう。

ヘリコプタが実用化するまで長い時間が掛かったのは、ヘリコプタが空気力学や操縦性、安定性、および機構や強度、振動などの観点から、いろいろな工夫が必要だったからである。

本書はヘリコプタに盛り込まれたそれらの工夫や技術を、原理から実際までできるだけ分かりやすく説明し、基本的な知識が得られるようにすることを狙いとした。

第1章はヘリコプタ全体の概要を示し、2章から5章はヘリコプタ力学ともいえるヘリコプタの空気力学やブレードの運動、ヘリコプタの性能、操縦安定性を説明している。

6章以降は、実際のヘリコプタを、各系統毎に、その構成や構造、働きなどを説明している。

なお、操縦系統、燃料系統、脚系統、油圧系統、機体構造など、基本的に飛行機と同じ系統については、ヘリコプタにおけるそれら系統のシステム構成、あるいはヘリコプタ特有の部分があれば、それらを中心に記載した。したがって、各系統の基本や構成要素の詳細などは、同じ航空工学講座の該当する図書を参照していただきたい。

本書がヘリコプタに興味を持っておられる方や、ヘリコプタに携わっておられる方に、少しでも役立つことがあれば幸いである。

目 次

第 1 章 ヘリコプタの概要	1
1-1 ヘリコプタの発達	1
1-2 ヘリコプタの用途	3
1-3 ヘリコプタの定義	4
1-4 ヘリコプタの分類と特性	4
1-4-1 ロータ (Rotor: 回転翼) の駆動方法による分類	5
1-4-2 使用原動機による分類	6
1-4-3 メイン・ロータの数と配置による分類	6
1-5 耐空類別	10
1-6 ヘリコプタの飛行方式	11
1-7 新型式の機体	12
第 2 章 ヘリコプタの空気力学	14
2-1 空気力学の基礎	14
2-1-1 標準大気	14
2-1-2 ベルヌーイの定理	15
2-1-3 粘性と圧縮性	16
2-1-4 翼の特性	17
2-1-5 ブレード各部の名称	20
2-2 ホバリングおよび垂直飛行時の空気力学	20
2-2-1 運動量理論	20
2-2-2 垂直飛行時の空気の流れ	24
2-3 翼素理論	26
2-3-1 ブレードのピッチ角分布と揚力分布	27
2-3-2 翼端損失	28
2-3-3 ホバリング時の翼素理論	28
2-4 前進飛行時の空気力学	31
2-4-1 ロータ面の空気の流れ	31
2-4-2 前進飛行時の揚力	35

II

2-5 オートローテーション	36
2-5-1 垂直オートローテーション	37
2-5-2 前進オートローテーション	38
2-5-3 オートローテーション時の操作	39
2-6 ロータ騒音	40
2-6-1 騒音の表し方と単位	40
2-6-2 ヘリコプタの騒音源	41
2-6-3 機外騒音の低減対策	44
2-7 ブレードの形状と諸元	44
2-7-1 翼型	44
2-7-2 ブレード平面形	46
2-7-3 ロータ回転数	47
2-7-4 ブレード面積	48
2-7-5 ブレード振り下げ	49
2-7-6 メイン・ロータ・ブレード諸元の例	49
第3章 ロータ・ブレードの運動	50
3-1 ロータ系統の構成	50
3-1-1 ロータの型式	51
3-1-2 ピッチ変換機構	52
3-2 ホバリング時のブレードの運動	54
3-2-1 コーニング	54
3-2-2 定常ドラッグイング	55
3-2-3 サイクリック・ピッチによるブレードの運動	57
3-3 前進飛行時のブレードの運動	61
3-3-1 ロータ面左右の速度差の影響	61
3-3-2 コーニング角の影響	62
3-4 ロータの操縦力	63
3-5 デルタ・スリー・ヒンジ	64
第4章 釣り合いと性能	66
4-1 ヘリコプタに働く力とモーメント	66
4-1-1 メイン・ロータの6分力	66
4-1-2 テール・ロータの6分力	66

4-1-3	胴体の6分力	67
4-2	釣り合いと操縦	68
4-2-1	ホバリング時の釣り合いと操縦	68
4-2-2	ホバリングから低速前進飛行へ	72
4-2-3	低速前進から巡航へ	73
4-2-4	機体姿勢角と操舵角のトリム位置	75
4-3	必要パワーと利用パワー	76
4-3-1	必要パワー	76
4-3-2	利用パワー	79
4-4	性能	80
4-4-1	対気速度	80
4-4-2	ホバリング性能	81
4-4-3	速度性能	81
4-4-4	上昇性能	82
4-4-5	航続性能	82
4-5	地面効果	84
4-6	高度・速度包囲線図	84
第5章	安定性と操縦性	86
5-1	安定性の定義	86
5-1-1	静的安定性	86
5-1-2	動的安定性	87
5-2	安定性に影響を及ぼすロータの動き	87
5-2-1	ロータ回転面の応答性	87
5-2-2	速度に対するロータの静的安定性	88
5-2-3	胴体姿勢（迎え角）に対するロータの静的安定性	89
5-2-4	ロータのダンピング・モーメント	89
5-3	ホバリング時の安定性	90
5-3-1	ホバリング時の静的安定性	90
5-3-2	ホバリング時の動的安定性	90
5-4	前進飛行時の安定性	91
5-4-1	縦の静的安定性	91
5-4-2	縦の動的安定性	92
5-4-3	横および方向の安定性	93

IV

5-5 操縦性	93
5-5-1 操舵応答性	93
5-5-2 運動性	94
5-5-3 飛行性とパイロット・レイティング	95
5-6 尾翼	95
5-6-1 水平尾翼	95
5-6-2 垂直尾翼	96
5-7 フライト・シミュレータ	97
第6章 ロータ系統	99
6-1 ブレード構造	99
6-1-1 金属製ブレード	99
6-1-2 複合材製ブレード	100
6-2 メイン・ロータ・ハブ	101
6-2-1 全関節型ハブ	102
6-2-2 半関節型ハブ	103
6-2-3 無関節型ハブ	104
6-2-4 ベアリングレス型ハブ	104
6-2-5 エラストメリック・ベアリング	105
6-2-6 ドラッグ・ダンパー	107
6-3 テール・ロータ	108
6-3-1 通常型テール・ロータ	109
6-3-2 フェネストロン (Fenestron) テール・ロータ	110
6-3-3 NOTAR (No Tail Rotor) 型	111
6-4 スワッシュ・プレート	112
6-5 ロータのバランシング	113
6-5-1 スタティック・バランス	113
6-5-2 地上トラッキング	114
6-5-3 インフライト・トラック・アンド・バランス	115
6-6 プロペラ・モーメント	116
第7章 トランスミッション系統	118
7-1 系統の役割	118
7-2 トランスミッションの伝達出力の概要	119

7-3	系統の概要	120
7-4	ギアボックス	122
7-4-1	メイン・ギアボックス	122
7-4-2	テール・ギアボックス、中間ギアボックス	124
7-4-3	歯車	126
7-4-4	歯車列の減速比	129
7-4-5	軸受	130
7-4-6	ケース	131
7-5	クラッチ	132
7-5-1	遠心クラッチ	132
7-5-2	フリーホイール・クラッチ	133
7-6	ドライブ・シャフト	134
7-6-1	ドライブ・シャフトの役割、特徴	134
7-6-2	シャフト	134
7-6-3	撓み継ぎ手	135
7-7	潤滑・冷却システム	137
7-7-1	役割	137
7-7-2	主要機能品	138
7-8	指示・警報システム	139
7-9	ロータ・ブレーキ	139
第8章	エンジンおよび動力系統	141
8-1	エンジン	141
8-1-1	エンジンの種類	141
8-1-2	ターボシャフト・エンジン	141
8-1-3	ピストン・エンジン	144
8-2	潤滑油系統	145
8-3	燃料系統	146
8-3-1	概要	146
8-3-2	燃料タンク	147
8-3-3	燃料供給系統	147
8-3-4	燃料タンク・ベント系統	150
8-4	エンジン・コントロール系統	151
8-4-1	ピストン・エンジン・コントロール系統	151

8-4-2	ターボシャフト・エンジン・コントロール系統	151
8-5	始動系統	154
8-6	吸排気系統	154
8-6-1	吸気系統	155
8-6-2	排気系統	157
第9章	操縦系統	158
9-1	操縦系統の概要	158
9-2	操縦系統の構成	160
9-2-1	パイロット操作装置	161
9-2-2	リンク機構	162
9-2-3	フィール／トリム装置	163
9-2-4	ミキシング機構	164
9-2-5	テール・ロータ・コントロール系統	166
9-2-6	操縦用アクチュエータ	166
9-3	自動操縦装置	168
9-3-1	安定増大装置	168
9-3-2	オートパイロット	170
9-4	FBW 操縦系統	171
第10章	機体構造および着陸装置	173
10-1	機体構造	173
10-1-1	構造方式	173
10-1-2	各部の構造	176
10-1-3	複合材料	178
10-1-4	機内騒音	180
10-2	着陸装置	182
10-2-1	スキッド式	182
10-2-2	車輪式	183
10-3	クラッシュワージネス	186
10-3-1	基本的な考え方	186
10-3-2	クラッシュワージネス設計	187
10-4	重量・重心	188
10-4-1	重量の分類	188

10-4-2	重量・重心の限界	189
10-4-3	重心位置の算出	190
第11章	荷重と強度	193
11-1	静荷重と静強度	193
11-1-1	制限荷重、終極荷重と安全率	193
11-1-2	荷重倍数	194
11-1-3	荷重の種類	195
11-1-4	静強度の保証	198
11-2	疲労荷重と疲労強度	199
11-2-1	疲労強度の特性	199
11-2-2	ヘリコプタにおける疲労荷重	201
11-2-3	疲労設計	202
11-2-4	疲労強度の保証	203
第12章	振動および防振装置	207
12-1	定常振動	208
12-1-1	振動の分類	208
12-1-2	ロータ・ブレードの振動	210
12-2	防振装置	213
12-2-1	防振装置の種類	213
12-2-2	防振装置例	214
12-3	不安定振動	218
12-3-1	機械的不安定	218
12-3-2	空気力学的不安定	219
第13章	機装システム	220
13-1	油圧系統	220
13-1-1	系統構成	221
13-1-2	系統例	221
13-2	冷暖房系統	224
13-2-1	室内暖房装置	225
13-2-2	室内冷暖房装置	225
13-3	防除氷系統	226

VIII

13-4 防火系統	228
13-4-1 火災探知装置	228
13-4-2 消火装置	229
13-5 風防ワイパ	230
13-6 特殊装備	230
第14章 電気および電子システム	232
14-1 計器系統	232
14-1-1 飛行計器	234
14-1-2 動力計器	235
14-1-3 航法計器	237
14-1-4 電子式計器	237
14-2 電源系統	238
14-2-1 電源系統一直流主電源	238
14-2-2 電源系統一交流主電源	240
14-3 照明系統	242
14-3-1 機外照明	242
14-3-2 機内照明	243
14-4 電子系統	244
14-4-1 通信系統	244
14-4-2 航法系統	244
14-4-3 識別系統	246
14-4-4 その他	246
14-5 配線	247
14-6 アンテナ装備	248
練習問題	249
単位について	270
ヘリコプタ諸元表	272
参考文献	274
索引	275

※改訂箇所については欄外に傍線を入れてあります。

第1章 ヘリコプタの概要

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

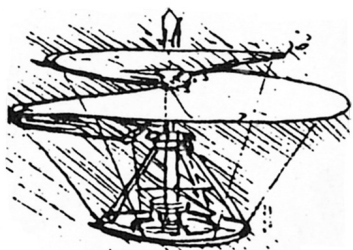


図1-1 レオナルド・ダ・ビンチのスケッチ

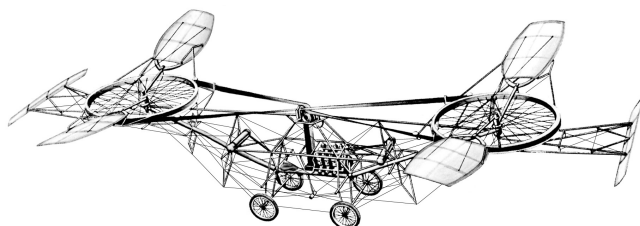


図1-2 ポール・コルニュのヘリコプタ

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。

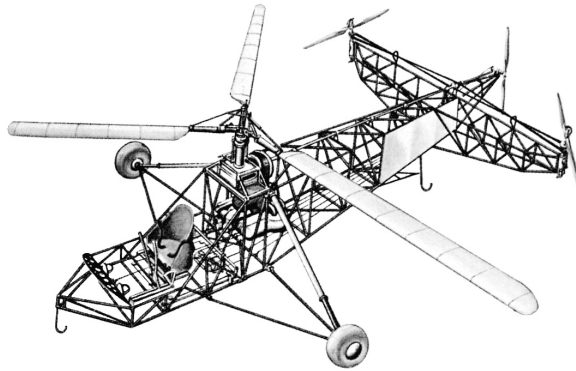


図 1-3 シコルスキ VS - 300

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
その他			消防 魚群探知 船舶誘導 災害視察 空中探査・測量 レジャー
農林	薬剤散布 野鼠駆除 治山緑化		

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、ジャイロプレン、ジャイロダインも含まれる。

ヘリコプタ、ジャイロプレン、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) **ジャイロプレン**：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回転翼航空機。

ジャイロプ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）。ジャイロプ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)のジャイロプレンの定義にある、「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。ジャイロプ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、軽量の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）と呼ばれ、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にも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

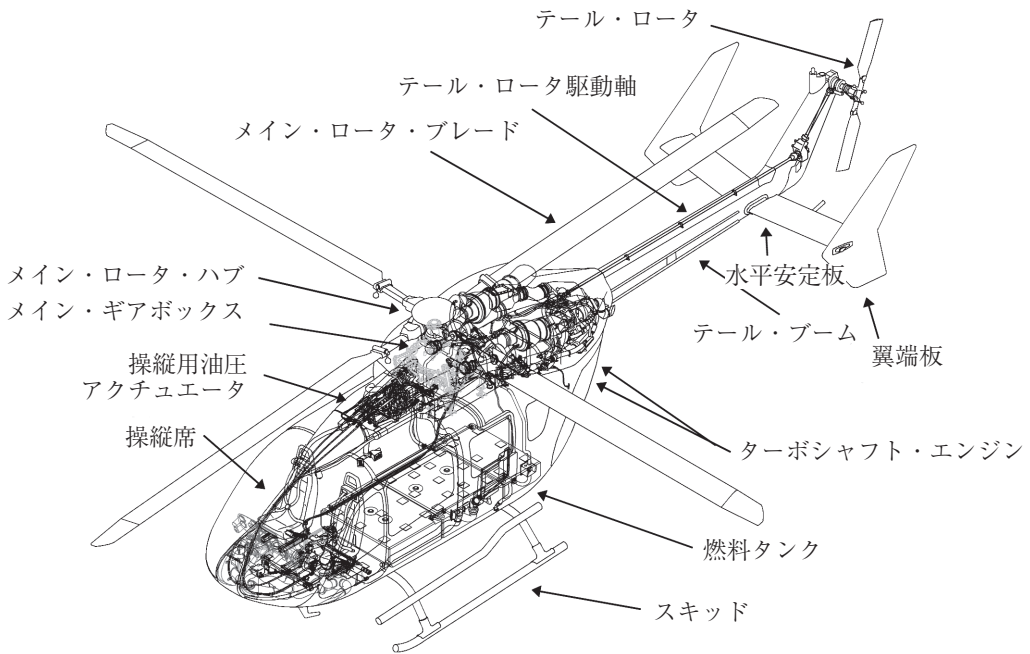


図 1-4 ヘリコプタの構成 (川崎 BK117C-2)

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、燃料消費量が大きい。

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・ヘリコプタとも呼ぶ。

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、ロータの反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・ロータと呼ばれる）を持つ型式である。な

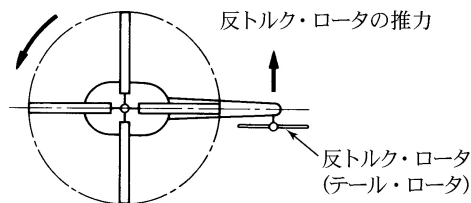


図1-6 シングル・ロータ式の反トルク・ロータ



図1-7 シングル・ロータ式の縦と横の操縦

お、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 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ーを装備する必要がある。



図 1-8 同軸反転ロータ式 (カモフ Ka-115)

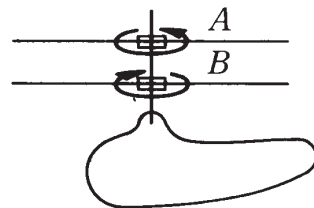


図 1-9 同軸反転ロータ式の方の操縦



図 1-10 タンデム・ロータ式 (CH-47)

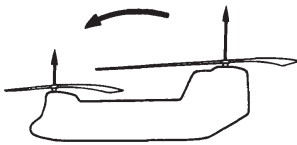


図 1-11 タンデム・ロータ式の縦の操縦

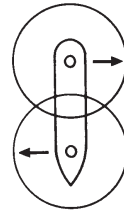


図 1-12 タンデム・ロータ式の方角の操縦

(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 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 (ミル Mi-12)

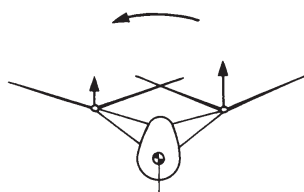


図 1-14 サイド・バイ・サイド・ロータ式
の横の操縦

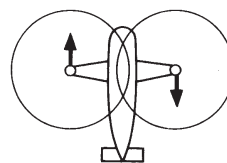


図 1-15 サイド・バイ・サイド・ロータ式
の方向の操縦

(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。

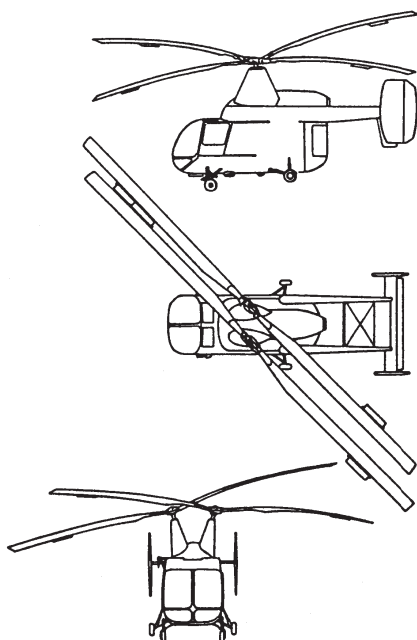


図 1-16 交差ロータ式 (カマン H-43)

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。

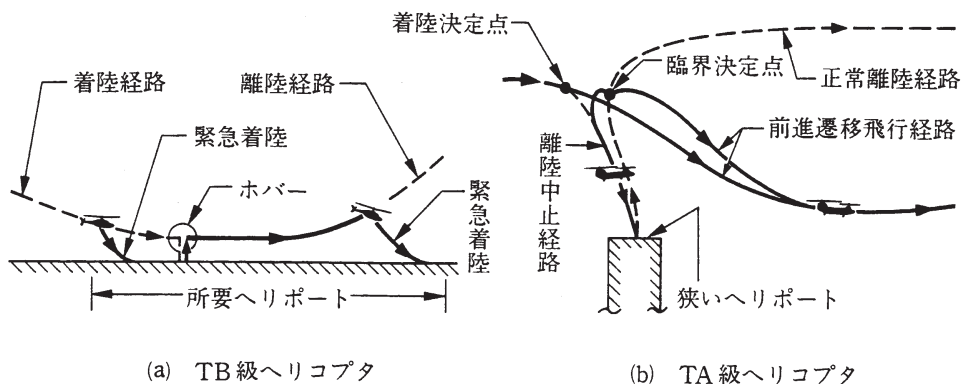


図 1-17 T 類の運航における離着陸経路

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。なお各ヘリコプタの詳細については巻末の「ヘリコプタ諸元表」を参照されたい。