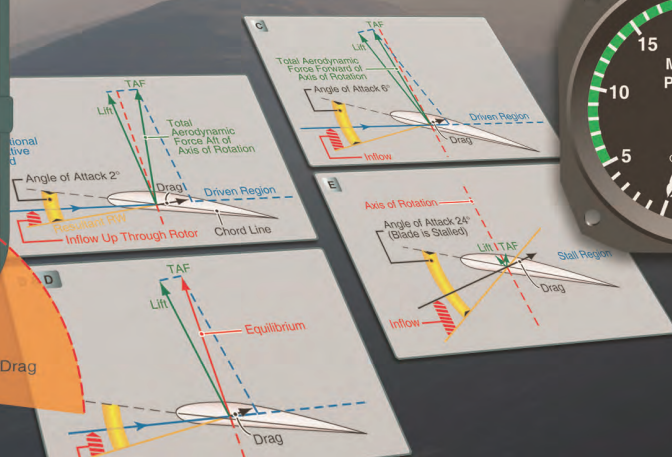


ヘリコプター・フライング・ハンドブック (日本語版)



公益社団法人
日本航空技術協会



日本語版のまえがき

本書は、アメリカ合衆国連邦航空局（以後 FAA と記載）が 2012 年に発行した Helicopter Flying Handbook FAA-H-8083-21A を FAA の許可を得て本文並びに図中の英語を日本語に翻訳したものです。従って、翻訳については（公社）日本航空技術協会が責任を負うものです。

本書と弊協会の関係は、本書の前身が Basic Helicopter Handbook という標題で FAA AC61-13B として発行された際に弊協会が、その和訳版「ヘリコプタ・ハンドブック」を発行した 1981 年まで遡ります。その後 FAA が教育のテキスト的存在であった各種の Advisory Circular を Handbook という形態に整理して以来、多くの御希望にお応えすべく、弊協会から和訳版を出版することになりました。

本書は「ハンドブック」という名前のとおり、直接、実機を飛ばすための「マニュアル」ではありませんが、マニュアルを使うに至るまでの基本的な知識や考え方、それらを補助する素晴らしい図がふんだんに盛り込まれています。

FAA は、原書の利用者による「誤記」、「説明の誤り」、「図の誤り」等を Home Page で受け付けて、公開しており、作る側と使う側がともに Handbook をより良いものにしようという姿勢が見られ興味深いものがあります。

このような原書の性質からも、本書と実機のマニュアル、製造者による資料・文書等、あるいは運航者の文書、もしくは、指定養成機関の教科書の記述との間に齟齬がある場合は、これらのマニュアル、資料・文書等の、記述が優先することは論を待ちませんが、念のため記して注意を喚起します。

弊協会からは「航空工学講座 11 ヘリコプタ」と「図解ヘリコプタ入門」を発刊しておりますので、これらの図書との併用によりヘリコプタへの理解が深まり、利用者皆様のそれぞれのお立場で航空安全につながることに役立てば、弊協会の喜びとする所です。

公益社団法人 日本航空技術協会

目次 (Table of Contents)

日本語版のまえがき・・・T-2
目次・・・T-3

第 1 章

Introduction to the Helicopter

ヘリコプターへの誘い

●はじめに [Introduction]・・・1-1
●タービンの時代 [Turbine Age]・・・1-2
●用途 [Uses]・・・1-3
●ローター系統 [Rotor System]・・・1-3
 ローターの形態 (Rotor Configuration)・・・1-5
 テール・ローター (Tail Rotor)・・・1-5
●飛行の制御 [Controlling Flight]・・・1-6
●飛行状態 [Flight Conditions]・・・1-7
●本章のまとめ [Chapter Summary]・・・1-7

第 2 章

Aerodynamics of flight

ヘリコプターの空気力学

●はじめに [Introduction]・・・2-1
●ヘリコプターに作用する力 [Forces Acting on the Aircraft]・・・2-2
●揚力 [Lift]・・・2-2
 ベルヌーイの定理 (Bernoulli's Principle)・・・2-3
 ベンチュリの流れ (Venturi Flow)・・・2-4
 ニュートンの運動の第三法則 (Newton's Third Law of Motion)・・・2-4
●重量 [Weight]・・・2-5
●推力 [Thrust : スラスト]・・・2-6
●抗力 [Drag]・・・2-6
 形状抗力 (Profile Drag)・・・2-6
 誘導抗力 (Induced Drag)・・・2-7
 有害抗力 (Parasite Drag)・・・2-7
 全抗力 (Total Drag)・・・2-7
●翼型 [Airfoil]・・・2-8
 翼型の用語および定義 (Airfoil Terminology

and Definitions)・・・2-8
 翼型の種類 (Airfoil Types)・・・2-9
 対称翼 (Symmetrical Airfoil)・・・2-9
 非対称翼 (Nonsymmetrical Airfoil (Cambered))・・・2-9
 ブレード振り下げ (Blade Twist)・・・2-9
 ローターブレードとハブの定義 (Rotor Blade and Hub Definitions)・・・2-10
●気流とローター系統の反応 [Airflow and Reaction in the Rotor System]・・・2-10
 相対風 (Relative Wind)・・・2-10
 回転による相対風 (回転面) (Rotational Relative Wind (Tip-Path Plane))・・・2-11
 合成相対風 (Resultant Relative Wind)・・・2-11
 誘導流 (Induced Flow (Downwash))・・・2-11
 地面効果の内側 (IGE : In Ground Effect)・・・2-12
 地面効果の外側 (OGE : Out of Ground Effect)・・・2-12
 ローターブレードの角度 (Rotor Blade Angle)・・・2-14
 取り付け角 (Angle of Incidence)・・・2-14
 迎え角 (Angle of Attack)・・・2-14
●動力飛行 [Powered Flight]・・・2-15
●ホバリング [Hovering]・・・2-15
 ドリフト (Translating Tendency (Drift))・・・2-16
 振り子運動 (Pendular Action)・・・2-17
 コーニング (Coning)・・・2-17
 コリオリの効果 (角運動保存の法則) (Coriolis Effect (Law of Conservation of Angular Momentum))・・・2-18
 ジャイロの歳差運動 (Gyroscopic Precession)・・・2-18
●垂直飛行 (Vertical Flight)・・・2-19
●前進飛行 (Forward Flight)・・・2-19
 前進飛行中の空気流 (Airflow in Forward Flight)・・・2-20
 前進側のブレード (Advancing Blade)・・・2-21
 後退側のブレード (Retreating Blade)・・・2-21
 揚力の不平衡 (Dissymmetry of Lift)・・・2-21

- 転移揚力 (Translation Lift) 2-24
- 有効な転移揚力 (Effective Translational Lift (ETL)) 2-25
- 転移推力 (Translational Thrust) 2-25
- 誘導流 (Induced Flow) 2-25
- 貫流効果 (Transverse Flow Effect) 2-25
- 横進飛行 [Sideward Flight] 2-26
- 後進飛行 [Rearward Flight] 2-27
- 旋回 [Turning Flight] 2-27
- オートローテーション [Autorotation] 2-28
 - 垂直オートローテーション (Hovering Autorotation) 2-28
 - 前進オートローテーション (Autorotation (Forward Flight)) 2-31
- 本章のまとめ [Chapter Summary] 2-31

第 3 章

Helicopter Flight Controls

ヘリコプターの操縦系統

- はじめに [Introduction] 3-1
- コレクティブ・ピッチ・コントロール [Collective Pitch Control] 3-2
- スロットル・コントロール [Throttle Control] 3-2
- ガバナー / コリレーター [Governor / Correlator] 3-3
- サイクリック・ピッチ・コントロール [Cyclic Pitch Control] 3-3
- アンチ・トルク・ペダル [Antitorque Pedals] 3-4
 - 機首方位のコントロール (Heading Control) 3-4
- 本章のまとめ [Chapter Summary] 3-6

第 4 章

Helicopter Components, Sections, and Systems

ヘリコプターの諸系統

- はじめに [Introduction] 4-1

- 機体構造 [Airframe] 4-1
- 胴体 [Fuselage] 4-2
- メインローター系統 [Main Rotor System] 4-2
 - セミリジッド・ローター系統 (Semirigid Rotor System) 4-2
 - リジッド・ローター系統 (Rigid Rotor System) 4-4
 - 全関節型ローター系統 (Fully Articulated Rotor System) 4-4
 - タンデム・ローター (Tandem Rotor) 4-6
- スワッシュ・プレート・アセンブリー [Swash Plate Assembly] 4-7
- フリーホイーリング・ユニット [Freewheeling Unit] 4-7
- アンチ・トルク・システム [Antitorque System] 4-8
 - フェネストロン (Fenestron) 4-8
 - ノーター (NOTAR) 4-8
- アンチ・トルク・ドライブ・システム [Antitorque Drive Systems] 4-9
- エンジン [Engines] 4-9
 - レシプロエンジン (Reciprocating Engines) 4-9
 - タービンエンジン (Turbine Engines) 4-10
 - 圧縮機: コンプレッサー (Compressor) 4-10
 - 燃焼室 (Combustion Chamber) 4-11
 - タービン (Turbine) 4-11
 - アクセサリー・ギアボックス (Accessory Gearbox) 4-11
- トランスミッション・システム [Transmission System] 4-12
 - メインローター・トランスミッション (Main Rotor Transmission) 4-12
 - 2針式タコメーター (Dual Tachometers) 4-12
 - 構造設計 (Structural Design) 4-13
 - クラッチ (Clutch) 4-13
 - ベルト駆動式クラッチ (Belt Drive Clutch) 4-14
 - 遠心式クラッチ (Centrifugal Clutch) 4-14

- 燃料システム【Fuel Systems】・・・・・・・・4-15
 - 燃料供給システム (Fuel Supply System)・・・・・・・・4-15
 - エンジン燃料コントロールシステム (Engine Fuel Control System)・・・・・・・・4-16
 - キャブレター (気化器) の凍結 (Carburetor Ice)・・・・・・・・4-16
 - 燃料噴射装置 (Fuel Injection)・・・・・・・・4-16
- 電気システム【Electrical Systems】・・・・4-17
- ハイドロ (油圧)【Hydraulics】・・・・4-18
- 安定増大装置【Stability Augmentations Systems】・・・・4-19
 - フォース・トリム (Force Trim)・・・・・・・・4-20
 - 能動的安定増大装置 (Active Augmentation Systems)・・・・・・・・4-20
 - 自動操縦装置 (Autopilot)・・・・・・・・4-20
 - 空調システム (Environmental Systems)・・・・・・・・4-21
- 防氷システム【Anti-Icing Systems】・・・・4-21
 - エンジン防氷 (Engine Anti-Ice)・・・・・・・・4-22
 - キャブレター (気化器) の凍結 (Carburetor Icing)・・・・・・・・4-22
 - 機体の防氷 (Airframe Anti-Ice)・・・・・・・・4-22
 - 除氷 (Deicing)・・・・・・・・4-22
- 本章のまとめ【Chapter Summary】・・・・4-22

- Limitations)・・・・・・・・5-3
- エンジンの限界事項 (Powerplant Limitations)・・・・・・・・5-4
- 重量および搭載分布 (Weight and Loading Distribution)・・・・・・・・5-4
- 飛行限界 (Flight Limitations)・・・・・・・・5-4
- プラカード (Placards)・・・・・・・・5-5
- 緊急操作 (セクション3)【Emergency Procedures (Section3)】・・・・5-5
- 通常操作 (セクション4)【Normal Procedures (Section 4)】・・・・5-5
- 性能 (セクション5)【Performance (Section 5)】・・・・5-5
- 重量および重心位置 (セクション6)【Weight and Balance (Section 6)】・・・・5-6
- 航空機および諸系統 (セクション7)【Aircraft and Systems Description (Section 7)】・・・・5-6
- 取り扱い、サービス、および整備 (セクション8)【Handling, Servicing, and Maintenance (Section 8)】・・・・5-6
- 補足 (セクション9)【Supplements (Section 9)】・・・・5-6
- 安全と運航に関する小情報 (セクション10)【Safety and Operational Tips (Section 10)】・・・・5-7
- 本章のまとめ【Chapter Summary】・・・・5-7

第5章

Rotorcraft Flight Manual 回転翼航空機 飛行規程

- はじめに【Introduction】・・・・5-1
- 前書き【Preliminary Pages】・・・・5-2
- 一般 (セクション1)【General Information (Section 1)】・・・・5-2
- 運用限界 (セクション2)【Operating Limitations (Section2)】・・・・5-2
 - 計器のマーキング (Instrument Markings)・・・・・・・・5-2
 - 対気速度限界 (Airspeed Limitations)・・・・5-3
 - 高度に関する限界事項 (Altitude Limitations)・・・・・・・・5-3
 - ローターの回転数に関する限界事項 (Rotor

第6章

Weight and Balance 重量・重心位置

- はじめに【Introduction】・・・・6-1
- 重量【Weight】・・・・6-2
 - 基本空虚重量 (Basic Empty Weight)・・・・6-2
 - 最大重量：全備重量 (Maximum Gross Weight)・・・・・・・・6-2
 - 重量限界 (Weight Limitations)・・・・・・・・6-2
- バランス【Balance】・・・・6-3
 - 重心位置 (Center of Gravity)・・・・6-3
 - 前方限界より前方にCGがある場合 (CG Forward of Forward Limit)・・・・・・・・6-3
 - 後方限界よりCGが後方にある場合 (CG Aft

- of Aft Limit) 6-3
- 横方向のバランス (Lateral Balance) . 6-4
- 重量および重心位置の計算【Weight and Balance Calculations】. 6-4
- 参照データム (Reference Datum) . . 6-5
- 本章のまとめ【Chapter Summary】. . . . 6-5

第 7 章 Helicopter Performance ヘリコプターの性能

- はじめに【Introduction】. 7-1
- 性能に影響する要素【Factors Affecting Performance】. 7-2
- 湿度 (Moisture (Humidity)) 7-2
- 重量 (Weight) 7-2
- 風 (Wind) 7-2
- 性能チャート【Performance Charts】. . . 7-2
- オートローテーションの性能(Autorotational Performance) 7-3
- ホバリングの性能 (Hovering Performance) 7-3
- ホバリングの例題 1 (Sample Hover Problem 1) 7-3
- ホバリングの例題 2 (Sample Hover Problem 2) 7-3
- ホバリングの例題 3 (Sample Hover Problem 3) 7-4
- 上昇性能 (Climb Performance) . . . 7-5
- 巡航あるいは水平飛行に必要なトルク値を求める例題 4 (Sample Cruise or Level Flight Problem 4) 7-6
- 上昇の例題 5 (Sample Climb Problem 5) 7-6
- 本章のまとめ【Chapter Summary】. . . . 7-7

第 8 章 Ground Procedures and Flight Preparations 地上操作手順と飛行準備

- はじめに【Introduction】. 8-1
- 飛行前【Preflight】. 8-2
- 運用許容基準 (Minimum Equipment Lists [MELs] and Operations with Inoperative Equipment) 8-2
- エンジンの始動とローターの嵌合【Engine Start And Rotor Engagement】. 8-4
- ローターの安全についての配慮(Rotor Safety Consideration) 8-4
- サービシング (Aircraft Servicing) . . . 8-4
- ヘリコプターの機内および周囲の安全【Safety In and Around Helicopters】. 8-5
- ランプにいる人員と機体のサービスに関わる人員 (Ramp Attendants and Aircraft Servicing Personnel) 8-5
- 乗客 (Passengers) 8-5
- 地上でのコクピットにおけるパイロット (Pilot at the Flight Control) 8-7
- 着陸後と安全措置 (After Landing and Securing) 8-7
- 本章のまとめ【Chapter Summary】. . . . 8-8

第 9 章 Basic Flight Maneuvers 基本操縦操作

- はじめに【Introduction】. 9-1
- 4つの基本【The Four Fundamentals】. . . 9-2
- ガイドライン (Guidelines) 9-2
- ホバリングへの垂直離陸【Vertical Takeoff to a Hover】. 9-3
- 技法 (Technique) 9-3
- 共通するエラー (Common Errors) . . 9-4
- ホバリング【Hovering】. 9-4
- 技法 (Technique) 9-4
- 共通するエラー (Common Errors) . . 9-4

●ホバリング旋回【Hovering Turn】	9-5	共通するエラー (Common Errors)	9-15
技法 (Technique)	9-5		
共通するエラー (Common Errors)	9-6		
●ホバリングー前進飛行【Hovering - Forward Flight】	9-6	共通するエラー (Common Errors)	9-16
技法 (Technique)	9-6		
共通するエラー (Common Errors)	9-7		
●ホバリングー横進飛行【Hovering - Sideward Flight】	9-7	共通するエラー (Common Error)	9-18
技法 (Technique)	9-7		
共通するエラー (Common Errors)	9-7		
●ホバリングー後進飛行【Hovering - Rearward Flight】	9-8	共通するエラー (Common Error)	9-19
技法 (Technique)	9-8		
共通するエラー (Common Errors)	9-8		
●タキシング【Taxing】	9-8	共通するエラー (Common Errors)	9-10
ホバー・タキシー (Hover taxi)	9-8		
エア・タキシー (Air Taxi)	9-9		
技法 (Technique)	9-9		
共通するエラー (Common Errors)	9-9		
地上タキシー (Surface Taxi)	9-9		
技法 (Technique)	9-9		
共通するエラー (Common Errors)	9-10		
●ホバリングからの通常の離陸【Normal Takeoff From a Hover】	9-10	共通するエラー (Common Errors)	9-11
技法 (Technique)	9-10		
共通するエラー (Common Errors)	9-11		
●地面からの通常の離陸【Normal Takeoff From the Surface】	9-11	共通するエラー (Common Errors)	9-11
技法 (Technique)	9-11		
共通するエラー (Common Errors)	9-11		
●離陸中の横風に対する考慮【Crosswind Considerations During Takeoffs】	9-11		
●水平直線飛行【Straight-and-Level Flight】	9-12	共通するエラー (Common Errors)	9-13
技法 (Technique)	9-12		
共通するエラー (Common Errors)	9-13		
●旋回【Turns】	9-13	共通するエラー (Common Error)	9-18
技法 (Technique)	9-13		
内滑り (Slips)	9-14		
外滑り (Skids)	9-14		
●通常の上昇【Normal Climb】	9-14	共通するエラー (Common Error)	9-20
技法 (Technique)	9-14		
		共通するエラー (Common Errors)	9-15
		技法 (Technique)	9-15
		共通するエラー (Common Errors)	9-16
●地上のリファレンス (参照物) を使う操縦【Ground Reference Maneuvers】	9-16	四角いコース (Rectangular Course)	9-16
		技法 (Technique)	9-16
		共通するエラー (Common Error)	9-18
		S字旋回 (S-Turns)	9-18
		技法 (Technique)	9-18
		共通するエラー (Common Error)	9-19
		定点旋回 (Turn Around a Point)	9-19
		技法 (Technique)	9-19
		共通するエラー (Common Error)	9-20
●場周【Traffic Patterns】	9-20		
●アプローチ【Approaches】	9-22	共通するエラー (Common Error)	9-23
		ホバリングまでの通常アプローチ (Normal Approach to a Hover)	9-22
		技法 (Technique)	9-22
		共通するエラー (Common Error)	9-23
		地面への通常アプローチ (Normal Approach to the Surface)	9-23
		技法 (Technique)	9-23
		共通するエラー (Common Errors)	9-23
		アプローチ中の横風 (Crosswind During Approaches)	9-23
			9-23
●着陸復行【Go-Around】	9-24		
●本章のまとめ【Chapter Summary】	9-24		

第 10 章 Advanced Flight Maneuvers 応用操縦操作

●はじめに【Introduction】	10-1
●事前調査の手順【Reconnaissance Procedures】	10-2
高高度での事前調査 (High Reconnaissance)	10-2
低高度での事前調査 (Low Reconnaissance)	10-2
地上での事前調査 (Ground Reconnaissance)	10-2

.....	10-2
●最大性能での離陸【Maximum Performance Takeoff】	10-3
技法 (Technique)	10-3
共通するエラー (Common Errors)	10-4
●滑走離陸【Running/Rolling Takeoff】	10-4
技法 (Technique)	10-4
ノート (NOTE)	10-5
共通するエラー (Common Errors)	10-5
●急減速あるいは急停止【Rapid Deceleration or Quick Stop】	10-5
技法 (Technique)	10-5
共通するエラー (Common Errors)	10-6
●急角度でのアプローチ【Steep Approach】	10-6
技法 (Technique)	10-6
共通するエラー (Common Errors)	10-7
●低角度でのアプローチと滑走着陸【Shallow Approach and Running/Roll-On Landing】	10-7
技法 (Technique)	10-8
共通するエラー (Common Errors)	10-8
●斜面での運航【Slope Operations】	10-9
斜面への着陸 (Slope Landing)	10-9
技法 (Technique)	10-9
共通するエラー (Common Errors)	10-10
斜面からの離陸 (Slope Takeoff)	10-10
技法 (Technique)	10-10
共通するエラー (Common Errors)	10-10
●狭隘地での運航【Confined Area Operations】	10-11
アプローチ (Approach)	10-11
離陸 (Takeoff)	10-12
共通するエラー (Common Errors)	10-12
●山頂および稜線での運航【Pinnacle and Ridgeline Operation】	10-12
アプローチと着陸 (Approach and Landing)	10-13
離陸 (Takeoff)	10-13
共通するエラー (Common Errors)	10-14
●本章のまとめ【Chapter Summary】	10-14

第 11 章 Helicopter Emergencies and Hazards ヘリコプターの緊急事態とハザード

●はじめに【Introduction】	11-1
●オートローテーション【Autorotation】	11-2
直進オートローテーション (Straight-in Autorotation)	11-3
技法 (Technique)	11-4
共通するエラー (Common Errors)	11-5
旋回を伴うオートローテーション (Autorotation With Turns)	11-6
技法 (Technique)	11-6
共通するエラー (Common Errors)	11-7
パワーリカバリーを伴うオートローテーションの訓練 (Practice Autorotation With a Power Recovery)	11-7
技法 (Technique)	11-7
共通するエラー (Common Errors)	11-8
ホバリング中のエンジン故障 (Power Failure in a Hover)	11-9
技法 (Technique)	11-9
共通するエラー (Common Errors)	11-9
●高度・速度チャート【Height/Velocity Diagram】	11-10
重量対密度高度の影響 (The Effect of Weight Versus Density Altitude)	11-11
共通するエラー (Common Errors)	11-12
●セットリング・ウィズ・パワー (ボルテックス・リング状態)【Settling With Power (Vortex Ring State)】	11-12
共通するエラー (Common Errors)	11-13
●後退するブレードの失速【Retreating Blade Stall】	11-13
共通するエラー (Common Errors)	11-14
●地上共振【Ground Resonance】	11-14
●ダイナミック・ロールオーバー【Dynamic Rollover】	11-15
危機的な条件 (Critical Conditions)	11-15
サイクリック・トリム (Cyclic Trim)	11-16
通常の離着陸 (Normal Takeoffs and	

Landings) 11-16

斜面での離着陸 (Slope Takeoffs and Landings) 11-16

コレクティブの使用 (Use of Collective) 11-16

事前の注意 (Precautions) 11-17

●低いGの条件とマスト・バンピング【Low-G Conditions and Mast Bumping】. 11-18

●ローターが低回転になった場合とブレードストール【Low Rotor RPM and Blade Stall】. 11-19

●ローターが低回転数になっている状態からの回復【Recovery From Low Rotor RPM】. 11-19

●システムの故障【System Malfunctions】. 11-20

アンチトルク・システムの故障 (Antitorque System Failure) 11-20

着陸—左ペダル固着 (Landing- Stuck Left Pedal) 11-21

着陸—中立あるいは右ペダル固着 (Landing - Stuck Neutral or Right Pedal) 11-21

テールローターの効果喪失 (Loss of Tail Rotor Effectiveness (LTE)) 11-22

メインローターの回転面による干渉 (285 ~ 315°) (Main Rotor Disk Interference (285 ~ 315°)) 11-25

風見鶏効果による安定 (120 ~ 240°) (Weathercock Stability (120 ~ 240°)) 11-25

テールローターのボルテックス・リング状態 (210 ~ 330°) (Tail Rotor Vortex Ring State (210 ~ 330°)) 11-25

高高度でのLTE (LTE at Altitude) 11-25

LTEに陥る可能性を低減するには (Reducing the Onset of LTE) 11-26

回復の技法 (Recovery Technique) 11-26

メイン・ドライブシャフトやクラッチの故障 (Main Drive Shaft or Clutch Failure) 11-26

ハイドロ (油圧) の故障 (Hydraulic Failure) 11-27

ガバナーや燃料コントロールの故障 (Governor or Fuel Control Failure) 11-27

異常な振動 (Abnormal Vibration) 11-27

低周波振動 (Low-Frequency Vibrations)

. 11-28

中および高周波振動 (Medium-and High-Frequency Vibration) 11-28

トラッキングとバランス (Tracking and Balance) 11-28

●多発機の緊急操作【Multi Engine Emergency Operations】. 11-29

1 エンジン故障 (Single-Engine Failure) 11-29

2 エンジン故障 (Dual - Engine Failure) 11-29

機位を失った場合の手順 (Lost Procedures) 11-29

●非常用装備とサバイバルギア【Emergency Equipment and Survival Gear】. 11-31

●本章のまとめ【Chapter Summary】. 11-31

第 12 章

Attitude Instrument Flying

計器飛行

●はじめに【Introduction】. 12-1

●航空計器【Flight Instruments】. 12-2

計器の点検 (Instrument Check) 12-2

対気速度計 (Airspeed Indicator) 12-2

高度計 (Altimeter) 12-2

旋回計 (Turn Indicator) 12-2

磁気コンパス (Magnetic Compass) 12-3

ヘリコプターの操縦と性能 (Helicopter Control and Performance) 12-3

●ヘリコプターの操縦【Helicopter Control】. 12-3

●計器飛行時の共通するエラー【Common Errors of Attitude Instrument Flying】. 12-4

一点集中 (Fixation) 12-4

スキップの省略 (Omission) 12-4

強調 (Emphasis) 12-4

不意な IMC との遭遇 (Inadvertent Entry Into IMC) 12-5

●グラス・コクピットあるいは先進のアヴィオニクスが搭載された機体【Glass Cockpit or Advanced Avionics Aircraft】. 12-5

●本章のまとめ【Chapter Summary】・・・12-6

第 13 章 Night Operations 夜間飛行

●はじめに【Introduction】・・・13-1

●視力の低下【Visual Deficiencies】・・・13-2

 夜間性近視(Night Myopia)・・・13-2

 遠視(Hyperopia)・・・13-2

 乱視(Astigmatism)・・・13-2

 老眼(Presbyopia)・・・13-2

●飛行中の視覚【Vision in Flight】・・・13-3

 視力(Visual Acuity)・・・13-4

 目(The Eye)・・・13-4

 錐体細胞(Cones)・・・13-4

 杆体細胞(Rods)・・・13-4

●夜間視力【Night Vision】・・・13-4

 夜間のスキャン(Night Scanning)・・・13-4

 障害物の検知(Obstruction Detection)・・・13-6

 航空機の灯火(Aircraft Lighting)・・・13-6

 錯覚(Visual Illusion)・・・13-6

 誘導運動錯視(Relative-Motion Illusion)・・・13-6

 地上灯火による混乱(Confusion With Ground Lights)・・・13-7

 逆遠近錯視(Reversible Perspective Illusion)・・・13-7

 点滅による空間識失調(Flicker Vertigo)・・・13-8

●夜間飛行【Night Flight】・・・13-8

 飛行前(Preflight)・・・13-8

 コクピット・ライト(Cockpit Lights)・・・13-9

 エンジン始動とローターの嵌合(エンゲージメント)(Engine Starting and Rotor Engagement)・・・13-9

 タキシ-の技法(Taxi Technique)・・・13-9

 離陸(Takeoff)・・・13-9

 飛行ルートでの手順(En Route Procedures)・・・13-10

 夜間の衝突防止(Collision Avoidance at

Night)・・・13-10

 アプローチと着陸(Approach and Landing)・・・13-10

 錯覚による着陸時のエラー(Illusions Leading to Landing Errors)・・・13-11

 特徴の無い地形による錯覚(Featureless Terrain Illusion)・・・13-11

 気象による錯覚(Atmospheric Illusion)・・・13-11

 地上灯火による錯覚(Ground Lighting Illusions)・・・13-11

●ヘリコプターの夜間有視界飛行【Helicopter Night VFR Operations】・・・13-11

●本章のまとめ【Chapter Summary】・・・13-12

第 14 章 Effective Aeronautical Decision-Making 飛行のための有効な意志決定

●はじめに【Introduction】・・・14-1

●飛行のための意志決定(ADM)【Aeronautical Decision-Making(ADM)】・・・14-2

 シナリオ(Scenario)・・・14-3

 トレスコットのティップ・・・14-4

 意志決定のプロセス(The Decision-Making Process)・・・14-4

 問題を明確にする(Defining the Problem)・・・14-5

 行動の筋道を選ぶ(Choosing a Course of Action)・・・14-5

 決定の実行と結果の評価(Implementing the Decision and Evaluating the Outcome)・・・14-5

 意志決定のモデル(Decision-Making Models)・・・14-6

●パイロットによる自己評価【Pilot Self-Assessment】・・・14-7

 好奇心:健全か有害か?(Curiosity: Healthy or Harmful?)・・・14-8

 PAVE チェックリスト(The PAVE Checklist)・・・14-8

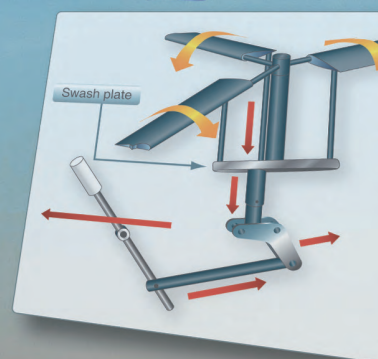
- シングルパイロット・リソース・マネジメント
【Single-Pilot Resource Management】・・・14-9
- リスク・マネジメント【Risk Management】・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14-11
- リスクの4要素 (Four Risk Elements) ・・・
 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14-12
- リスクの評価 (Assessing Risk) ・・・14-13
- 3P モデルによる安全習慣の形成 (Using
 the 3P Model To Form Good Safety
 Habits) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14-14
- ワークロード・マネジメントあるいはタスク・マ
ネジメント【Workload or Task Management】
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14-16
- 状況認識【Situational Awareness】・・・14-17
- 状況認識の維持を妨げるもの (Obstacles to
 Maintaining Situational
 Awareness) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14-18
- 運航上の落とし穴 (Operational Pitfalls) ・・・
 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14-19
- CFIT に対する認識【Controlled Flight Into
Terrain (CFIT) Awareness】・・・・・・・・・・・・14-19
- 自動化のマネジメント【Automation
Management】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14-23
- 本章のまとめ【Chapter Summary】・・・14-23

- 略語・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・G-1
- 索引・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・I-1
- 参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・I-6
- 謝辞・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・I-7

第1章 Introduction to the Helicopter ヘリコプターへの誘い

●はじめに [Introduction]

ヘリコプターは2枚あるいはそれ以上のブレードで構成される概ね水平に回転するローターにより揚力と推進力を得る「航空機」です。従って「固定翼」の航空機とは別に「回転翼」航空機として位置づけられています。「ヘリコプター」はフランス語の *helicoptere* に由来しますが、この単語はフランスのギュスターブ・ポントン・ダクメールという人が1861年に発案したものです。これはギリシャ語で渦とか回転するを意味する *helix/helikos* と翼を意味する *pteron* を組み合わせた造語です。



航空機としてのヘリコプターの第一の長所は、空中を回転するローターブレードが揚力を生み出してくれるため、揚力を得るために機体を前進させる必要がないことにあります。つまりヘリコプターは、滑走路を必要とせず垂直な離着陸ができるということです。このため、ヘリコプターは、固定翼の航空機が離着陸できないような狭い場所や孤立しているような所で良く使われます。

ヘリコプターはローターからの揚力により他の垂直離着陸を行える航空機より効率的に空中のほぼ一点で静止することができる上、固定翼の航空機ができないようなことができます(図 1-1、2 参照)。

ヘリコプターの操縦には機体への継続的な注意を払い続けるのと同様に相当量の訓練と技量が必要です。パイロットは、3次元で思考しなければならぬし、ヘリコプターを空中にとどめ置くには両手足を常に使い続けなければなりません。飛行中は釣り合い、操舵感とタイミングを全て同時に使いこなします。



図 1-1：捜索・救難ヘリコプターがピンナクル（山頂のように四方が急峻に落ち込んでいる場所）アプローチを行っているところ



図 1-2：狭い場所に着陸する捜索・救難ヘリコプター

ヘリコプターは人類の飛行の歴史において最初の 50 年の内に開発され、ごく一部の機体が限定的に造られました。1942 年にイゴール・シコルスキーが設計した機体が 131 機を生産するまで量産には至りませんでした。初期の設計では、1 つ以上のメイン・ローターを装備するのが殆どでしたが、今ではヘリコプターの世界的な定番は 1 つのメイン・ローターと 1 つの反トルク用のテール・ローターを装備した形態となっています。

●タービンの時代【Turbine Age】

1951 年に海軍省への熱心な働きかけを行っていたチャールズ・カマンは自身が設計した K-225 ヘリコプターに新型のエンジンであるターボシャフトエンジンを搭載すべく改修を行いました。

エンジン自体が重く、かつ補機を有するピストンエンジンに比べタービンエンジンは、小さい重量増で大きな馬力を得ることができました。

1951 年 12 月 11 日、この K-225 は世界で最初のタービンエンジン搭載ヘリコプターとなりました。1954 年 3 月 26 日にカマンが設計した別の機体である海軍の HTK-1 が最初の双発タービンエンジン搭載ヘリコプターとなりました。しかしシュドアビアシオン アルエットⅡがタービンエンジン搭載の量産機の先駆けとなりました。

安定したホバリング（空中静止）ができる信頼性の高いヘリコプターは固定翼航空機の数十年後に開発されました。固定翼航空機に比べ大きいエンジン



図 1-3：ヘリコプターの多様な用途の例
上：捜索救難 中：消火活動 下：建設

出力が必要だったことが大きな理由です。

20 世紀前半の燃料とエンジンの進歩がヘリコプターの開発の進歩にとって決め手となりました。20 世紀後半になって軽量のターボシャフトエンジンが利用できるようになるとヘリコプターはより大型で、速く、高性能化していきました。タービンエンジンはレシプロエンジンに比べると、振動が少なく、性能、信頼性および運用がしやすいという利点があります。小型で廉価なヘリコプターにはピストンエンジンが使われていますが、今日のヘリコプターではターボシャフトエンジンの方が好まれています。

●用途【Uses】

垂直離着陸、空中静止および低速で飛行できるという運航上の特徴があることから、ヘリコプターは以前の航空機ではできなかった、あるいは地上で行うには長い時間を要したり労力を必要とするような仕事に向けられました。今日、ヘリコプターは輸送、建設、捜索救難およびその特別な能力を必要とする、あらゆる業務に使われています（図 1-3 参照）。

●ローター系統【Rotor System】

ローター系統は揚力を産み出す部位です。垂直方向の揚力を産み出すメインローターは、回転面が水平になっており、そのトルクを打ち消すためにテールローターの回転面は垂直になっています。ティルトローター機は、ローターが主翼端のナセルに取り付けられ、ローターによる揚力をヘリコプターのように垂直方向の揚力から固定翼機のように水平方向の推力に変えられるよう、ナセルごと動くようになっています。

タンデムローター（デュアルローターとも言う）は、シングルローターのヘリコプターが 1 つのメイン・ローターと小さなテール・ローターの組み合わせであるのに対し、2 つの大きなメイン・ローターが機体の前後に配置されています（図 1-4 参照）。

シングルローターのヘリコプターは 1 つのメイン・ローターによる水平方向のモーメントを打ち消すた



図 1-4：タンデムローターのヘリコプター

めにテール・ローターを必要とするのに対し、タンデムローターのヘリコプターでは2つのローターの回転方向を反対にすることで互いのトルクを相殺します。反対方向に回転するローターブレードは互いの軌跡が重なりあってもブレード同士が衝突して破壊しないようになっています。この形態では2つのローターブレードがあるため、夫々のブレードを短くしても重い重量を支えられるという利点があります。

また、シングルローターのヘリコプターではメイン・ローターのトルクを打ち消すためにエンジン出力を使わなければなりません。タンデムローターではエンジン出力の殆どを揚力の発生に用いることができます。ですから、タンデムローターのヘリコプターは、最も馬力のある、最速のヘリコプターとして挙げられるのです。

同軸反転ローターは、1本の軸の上下に別々に配置されたローターが反対方向に回転するようになっています。この形態と言えばロシアのカモフヘリコプター設計局と言われるほどです(図 1-5 参照)。

交差ローター式の場合は、2つのローターが反対方向に回転するのみならず、交差するブレードが衝突しないように各々のローターのマストは角度をもって取り付けられています(図 1-6 参照)。

この形態のヘリコプターもテールローターを必要としません。この形態はシンクロプター



図 1-6：交差ローター式の HH43 ハスキー (Huskie)

(Synchropter) とも呼ばれ、ドイツのフレットナー F1 282 コリブリ (Flettner F1282 Kolibri) 対潜水艦ヘリコプター用に開発されたものです。冷戦中にアメリカのカマンエアクラフト社が空軍の消防消防用として開発した HH-43 も同じ形態を採用しました。交差ローター式のヘリコプターは安定性と吊り上げ能力が優れています。最新のカマン K-MAX 型は空飛ぶクレーンとして重宝されています。

ローターはマスト、ハブおよびローターブレードから構成されています(図 1-7 参照)。

マストは中空の金属製のシャフトでトランスミッションと繋がっており、トランスミッションにより駆動されます。マストの最頂部には「ハブ」と呼ばれるローターブレードの取り付け部位があります。ローターブレードとハブの接続には様々な方法があります。ブレードとハブがどのように接続し、ブレード



図 1-5：同軸反転ローター式のヘリコプター

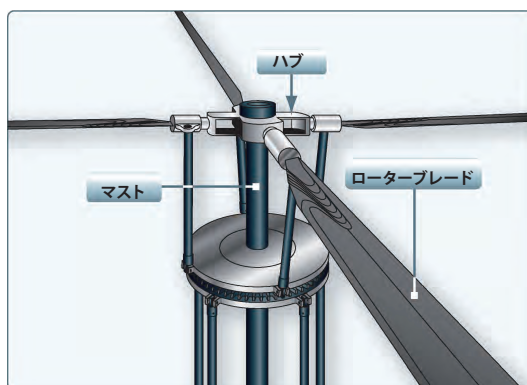


図 1-7：ローター系統の基本部位



図 1-8：テール・ローターを備えたイゴール・シコルスキー設計による VS-300 ヘリコプター

がハブに対してどのように動くかによってメインローター系統が分類されています。基本的には、半関節型（セミリジッド：semirigid）、リジッド型、あるいは全関節型（fully articulated）の3つに分類されています。最新のローター系統もこれらを組み合わせただものになっています。ローター系統については第4章ヘリコプターの諸系統で詳述します。

シングルローターのヘリコプターでは、エンジンでローターを回転させるとローターの回転と反対方向に機体を回転させようとするトルクが生まれます（ニュートンの力学の第三法則：作用・反作用 詳細は第2章 空力一般を参照）。このトルクを打ち消すための装置が必要になりますが、この装置を使っても機首方位を保ち、かつ、よたつかないような十分なエンジン出力も必要です。この制御装置として伝統的な物は、テール・ローター、フェネストロン（Fenestron）〔ファンテール：fantailとも呼ぶ〕で、更にノーター（NOTAR）を加えた3つが現在広く使われています。この3つの反トルク制御装置については第4章で詳述します。

ローターの形態（Rotor Configuration）

シングルローターの機体では、「回転」あるいは「捻じれ」の力であるトルクに打ち勝つ別のローターが必要です。可変ピッチの反（アンチ）トルクローターあるいはテール・ローターがこれに相当します。

図 1-8 にイゴール・シコルスキー（Igor Sikorsky）が設計した VS-300 ヘリコプターで



図 1-9：テール・ローターの基本構成

の解決例を示しました。様々なデザインがあるにせよ、この形がヘリコプターの設計時の定番となりました。上から見るとドイツ、イギリスおよびアメリカ製のヘリコプターではメイン・ローターの回転方向は反時計方向で、他は時計方向に回転します。設計者によってメイン・ローターによる空力の効果が反対方向になるため、説明が難しくなってしまうので、本書では、メイン・ローター系統の回転方向は上から見て反時計方向を基本とします。

テール・ローター（Tail Rotor）

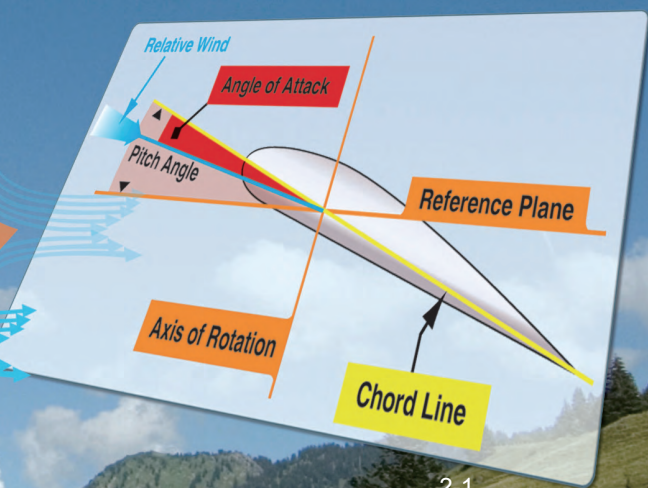
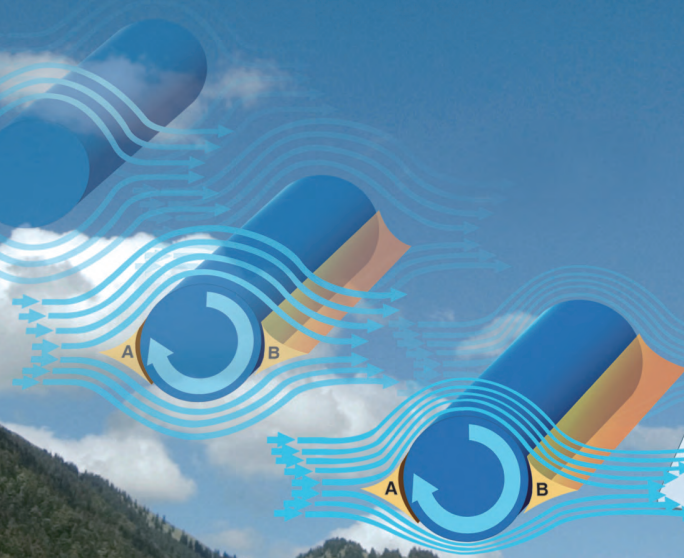
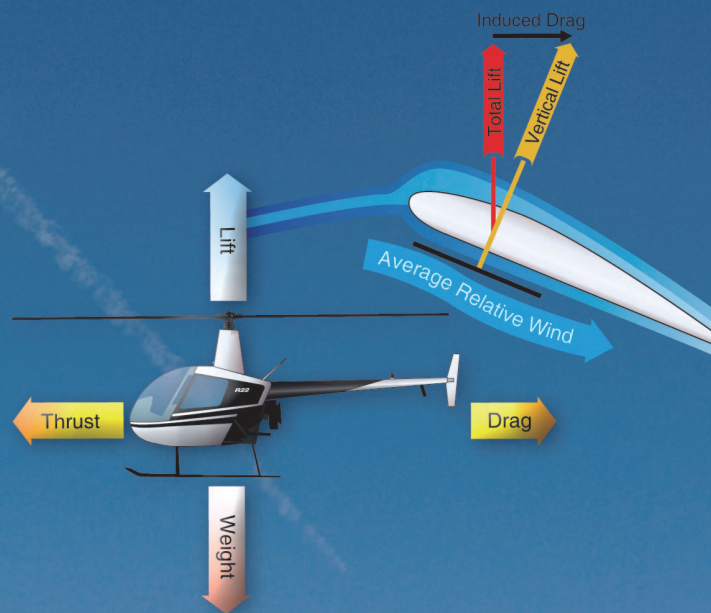
伝統的なシングルローターヘリコプターでは、尾部に小型のローターを垂直あるいはほぼ垂直に搭載しています。テール・ローターは機体の尾部を押すか、引くことによってメイン・ローターによるトルクを打ち消します。テール・ローターの駆動系は、トランスミッションから動力を伝えるドライブシャフト（drive shaft：駆動軸）とテールブームの後端に搭載されたギアボックスから構成されます（図 1-9 参照）。

ドライブシャフトは1本の長いシャフトである事もありますが、複数の短いシャフトをフレキシブルカッ

第2章 Aerodynamics of flight ヘリコプターの空気力学

●はじめに [Introduction]

この章ではヘリコプターの基本的な空気力学と原理を紹介します。通常の運航と操作の範囲内での性能に関わる内容です。パイロットの訓練や通常の運航に必要な空気力学は本章に含まれています。



●ヘリコプターに作用する力 【Forces Acting on the Aircraft】

ヘリコプターが一旦地面を離れると 推力 (thrust)、抗力 (drag)、揚力 (lift) および重量 (weight) の4つの力が機体に作用します。この4つの力がどう作用するかを理解し、エンジンや操縦システムによりどのようにコントロールできるかを知ることが飛行のために不可欠です (図 2-1 参照)。

- 推力 (Thrust) — エンジン/プロペラあるいはローターが生み出す前進方向の力。推力は抗力と反対方向に作用します。一般的には前後方向の軸 (longitudinal axis) に平行に作用しますが、必ずそうであるという訳ではなく、その詳細は後で述べます。
- 抗力 (Drag) — 翼、ローター、胴体およびその他機体の凸部による気流の乱れによって生じる進行方向と逆向きの抵抗力のことで、抗力は推力に対抗し相対風 (relative wind : 翼に対する気流の流れ) と平行で推力の反対方向に作用する力です。
- 重量 (Weight) — 機体の自重、乗員、燃料および貨物が手荷物を合計した荷重のことです。重量は重力に従ってヘリコプターを下向きに引っ張ります。重量は揚力に対し垂直下向きに重心 (CG : center of gravity) に作用すると見なすことができます。
- 揚力 (Lift) — 下向きの重量と反対方向に、空気が流れが翼に作用して生まれる力で、飛行方向に垂直上向きに重心に作用すると見なすことができます。

一般的な空気力学の詳細説明は FAA の Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge を参照されたい。

●揚力【Lift】

揚力は流体の流れの中にある物体が、流体の流れの方向を変える場合や流体が物体を通ることで



図 2-1 : 前進飛行するヘリコプターに作用する4つの力

動かされる時に生じる力です。物体と流体が相対的に動いていて、物体が流体の流れの方向の流れに直角な方向に曲げる場合、流体にはそのために必要な力が作用しますが、それと等しくて反対方向の力が釣り合いのために物体に発生します。これが揚力です。静止した流体中を物体が動いてゆくことと、静止した物体に対し流体を流すこととは原理的には変わりません。視点が違うだけです。

翼型によって生じる揚力は

- 気流の速度
- 空気の密度
- 翼の総面積
- 空気と翼型の迎え角 (AOA : Angle of attack) に依っています。

AOA は、翼型と向かってくる気流とがなす角度です (気流と向かってくる翼型とがなす角度でも同じ)。ヘリコプターでは、「物体」はローターブレード (翼型) であり、「流体」は空気となります。揚力は空気が曲げられることで生じ、常に相対風に垂直に作用します。対称翼で揚力を得るには AOA は正でなければなりません。AOA がゼロの時、対象翼で揚力は発生しません。AOA が負の時は、揚力も AOA が正の時と反対方向に生じます。

翼型にキャンバーがあったり、翼型が上下非対称である場合は、AOA がゼロあるいは僅かに負でも、正の揚力を生み出す事もあります。

揚力の概念は単純ですが、空気と翼型の相対的

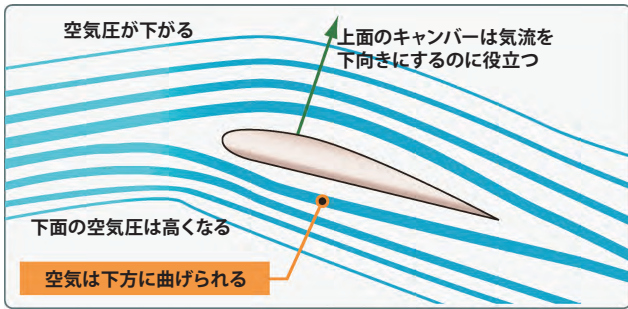


図 2-2：揚力の発生

な動きから揚力が生まれる詳細は複雑です。揚力を生じる、例えば流れに対して角度を持つ平板、回転する円柱、翼型等では流れがこれらの物体の前縁で物体の上面と下面に分かれることを強いられます。物体の上面で急に気流の進行方向が変わるため、前縁より後ろの物体上面では圧力の低い部分が発生します。この圧力勾配と流体の粘性により物

体上面の流れは物体の上面に沿って次々に加速されます。同時に、物体の下面の流れは急激に遅くなったり停滞したりするため、圧力の高い部分を生み出します。物体の上下両面の後縁から物体を離れた流体は下向きの成分を持つモーメントを持つため、物体にはその反対方向の力、^{すなわち}即ち揚力が生まれます（図 2-2 参照）。

ベルヌーイの定理 (Bernoulli's Principle)

ベルヌーイの定理は閉じ込められた流体の圧力と速度の関係として説明されます。これはエネルギー保存の法則であり、翼型が空気力学による力を生み出す理由の説明に役立ちます。エネルギー保存の法則とは、ある系 (system) の中ではエネルギーは新たに生み出されることも、失われることも無い。即ち、ある系に入るエネルギーの総量と出てゆくエネルギーの総量は同じでなければならない、という

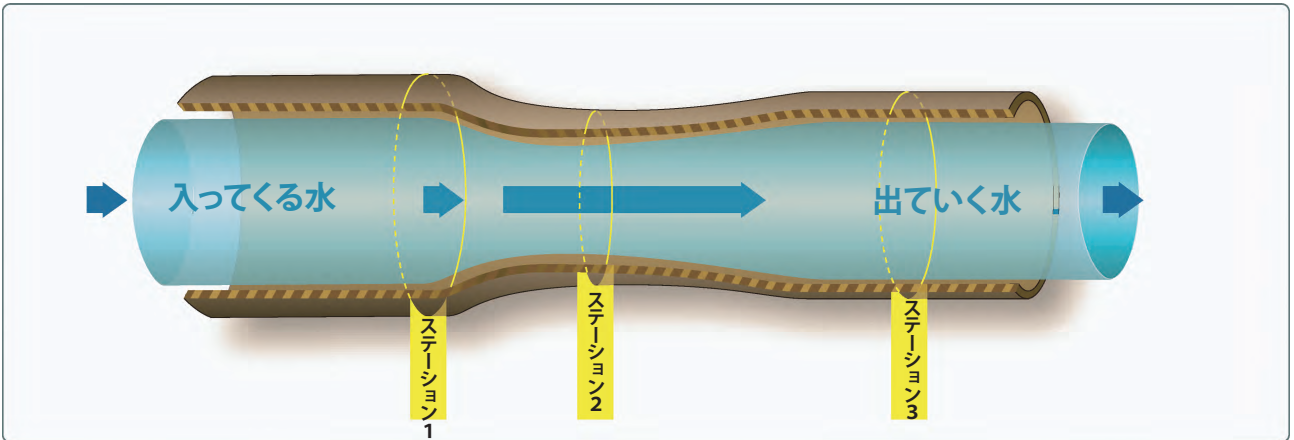


図 2-3：管の中の水流

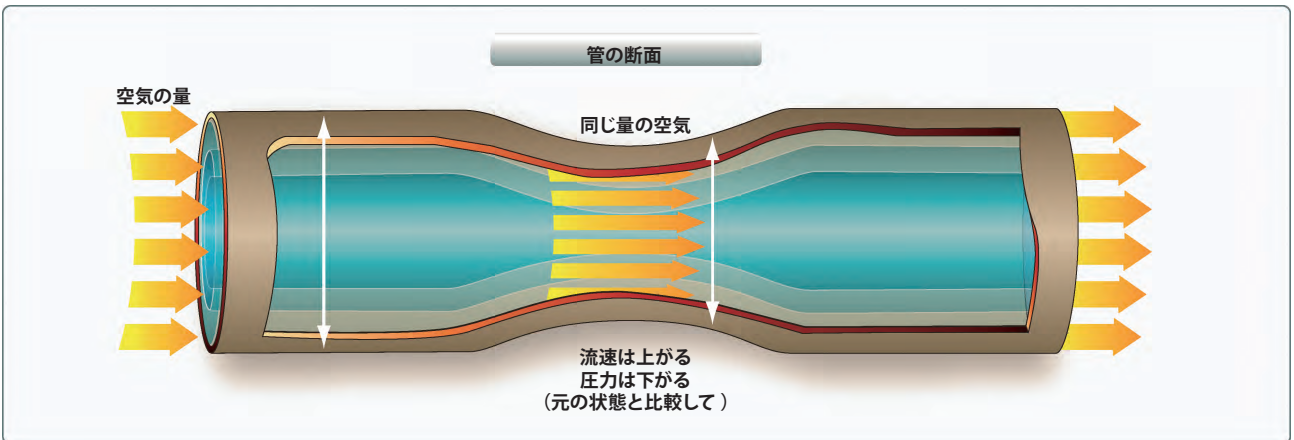


図 2-4：ベンチュリ効果

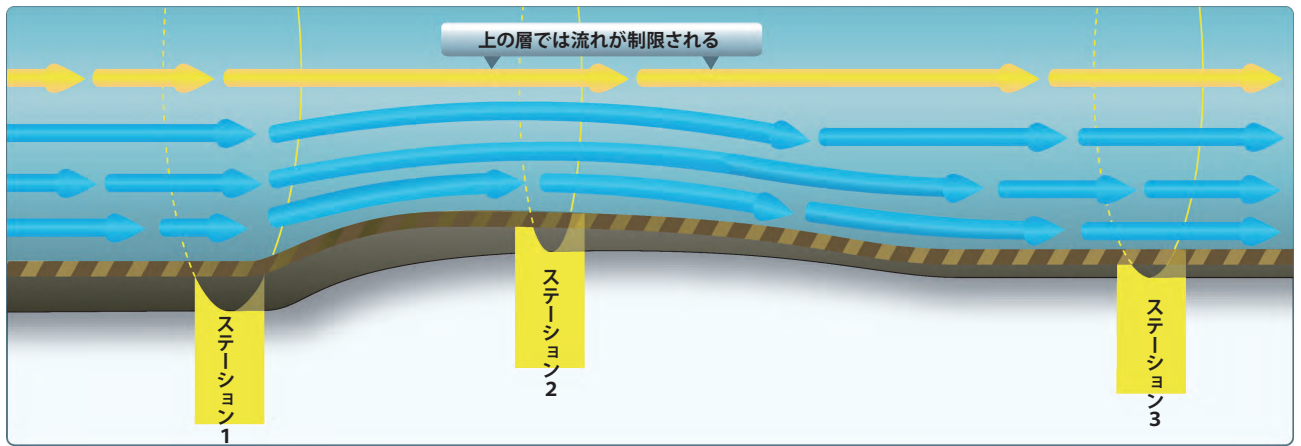


図 2-5：ベンチュリの流れ

ものです。この法則を真ん中付近が絞られている単純な管を描いて説明しましょう。庭の水撒きに使うホースとその中を走る水がこの例に当たります。

単位面積（ここでは管の断面積）当たりの水の流量を流量率と名付けます。図 2-3 にあるように、管に入ってゆく水は一定量で加速も減速もしないとなります。すると管の中のステーション1、2、3のいずれの位置でも水の流量率は同じでなければなりません。どこかの位置で管の断面積が小さくなれば、一定の流量率を維持するため、そこでは、流速を速めて同じ流量の水を狭い面積で通さなければなりません。流速は断面積の減少に比例します。この現象がベンチュリの効果です。図 2-4 に径が絞られた管で流量率が一定の場合に何が起きるかを示しました。

ベンチュリの流れ (Venturi Flow)

閉じた系（ここでの管のような）の中のエネルギーの総量は変化することなく、変わるはその形態（速度か量）のみです。流れる空気の圧力は、外部からエネルギーの出入りが無いため、全圧が常に一定である空気のエネルギーに例えられます。流体の圧力は静圧 (static pressure) と動圧 (dynamic pressure) の2つの要素から成っています。静圧は流れの中で計測される圧力の要素ですが、流れが動くことによって生ずる圧力を計測したものではありません（訳注：風がなくても大気圧があるように）。静圧は表面に作用する単位面積当

たりの力として知られています。動圧は、空気の動きによって生じる圧力要素です（訳注：風から感じる風圧をイメージしてください）。そして静圧と動圧の合計が全圧 (total pressure) です（訳注：エネルギーの総量が変化しないことは全圧が一定であることと同じです）。空気が管の絞られた部分を通れると流速が速くなるので静圧は低くなり、動圧は高くなります。

図 2-5 には絞られた管の下半分を示しますが、これは翼断面の上半分と似ています。管の上半分を除いても、上側の空気層の流れは制限されるため、気流は管の内側の凸にカーブした部分を加速して通って行きます。全く同じことが管の同じ場所の上半分でも起きます。この気流の加速によって、管の内側の凸にカーブした部分では静圧が低下し、場所によって静圧と動圧が異なるという現象が起きます。

ニュートンの運動の第三法則

(Newton's Third Law of Motion)

ローターブレードの下面が空気を下向きに叩くので気流は下方に向けられるため、ローターブレードの下面からも揚力が発生します。これはニュートンの運動の第三法則である「作用・反作用」に則った現象で、下方に向けられた空気は上向きの力（揚力）をローターブレードに与えるということです。

水上スキーが浮上する原理も水の衝撃圧力に加え

スキーマの下面が水流の偏向の反力として受ける力によっている点で、ローターブレードの例と同じように説明されています。

飛行中、ローターブレードの下面が気流を下方に向けることで生じる揚力は、ローターブレードが生み出す揚力の全体からするとわずかな量に過ぎません。揚力の大半はブレードの下面で生じる圧力の増大によるものよりブレードの上面で生じる圧力の低下によるものなのです。

●重量【Weight】

重量は、例えばヘリコプターの自重、燃料、およびパイロットや搭載物の重量としてはっきりと数値で表せるものと考えられます。ヘリコプターが垂直に離陸するには、ローター系統がヘリコプターと搭乗員・搭載物の全ての合計重量に勝る、あるいは拮抗する揚力を生み出さねばなりません。ニュートンの運動の第一法則は「静止または等速運動をしている物体は、外力が作用しない限りその状態を変えない」というものですが、同じことが「物体」を空中に静止している、あるいは地上に静止している「ヘリコプター」に置き換え、「外力」をメインローターブレードのピッチ増で得られる「揚力」に置き換えて言えます。つまりヘリコプターも重量に勝る揚力が外力として作用しなければ、地上か空中で静止状態を保つということです。

ヘリコプターの重量は空力的な荷重にも影響されます。一定の高度を保ってヘリコプターをバンクさせると“G”ロード、即ち荷重倍数が増えます。この時、ローターブレードに作用する荷重をバンクをしない状態の荷重、あるいは全備重量(ヘリコプターの自重と搭乗員・搭載物の全ての合計)で割って得られるのが荷重倍数です。ヘリコプターが一定の高度でカーブした経路を飛行すると、ローターブレードにかかる荷重はヘリコプターの全備重量より大きくなります。カーブが急になるほど、バンク角が深くなるほど、あるいはフレアや降下からの引き起こしを急にすると、ローターにかかる荷重は増えます。つまり荷重倍数が大きくなるということです(図2-6参照)。

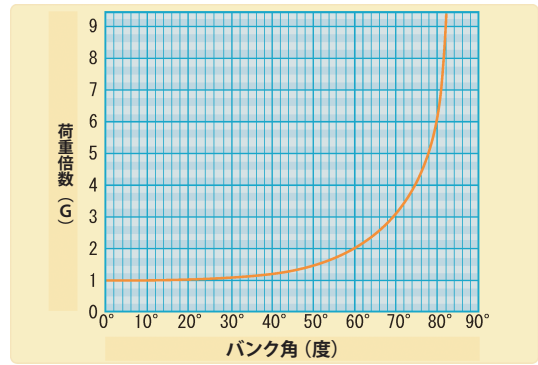


図 2-6：バンク角 (bank angle) から荷重倍数 (load factor) G を求めるグラフ

このように大きくなった荷重倍数に負けないように、ヘリコプターは揚力を産み出さねばなりません。エンジンの出力に余裕が無いと高度を失うか、高度を保つ代わりに速度が落ちるか、にならざるを得ません。30°までのバンク角であれば荷重倍数=見かけの全備重量の増加は比較的小さいと言えます。それでも低高度、乱気流、大きい全備重量、そして未熟な操縦技術といった条件が重なると高度や速度を維持する為の十分な、余裕のあるエンジン出力を得られないかも知れません。パイロットは、離陸してから着陸するまで、こうした条件を考えながら飛ばなければなりません。

バンク角が30°を超えると見かけの全備重量=荷重倍数はグラフにあるように急激に増えます。バンク角やピッチ角が30°の時は見かけの重量増=荷重倍数の増は16%に過ぎませんが60°になると翼やローター系統にかかる荷重は2倍になります。具体例を挙げると1,600ポンドのヘリコプターがバンク角30°で高度を維持したまま定速で旋回すると、ローターの回転面にかかる重さは1,856ポンド(1,600 + 16%あるいは256)となります。バンク角が60°になると3,200ポンド、80°では6倍の9,600ポンドにもなります。

全備重量はブレード一枚一枚が分担するので、例えばローターが2枚のヘリコプターの全備重量が1,600ポンドだとすると、このヘリコプターのブレード1枚が受け持つ重量は揚力の半分、つまり800ポンドになります。同じヘリコプターが3枚の