

【技術ノート】

# ヘリコプターを取り巻く最新技術情報

Information on Modern Helicopter Technology

薮 勉\*  
Tsutomu YABU

中嶋 良樹\*\*  
Yoshiki NAKAJIMA

川田 忠裕\*\*  
Tadahiro KAWADA

## 1. まえがき

現在日本の民間ヘリコプター保有台数は、アメリカ合衆国とカナダに次いで世界第3位である。このことは狭い国土に多くの人口と急峻な山岳地帯を抱えながら国土開発を進める上で、ヘリコプターの持つ垂直離着陸性能が大きな要因を占めていたためと推察される。

一方、国内におけるヘリコプターの用途を見れば、物資輸送、報道取材、薬剤撒布、遊覧飛行、宣伝飛行等が主体であった。しかしながら今後需要の伸びが期待できるのは、一般大衆の交通手段としてではなかろうかと推測している。

昨今、陸上交通部門においては、交通網の整備が交通量の伸びに追いつかず、各都市の交通事情は悪化する一方であり、また空の玄関ともいべき空港は、都心部からますます遠くなる傾向にある。これらの不便を解消すべくヘリポートの数を増やし、ヘリコプターを身近な交通手段にしようという動きが活発になってきている。

航空事業への参入に当り、社会の趨勢を見極め、ヘリコプター業界全体の現状を理解しつつ、将来への進展を計っていく必要があると考えている。本文では、各種文献をもとに現在研究開発が行われているヘリコプターの最新技術の一端と、将来への方向についてとりまとめ報告する。

## 2. ヘリコプターの技術的動向

### (1) 航空流体力学

ヘリコプターは、機体の上部に位置するメインローター・ブレードを回転させて揚力および推力を得るために、固定翼機に比べて図-1に示すように空気の流れが非常

に複雑である。

しかし、最近では、大型コンピュータの出現により数值モデルによる解析が遂に可能になり、新しい機体のためのデザインの効率が向上した。将来はコンピュータを使った流体力学(CFD)の計算によって、ヘリコプターの機体まわり全体の空気の流れを現実に近いモデルで予知できるようになるであろう。

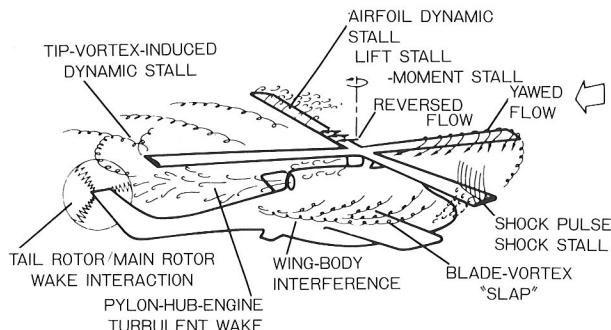


図-1 ヘリコプター前進飛行時の空気の流れ

### (2) 騒音

近年、遭難救助や警察活動等にヘリコプターを使うケースが増え、都心部や住宅地近辺でも飛行が行われるので騒音公害が問題になっている。

ヘリコプターの騒音は、エンジン音およびメイン・ローター、テール・ローターから複雑に発生するため、騒音発生のメカニズムを正しく把握することは、非常に困難な問題である。

ローターから発生する音を小さくするには、メインおよびテール・ローターの回転数を落としてローター先端のチップ・スピードを削減することにより可能である。

しかし、同じ揚力を得るためには、ブレード・エリアを増やす必要があるのでブレード重量が増えてしまう。

\*川田工業㈱航空事業部開発課課長 \*\*川田工業㈱航空事業部開発課

また、ローターの回転数を落すための減速比を増すことにより、トランスマッisionの重量も増えてしまう。したがって今までのデザインは、飛行性能と騒音問題の歩み寄りによって決まっている。

最近の研究としては、新しいブレード・チップ形状のデザインや圧縮空気ジェットを翼端から噴射して、チップ・ボルテックスを少なくしようとする研究が進められている。

マクドネル・ダグラス・ヘリコプター社では、テール・ローター・ブレードを4枚使って回転を落とし、騒音を半減することに成功している。これは、元ヒューズ社の500型ヘリコプターに取り付けられて「QUIET KNIGHT」と呼ばれ、アメリカ合衆国のサンタ・アナ警察などで、空飛ぶパトカーとして活躍している。

同社では、現在ノー・テール・ローターから取った「NOTAR」というテール・ローターそのものを無くしてしまう図-2のようなシステムを開発している。これは、エンジンからテール・ブームに空気ジェットを送りテール・ブームの先から真横に噴射して、メイン・ローターのトルクを打ち消す仕組みになっている。

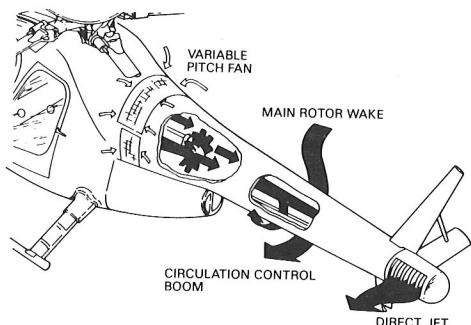


図-2 ノータのアンチ・トルク・システム

このシステムは、未来の500型シリーズや米軍ヘリコプター改良計画機「LHX」に使用される予定である。

それを写真-1と図-3に示す。



写真-1 NOTAR使用の新型ヘリコプター

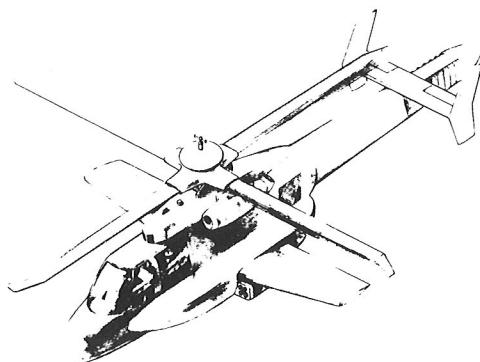


図-3 NOTAR使用のLH機

### (3) 振動

ヘリコプターの振動は、主に次の3つに大別される。  
①メイン・ローターによる低周波数の振動、②エンジンによる高周波数の振動、③その中間の周波数を持つ、テール・ローターによる振動がある。

振動を低く押さえることにより、パイロットと乗務員、そして機体そのものの疲労を減少させることにつながる。またそれは、維持費と整備時間の削減にもなり、さらに乗客の快適さも向上する。

この問題も大型コンピュータの使用により、固定翼機程度の振動になるよう各社は真剣に研究を進めている。

### (4) 全天候性と計器飛行

現在ヘリコプターは、固定翼機に比べ悪天候時や夜間の飛行機能や地上施設の整備がやや遅れている。しかし近年遭難救助、防衛、そして政府や企業のVIP輸送などの利用が増えているため、今後解決して行かねばならない重要な課題である。

最近のエレクトロニクスの進歩によって、航法計器や航行援助施設の発達は目覚ましく、全天候性飛行は現実のものになってきている。

写真-2に示すシコルスキー社の「S-76MK-II」エグゼキュティブ・ヘリコプターは、最新式のスペリー社製デジタル・ライト・コントロール・システムを搭載し



写真-2 シコルスキーS-76MK-II

ており、全天候飛行が可能になっている。

また、スペリー社製の「DATA NAV DIS-PLAY SYSTEM」は、一つのテレビ・スクリーンで緯度と経度、ステーションID、対地上速度、飛行経路など複数のディスプレーができる。

将来は「NAVSTAR」のような、飛行コース指導装置とつなげることにより、エア・スペースをより効果的に使用することができるようになると考えられる。

#### (5) 新材料

複合材の機体への応用は、今まで部分的に行われてきたが、米軍の「LHX」プログラムなどの必要性もあり、全面採用に向けて各社で開発が進められている。

複合材を使用することによる利点は、①形を自由に作ることができる、②部品数を減らすことができる、③複合材は金属よりも対比重強度が高いため軽量化が図れる等の点が上げられる。

ベル・ヘリコプター・テキストロン社やシコルスキーカーでは、ファイバーガラス・エポキシ、グラファイト、ケブラーなどを実験的に機体に使用したところ、重量は20~30%，製造費は15~20%削減可能であることが分かった。その他、航空力学的な性能やダイナミック・レスポンスの性能も向上している。

複合材のローター・ブレードへの使用はすでに確立されており、現在はローター・ハブへの応用が研究されている。

図-4は現在MBB社で開発中の複合材を胴体に使用したBK117の予想図である。

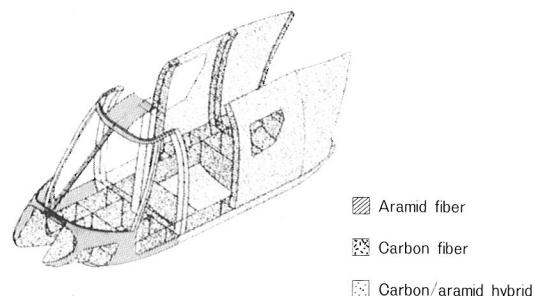


図-4 BK117胴体への複合材応用予想図

#### (6) エンジン

後に説明するX翼機、ティルト・ローター機、そして「LHX」プログラムなどの出現によって、軽量で馬力の出るエンジンの開発が要求されている。

最近の動きとしては、タービン・エンジンに耐熱合金をコーティングしたり、特に高温になる部分にセラミックを使用したりすることにより、寿命の向上を図るということが行われている。

また、最近アメリカ合衆国のプラット・アンド・ホイ

ットニー社によって、写真-3に示す一方向凝固合金や単結晶合金のタービン・ブレードが開発された。

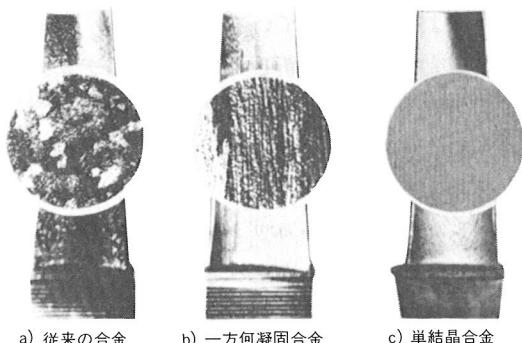


写真-3 単結晶タービン・ブレード

これらのブレードは、今までのものよりも高温で高压な状態に耐えることができる。

米国航空宇宙研究所(NASA)などによって研究中の、コンパウンド・サイクル・タービン・ディーゼル・エンジン(CCTDE)は、500~1,500馬力で低熱比、低排気ガス温度400°C、低重量、そして今までのディーゼル・エンジンの5倍の「馬力/容積」比が要求されている。

このCCTDEは、コンバーチブル・エンジンと呼ばれX翼機などに使われる。図-5に示すように、ホバリングと低速度時はローター・シャフトに力を送り、高速度の時は同じエンジンがターボ・ファンを作動させて前進飛行する。

1986 NIKOLSKY LECTURESHIP

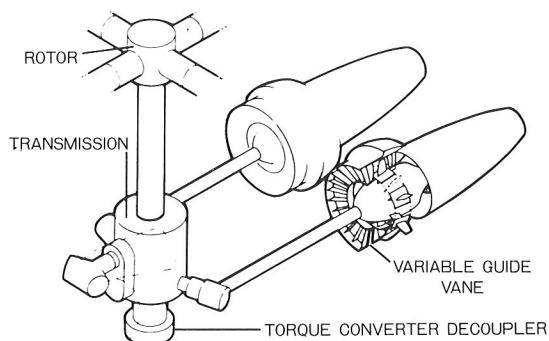


図-5 コンバーチブル・エンジン

#### 3. 次世代のニュー・ヘリコプター・デザイン

まえがきで述べたように、日本のように飛行場が都心部と離れている所では、飛行場に着くまでに時間がかかり無駄が多い。しかしながら、現在のヘリコプターでは飛行距離が長くなると、他の乗り物にくらべ運賃が高くなる。そこで、ヘリコプターのように都心部の狭いヘリポートから垂直離着陸(VTOL)ができ、さらに固定翼機のように高速飛行が可能な航空機が望まれる。

現在NASAと米陸海軍、そしてベルとボーイング・バートル社によって開発されているティルト・ローター機

と、NASAとシコルスキー社で研究されているX翼機がそれである。

#### (1) ティルト・ローター機

ティルト・ローター機はアメリカ合衆国で、1950年代から「CONVERTIPLANE」などと呼ばれ陸軍やマクドネル社などで研究されていたが、写真-4に示すように計画が具体化してきたのはつい最近である。



写真-4 ティルト・ローター機

ヘリコプター・モードでは、翼の両側に付いているローターが垂直に回転してVTOLができる。飛行機モードでは、ローターを前に倒してプロペラ機と同様に前進飛行する。

ティルト・ローター機は民間用と軍用の利用方法が考慮されている。将来は時速720km以上で飛行するティルト・ローター機も開発されるであろう。

#### (2) X翼機

X翼機は上から見るとX状であるローター・ブレードを持っている。これはティルト・ローター機よりも新しく、実験用機の写真発表は1986年の夏にされたばかりであり、その姿を写真-5に示す。



写真-5 X翼機

X翼機はVTOL時と低速飛行時にローター・ブレードが回転してヘリコプターの様に飛ぶが、高速飛行時はローター・ブレードが固定されて、胴体の両側に付いているターボ・ファンによりジェット機のように飛行する。

未来のX翼機は時速900km以上で飛ぶものと思われる。

#### 4. ヘリコプターの普及

これまでヘリコプターを技術的な面から紹介したが、技術だけが進歩すればヘリコプターが民間に普及するわけではない。その他価格やヘリポート等の発着場、管制システム、法制度やパイロット育成の問題点がある。

##### (1) コスト

ヘリコプターは、今まで軍用に開発されてから民間用に改造された物が多く、また、固定翼機と比較して技術的にも機構的にも複雑であるためにコスト高になっている。

ゆえに免許取得に要する費用も、同級の固定翼機に比べ2~3倍になっている。よってヘリコプターは個人や一般企業ではなかなか手が出せない状態だった。

ヘリコプターをもっと身近な物にするためには、大量生産を行い品質を安定させて、コストを下げる努力をしなければならない。

次章で紹介するロビンソンR22ヘリコプターは、プライベート・ヘリコプターとして世界で初めて高級外車クラスの値段に押さえることができたヘリコプターである。(写真-6参照)



写真-6 ロビンソンR22ベータ

##### (2) ヘリポート

自動車に道路や駐車場が必要であるように、ヘリコプターがより普及するためには、各所にヘリポートが多く設置されることが望ましい。

現在日本でヘリコプターが使用可能である民間飛行場は約70箇所あり、ヘリコプター専用の公共ヘリポートは3箇所ある。ヘリポートは一般の空港に比べ面積も小さくてすむので、ビルの屋上に設置することも可能である。

1987年5月には「ヘリポート・ハイウェイ600」と題して、全国各地に600箇所以上のヘリポート基地を建設し、ヘリポート・ネットワークを作る計画案が政府から発表されている。この計画が現実になればヘリコプターの利用範囲は大きく広がるであろう。

## 5. ロビンソンR22の紹介

世界各地のライト・スクールで操縦訓練用に使用され、また、販売もしているロビンソンR22についてここで紹介する。

ロビンソンR22を製造しているロビンソン・ヘリコプター社(RHC)は、1973年にそれまでヒューズ・ツール・カンパニー(現在のマクダネル・ダグラス・ヘリコプター社)でエンジニアをしていたフランク・D・ロビンソン氏と、小さな機械工場を経営していたC・K・レフィール氏によって創立された。

R22は、当初から一般の人々にでも買うことができる「空飛ぶ自家用車」を目標として開発され、米国連邦航空局の耐空証明を取得するのに1979年3月まで約6年を要した。

それ以来、単発、レシプロ、2人乗りの同クラスのヘリコプターでは世界市場の70%以上を占めるまでに及んでおり、1987年末までに700機以上が製造されている。

用途としては、これまでの80%ほどが維持費の安さから操縦訓練用として使われている。その他、レジャー用、牧場管理、航空写真、報道取材、また最近では警察機や写真-7に示すフロート付きマリナーとして使われている。



写真-7 ロビンソンR22マリナー

現在製造されているのは、R22ベータ型であるが、これの大きさは図-6のとおりである。

飛行性能は、最高速度188.8km/h、巡航速度176.6km/h、最大飛行距離386.3km(補助タンク使用時598.2km)、燃料消費量26.6 l/h、実用上昇高度4,270mである。重量は最大、最小離陸重量がそれぞれ621kgと417kgであり自重は375kgである。日本での市場価格は約2,100万円であり、これは他のヘリコプターと比べると非常に低価格である。

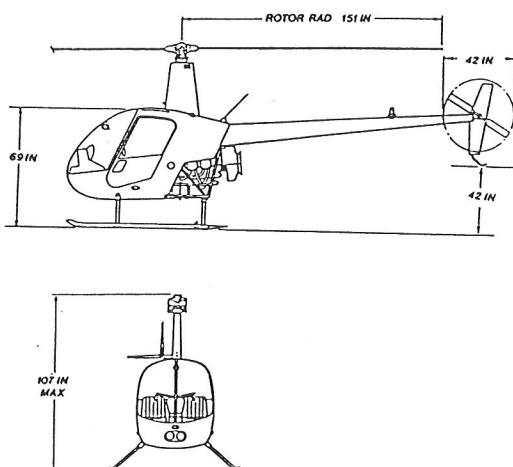


図-6 ロビンソンR22の外形寸法

ロビンソンR22は軽量、高性能化を目指して設計されたために、いろいろユニークな技術や工夫が盛り込まれている。そのいくつかを次に示す。

### (1) T・バー・サイクリック

T字型のサイクリック・スティックは、コックピットの2つの座席の間から写真-8のように出ている。これはR22特有なものであり、座席空間が広くとれ、乗り降りもスムーズであり、一般的な両足にはさむようなサイクリック・スティックのうつとうしさはない。操縦する時はグリップをひざの上に軽く乗せられるので、慣れると非常に楽である。これはまた構造的に簡略なので重量の削減にもなっている。

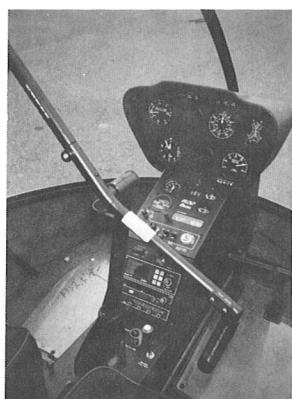


写真-8 T・バー・サイクリック及び計器盤

### (2) メイン・ローター・システム

メイン・ローターは、写真-9のように2枚でシンプルにまとめ上げられているために、最小のメンテナンスしか必要とされない。

また、ローター・ハブはアンダー・スラシング方式なので前進の時などにローター面を傾けることによって起こる回転速度の変化を抑えることができるように考慮されている。

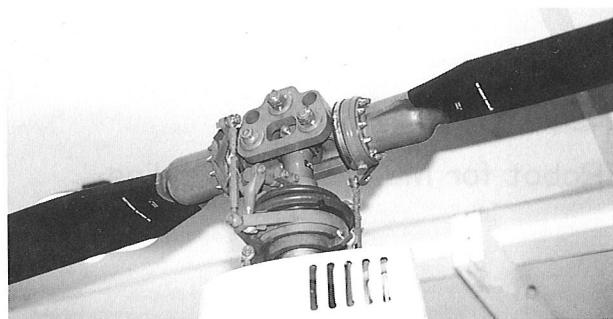


写真-9 メイン・ロータ・システム

### (3) ドライブ・システム

エンジンからメイン、テール・ローターのドライブへの接続は、一般的な歯車伝達ではなく、V-ベルトが使われている。

これはエンジンが止まっている時は緩んでいるが、エンジンを始動するとアクチュエーターにより自動的に適切なテンションに張られる。このシステムによりベルトの疲労は最少限におさえられる。

以上の(1)～(3)が目立った工夫点であるが、その他にも多数のアイデアが生かされている。

## 6. まとめ

以上、ヘリコプターに関する技術や事業について、最近の雑誌や技術資料を取りまとめ簡略に紹介した。ヘリコプターには、まだまだ改善の余地が残されていることも分かり、願わくば将来なんらかの形で、ヘリコプター関連の分野に活躍の場を見い出して行きたいと考えている。

## 参考文献

- 1) George, A.R. and S.-T. Chou : A Comparative Study of Tail Rotor Noise Mechanisms, Journal of the American Helicopter Society, pp. 36-37, October 1986.
- 2) (社)日本航空技術協会：航空技術, p. 57, 1987年2月.
- 3) Mackerodt, Fred : Hot Air Choppen, Popular Mechanics, pp. 82-84, February, 1987.
- 4) 「MDHが新型ヘリ開発へ」, Aerospace Japan, p. 44, April, 1987.
- 5) Scott, William B. : Researchers Urge Further Tests To Improve Rotorcraft Models, Aviation Week & Space Technology, pp. 50-56, April 20, 1987.
- 6) Sikorsky S-76 MKII, United Technologies-Sikorsky Aircraft, 1985.
- 7) Smith, David O. : MBB Commercial Technology, Vertiflite, An American Helicopter Society Publication, pp. 34-39, May/June, 1987.

- 8) Sperry Digital Flight Control System, Sperry Corp., 1983.
- 9) Sperry Avionics, Data Nav Display Systems, Sperry Corp, April 1983.
- 10) Rotor & Wing, 航空情報, pp. 6, 1987年5月.
- 11) Tilt Rotor Research Aircraft, NASA Ames Research Information Bulletin, April 1986.
- 12) X-Wing/RSRA Research Aircraft, NASA Ames Research Information Bulletin, February 1987.
- 13) Vega, Edward : Advanced Technology Impacts on Rotorcraft Weight, Journal of the American Helicopter Society, pp. 23, October 1986.
- 14) Ward, John F. Rotorcraft Research-A National Effort, Journal of the American Helicopter Society, pp. 3-20, April 1987.
- 15) The Future of Rotorcraft Embarking on the Second Forty Years, The Age of the Helicopter Vertical Flight, pp. 221-245, 1984.
- 16) Schmitman Craig : Tomorrow's Commuter? Commuter Air, August 1985.
- 17) (社)日本航空技術協会：航空工学講座7 航空機材料（第3版）, 1985.